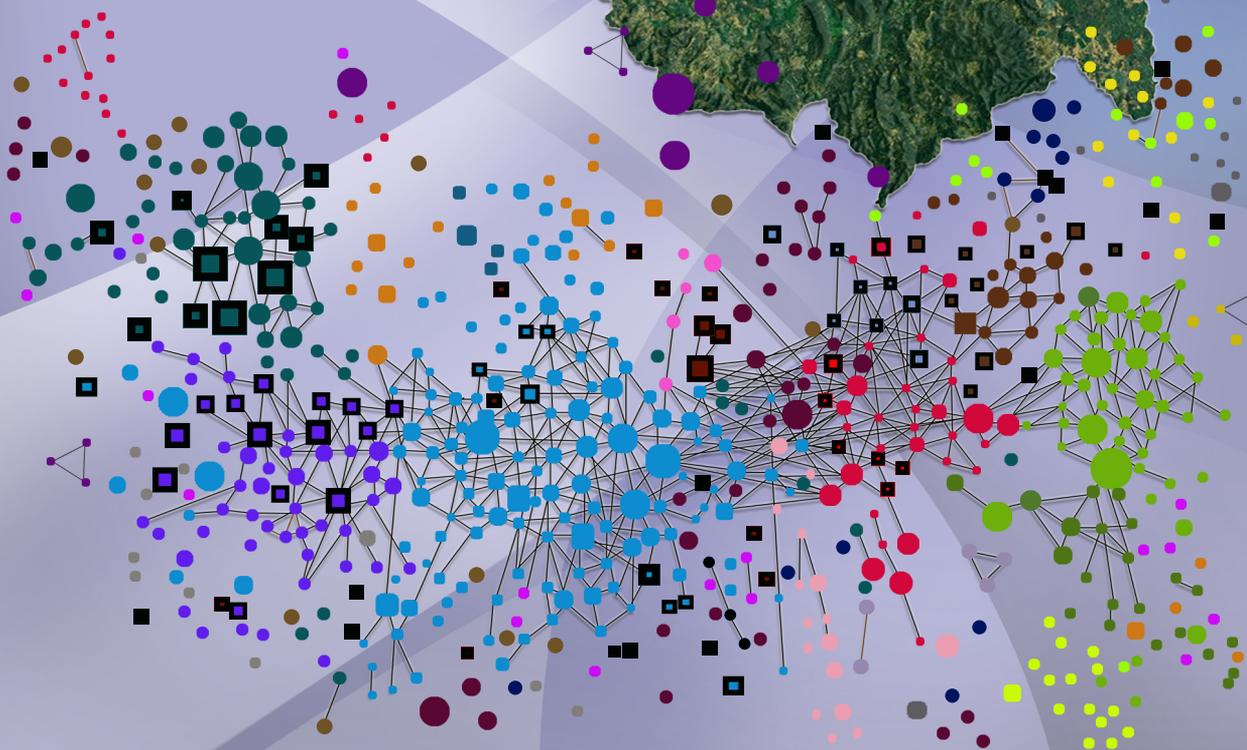
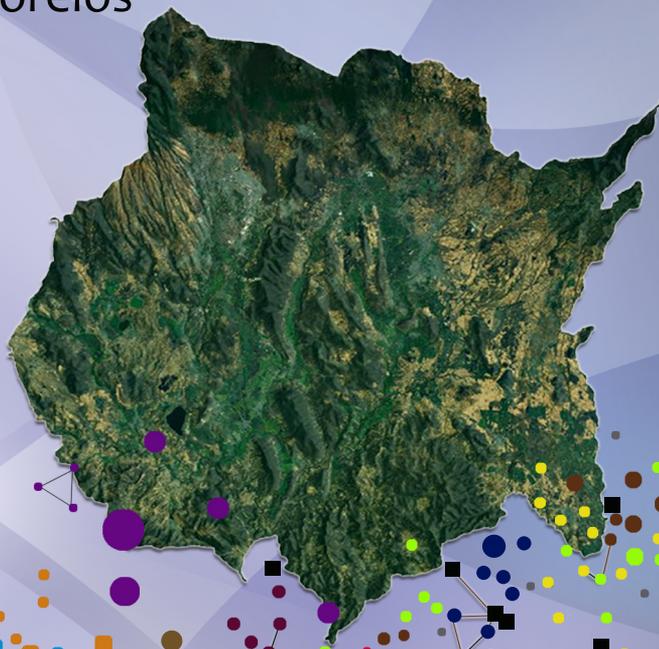


LOS INDICADORES AMBIENTALES COMO HERRAMIENTA PARA LA SUSTENTABILIDAD

Estudio de caso en Morelos

Ma. Laura Ortiz Hernández
Enrique Sánchez Salinas
María Luisa Castrejón Godínez
Mariana Romero Aguilar
(compiladores)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

**LOS INDICADORES AMBIENTALES
COMO HERRAMIENTA PARA LA
SUSTENTABILIDAD: ESTUDIO DE
CASO EN MORELOS**

LOS INDICADORES AMBIENTALES COMO HERRAMIENTA PARA LA SUSTENTABILIDAD: ESTUDIO DE CASO EN MORELOS

Ma. Laura Ortiz-Hernández

Enrique Sánchez-Salinas

María Luisa Castrejón-Godínez

Mariana Romero-Aguilar

(compiladores)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Esta publicación fue financiada por el Fondo Mixto CONACyT-Gobierno del Estado de Morelos, a través del Proyecto FOMIX MOR-2012-1-189949.

Los indicadores ambientales como herramienta para la sustentabilidad : estudio de caso en Morelos / Ma. Laura Ortiz Hernández, Enrique Sánchez Salinas, María Luisa Castrejón Godínez, Mariana Romero Aguilar, compiladores. - - México : Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2015.

242 p. : il. col.

ISBN: 978-607-8434-13-8 UAEM

1. Indicadores ambientales – México 2. Ecología – México – Morelos (Estado) – Estadísticas 3. Morelos (Estado) – Condiciones ambientales – Estadísticas

Los indicadores ambientales como herramienta para la sustentabilidad: estudio de caso en Morelos.

Ma. Laura Ortiz-Hernández, Enrique Sánchez-Salinas, María Luisa Castrejón-Godínez y Mariana Romero-Aguilar (compiladores)

Primera edición, 2015

D.R. © 2015, Ma. Laura Ortiz-Hernández, Enrique Sánchez-Salinas, María Luisa Castrejón-Godínez y Mariana Romero-Aguilar.

D.R. © 2015, Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Av. Universidad 1001

Col. Chamilpa, CP 62209

Cuernavaca, Morelos, México

publicaciones@uaem.mx

libros.uaem.mx

Diseño de portada: Tania Sánchez-Ortiz y Enrique Sánchez-Salinas

Fotografías: Enrique Sánchez-Salinas, Oscar Dorado, José Antonio Guerrero, Rosa Cerros-Tlatilpa y Areli Rizo-Aguilar.

ISBN: 978-607-8434-13-8

Impreso en México

Reservados los derechos

CONTENIDO

ACERCA DE LOS AUTORES.....	I
PRESENTACIÓN.....	III
MODELOS DE INDICADORES E INDICES AMBIENTALES.....	1
VEGETACIÓN ARBOREA COMO INDICADOR AMBIENTAL.....	27
INDICADORES DE BIODIVERSIDAD EN EL ESTADO DE MORELOS: SITUACIÓN ACTUAL.....	57
LOS RESIDUIOS Y SUS INDICADORES AMBIENTALES: NECESIDAD DE CONOCIMIENTO PARA TRANSITAR HACIA SU GESTION INTEGRAL.....	93
EL CAMBIO CLIMATICO COMO INDICADORE DE LA COMPLEJIDAD AMBIENTAL EN EL ESTADO DE MORELOS.....	127
LA CALIDAD DEL AIRE COMO INSTRUMENTO PARA EL DESARROLLO DE GESTION Y POLITICA AMBIENTAL.....	171
EL AGUA COMO RECURSO E INDICADOR DE CALIDAD AMBIENTAL.....	213

ACERCA DE LOS AUTORES

Alexis Joavany Rodríguez Solís. Profesor Investigador de Tiempo Completo, Centro de Investigación en Biotecnología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Areli Rizo-Aguilar. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Deny Lizbeth Hernández-Rabadán. Investigadora asociada del proyecto: Sistema de Indicadores Ambientales para el desarrollo sustentable en el estado de Morelos, apoyado por el Fondo Mixto CONACyT-Gobierno del Estado de Morelos, número 189949.

Dulce M. Arias. Profesora Investigadora Titular de Tiempo Completo

Enrique Sánchez-Salinas. Profesor Investigador Titular de Tiempo Completo, Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Esmeralda Urzúa. Investigadora asociada del proyecto: Sistema de Indicadores Ambientales para el desarrollo sustentable en el estado de Morelos, apoyado por el Fondo Mixto CONACyT-Gobierno del Estado de Morelos, número 189949.

Fernando Ramos Quintana. Investigador asociado del proyecto: Sistema de Indicadores Ambientales para el desarrollo sustentable en el estado de Morelos, apoyado por el Fondo Mixto CONACyT-Gobierno del Estado de Morelos, número 189949.

José Antonio Guerrero. Profesor Investigador Titular de Tiempo Completo, Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

José M. de Jesús Almonte. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Karime López. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

- Ma. Laura Ortiz-Hernández. Profesora Investigadora Titular de Tiempo Completo. Centro de Investigación en Biotecnología y Programa de Gestión Ambiental Universitario, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- María Luisa Castrejón-Godínez. Programa de Gestión Ambiental Universitario, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Mariana Romero-Aguilar. Profesora Titular de Asignatura de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Investigadora Asociada del proyecto: Sistema de Indicadores Ambientales para el desarrollo sustentable en el estado de Morelos, apoyado por el Fondo Mixto CONACyT-Gobierno del Estado de Morelos, número 189949.
- Oscar Dorado. Profesor Investigador Titular de Tiempo Completo. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Rosa Cerros-Tlatilpa. Profesora Investigadora Titular de Tiempo Completo. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Rosa Estela Quiroz-Castañeda. Investigadora titular, Unidad de Anaplasmosis, CENID-Parasitología Veterinaria. INIFAP.
- Tania Ivonne González Popoca. Programa de Gestión Ambiental Universitario, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

PRESENTACIÓN

El estado de Morelos tiene una extensión territorial que representa 0.2% de la superficie del país; posee diferentes tipos de climas, vegetación, suelos y recursos hídricos. La diversidad de ecosistemas, alberga especies biológicas que determinan una gran riqueza del territorio. Paralelamente, el crecimiento poblacional, la urbanización, la ganadería, la agricultura y las actividades industriales, representan un importante factor de presión sobre los recursos naturales. Un claro ejemplo es el desarrollo de numerosos proyectos habitacionales y del establecimiento de grandes plazas comerciales, lo cual origina cambios en el uso del suelo, la migración de importantes núcleos de población y la generación de diversos tipos de residuos; además de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global y, en consecuencia, al cambio climático.

Esta situación, demanda la generación de información que permita el diagnóstico de la situación actual del estado de Morelos en materia ambiental, como base fundamental para el diseño de políticas públicas, la toma de decisiones y la implementación de acciones encaminadas a frenar y a revertir los efectos de la degradación del ambiente y la pérdida de la biodiversidad.

Los Indicadores Ambientales (IA) son una importante herramienta que puede ser utilizada por los diferentes sectores de la sociedad y de manera particular por los tomadores de decisiones. Los IA proporcionan una amplia visión del ambiente de una determinada zona geográfica, integra los factores que representan una amenaza y permite evaluar la efectividad de las políticas públicas encaminadas a la solución de los problemas ambientales. Los indicadores se han constituido en instrumentos fundamentales y alternativas tecnológicas para operar la generación, almacenamiento, análisis y flujo de la información, una vez acordada su relevancia, pertinencia y síntesis.

En este libro se analiza de manera general la situación del ambiente en el país, y particularmente en el estado de Morelos, y

proporciona al lector información de una manera resumida. En la primera parte del documento, el lector tendrá acceso a la revisión de los modelos de indicadores e índices ambientales desarrollados en el mundo, a la descripción del modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) y al análisis de las causas de la poca o nula utilización de los indicadores/índices en el proceso de toma de decisiones y definición de políticas públicas.

En el segundo capítulo se aborda el tema de la biodiversidad, en éste se analiza la vegetación arbórea como indicador ambiental, mediante el uso de la metodología denominada: Análisis de Riqueza, Importancia y Cobertura Arbórea. Además, se discute el término biodiversidad y se describe la riqueza de especies del territorio Morelense. También se analizan las diversas amenazas que resultan de las actividades antropogénicas y las estrategias implementadas para la conservación de la vida silvestre.

En los subsiguientes capítulos, se analizan las tendencias en la producción y manejo integral de residuos, así como los riesgos ambientales para suelos y cuerpos de agua originados por su inadecuada disposición. Se revisa la contribución de los residuos a la emisión de GEI, principalmente por su incineración y disposición final. Se incluyen datos de la generación de los diferentes tipos de residuos clasificados por la legislación ambiental mexicana, como son los residuos sólidos urbanos (RSU), los residuos peligrosos (RP), peligrosos y de manejo especial (RME).

En el caso de la atmosfera, se describen por separado los temas de calidad del aire y el cambio climático. Se analizan las emisiones de los GEI a nivel mundial, comparados con las concentraciones nacionales y estatales. Se presenta al cambio climático como un indicador de complejidad, donde se incluyen aspectos sociales, educativos, de gestión y política pública. La mitigación y adaptación se presentan como estrategias ante el cambio climático. El tema de la calidad del aire se aborda desde el origen, estructura y composición de la atmosfera terrestre, fuentes de contaminación, contaminantes criterio y los

principales efectos a la salud y al ambiente en general. Se analizan de manera particular las normas oficiales mexicanas en materia de calidad del aire. Además, se aborda la contribución de la sociedad en la construcción de estrategias de gestión y política ambiental; y se describe la problemática asociada al monitoreo de la calidad del aire.

Por último, se aborda la situación actual del recurso hídrico en la entidad, la disponibilidad y la contaminación que presentan algunos cuerpos de agua. Se analiza el volumen usado en las diversas actividades económicas y los problemas asociados al uso inadecuado del recurso. Adicionalmente se revisan los esquemas de gestión del agua, así como la situación de los IA relacionados al manejo integrado del recurso.

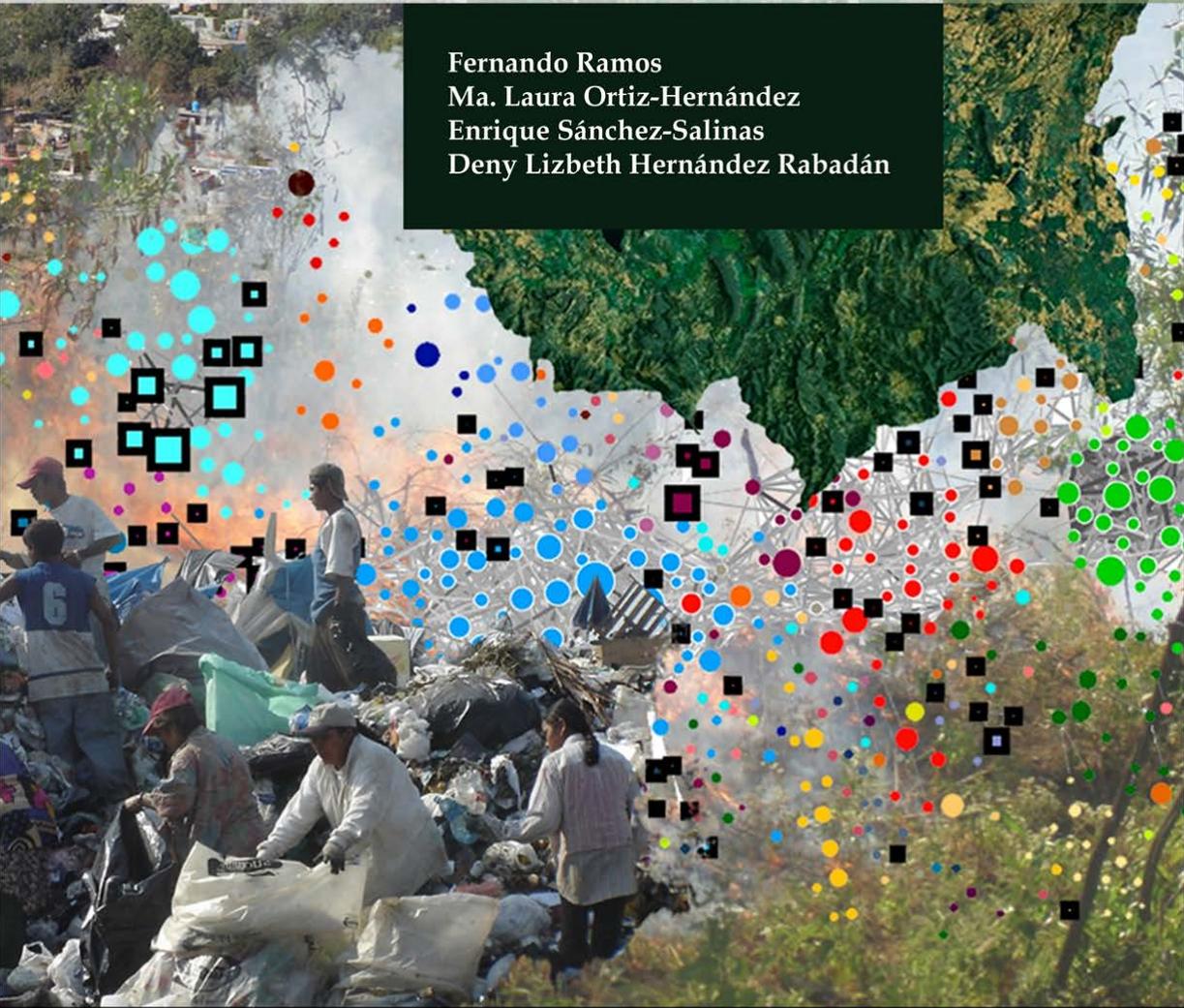
Los compiladores y autores presentan esta información para que los lectores encuentren, en una sola obra, la situación del ambiente en números, así como un análisis de su gestión integral. Esperamos que sea de utilidad a estudiantes, tomadores de decisiones y al público en general, interesados en la situación ambiental en México y en Morelos.



MODELOS DE INDICADORES E ÍNDICES AMBIENTALES

CAPÍTULO

1



Fernando Ramos
Ma. Laura Ortiz-Hernández
Enrique Sánchez-Salinas
Deny Lizbeth Hernández Rabadán

MODELOS DE INDICADORES E ÍNDICES AMBIENTALES

Resumen

En este capítulo se presenta una revisión de modelos de indicadores e índices ambientales (IIA) que permitan conocer cronológicamente cómo se han incorporado, enriqueciéndose con factores económicos y su impacto en la sustentabilidad. De esta forma, se presentan desde el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) hasta llegar al modelo conocido como Economía Verde. Se enfatiza en la importancia de que los esfuerzos mundiales en el desarrollo de IIA vayan dirigidos hacia los Indicadores Verdes, como un apoyo contundente al desarrollo sustentable.

Se analiza la diferencia entre indicadores e índices, así como las causas de su poco o nulo uso para el proceso de toma de decisiones y de políticas públicas que contribuyen a mejorar el estado ambiental.

Así mismo, se presenta el caso del desarrollo de IIA para el Estado de Morelos, basado en cuatro grupos clave: Agua, Residuos, Atmósfera y Biodiversidad. En particular, se destaca un modelo de influencia entre indicadores y variables ambientales sobre el desempeño de un índice de calidad ambiental.

Introducción

La evaluación de la calidad ambiental en una región geográfica es clave para el control de ciertas variables ambientales que impactan en el bienestar del ser humano. Por lo general, las evaluaciones se basan en mediciones, las cuales se usan para diferentes propósitos: ayudar a los tomadores de decisión en el diseño de políticas públicas proambientales; para informar al público en general acerca de la situación ambiental; y para los usuarios expertos.

Las mediciones expresadas en el diseño de indicadores e índices se presentan como una alternativa relevante para entender mejor el comportamiento de las variables y su influencia en aspectos clave del bienestar humano. Sin embargo, no todos los gobiernos del mundo han adoptado la iniciativa de desarrollarlos, lo cual se agrava en los países en vías de desarrollo. Sin duda, en la Unión Europea, principalmente en la región escandinava, es donde se marca la pauta en estos temas, coincidentemente, son los países de esta zona los que obtienen mejores evaluaciones en lo que se refiere al cuidado y calidad del ambiente, además de tener indicadores bien evaluados en educación.

Definiciones de indicadores e índices ambientales

Un indicador ambiental (IA) se representa por un valor que refleja cuantitativamente el estado de un fenómeno ecológico dado. Adicionalmente proporciona información cuantitativa, la cual se basa en una métrica que sirve para evaluar, entre otros, el comportamiento de las variables ambientales y el desempeño en la aplicación de las políticas públicas. También buscan expresar de forma simple y comprensible, complejas estadísticas u otra clase de datos económicos o científicos, mejorando de esta forma la comunicación con los usuarios (Hammond, 1995).

Un índice ambiental integra de forma resumida y multidimensional los indicadores expresados en un sólo valor (Ebert y Welsch, 2004). Razón por la cual se les conoce también como indicadores agregados.

A diferencia de los indicadores, los índices expresan de una forma más abstracta, pero más fácilmente interpretable, la afectación de una combinación de diversas variables ambientales en el bienestar humano.

Evolución de los indicadores

En esta sección se presenta una cronología del desarrollo de indicadores e índices, con el fin de mostrar cómo ha evolucionado la iniciativa de plasmar formalmente las evaluaciones del estado ambiental en el mundo.

- 1980. Canadá inicia el desarrollo de IA para simplificar la información y así mejorar la comunicación con los tomadores de decisión y el público en general.
- 1987. Los Países Bajos secundan esta iniciativa.
- 1989. Las 7 economías más importantes del mundo piden a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) desarrollar IA.
- 1991. La WRI (World Resources Institute) revela que 12 organizaciones diferentes trabajan en el desarrollo de IA.
- 1992. La WRI organiza una reunión para discutir conceptos, métodos y enfoques tentativos relacionados con el diseño de indicadores.
- 1992. Se realiza la declaración de Rio de Janeiro sobre el ambiente y el desarrollo sustentable (Naciones Unidas): "Se necesitan construir indicadores de desarrollo sustentable para proporcionar bases sólidas para la toma de decisiones a todos los niveles y contribuir a la sustentabilidad auto-regulable del ambiente integrado".
- 1993. Se propone el marco PER para ayudar a la interpretación de indicadores.
- 1995. Se propone un marco para interpretar índices donde la interacción sociedad-naturaleza adquiere un papel protagónico; se destacan cuatro índices clave: de contaminación, de desgaste de recursos, de riesgo para los ecosistemas y de impacto sobre el bienestar humano.
- 1995. En el seno de la Comisión de Naciones Unidas para el Desarrollo Sustentable se discutieron los indicadores para esta

temática. Se reforman indicadores económicos, por ejemplo: Producto Interno Bruto (PIB), donde se plantea que se tomen en cuenta los problemas ambientales en su definición.

- 2003. A pesar de que el concepto de “Economía Verde” se estableció por la Asamblea General de Naciones Unidas en 1989 para investigar la relación en el ambiente y el desarrollo (Pearce *et al.*, 1989), es en recientes años que cobra fuerza en el contexto de la crisis financiera y por el vínculo de las crisis energética y alimentaria. Es así que en el marco del sexto Programa de Acción Ambiental (EAP, por sus siglas en inglés) perteneciente a la Agencia Ambiental Europea (EEA, por sus siglas en inglés), se involucró al cambio climático, a la pérdida de biodiversidad, al uso no sustentable de los recursos naturales y a las presiones ambientales sobre la salud humana y el bienestar, entre las prioridades a atender. De esta manera, la EEA identificó la transición a una Economía Verde (EAP, 2003).
- 2004. Derivado del encuentro en París de ministros del ambiente de la OCDE, se publica un conjunto de indicadores llamados clave, los cuales fueron seleccionados con base en su relevancia política con respecto a los retos mayores de la primera década del siglo XXI, incluyendo los problemas de contaminación y aquellos relacionados con los recursos naturales, su solidez analítica y su factibilidad de ser medibles. Tales indicadores clave fueron: cambio climático, capa de ozono, calidad del aire, generación de residuos, recursos hídricos, forestales, pesqueros, energéticos y biodiversidad (OCDE, 2004).
- 2012. En el EAP desarrollado en Europa, se refuerza la necesidad de contar con indicadores económicos, afianzándose el concepto de Economía Verde, en el cual se establece un compromiso por la relación de la eficiencia en el uso de los recursos naturales contra la robustez de los ecosistemas.

- 2014. Del sexto EAP se deriva el Programa de Acción Ambiental hacia el 2020, donde se enfatiza la transición hacia la Economía Verde.

Los modelos de expresión e interpretación de indicadores e índices

Se han propuesto diferentes modelos para interpretar y expresar las relaciones entre las actividades humanas y el entorno natural. A continuación se presentan los modelos más representativos.

El modelo PER (Presión-Estado-Respuesta). Hasta el momento sirve de base para entender e interpretar la mayoría de indicadores. Entre las características más relevantes se pueden citar las siguientes:

PRESIÓN. Observa las causas de las presiones al ambiente, consecuencia de las interacciones de la sociedad con la naturaleza. Las presiones pueden ser de dos tipos: *directas*, presión inmediata sobre el ambiente (emisiones, extracción de recursos naturales, cambio de uso de suelo, etcétera); *indirectas*, actividades productivas (agricultura, ganadería, industria, transporte, etcétera) y el funcionamiento de los sistemas naturales (ciclos de nutrientes, eventos naturales, erupciones, inundaciones, entre otros).

ESTADO. Presenta una condición ambiental determinada a la que conducen las presiones y proporciona la información cuantitativa asociada a los indicadores, la cual se basa en una métrica que guía el comportamiento de las variables ambientales, el desempeño de las políticas públicas. Incluye además los efectos en la salud de la población y en los ecosistemas causados por el deterioro de la calidad ambiental.

RESPUESTA. Son acciones que las sociedades generan para utilizar mejor los recursos naturales y mitigar los efectos sobre el ambiente; son elaboradas y aplicadas por los diferentes sectores de la sociedad; tienen un marco legal nacional o internacional.

Una variante del *PER* es el *PEIR*, el cual incluye la interpretación del estado y las tendencias ambientales, basándose en estadísticas periódicas y reportes.

Modelo Interacción Humano-Ambiente. Este modelo interpretativo hace énfasis en los efectos de la interacción del hombre con la naturaleza (Figura 1.1), y desarrolla índices tales como: de contaminación, de desgaste de recursos, de riesgo para los ecosistemas y de impacto sobre el bienestar humano. En este contexto se comienza a discutir la creación de indicadores para el desarrollo sustentable y los indicadores económicos, tales como el PIB, que toman en cuenta la problemática ambiental en su definición.

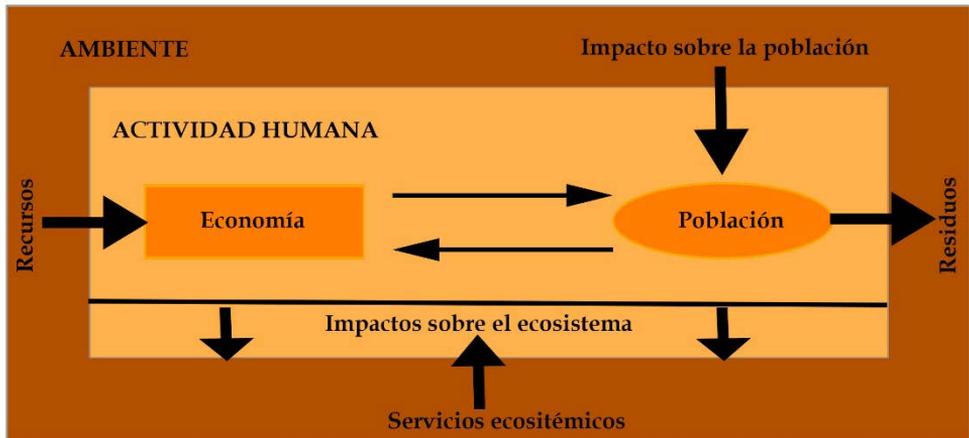


Figura 1.1. Modelo de interpretación de índices basado en la interacción Humano-Ambiente.

Modelo basado en la Economía Verde. En el Reporte Europeo de Indicadores Ambientales, se discute de manera enfática que la Economía Verde debe ser soportada por dos temas relevantes: el uso eficiente de recursos y el cuidado de la robustez de los ecosistemas (EIR, 2012).

En el sexto EAP (2003), se incluyó al cambio climático, a la pérdida de biodiversidad, al uso no sustentable de los recursos naturales y a las presiones ambientales sobre la salud humana y el bienestar entre las prioridades a atender, las cuales son de gran importancia hoy en día. Para tal efecto, la EEA identificó a la Economía Verde como un aspecto clave y la definió como un conjunto de políticas sociales, económicas y ambientales, así como las innovaciones, que habilitan a la sociedad en el uso eficiente de recursos, mejorando de este modo el bienestar humano y conservando los sistemas naturales (Hoogeveen, 2013).

El Programa de Acción Ambiental hacia el 2020 tiene como lema: *Vivir bien, dentro de los límites de nuestro planeta*. Hace énfasis en el cambio hacia la Economía Verde, la cual presenta tres objetivos prioritarios: 1) proteger, conservar y mejorar el capital natural de la Unión Europea (UE); 2) cambiar la UE a una economía competitiva baja en emisiones de carbón, verde y eficiente en recursos; y 3) salvaguardar a los ciudadanos europeos de las presiones relacionadas con el ambiente y los riesgos a la salud.

Para explorar las implicaciones del cambio a una economía verde y el progreso europeo hacia esta meta, la EEA inició en el 2012 una serie de reportes de IA y se enfocó en el reto central de mejorar la eficiencia de recursos que aseguren la adaptación (resiliencia) del ecosistema.

El reporte del 2013 extiende el análisis de las relaciones entre el uso de recursos y el bienestar humano, a partir de las necesidades básicas (alimento, energía, agua y habitación).

La transición a una economía verde es un gran reto debido a que los mecanismos de gobierno involucrados son complejos y la planeación para alcanzar la eficiencia, la adaptación y el bienestar, deben emerger de un análisis donde se involucren, imperativamente, actores políticos, sociales y económicos que apoyen el proceso de transición.

La utilidad de los indicadores e índices

Los aspectos técnicos en la construcción de IIA han sido ampliamente abordados, sin embargo su uso e impacto sobre la toma de decisiones y la definición de políticas públicas ambientales han sido poco analizadas (Sherbinin, 2013).

Diferentes organizaciones desarrollan IIA aplicados en diferentes regiones del mundo. Por ejemplo, el Índice de Sustentabilidad Ambiental (ESI, por sus siglas en inglés), de Yale/Columbia, y su sucesor el Índice de Desempeño Ambiental (EPI) tienen aplicación en el desarrollo de políticas públicas en países como Corea del Sur y Malasia. Además, se han adaptado en Abu Dhabi y China. En particular, el EPI permite identificar prioridades y cuantificar el progreso de las políticas públicas aplicadas.

Características de los indicadores

- 1) Deben tener la habilidad de separar el “ruido” del contenido verdadero y de esa forma aumentar la relevancia de los datos.
- 2) Permiten diagnosticar problemas a través del análisis de tendencias mediante la correlación de indicadores, y descubrir patrones de comportamiento.
- 3) Pueden ayudar a la sociedad a deliberar acerca de los futuros deseados y posibles soluciones a las preocupaciones ambientales.
- 4) Apoyan la toma de decisiones y la administración de programas ambientales.
- 5) Son la síntesis y la comunicación de datos complejos que representan el principal papel en la emisión de políticas públicas (OCDE, 2008).
- 6) Deben ser científicamente justificables y medibles. Además de reflejar condiciones y prioridades de los usuarios a los que se dirigen (POINT, 2011).

Los factores que pueden influir en el poco o nulo uso de IIA en la elaboración de políticas públicas y el manejo ambiental, son los siguientes:

- a) Desacuerdo en los IA que deben ser medidos y en los indicadores que deben ser agregados para integrar los índices.
- b) La incertidumbre intrínseca a los problemas ambientales a largo plazo, la cual es común en el contexto científico, pero no así para los tomadores de decisiones y el público en general.
- c) Datos que no revelan la realidad del estado ambiental. Por ejemplo, cuando los datos se utilizan con fines políticos son maquillados.
- d) La mayoría de los indicadores se expresan bajo representaciones y modelos poco entendibles para públicos no científicos.

Las razones principales razones para desarrollar IA son los siguientes:

1. Discriminar entre hipótesis conflictivas (para exploración científica).
2. Estructurar el problema y conceptualizar soluciones.
3. Dar seguimiento al desempeño ambiental con base en el manejo de resultados evaluables numéricamente.
4. Discriminar entre políticas alternativas por decisiones específicas o por decisiones de políticas generales.
5. Informar a los usuarios generales no especializados.

Ejemplo del uso de índices ambientales: Índice Europeo de Ciudades Verdes

En numerosas ocasiones se requiere expresar de qué manera algunas variables ambientales afectan conceptos complejos como el desgaste de los recursos, el riesgo para los ecosistemas, el bienestar humano y la

salud, entre otros. Solamente pueden expresarse mediante la combinación de varios indicadores para formar lo que se conoce como índices o indicadores agregados, tal y como es planteado por Ebert y Welsh (2004).

Una forma de resaltar la importancia del desarrollo de índices es denotada por Ralston (2011) a través del siguiente planteamiento: “Si no hubiera índices relacionados con la salud ambiental que pudieran ser usados para guiar objetivamente a la opinión científica, los científicos no podrían informar propiamente a los tomadores de decisiones y a la población acerca de la necesidad de evitar o hacer frente a los riesgos”.

La Figura 1.2 ilustra de modo ascendente, la construcción de un índice, desde el dato numérico asociado a cada indicador, hasta la combinación que forma el índice.

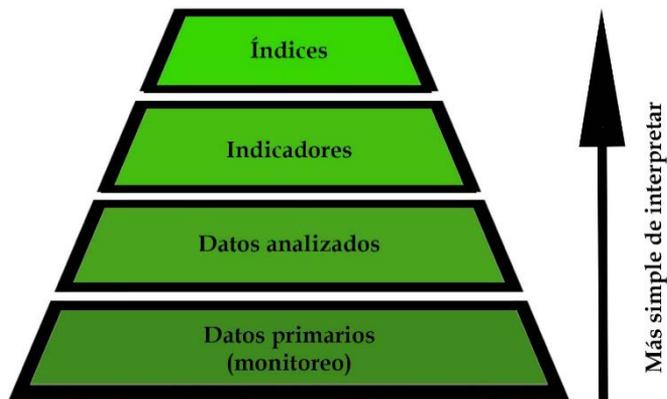


Figura 1.2. Modelo de construcción ascendente de un índice.

Por lo general, el índice se forma obteniendo un valor promedio de la suma de los indicadores; dicho valor se asigna al índice que se construye. Un ejemplo de tal metodología se llevó a cabo en la determinación del Índice Europeo de Ciudades Verdes que mide y

clasifica el desempeño ambiental de 30 ciudades europeas líderes (European Green City Index, 2010). Se definieron ocho categorías (emisiones de CO₂, energía, construcciones, transporte, agua, residuos, uso del suelo, calidad del aire y gobierno ambiental) y 30 indicadores individuales. Estos últimos, 16 fueron de naturaleza cuantitativa y su objetivo fue medir el desempeño ambiental de la ciudad, por ejemplo el nivel de las emisiones de CO₂, la cantidad de energía consumida, los residuos producidos y los niveles de contaminación del aire. Los 14 restantes fueron evaluaciones cualitativas de las aspiraciones o ambiciones de la ciudad, por ejemplo, su compromiso para consumir energía renovable, mejorar la eficiencia energética en los edificios, reducir el parque vehicular, reciclar y reutilizar un mayor porcentaje de residuos, entre otros.

En esta metodología hay tres niveles de abstracción. En el primer nivel se encuentran los 30 indicadores, con los cuales se forman categorías (éstas representan el segundo nivel de la figura 1.2) y por último éstas se utilizan para determinar el índice de desempeño (es decir, el tercer nivel). La medición del resultado global se establece en el rango de 0-10, dónde el 10 representa el máximo valor o la mejor evaluación. Como se esperaba, los países nórdicos ocuparon las mejores posiciones de desempeño ambiental.

Los Indicadores Ambientales en México

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la institución encargada de recopilar, organizar y difundir la información acerca del ambiente y de los recursos naturales del país a través del Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales (SNIARN). Este sistema integra un conjunto de bases de datos estadísticos, cartográficos y documentales relativos a los inventarios de recursos naturales, al monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo; al ordenamiento ecológico del territorio y a los registros,

programas y acciones encaminados a la preservación del equilibrio ecológico y la protección del ambiente.

El SNIARN está integrado por:

- La base de datos estadísticos (BADESNIARN). Esta base de datos presenta información revisada y validada con cada una de las fuentes y se estructura para adecuarse a las necesidades de los distintos usuarios.
- Espacio Digital Geográfico (ESDIG). A través de mapas muestra la información sobre las características ambientales y sociales del país en temas como vegetación, uso del suelo, cuerpos de agua, clima y población, entre otros. Así como de los resultados de programas ambientales y sociales dedicados al aprovechamiento, conservación y recuperación de los ecosistemas naturales de México.
- Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA). Proporciona a los tomadores de decisiones y público en general información breve y clara de la situación actual del ambiente y los recursos naturales del país a través de un conjunto de indicadores.

El SNIA está conformado por un conjunto de indicadores básicos y otro conjunto de indicadores clave. El primero está orientado hacia la evaluación del desempeño ambiental nacional a través de alrededor de 115 indicadores, los cuales cubren los temas prioritarios de la agenda ambiental nacional. Este conjunto se complementa con alrededor de 450 variables que aportan información de contexto y permiten una mejor interpretación de los indicadores. El conjunto de indicadores básicos se encuentra organizado de acuerdo con el modelo de PER. Como ya se ha visto, este modelo está basado en una lógica de causalidad: las actividades humanas ejercen presiones sobre el ambiente y cambian la calidad y cantidad de los recursos naturales

(estado). Asimismo, la sociedad responde a estos cambios a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales (respuestas).

El conjunto de indicadores clave ofrece una visión fácilmente comprensible de la situación de los principales tópicos ambientales del país a través de 14 indicadores. Este conjunto clave está diseñado para informar los avances en materia de conservación y uso sustentable de los recursos naturales en el país, dirigido al público que no posee conocimientos previos o especializados en estas cuestiones.

Además de los conjuntos básico y clave de indicadores, el SNIA presenta algunas iniciativas ambientales, entre las que destacan:

- Indicadores Ambientales regionales. Atienden iniciativas en regiones con alguna problemática en común, ya sea dentro de México o en otros países. El programa Frontera México-Estados Unidos es una de estas iniciativas y tiene como objetivo la protección ambiental y la salud pública en la región fronteriza a través de indicadores que cubren los temas de agua, aire, suelo, preparación y respuesta a emergencias y aplicación y cumplimiento de la ley.
- Indicadores Ambientales estatales. Analizan el desempeño ambiental en el ámbito estatal y responde a las necesidades y características del estado analizado. A la fecha, tan sólo se han desarrollado y publicado el conjunto de indicadores del estado de Hidalgo, los cuales no siguen un proceso de actualización permanente.
- Indicadores Ambientales internacionales. Los conjuntos de indicadores internacionales incluidos dentro del SNIA corresponden a las iniciativas de organismos internacionales en las que México participa. Dentro de ellas destacan la Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible (ILAC), los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (específicamente el Objetivo 7) y los IA de la OCDE.

En México, el desarrollo de IA surgió formalmente en 1993 con el Taller Norteamericano de Información Ambiental, donde participaron el Instituto Nacional de Ecología (INE), Environment Canada y la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos. El taller tenía como objetivo generar una base de información para el informe del estado del ambiente en la región de América del Norte. En este contexto se elaboró el estudio *An Approach Towards Environmental Indicators for Mexico 1994* (AGRA, 1994), que estableció las bases conceptuales para el desarrollo de IA en nuestro país.

El modelo PER comenzó a utilizarse como marco metodológico a partir de la publicación de *Avance en el Desarrollo de Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental de México 1997* (SEMARNAT, 1998), la cual tenía como objetivo el establecimiento de un conjunto de indicadores que sirvieran como herramienta para evaluar el desempeño de las políticas ambientales, así como la base para futuras publicaciones. Los temas incluidos fueron aire, residuos peligrosos, residuos sólidos municipales, vida silvestre, agotamiento de la capa de ozono estratosférico y cambio climático. Derivado de este trabajo se detectaron carencias e inconsistencias de información y posibles fuentes alternativas para obtenerlas.

En un esfuerzo por continuar con la integración del Sistema de Indicadores Ambientales a nivel Nacional, así como la actualización de los indicadores contenidos en la publicación de 1997, surgió el libro *Evaluación del Desempeño Ambiental. Reporte 2000* (SEMARNAT, 2000), el cual además se incorporaron los temas de agua, bosques, suelo y pesca.

También en el año 2000 se publicó el trabajo *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México* (INEGI y SEMARNAT, 2000). En éste se presentaron 113 indicadores que fueron parte del compromiso asumido por el país al adherirse al Programa de Acción para el desarrollo sustentable en 1992.

Indicadores Ambientales en entidades federativas

A continuación se presentan los IA que se han desarrollado en las diferentes entidades de México.

Indicadores Ambientales del estado de Hidalgo (2003)

El gobierno del estado de Hidalgo, a través del Consejo Estatal de Ecología, se concentró en la construcción de los indicadores de Agua, Forestal y Residuos Sólidos (Urbanos y No Peligrosos), así como en señalar los cambios y tendencias en el periodo de 1999 al 2003 (Indicadores Ambientales estado de Hidalgo, 2003), lo cual se realizó con base en el modelo PER. A continuación se presenta una lista de los indicadores construidos para el periodo arriba mencionado.

Agua. Extracción de agua superficial; Extracción de agua subterránea; Balance de agua subterránea; Descargas de agua residual a cuerpos receptores; Calidad de agua; Tratamiento de agua residual (plantas y volumen) y Disponibilidad natural de agua.

Forestal: Incendios y superficie afectada; El uso del suelo y la vegetación; Plagas forestales y superficie afectada; Producción forestal maderable; Producción forestal no maderable y Reforestación.

Residuos Sólidos: Generación de residuos sólidos urbanos (RSU); Disposición final de los RSU; Generación de residuos sólidos no peligrosos (RSNP); Composición y Disposición final de los RSNP.

Indicadores Ambientales del estado de Aguascalientes (2009)

Los esfuerzos en el desarrollo de IA del estado de Aguascalientes ha sido orientado esencialmente a un conjunto de indicadores clave, el cual

pretende dar a conocer al lector, desde una perspectiva general, la situación ambiental del estado (Indicadores Ambientales Aguascalientes, 2009).

Como parte de Plan de Desarrollo 2004-2010 del estado, se definió el establecimiento de un sistema de indicadores de calidad ambiental, cuyo fin fue medir y reducir los impactos ambientales y prevenir el uso irracional de los recursos. El marco conceptual del desarrollo de los IA del Estado de Aguascalientes es el PER. Los indicadores clave desarrollados son: Calidad del agua; Disponibilidad del Agua, Biodiversidad; Suelo; Residuos Sólidos Urbanos; Calidad del Aire y Cambio Climático.

Indicadores Ambientales en el estado de Guanajuato (2009-2010)

Debido al crecimiento industrial y poblacional del Bajío, se han incrementado considerablemente las emisiones a la atmósfera y por lo tanto la calidad del aire se ha visto afectada de manera importante. Este aspecto ha motivado, entre otros, el desarrollo de IA en esta región, abarcando las siguientes localidades: León, Silao, Irapuato, Salamanca y Celaya (Bautista, 2009).

El desarrollo de indicadores se enmarca dentro del contexto del Programa para la Mejora de la Calidad del Aire de León 2008-2012, conocido como ProAire León, cuyo fin es prevenir a mediano y largo plazo problemas graves derivados del desarrollo acelerado de esta ciudad y de la región citada anteriormente.

Dadas las características naturales de interrelación entre diversos actores y organismos para la definición y mayor impacto de indicadores, se desarrollaron cuatro tipos de indicadores para el ProAire León 2008-2012: económicos, sociales, de salud y ambientales. Entre los alcances más importantes del programa se pueden citar: reducción de las emisiones generadas por vehículos automotores; reducción de las emisiones provenientes del sector industrial; reducción de las emisiones generadas por las fuentes del área;

protección de la salud de la población; fortalecimiento de la educación ambiental, la investigación y el desarrollo tecnológico; restauración de los recursos naturales y planeación del desarrollo urbano; obtención del financiamiento que garantice el cumplimiento del programa, fortalecimiento institucional, infraestructura, información y normatividad.

A pesar de que no existe un marco explícito del PER en el desarrollo de indicadores, se hacen recomendaciones derivadas del estado de los mismos y de las presiones, cuyas acciones deben influir en el control del deterioro de la calidad del aire.

Los IA definidos son: reducción de PM₁₀; reducción de SO₂; reducción de NO_x; reducción de COT; reducción de CO y reducción de CO₂.

Indicadores Ambientales del estado de Morelos

Desde el año 2012 se inició el diseño de un Sistema de Indicadores Ambientales para el Desarrollo Sustentable en el Estado de Morelos, financiado por un proyecto FOMIX CONACyT-Gobierno del Estado de Morelos, número 189949 (SIAEM, 2014).

El Sistema de Indicadores Ambientales del Estado de Morelos (SIAEM) tiene como objetivo primordial informar al público sobre estos temas en una manera fácil de comprender y así hacer más sencillo el proceso de toma de decisiones para el planteamiento de políticas públicas encaminadas a resolver los problemas ambientales. El marco de desarrollo de indicadores del SIAEM es el PER, lo cual facilita la interacción con los indicadores de la SEMARNAT.

Las fuentes de los datos para el desarrollo de los indicadores provienen de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el Inventario de Gases de Efecto de Invernadero del Estado de Morelos, la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Estado de Morelos, las Estadísticas del Agua en México, el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos

Naturales, los indicadores de la SEMARNAT, los datos de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Morelos, las cartas de uso del suelo del INEGI, publicaciones científicas y tesis, entre los más importantes.

Como un primer paso en el desarrollo de indicadores se recopiló y generó información de los grupos de IA clave para el estado de Morelos y se interactuó con integrantes del sector ambiental en el gobierno. Estos grupos clave se definen a continuación:

- **Agua** se subdivide en Disponibilidad y Calidad del Agua.
- **Residuos** se subdivide en Residuos Sólidos Urbanos y Residuos Peligrosos.
- **Atmósfera** se subdivide en Calidad del Aire y Cambio Climático.
- **Biodiversidad**.

Desarrollos innovadores en el SIAEM

La metodología que se siguió para medir el desempeño ambiental, no considera explícitamente la medición cuantitativa de las relaciones entre indicadores para obtener un índice global. Sin embargo, la consideración para establecer las relaciones entre indicadores permitió la construcción de índices cercanos a la realidad ambiental. Por ejemplo: el incremento de la población conlleva el incremento del transporte y por consecuencia el incremento del CO₂.

Actualmente, dentro del contexto del SIAEM, se desarrollan índices de desempeño ambiental, con base en un modelo de relaciones entre indicadores y variables ambientales que cuantifican la influencia debida a las interacciones entre indicadores sobre el desempeño de un índice. Esta construcción se hace a través de un grafo dirigido, donde los nodos representan a los indicadores y los arcos (flechas) a las relaciones entre ellos. Éste se puede posteriormente analizar de arriba hacia abajo, es decir, una vez obtenido el valor del índice, éste puede

disgregarse hacia abajo para analizar las relaciones que más afectaron el valor del desempeño del índice. Tal análisis se hace a través de una interacción del usuario con un modelo computacional donde se representa el grafo de relaciones.

La Figura 1.3 muestra un ejemplo que representa parte de un grafo de relaciones entre indicadores que convergen en la construcción del Índice Afectación al Bienestar Humano.

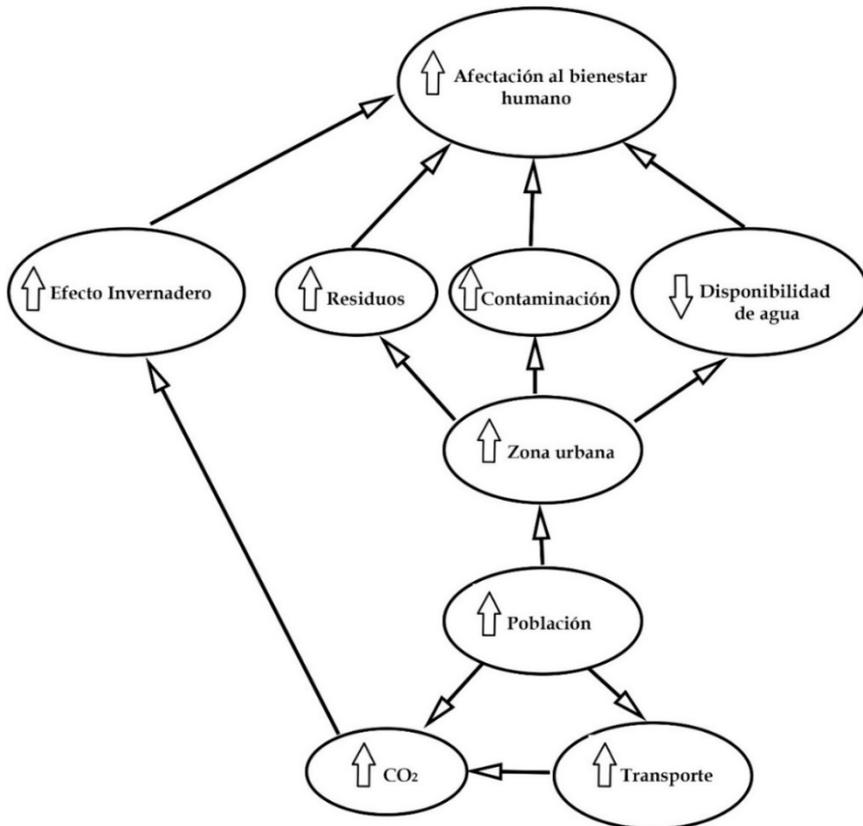


Figura 1.3. Grafo de relaciones entre indicadores que impactan en el Índice de Afectación al Bienestar Humano.

Las relaciones entre los indicadores tienen como referente principal el comportamiento de los mismos en un periodo de diez años. De esta forma, cuando los indicadores se relacionan, se está midiendo el comportamiento conjunto a lo largo de ese lapso de tiempo, lo cual resulta de mayor utilidad, por el potencial para construir predicciones sobre el comportamiento de las relaciones entre indicadores en el tiempo. Heycox (1999) afirma que cuando el valor del índice es representado por el promedio de indicadores individuales en un periodo de tiempo corto (como un año), puede resultar erróneo, por lo que deben incluirse datos de periodos de tiempo más amplios.

Consideraciones finales

La evaluación de la calidad ambiental a través del estado de las variables ambientales sirve, entre otras cosas importantes, para medir el impacto del estado ambiental sobre el bienestar del ser humano. De esta forma los indicadores/índices expresan mediciones cuantitativas que facilitan el trabajo de los tomadores de decisiones en el diseño de políticas públicas en favor del ambiente o informan al público acerca de la salud ambiental. Por otro lado los usuarios expertos pueden hacer uso de éstos en sus investigaciones.

Un indicador ambiental se representa por un valor que refleja cuantitativamente, a través de una métrica, el estado de un fenómeno ecológico dado, el comportamiento de las variables ambientales y el desempeño de las políticas públicas que se aplican. Sin embargo, muchas veces las realidades ambientales son, de manera natural, la combinación o interrelación de varios indicadores, lo cual corresponde más a la definición de un índice, muchas veces llamados indicadores agregados.

Las mediciones expresadas en el diseño de indicadores e índices ambientales se presentan como una alternativa relevante para mejorar el entendimiento del comportamiento de las variables ambientales y su

influencia en aspectos clave del bienestar del ser humano. Sin embargo, las mediciones, comúnmente expresadas en rangos entre 0 y 1, son a veces difíciles de interpretar, ya que para muchos usuarios el paso de un número a un concepto ambiental, resulta abstracto.

Entre las características relevantes que deben tener los indicadores para ser utilizables, se pueden citar las siguientes: depurar los datos para aumentar su relevancia; expresar tendencias a través de las relaciones entre indicadores; representarse de forma sintética, fácil de comunicar e interpretar para ayudar a los tomadores de decisión y a los administradores ambientales; ser relevantes al usuario al cual están dirigidos, así como científicamente justificables y medibles.

El desarrollo de indicadores está estrechamente asociado con el nivel de educación de las regiones en el mundo; por lo tanto, a mayor nivel educativo, mayor cultura ambiental. Los países europeos, y más específicamente los países escandinavos, son los que marcan la pauta en acciones en pro de la salud ambiental para un desarrollo sustentable y en especial la puesta en marcha del concepto de economía verde y su versión de indicadores llamados “verdes”.

A pesar de que existe un sistema de indicadores a nivel nacional desarrollado por la SEMARNAT, la actualización y la confiabilidad de los datos son dos de los retos más importantes. El modelo utilizado por dicha institución para el desarrollo de indicadores es el PER, lo cual es equiparable con aquellos desarrollados a nivel internacional. Sin embargo, este modelo parece insuficiente con respecto a las tendencias actuales relacionadas con la Economía Verde, donde el desarrollo de índices es imperativo. Este punto se presenta como área de oportunidad a nivel de las regiones interesadas en contribuir al desarrollo de índices.

Por último, son pocos los estados en el país que han construido sus IA. Esto se debe en gran medida a las siguientes razones: la mayoría de los estados asocian esta tarea a la SEMARNAT; los altos costos para desarrollar y actualizar los indicadores; en pocas ocasiones se usan para la definición de políticas públicas; el desarrollo de indicadores en una región depende mucho del interés de los gobernantes y por tanto, son

muchas veces sexenales; la educación y la cultura ambiental es muy diversa o casi inexistente en diferentes regiones, por lo que se ejerce poca presión social para motivar su desarrollo.

Literatura citada

- AGRA Earth and Environmental. (1994). *An Approach Towards Environmental Indicators for Mexico*. Ottawa. AGRA.
- Bautista, O. S. (2009). *Desarrollo de una metodología para la creación de indicadores del Proaire León 2008-2012*. Memoria del Proyecto de Ciencias Ambientales, Julio 2009-Febrero 2010. Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Ebert, U., Welsch H. (2004). *Meaningful environmental indices: a social choice approach*. *Journal of Environmental Economics and Management*. 47. 2, 270-283.
- Environmental Indicator Report (EIR) (2012)*. *Ecosystem Resilience and Resource Efficiency in a Green Economy in Europe*. European Environment Agency.
- European Green City Index (2010)*. *European Green City Index. Assessing the environmental impact of Europe's cities*. Project conducted by the Economist Intelligence Unit, sponsored by Siemens.
- Hammond, A., Adriaanse A., Rodenburg E., Bryant D., Woodward R. (1995). *Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development*. World Resource Institute. 57 pp.
- Heycox, J. (1999). *Integrating data for sustainable development: introducing the distribution of resources framework*. In *Novartis Foundation Symposium 220-Environmental Statistics: Analysing Data for Environmental Policy*. John Wiley & Sons, Ltd. 191-212 pp.

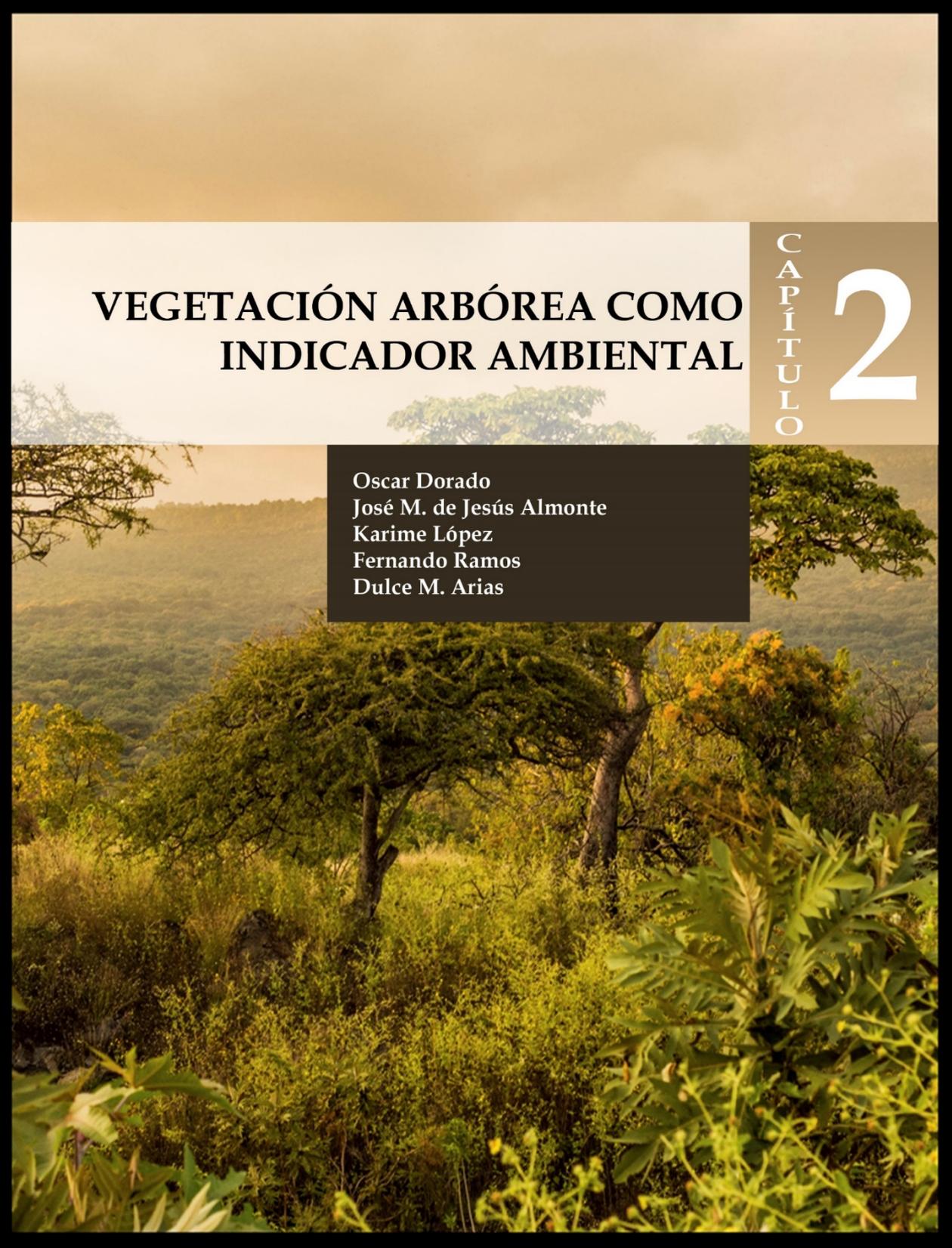
- Hoogeveen, Y., Asquith, M., Jarosinska, D., Henrichs, T. (2013). Environmental Indicator Report 2013. Natural Resources and Human Well-Being in a Green Economy. European Environment Agency. 134-148 pp.
- Indicadores Ambientales Aguascalientes (2009). Sistema de Indicadores Ambientales del Estado de Aguascalientes. Gobierno del Estado de Aguascalientes. Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes. México.
- Indicadores Ambientales Hidalgo (2003). Indicadores Ambientales del Estado de Hidalgo. Consejo Estatal de Ecología del Estado de Hidalgo.
- INEGI-SEMARNAT (2000). Indicadores de Desarrollo Sustentable en México. México.
- OCDE (2004). Key Environmental Indicators. OCDE Environment Directorate. Paris, France. 36 pp.
- OCDE (2008). Organization for Economic Cooperation and Development, 2008. Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and User Guide. Paris. 153 pp.
- Pearce, D. W. (1989). Blueprint for a Green Economy. London: Earthscan Publications. 193 pp.
- POINT (2011). A synthesis of the findings of the POINT Project. No 15. POINT Policy use and influence of indicators-Current use and emerging needs for indicators in policy. The Bayswater Institute. 12 pp.
- Ralston, N. V. C. (2011). Environmental Indicators with a Global View. Journal of Environmental Indicators. 6, 41-44.
- SEMARNAT (1998). Avances en el Desarrollo de Indicadores para la Evaluación Ambiental en México 1997. México. 90 pp.
- SEMARNAT (2000). Indicadores para la Evaluación del desempeño Ambiental. México.
- Sherbinin, A., Reuben, A., Levy, M. A., Johnson, L. (2013). Indicators in practice: how environmental indicators are being used in policy and management contexts. Center for International Earth

Science Information Network-Yale, Centre for environment Law & Policy. 184 pp.

SIAEM (2014). 1^{er} Reporte del Proyecto “Sistema de Indicadores Ambientales para el Desarrollo Sustentable en el Estado de Morelos”. FOMIX CONACyT-Gobierno del Estado de Morelos (no. 189949)-Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

VEGETACIÓN ARBÓREA COMO INDICADOR AMBIENTAL

Oscar Dorado
José M. de Jesús Almonte
Karime López
Fernando Ramos
Dulce M. Arias



VEGETACIÓN ARBÓREA COMO INDICADOR AMBIENTAL

Resumen

El presente capítulo incluye un análisis general de IA de biodiversidad, especialmente en lo relacionado a plantas y particularmente árboles. Asimismo, se presenta un estudio de caso, tomando en cuenta datos de vegetación (superficie de cobertura presente), de la riqueza y cualidad arbórea (tipo de especies). Esta metodología se ha denominado: Análisis de Riqueza, Importancia y Cobertura Arbórea (ARICA). El propósito de esta iniciativa es proveer evidencia para considerar a esta metodología como una herramienta útil para su uso como IA de biodiversidad. Se presenta un estudio de caso realizado en el estado de Morelos, en el que se plantea al municipio como unidad básica de estudio. Los árboles representan una alternativa para evaluar las condiciones del ambiente debido a: 1) la relativa facilidad para determinar su identidad taxonómica; 2) su presencia en la naturaleza por un periodo considerable (mantienen cierta certidumbre de poder ser encontrados y reevaluados *a posteriori*); 3) la diferencia evidente en la diversidad (mayor o menor) de especies, representando una diversidad importante de análisis cuando se comparan dos o más sitios; y 4) su presencia a lo largo de todo el año para ser estudiados para uno o más indicadores de la misma especie arbórea. El estudio contempló, además, el porcentaje de cobertura (vegetación conservada, semiconservada y área deforestada). En ese sentido, un municipio con mayor "calidad ambiental" o con un Índice de Riqueza, Importancia y Cobertura Arbórea (IRICA) mayor, sería aquel que presenta: a) un porcentaje elevado de superficie con vegetación, b) un número mayor de especies arbóreas presentes, y c) un mayor valor de importancia de las especies. Resulta pertinente mencionar que los resultados obtenidos concuerdan sustancialmente con lo esperado. Por ejemplo, varios de los municipios incluidos en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla

presentan los IRICA más altos; en contraste, los IRICA más bajos se presentaron en municipios de la región sureste, ampliamente conocidos como áreas de relevancia agrícola.

Introducción

El propósito fundamental del uso de IA está enfocado en la producción de información básica para contar con un diagnóstico de un sistema ambiental particular con cierto nivel de alteración, normalmente con una secuencia cronológica implícita; es decir, en esencia, éstos son una respuesta a algún cambio artificial en la naturaleza y, por ende, ocasionado por el ser humano (Winograd, 1995). Hablando específicamente de los IA relacionados con la biodiversidad, éstos en principio pueden ser tan numerosos como la propia diversidad del planeta. Por lo tanto, cualquier grupo biológico tiene el potencial de fungir como un referente de la “calidad” o “pobreza” del entorno ambiental de un sitio determinado. Es decir, un IA de biodiversidad puede estar representado por especies o grupos taxonómicos de alto nivel, con parámetros tales como densidad, presencia o ausencia, o índice de reclutamiento, que se usan como medidas aproximadas de condiciones del ecosistema (Hilty y Merenlender, 2000). No obstante, es indudable que no todas las regiones del planeta presentan las mismas características biológicas o físicas; por lo tanto, los IA de biodiversidad deben definirse caso por caso; existen diferentes aplicaciones, normalmente dirigidas a los tomadores de decisiones, caracterizados principalmente por la necesidad de priorizar acciones eficientes para reducir al máximo la degradación ambiental, debido a una premisa fundamental: nunca existirá suficiente presupuesto y poder de acción como para resolver la crisis ambiental global. Además, los IA, idealmente deberían contribuir a entender la razón de la alteración a través del uso de valores científicos y que éstos sean medibles y testificables a través del tiempo.

En este sentido y tomando en cuenta que –como dijo Alexander von Humboldt– “México es un microcosmos del planeta” (Takhtajan, 1997), es necesario considerar que existen numerosos tipos de vegetación y, por lo tanto, una gran diversidad vegetal. Como es ampliamente conocido, México es uno de los países más ricos desde el punto de vista biológico, particularmente en lo referentes a plantas. Se calcula que la flora fanerogámica de México está constituida por aproximadamente 22,000 especies (Rzedowski, 1991; Villaseñor, 2003); aún más, existen estimaciones que indican que esta cifra podría estar entre los 23,000 y los 30,000 (Toledo, 1994). Con base en lo anterior, México está ubicado entre el cuarto y quinto lugar a nivel mundial (Suárez-Mota y Villaseñor, 2011), solamente superado por Brasil, Colombia, China y Sudáfrica. En este sentido es importante considerar que la vegetación representa un potencial importante para ser utilizados como IA, pero debe tomarse en cuenta la diversidad de formas, no sólo para potenciar su uso, sino para evitar generalizaciones que puedan obstaculizar su empleo adecuado.

En años recientes la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) creó el Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA) con el propósito de ofrecer, a través de distintos conjuntos de indicadores, una panorámica general acerca de la situación actual del entorno ambiental del país. Esta iniciativa está estructurada para determinar las presiones interactuantes, así como sus posibles respuestas institucionales encaminadas a su conservación, recuperación y uso sustentable. A raíz de lo anterior, en diversos estados se han instrumentado agencias similares. Este capítulo incluye una propuesta para el uso de los árboles del estado de Morelos, como IA para determinar indicadores tanto de presión, de estado y de respuesta, con base en datos de vegetación (superficie de cobertura presente), de la riqueza florística y calidad arbórea (tipo de especies). Esta metodología se ha denominado: ARICA. El propósito de esta iniciativa es proveer evidencia para considerar a estos procedimientos

como una herramienta útil para su uso como IA de biodiversidad, básicamente para cualquier región de México.

Principales causas de deforestación en Morelos

La situación geográfica y política del estado de Morelos presenta diversas peculiaridades que lo sitúan en una condición especial. En primer lugar, la capital de la entidad está ubicada a 75 km de la ciudad de México, una de las más pobladas del mundo. Dicha situación geográfica le confiere a Morelos ciertas ventajas y desventajas. Por un lado, la población morelense se ha incrementado sustancialmente en las últimas décadas, particularmente a raíz de los fatídicos sismos de 1985, que originaron una constante migración masiva hacia la entidad, desde la ciudad capital del país. Esta situación provocó un sustancial aumento en la mancha urbana, especialmente con fines de construcción de nuevas zonas habitacionales; por lo tanto, la deforestación tuvo mucho auge, especialmente en la región centro de la entidad y en los alrededores de Cuernavaca. En la parte norte de Morelos, particularmente en la zona norte de Cuernavaca, la construcción de nuevas zonas habitacionales también está presente pero éstas son principalmente para fines de descanso y no representan grandes extensiones de terreno por unidad; no obstante, éstas se encuentran dispersas entremezcladas con manchones de vegetación.

La frontera agrícola y pecuaria también se ha extendido en Morelos. Esto ha sido estimulado por diferentes causas, sobresaliendo la proliferación de apoyos –de carácter paternalista– hacia comunidades rurales. Estos apoyos han estimulado la deforestación de numerosas áreas a lo largo y ancho de la entidad, incluyendo áreas naturales protegidas como Sierra Montenegro, El Texcal, Corredor Biológico Chichinautzin y, en los últimos años, hasta la Sierra de Huautla, región que se había caracterizado por sus bajos niveles de deforestación, especialmente a partir de mediados de la década de 1990.

Con base a lo anterior, es evidente que en las últimas décadas ha existido una desmedida pérdida de la cubierta vegetal en el estado de Morelos. En lo que respecta la Selva Baja Caducifolia (SBC), la cual originalmente ocupaba alrededor de 80% de la superficie total de la entidad (particularmente en la región centro y sur), los datos son verdaderamente preocupantes. Por ejemplo, en el estado de Morelos, Trejo y Dirzo (2000) reportan que la SBC de Morelos se ha reducido en 60%, hoy quedan áreas con vegetación de alrededor de 19%; ellos calculan un índice de deforestación de 1.4% anual (para el periodo 1973-1989) dato que pudo cambiar sustancialmente en años recientes.

Un factor adicional de deterioro, que no necesariamente se refleja un la disminución *per se* (o de manera directa) de la cubierta vegetal lo representa el ganado. El problema fundamental con este elemento es que éste no tiene un efecto visual tan drástico como la deforestación (por tala, por ejemplo), pero si afecta las comunidades vegetales (Heady, 1975; Sanderson, 1989) debido a que: 1) compactan y cambian las condiciones físicas y químicas del pH del suelo, 2) pisotean y se alimentan de las plántulas, y 3) ramonean de los arbustos y árboles, afectando principalmente al sotobosque. No obstante, es importante mencionar que el efecto del ganado no siempre tiene el mismo impacto en las comunidades, ya que en algunos casos éste se ha usado en programas de restauración ecológica (Pyälä, 2003; Pyke y Marty, 2005).

La parte centro y sur del estado de Morelos está cubierta casi en su totalidad por SBC (Miranda y Hernández-X, 1963) o Bosque Tropical Caducifolio (Rzedowski, 1978); este tipo de vegetación presenta una marcada estacionalidad climática, caracterizada por una época de lluvias (junio-septiembre), en la cual la vegetación luce exuberantemente verde; paisaje que contrasta con la época de sequía (octubre-mayo), cuando la mayor parte de las especies vegetales se desprenden de sus hojas (Arias *et al.*, 2002; Dorado *et al.*, 2005). Adicionalmente, los árboles de la SBC normalmente no sobrepasan los 10 o 12 m de altura, y éstos en su mayoría no presentan características adecuadas para la explotación maderable. En la parte norte del estado

de Morelos se presenta el bosque templado (BT), el cual se caracteriza por la presencia de árboles que llegan a tener alturas hasta de 35 m, los cuales mantienen sus hojas durante todo el año; es decir, los árboles no tiran sus hojas en una época determinada; el origen de las especies vegetales no es tropical, sino templado. Las bajas temperaturas, debido a la presencia de altitudes de hasta 3,500 msnm, facilitan la presencia de especies como: *Pinus*, *Quercus*, *Abies*, y *Arbutus*, entre otros.

Linajes utilizados como indicadores en el monitoreo de ecosistemas

El propósito del uso de indicadores biológicos para monitorear la salud de los ecosistemas desde el punto de vista químico, físico o biológico permite determinar el efecto de ciertos impactos que el ser humano ha ejercido sobre los ambientes naturales (Hughes *et al.*, 1992). Éstos han sido ampliamente utilizados para fauna (Hilty y Merenlender, 2000). Lo que resulta importante mencionar es que existe polémica con respecto a qué tipo de especies seleccionar como indicadores. Algunos consideran que las que se deben utilizar son las especies clave (Simberloff, 1998). No obstante, hay que tomar en cuenta que esto pudiera originar complicaciones ya que muchas de las especies clave algunas veces presentan una distribución restringida y, por lo tanto, son poco útiles cuando se requiere establecer comparaciones entre diferentes regiones que presentan diferente composición florística.

Algunas características de las especies con potencial para ser usadas como IA, según Hilty y Merenlender (2000) son: 1) estatus taxonómico claro*; 2) historia natural conocida*; 3) porcentaje de reproducción alto*; 4) cuerpo con tamaño pequeño; 5) nivel trófico bajo o medio; 6) fluctuaciones poblacionales bajas*; 7) fácil de encontrar*; 8) especialista en hábitat y alimentación; 9) especies en peligro*; y 10) con importancia económica*. Es importante mencionar que varios de estos atributos están dirigidos hacia especies de animales pero varios de ellas pueden ser considerados para plantas (los marcados con *). Quizás faltaría incluir, además, que el indicador se presente en diferentes tipos

de comunidades y que esté presente en el área durante todo el período anual (o al menos la mayor parte de él) para poder ser evaluado en diferentes momentos.

Características de la diversidad arbórea como indicador ambiental de biodiversidad

Como ya se mencionó, en este documento se propone el uso de información relacionada con las especies arbóreas de Morelos como IA, a través de una correlación entre la riqueza de especies, la calidad de éstas (tipo: de áreas conservadas o de lugares con cierto niveles de perturbación), así como los niveles de deforestación/conservación. Todo esto se analiza a nivel de municipios del estado de Morelos. Existen diferentes recomendaciones acerca de los IA para utilizarlos de manera eficiente, las cuales han sido tratadas en diferentes documentos (Aguirre, 2002) y es importante entender que cualquier propuesta o categorización siempre tendrá cierto nivel de subjetividad (Winograd, 1995). A continuación se plantean seis de los atributos más importantes que presentan los árboles para este propósito.

- 1.- Relevancia a escala local, regional y nacional (incluso internacionales). Es ampliamente conocido que México representa un importante mosaico de tipos de vegetación, los cuales se caracterizan por diferentes elementos, entre los que sobresale el estrato arbóreo. Numerosas especies de árboles son endémicas de algunas de estas regiones biogeográficas mexicanas. Por lo tanto, éstas representan potenciales IA para ser usados dentro de dichas zonas, incluso entre las mismas, especialmente cuando existen géneros que se presentan en dos o más zonas. Asimismo, un IA debería funcionar para ser evaluado periódicamente, y de esta forma determinar la tendencia del entorno ambiental estudiado; esto también debe ir asociado a estudios de cobertura vegetal para determinar

también las posibles secuencias de la transformación del entorno vegetal.

- 2.- Facilidad para definir sin ambigüedades. Los árboles, al ser individuos que están presentes durante todo el año, constituyen unidades concretas que pueden ser evaluadas, las cuales no dependen –en términos generales– de cambios sustanciales ontogenéticos. Adicionalmente dichos individuos pertenecen a una especie que puede ser identificada con un importante nivel de certidumbre, por lo tanto su valor como indicador es versátil y fácil de determinar.
- 3.- Número de réplicas desde el punto de vista estadístico relativamente accesible. El número de individuos de muchas especies arbóreas es relevante básicamente en cualquier tipo de vegetación, tanto en regiones templadas como tropicales. Obviamente en algunos casos, depende del tipo de análisis requeridos, por lo que es preferible utilizar las especies que sean dominantes en el ecosistema; pero esta opción no se vislumbra como una limitante.
- 4.- Elementos susceptibles de ser fácilmente aceptados para su uso regional o internacional. Los árboles son componentes del ecosistema que, excepto por algunas regiones (desérticas o semidesérticas, por ejemplo), normalmente se encuentran presentes en cualquier tipo de vegetación terrestre. Por lo tanto, resulta lógico pensar que su uso como IA es altamente probable. Esto sin tomar en cuenta que muchas especies arbóreas de dos o más países de una región determinada del planeta se comparten.
- 5.- Capacidad para proporcionar información acerca de las condiciones particulares de un ambiente determinado para implementar políticas eficaces para eliminar o disminuir agentes que ejerzan presión negativa sobre el ambiente, preferentemente con un enfoque cronológico. Debido a la longevidad de muchas de las especies arbóreas, éstas representan herramientas fundamentales para funcionar como indicadores a corto,

mediano y largo plazo y puede incluso aportar diferentes elementos de evaluación en una misma especie arbórea, a través del uso de diferentes órganos para ser utilizados en diversos fines.

- 6.- Funcionar como una estrategia de divulgación de la relevancia de los IA, en conjunto. Es indudable que los árboles siempre han atraído el interés de la sociedad, por muchas razones: a) alimenticias, b) estéticas, c) paisajísticas, y d) climatológicas (Dorado *et al.*, 2012). Por lo tanto, IA como los árboles no sólo representan una alternativa para promocionar la importancia de éstos (árboles) sino en general para todos los IA disponibles en un sistema determinado y sistematizado. Su aplicación para dar a conocer la importancia de los monitoreos ambientales a los siguientes sectores de la población: a) público en general (no especializado), b) expertos y especialmente a c) tomadores de decisiones (incluyendo la clase política).

Con relación a la metodología ampliamente conocida como “presión-situación (estado)-respuesta” (Friend y Rapport, 1979; OCDE, 1993) y utilizada por la SEMARNAT, diversas características de los árboles pueden fácilmente adaptarse a dicha metodología de manera eficaz, informativa y para estudios de seguimiento a corto, mediano y largo plazo. Por ejemplo, los árboles y en general la vegetación pueden ser indicadores de **presión**, ya que en muchos casos la deforestación, vista a través de la pérdida de árboles, representa un claro y evidente indicador de deterioro ambiental. Es decir, los árboles a menudo son la primera llamada de atención cuando un entono ambiental está en proceso de cambio de uso de suelo, por mencionar un ejemplo. Frecuentemente es relativamente fácil determinar cuál es el factor que origina la deforestación. En lo referente a **indicadores de estado**, la vegetación, junto con los árboles, representa una alternativa esencial para realizar un diagnóstico acerca de las comunidades vegetales y, por ende, del entorno general de un sitio determinado. Dichos datos son

también fundamentales para determinar los **Indicadores de respuesta**; es decir, los escenarios posibles en prospectiva. En este contexto, las diferentes características de los árboles posibilitan a este indicador como una opción para diseñar estrategias y acciones que incluyan las posibles respuestas (preferentemente de solución) de la sociedad y especialmente de los tomadores de decisiones. El propósito fundamental es la instrumentación de medidas preventivas, correctoras o compensatorias hacia el ambiente.

Newton y Kapos (2002) realizan un análisis para establecer indicadores de biodiversidad a través del uso de inventarios forestales nacionales y proveen una lista de indicadores de la biodiversidad. Éstos fueron elaborados en el marco de los procesos internacionales sobre criterios indicadores, por organizaciones internacionales y por el Convenio Sobre la Diversidad Biológica. Mediante una comparación entre dicha lista y los atributos (análogos) en la metodología presentada en este documento (vegetación y árboles) se pueden fácilmente detectar cinco de las ocho mencionadas: 1) superficie forestal por tipo y estadio de sucesión en relación con la superficie terrestre; 2) grado de fragmentación de los tipos de bosque; 3) tasas de transformación de la cubierta forestal (por tipo) a otros usos; 4) número de especies dependientes del bosque; y 5) estado de conservación de las especies dependientes del bosque.

Como parte de un estudio integral de IA del estado de Morelos, a continuación se incluye una breve descripción de un estudio de caso realizado para este estado relacionado con la metodología ARICA para determinar las características ambientales particulares de los 33 municipios de la entidad. En esta propuesta (respecto a los árboles) se incluye: 1) su diversidad de especies, 2) el tipo de especies (características de sitios conservados o alterados), y 3) el porcentaje de cubierta vegetal –combinados– que originan un índice de “calidad” ambiental, relacionado con biodiversidad (especialmente vegetal).

Indicadores Ambientales de Biodiversidad: estudio de caso, árboles y cubierta vegetal del estado de Morelos

En México los estudios sobre IA que utilizan la biodiversidad como principal factor son limitados. Hasta hace relativamente pocos años, al hablar de IA sólo se hacía referencia hacia factores abióticos: agua, aire, suelo. Sin embargo, en últimas fechas se ha dado una mayor importancia hacia al conocimiento del estado de la biodiversidad, dando como resultado que sea propuesto como un nuevo indicador ambiental. Por ejemplo, el estado de Morelos es uno de los más pequeños de la república mexicana, sin embargo, en cuestiones de biodiversidad, es uno de los primeros que publicó –con todo y sus limitaciones particulares– una estrategia y estudio de estado sobre biodiversidad (Contreras-MacBeath *et al.*, 2004). En este sentido, el conocimiento que se tiene sobre biodiversidad (con sus diferentes componentes) es un primer paso para determinar metodología que pueden ser utilizadas como IA. Particularmente, en el caso de la vegetación arbórea nativa de Morelos, el conocimiento que se tiene es relativamente extenso; esto es resultado de la información obtenida en los últimos 25 años, principalmente por los autores de este capítulo. Por ejemplo, se han generado varios productos importantes en los últimos años, especialmente relacionados con el conocimiento del trópico seco de Morelos, lo cual ha originado el programa Flora Ilustrada del Estado de Morelos (Dorado *et al.*, 2014; Dorado-Ruíz *et al.*, 2014).

En este contexto, es importante mencionar que en Morelos ya existen avances importantes en el tema de IA de biodiversidad, en lo que a plantas se refiere. Por ejemplo, en años anteriores se realizó un estudio utilizando el grupo de las leguminosas como indicadores de conservación y perturbación en la SBC de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla (REBIOSH). En dicho estudio, se hicieron análisis de los componentes florísticos en cinco parcelas que representan diferentes estados sucesionales (diferente tiempo de uso y abandono de la parcela): 1) de 0 a 4 años de abandono, 2) de 5 a 8 años, 3) de 9 a 16 años,

4) de 17 a 32 años, y 5) de vegetación nativa. Como resultado, se encontraron diferentes especies de leguminosas –o combinación de ellas– que son específicas de los diferentes estados sucesionales. Por lo tanto, las leguminosas en sus tres estratos (árboles, arbustos y hierbas) representan un importante indicador para determinar diferentes niveles de conservación/perturbación en el trópico seco.

Un segundo estudio, el cual se describe parcialmente en este documento, está relacionado con la propuesta de la diversidad arbórea y el porcentaje de cubierta vegetal con potencial para ser utilizados como indicadores de biodiversidad en Morelos, presentes en cada municipio de la entidad. El estudio contempló la medición de tres factores como son: riqueza de árboles, valor de las especies, y porcentaje de cobertura (vegetación conservada, semiconservada y área deforestada). En ese sentido, un municipio con mayor “calidad ambiental”, desde el punto de vista de biodiversidad, sería aquel que presenta: a) un porcentaje alto de superficie con vegetación, b) un número mayor de especies arbóreas presentes, y c) mayor valor de importancia de las especies (VIE), donde importancia implica que son característicos de lugares de vegetación primaria. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio de caso fue proponer a la vegetación arbórea nativa, conjuntamente con la cobertura vegetal, como un modelo para ser utilizado como indicador ambiental. Lo anterior contribuye a conocer el estado que guarda la biodiversidad de cada municipio, permitiendo crear un mecanismo que priorice acciones de seguimiento para una aplicación eficiente de los recursos económicos encaminados a la protección del ambiente en el estado de Morelos, con la opción de replicarse en otros estados del país. A continuación se hace una breve descripción de este estudio, el cual fue basado en información generada en las últimas décadas por algunos de los participantes de este estudio, apoyado con intensas y periódicas colectas de campo para realizar un diagnóstico de la vegetación arbórea nativa de cada uno de los 33 municipios de la entidad.

Número de especies de árboles por municipio

Los árboles, como componentes principales de tipos de vegetación (SBC y el BT: los dos principales del estado de Morelos), representan opciones importantes para ser utilizados como IA. Por lo tanto, conocer el número de especies de árboles nativos presentes en un área específica (municipios, por ejemplo) es un elemento básico para determinar el grado de conservación/perturbación que guardan los municipios de Morelos. No obstante, los números por si solos no deben considerarse como informativos sin tomar en cuenta otros considerandos. Para este estudio se utilizó un total de 168 especies de árboles nativos, distribuidos en 48 familias botánicas. Los cinco municipios con una mayor riqueza de especies fueron: Tlaquiltenango, con 99 especies; Tepalcingo, con 85; Puente de Ixtla, con 72; Tepoztlán, con 72 y Cuernavaca, con 58; los primeros tres son municipios de la parte sur del estado, cuya vegetación predominante en la zona es la SBC. Es decir, el mayor número de especies arbóreas presentes en un municipio, depende del su tipo (o los tipos) de vegetación; la SBC normalmente presenta una mayor riqueza de especies en comparación con el BT. En esencia, un municipio podrá subir o bajar su calidad ambiental dependiendo del tipo de vegetación (o del porcentaje de superficie de éste) dentro de su polígono. Adicionalmente, Tepoztlán y Cuernavaca son municipios del norte, los cuales presentan, tanto especies arbóreas de BT como de SBC, incluyendo también vegetación de transición entre ambos. Por lo tanto, esto implicaría que la región tropical del sur es más diversa que las SBC del norte, ya que ésta, ni aún con la suma del BT, compite con municipios como Tlaquiltenango o Tepalcingo. Otra hipótesis podría ser que estos últimos son de los municipios con mayor superficie territorial y por eso su elevado número de especies. Una tercera hipótesis –no necesariamente excluyente– sería que los municipios del sur (que incluyen parte de la REBIOSH), han sido más estudiados desde el punto de vista florístico. Por si esto fuera poco,

existe una cuarta explicación: que Tepoztlán, y en general ciertos municipios de norte están más alterados que los del sur (Figura 2.1).

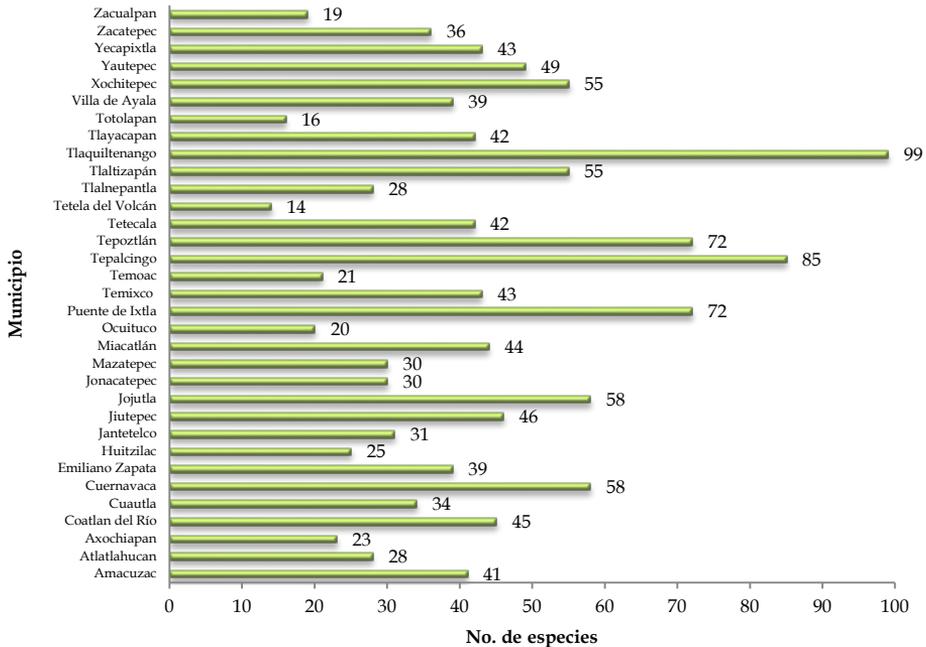


Figura 2.1. En la gráfica se observan los 33 municipios del estado de Morelos, y el número de especies de árboles que se registraron en cada uno de ellos.

Valor de las especies arbóreas por municipio

Como se mencionó anteriormente, Morelos tiene dos tipos de vegetación principales: la SBC o el BT. En ambos existen especies particulares de árboles que ayudan a determinar el grado de conservación que guarda un área en específico. Los BT, por ejemplo, normalmente presentan una menor riqueza en comparación con la SBC. En los primeros, en lo general sus componentes arbóreos característicos de su vegetación conservada son: diferentes especies del género

Quercus de la familia Fagaceae (encinos), *Arbutus* de la familia Ericaceae (madroños), *Pinus* (pinos) y *Abies* de la familia Pinaceae. Con base en lo anterior se diseñó una metodología para dar un valor a cada una de las especies estudiadas, con el apoyo de diversos especialistas en temas de florística de Morelos. El valor designado a cada una de las especies arbóreas reportadas en el presente estudio varió de 3 a 1; con tres puntos se incluyeron las especies características de vegetación nativa, por ejemplo: *Pinus montezumae* (de BT) o *Conzattia multiflora* (de SBC). Se asignaron dos puntos a las especies arbóreas que se encuentran comúnmente en vegetación primaria, pero también en vegetación perturbada, por ejemplo: *Alnus jorullensis* (de BT) o *Cascabela ovata* (de SBC). Finalmente, se asignó un punto a las especies que son características de vegetación secundaria, y que raramente se encuentran en vegetación primaria, por ejemplo: *Montanoa speciosa* (de BT) o *Leucaena esculenta* (de SBC). Con base en estos datos, se elaboraron listas de especies de árboles por municipio (Figura 2.2). Los municipios con un mayor valor de cualidad de sus especies fueron Tlaquiltenango, Tepalcingo y Tepoztlán. Por ejemplo, nótese que Huitzilac, basado en el número de especies arbóreas, se ubica en la posición 26 (Figura 2.1), pero tomando en cuenta solamente el VIE se ubica en la posición 23. Por lo tanto, este índice representa un ajuste más preciso de las características de los árboles de un determinado municipio, con respecto al tipo de especies presentes y su aporte a la calidad del entorno natural. En este sentido, este segundo análisis (valor de importancia de las especies) modifica en algunos casos la posición de cada uno de los municipios; por lo tanto, el indicador "valor de importancia de las especies" ayuda a compensar, por ejemplo, la zona norte del estado cuya vegetación presenta menor riqueza de especies, pero sus componentes arbóreos suelen ser más características de vegetación nativa, proporcionándole un valor mayor a cada uno de ellos.

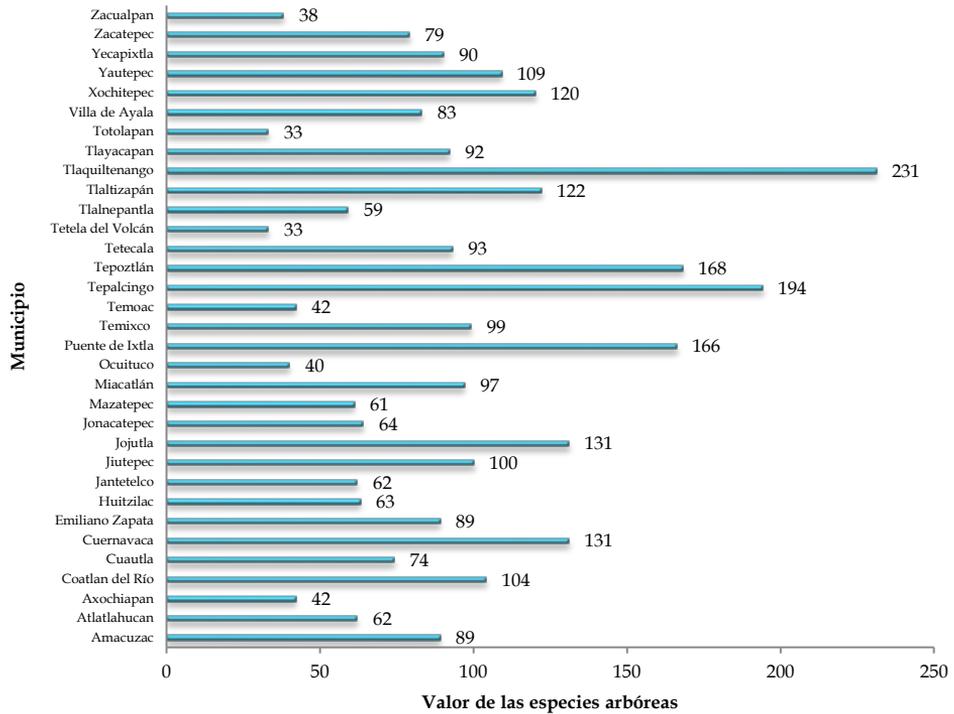


Figura 2.2. Gráfica de los 33 municipios del estado de Morelos, sobre el valor de las especies arbóreas que se registraron en cada uno de ellos.

Cobertura vegetal por municipio

El análisis de la cobertura vegetal se realizó mediante el software *Google Earth Pro 7*, en 2014 (Figura 2.3). Se establecieron tres categorías y se mapearon según el estado de conservación del municipio; éstas son: a) zona conservada, la cual está cubierta en su totalidad por árboles nativos, al menos de manera evidente; es decir, aquella que contiene los elementos estructurales y florísticos que definen el tipo de vegetación nativa (Villers-Ruíz y Trejo-Vázquez, 2000); b) zona semiconservada, la

cual presenta un grado de perturbación evidente, pero con una presencia considerable de superficie arbórea (50-70% aproximadamente); es decir, en donde la cobertura vegetal semiconservada ha perdido su composición original por actividades antropogénicas (fragmentación, extracción de especies, talas, quemas, etcétera) pero en el cual se pudiera identificar el tipo de vegetación original del que proviene (Villers-Ruíz y Trejo-Vázquez, 2000) y; c) las zonas deforestadas, las cuales incluyen áreas agropecuarias y urbanas, con porcentaje mínimos de cobertura vegetal, normalmente menor de 10% y frecuentemente con especies exóticas (no nativas del área).

Con respecto a la cobertura vegetal por municipio (Figura 2.4) se observa el porcentaje de superficie con vegetación nativa (verde), vegetación semiconservada (anaranjado), y áreas deforestadas (urbanas, zonas de cultivo, y pastizales inducidos, entre otros; en azul). Con respecto a vegetación conservada, los municipios que presentan mayor cobertura vegetal municipal fueron: Tlaquiltenango, Tepoztlán, y muy cercanos entre ellos Huitzilac, Tetecala y Villa de Ayala. Mientras que los municipios con una limitada cubierta vegetal nativa son: Axochiapan, Temoac y Zacatepec. Por otro lado, algunos de los municipios que presentan una mayor superficie de vegetación secundaria son: Cuernavaca, Miaatlán y Tlalnepantla. En general, la vegetación semiconservada se encuentra adjunta a vegetación nativa, por lo que las zonas que presentan mayor superficie de vegetación semiconservada son sitios con gran potencial para ser restaurados, a partir de la premisa de, entre más cercano se encuentra un sitio a vegetación nativa mayor será su probabilidad de recuperarse (Dorado *et al.*, 2012).

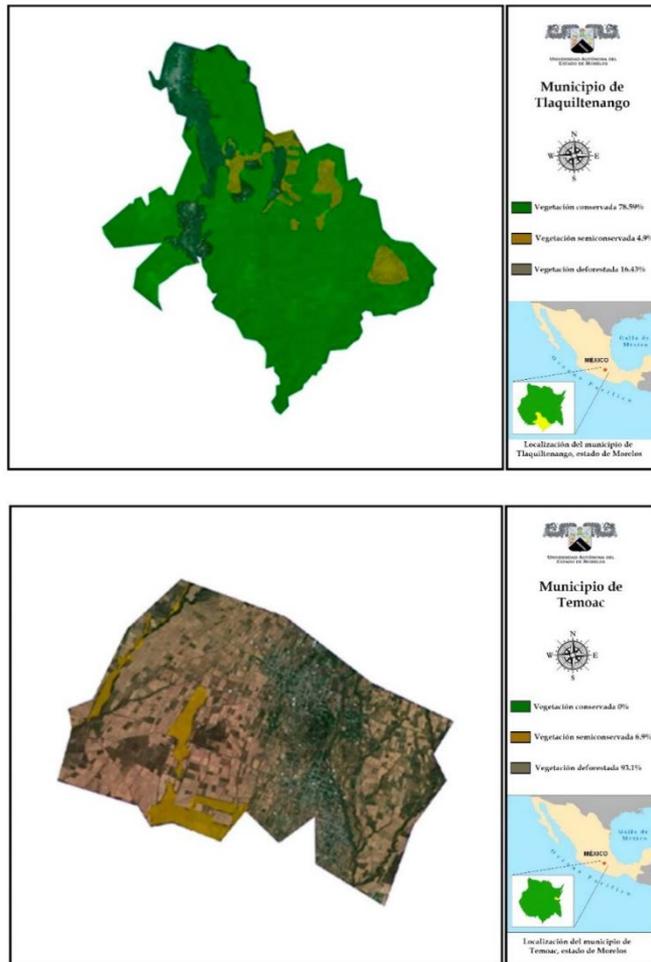


Figura 2.3. Mapa de los dos municipios más contrastantes del estado de Morelos. Arriba se observa el municipio de Tlaquiltenango que presenta mayor cobertura de vegetación conservada. Abajo el municipio de Temoac, con una mayor superficie deforestada.

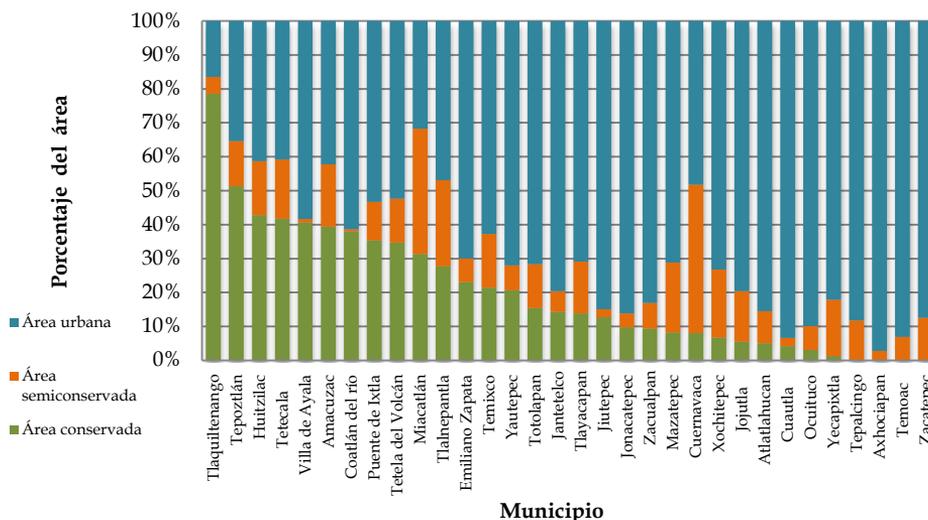


Figura 2.4. Porcentaje de la superficie total de los municipios del estado de Morelos, incluyendo área de vegetación conservada, área de vegetación semiconservada y área urbana.

El presente indicador, puede relacionarse directamente con el grado de impacto que ha sufrido algún municipio en su vegetación nativa. Los municipios que hayan sido menos impactados presentarán una mayor superficie con cobertura vegetal conservada y semiconservada; además, la pérdida de cobertura vegetal se puede evaluar de manera periódica a partir de interpretaciones de fotografía satelital con corroboraciones en campo.

Índice de Riqueza, Importancia y Cobertura Arbórea (IRICA)

Una vez obtenidas las especies arbóreas presentes en cada municipio, se hizo un análisis individual para cada una de ellas; posteriormente, se procedió a evaluar el desempeño de cada municipio mediante un análisis que conjuntó los tres valores obtenidos, por lo cual se creó un

modelo que incluyó los tres factores mencionados, lo cual se realizó para cada uno de los municipios. El modelo propuesto quedó integrado de la siguiente manera:

$$\text{PCM} = (\text{NAM}/\text{NAMm}) + (\text{ACM}/\text{ATM} + \text{AScM}/\text{ATM} \times 0.5) + \text{VSp}$$

Donde:

NAM= Número de Árboles por municipio

NAMm= Número mayor de Árboles en un municipio

ACM= Área Vegetación Conservada del Municipio

ATM= Área total del municipio

AScM= Área con componentes de vegetación secundaria

VSp= Valor de importancia de las especies

Una de las propuestas del presente estudio fue realizar un modelo sencillo y práctico que incluyera los valores de los tres análisis obtenidos de manera independiente, con la finalidad de hacer más equitativa la comparación entre cada uno de los municipios. De acuerdo con el IRICA observado en cada uno, si se dividieran en tres grupos, el resultado sería el siguiente (Figura 2.5, línea verde): 1) municipios conservados (Tlaquiltenango, Tepalcingo, Tepoztlán, Puente de Ixtla, Ayala, Miacatlán, Tetecala, Amacuzac, Coatlán del Río, Huitzilac y Tlaltizapán); 2) municipios semiconservados (Yautepec, Xochitepec, Cuernavaca, Jiutepec, Emiliano Zapata, Tlalnepantla, Tlayacapan, Temixco, Tetela del volcán, Yecapixtla y Jojutla), y 3) municipios deforestados (Zacatepec, Mazatepec, Jantetelco, Jonacatepec, Atlatlahucan, Totolapan, Zacualpan, Cuautla, Ocuituco, Temoac, y Axochiapan).

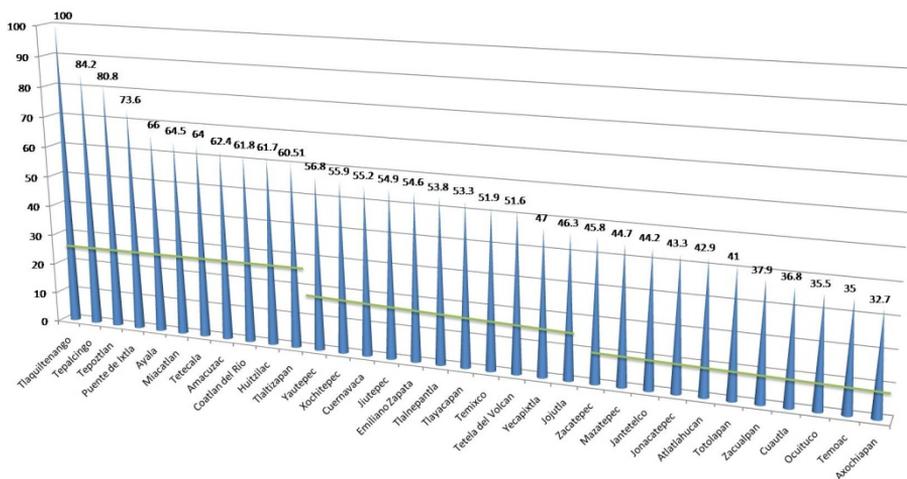


Figura 2.5. Resultado de los análisis aplicados a cada municipio del estado de Morelos, para conocer la "calidad" con respecto a la biodiversidad arbórea que presenta cada uno de ellos, considerando el número de especies arbóreas, valor de las especies, y cobertura conservada y semiconservada.

Consideraciones finales

A lo largo de más de tres décadas de estudios florísticos en el estado de Morelos hemos aprendido varias lecciones; una de las más importantes es: hay de especies a especies en las comunidades vegetales en el estado. Por eso mismo, la experiencia acumulada en los estudios de plantas realizados en Morelos evidencian que hay tres tipos principales de especies arbóreas: los que se presentan en lugares conservados, los que se presentan en lugares alterados, y los que se presentan en lugares intermedios. Parecería algo muy lógico y fácil de determinar, no obstante, el conocimiento de esta clasificación general requiere una experiencia florística y de campo básica. Esta información es un elemento fundamental de la metodología ARICA. Es por esto que en dicha metodología se incluyó el componente "calidad de las especies"

para describir el tipo de especies (de lugares conservados, alterados, o intermedios).

El principio básico de esta metodología está fundamentado en los cambios que se presentan a lo largo de un trayecto cotidiano de exploraciones botánicas en las cuales se observan variantes en la fisiografía del entorno natural. Estas diferencias se van consolidando en la percepción y conocimiento florístico del botánico, en este caso, del estado de Morelos. Es indudable que esta información es relevante para evaluar de manera consistente las diferencias entre dos o más sitios determinados. Fue así como se inició el diseño de la presente metodología ARICA para ser utilizada en la definición de IA. Los resultados del presente estudio de caso indican que los árboles, desde el punto de vista florístico y de su cualidad, son una opción alternativa para evaluar la calidad del ambiente. Los árboles, por ejemplo, presentan ciertas características favorables para ser utilizadas en este sentido, debido a que: 1) normalmente su identidad taxonómica es conocida; 2) los árboles, como individuos, se mantienen presentes en la naturaleza por un tiempo considerable; a diferencia de los animales, los cuales continuamente se mueven, los árboles mantienen una cierta certidumbre de poder ser encontrados (y reevaluados) *a posteriori*; 3) los árboles, dependiendo del sitio de estudio y del tipo de vegetación, pueden presentar una mayor o menor diversidad de especies, por lo tanto, puede representar una diversidad importante de análisis cuando se comparan dos o más sitios; y 4) se presentan a lo largo de todo el año y pueden ser estudiados desde diferente perspectiva, lo cual incrementa el potencial de los mismos para ser utilizados para uno o más indicadores para la misma especie arbórea. No obstante, es importante mencionar que la metodología ARICA parte de dos principales suposiciones: a) que el grupo de trabajo tiene experiencia en florística y que además tiene experiencia para realizar verificaciones de campo (de las imágenes de satélite analizadas) y b) que los municipios estudiados están igualmente explorados. Asimismo, esta metodología

funciona de manera más eficiente cuando se comparan municipios (unidad básica de esta metodología) con tipos de vegetación similares.

Es indudable que los estudios de cobertura vegetal a través de metodologías modernas, tales como las imágenes de satélite, son una herramienta importante para la visualización y eventual análisis de diferentes regiones del planeta, incluso con una secuencia cronológica. No obstante, un elemento que no siempre es incluido en este tipo de estudios son las verificaciones de campo. En el estudio de caso presentado, se tuvo el cuidado de realizar muestreos en diferentes sitios del estado de Morelos para determinar las posibles desviaciones con respecto a lo observado en las imágenes. Estos muestreos de campo, fueron fundamentales para determinar los casos en los que había duda, especialmente con respecto al nivel de conservación del sitio en duda.

La metodología ARICA presenta varias ventajas, incluyendo 1) la posibilidad de usarse básicamente en cualquier tipo de vegetación que presente un estrato arbóreo; 2) la delimitación de la cobertura se puede hacer con relativa facilidad y, por lo tanto, no requiere de tanto tiempo para su elaboración; y 3) los árboles –como indicador de biodiversidad– es un grupo de organismos relativamente bien conocido que se presenta de manera consistente, en términos generales, en las comunidades vegetales durante todo su ciclo de vida; es decir, a diferencia de los animales, los individuos se pueden muestrear en el mismo sitio, durante todas las estaciones del año y por un número importante de años.

La generación de conocimiento nuevo acerca de las diferentes categorías de conservación/perturbación es útil por varias razones. La metodología ARICA provee porcentajes de conservación/deforestación, además de las especies nativas de diferentes municipios, que a su vez pueden y deben ser las seleccionadas para programas de restauración ecológica. Por otro lado, es indudable que la vegetación semiconservada frecuentemente se encuentra adjunta a vegetación nativa; por lo tanto, las zonas o municipios que presentan una mayor superficie de vegetación

semiconservada son sitios con gran potencial para ser restaurados, a partir de la premisa de que, entre más cercano se encuentra un sitio a vegetación nativa mayor será su probabilidad de recuperarse (Dorado *et al.*, 2012). Si los sitios semiconservados se utilizan para ser restaurados (incluso reforestados), la probabilidad de que las especies plantadas sobrevivan (siendo especies nativas) será mayor.

Resulta pertinente mencionar que los resultados obtenidos concuerdan sustancialmente con lo esperado. Varios de los municipios incluidos en la REBIOSH presentan IRICA altos, incluyendo Tlaquiltenango, Tepalcingo y Puente de Ixtla. Por otro lado, municipios de la región sureste, ampliamente conocidos como áreas de relevancia agrícola, tales como: Cuautla, Jonacatepec, Jantetelco y Axochiapan, por ejemplo, presentan IRICA bajos. Se podría pensar que, municipios grandes como los primeros (Tlaquiltenango, Tepalcingo y Puente de Ixtla), presentan los IRICA más elevados debido a su tamaño, es decir, uno esperaría que municipios de tamaños similares presentaran IRICA similares, pero éste no es el caso necesariamente. Por ejemplo, Cuautla, ubicado en la posición 13 (en tamaño) presenta un IRICA de 30, mientras que Tetecala ubicado en la posición 28 (en tamaño), presenta un IRICA de siete.

Para finalizar, es importante comentar que el ARICA no sólo representa una estrategia novedosa para analizar las condiciones ambientales de ciertas áreas naturales, sino que es una herramienta trascendental para la divulgación de los recursos florísticos de regiones particulares (especialmente árboles) a corto, mediano y largo plazo, así como sus principales amenazas.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a Luc Legal, Rafael Torres, y Juan Carlos Juárez por la revisión del presente escrito. Álvaro Flores y Domitila Martínez, además de la revisión del mismo, formaron parte del grupo de especialistas en florística para determinar la categoría de

las especies arbóreas incluidas en el presente estudio. Para la elaboración de algunos materiales suplementarios de este capítulo, así como para en exploraciones botánicas contamos con el apoyo de Gerardo Cuevas, Daniela Gutiérrez y Óscar Dorado Ruíz. En la parte específica del estudio de caso, para el trabajo de campo participaron estudiantes, incluidas Dianey Díaz, Eurídice Tinoco y Quetzalli Domínguez.

Literatura citada

- Aguirre, M. A. (2002). Los sistemas de indicadores ambientales y su papel en la información e integración del medio ambiente. I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. 2, 1231-1252.
- Arias, D.M., Dorado, O., Maldonado, B. (2002). Biodiversidad e importancia de la selva baja caducifolia: la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla. Biodiversitas. CONABIO. 45, 7-12.
- Contreras-MacBeath, T., Jaramillo-Monroy, F., Delgado, B., Concepción, J. (2004). La diversidad biológica en Morelos: estudio del estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). 167 pp.
- Dorado, O., Maldonado, B., Arias, D. M., Sorani, V., Ramírez, R., Leyva, E., Valenzuela, D. (2005). Programa de Conservación y Manejo de la Reserva se la Biósfera sierra de Huautla. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. D.F. 210 pp.
- Dorado, O., Flores-Castorena, A., de Jesús-Almonte, J. M., Arias, D. M., Martínez- Alvarado, D. (2012). *Árboles de Cuernavaca: Nativos y Exóticos, guía para su identificación*. Ediciones Trópico Seco- Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 359 pp.
- Dorado, O., de Jesús-Almonte, J. M., Arias, D.M., López, K., Sánchez, G., Flores- Castorena, Á., Martínez-Alvarado, D. (2012). ¿Reforestación o Restauración Ecológica?: Un Enfoque

- Florístico. Ediciones Trópico Seco-Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 32 pp.
- Dorado, O., de Jesús-Almonte, J. M., Flores-Castorena, Á., Arias, D. M., Martínez-Alvarado, D., Flores, G., Juárez, J. C., López, K. (2014 en prensa). Árboles del Trópico Seco, con especial énfasis en la Sierra de Huautla. Cuernavaca: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Ediciones Trópico Seco-Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 32 pp.
- Dorado-Ruíz, O., Dorado, O., de Jesús-Almonte, J. M., Flores-Castorena, Á., Arias, D. M., Martínez-Alvarado, D., López, K., Pascual, M. (2014, en prensa). Convolvulaceae del Trópico Seco de Morelos. Cuernavaca: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Ediciones Trópico Seco-Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Friend, A., Rapport, D. (1979). Towards a comprehensive framework for environment statistics: a stress-response approach. Ottawa: Statistics Canada. 510 pp.
- Heady, H. P. (1975). Rangeland Management. McGraw-Hill. New York. 460pp.
- Hilty, J. Merenlender, A. (2000). Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation*. 92, 185-197.
- Hughes, R.M., Whittier, T. R., Thiele, S. A., Pollard, J. E., Peck, D. V., Paulsen, S. G., McMullen, D., Lazorchak, J., Larsen, D. P., Kinney, W. L., Kaufmann, P. R., Hedtke, S., Dixit, S. S., Collins, G. B., Baker, J. R. (1992). Lake and stream indicators for the United States Environmental Protection Agency's environmental monitoring and assessment program. *Ecological Indicator*, I. London: Elsevier Applied Science. 305-335 pp.
- Miranda, F., Hernández E. X. (1963). Los Tipos de vegetación de México y su Clasificación. *Boletín de sociedad Botánica de México*. 29, 1-179.

- Newton, A. C., Kapos, V. V. (2002). Indicadores de la biodiversidad en los inventarios forestales nacionales. *Unasylva*. 210. 53, 56-64.
- OCDE (1993). OECD core set of indicators for environmental performance reviews. Environmental Monograph No. 83. París. 37 pp.
- Pyälä, J. (2003). Effects of restoration with cattle grazing on plant species composition and richness of semi-natural Grasslands. *Biodiversity and Conservation*. 12, 2211-2226.
- Pyke, C. R. Marty, J. (2005). Cattle Grazing Mediates Climate Change Impacts on Ephemeral Wetlands. *Conservation Biology*. 19. 5, 1619-1625.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. México: Limusa. 432 pp
- Rzedowski, J. (1991). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana*. 14, 3-21.
- Sanderson, H. R. (1989). Effects of Management Strategies on Other Resources. *Managing Interior Northwest Rangelands: The Oregon Range Evaluation Project*. Portland: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 93-100
- Simberloff, D. (1998). Flagships, umbrellas, and keystones: is single-species management passé in the landscape era. *Biological Conservation*. 83, 247-257.
- Suárez-Mota, M. E., Villaseñor J. L. (2011). Las compuestas endémicas de Oaxaca, México: diversidad y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 88, 55-66.
- Takhtajan, A. (1997). *Diversity and classification of flowering plants*. New York: Columbia University Press. 643 pp.
- Toledo, V. M. (1994). La diversidad biológica de México: nuestros retos para la investigación en los noventas. *Ciencias*. 34, 43-59.
- Trejo I., Dirzo, R. (2000). Deforestation in seasonally dry tropical forest: A national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*. 94, 133-142.

- Villaseñor, J. L. (2003). Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*. 28, 160-167.
- Villers-Ruiz, L., Trejo-Vázquez, I. (2000). El Cambio Climático y la Vegetación en México. México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. México. Instituto Nacional de Ecología-Universidad Nacional Autónoma de México-US Country Studies Program. México. 220 pp.
- Winograd, M. (1995). Indicadores ambientales para Latinoamérica y el Caribe: hacia la sustentabilidad del uso de tierras. Organización de Estados Americanos. Instituto de Recursos Mundiales. San José Costa Rica. 84 pp.



INDICADORES DE BIODIVERSIDAD EN EL ESTADO DE MORELOS: SITUACIÓN ACTUAL

CAPÍTULO

3

José Antonio Guerrero
Rosa Cerros-Tlatilpa
Esmeralda Urzúa
Areli Rizo-Aguilar



INDICADORES DE BIODIVERSIDAD EN EL ESTADO DE MORELOS: SITUACIÓN ACTUAL

Resumen

El término biodiversidad se refiere a la variabilidad de los organismos vivos de cualquier fuente, incluyendo a los diversos ecosistemas en los que las especies habitan e interactúan, así como a la variedad genética que las especies poseen. El estado de Morelos, pese a ser uno de los más pequeños del país, alberga una gran riqueza de especies que incluyen 664 vertebrados y 3,345 plantas vasculares. Este capital natural del estado enfrenta varias amenazas que resultan de las distintas actividades y necesidades de la población, entre las que destacan la pérdida de la cobertura vegetal, la presencia de especies invasoras, el crecimiento de la infraestructura carretera, los incendios forestales, la extracción ilegal de vida silvestre y el cambio climático. Para enfrentar esas amenazas se han implementado diversas estrategias de índole federal y estatal, como son las áreas naturales protegidas, las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre, los ordenamientos ecológicos del territorio y la protección de predios de pagos por servicios ambientales. Además, en el estado se creó la Comisión Estatal de Biodiversidad y se elaboró con la participación de los diferentes sectores de la entidad la Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Morelos.

Introducción

Los términos biodiversidad y diversidad biológica son empleados de manera coloquial para referirse a la variedad de especies de seres vivos que se observan a simple vista. No obstante, en términos técnicos, la definición del concepto Biodiversidad es la propuesta en el marco de la Convención de la Diversidad Biológica (CBD, 1992): la variabilidad de los organismos vivos de cualquier fuente, incluyendo a los diversos

ecosistemas en los que las especies habitan e interactúan, así como a la variedad genética que las especies poseen (CBD, 1992). Recientemente se ha propuesto que el concepto Biodiversidad incluya también a la variedad de plantas domesticadas por el ser humano y sus parientes silvestres (agrobiodiversidad), a la diversidad de grupos funcionales en los ecosistemas (herbívoros, carnívoros, saprófitos, entre otros) y a la diversidad cultural humana (costumbres, lenguas, cosmovisiones). La biodiversidad resulta de procesos y patrones ecológicos y evolutivos irrepetibles (Jeffries, 1997). Por lo mismo, la configuración actual de la diversidad biológica puede explicarse históricamente a través del análisis de los procesos que han dado origen, han mantenido y han alterado la biodiversidad, tales como la diversificación genética y de especies, las extinciones y la dinámica de las comunidades y los ecosistemas (Solis *et al.*, 1998).

Los seres humanos hemos dado valor a la biodiversidad desde tres puntos de vista: 1) el biológico, dado que cada uno de sus componentes constituye un reservorio de información evolutiva irremplazable; 2) el económico, ya que obtenemos bienes esenciales para el desarrollo de nuestra vida diaria; y 3) el cultural, como fuente de inspiración artística, literaria, de creencias y cosmovisiones (Toledo, 1988). Además, la biodiversidad de ecosistemas otorga servicios (ecosistémicos o ambientales) a la sociedad tales como la provisión de materias primas, la regulación del clima y de enfermedades o plagas, la belleza natural, sitios de recreación, entre otros.

En el mundo se han descrito aproximadamente 1.8 millones de especies. México tiene concentrado entre 10 y 12% de esa diversidad mundial con 2,692 peces, 361 anfibios, 804 reptiles, 1,096 aves, 535 mamíferos, 2,702 algas, 7,000 hongos, 25,008 plantas vasculares y 47,853 insectos (CONABIO, 2008). Además, dependiendo del grupo que se trate, entre 9 y 60% de las especies registradas en México son endémicas, es decir, se localizan únicamente en nuestro país (Sarukan, 2009). Debido a esta biodiversidad albergada en el territorio nacional, México es considerado un país megadiverso.

El estado de Morelos ocupa la posición 17 con respecto a otros estados en cuanto a riqueza de especies, aun cuando es el segundo estado con menor superficie territorial del país, con 0.25% del territorio. La diversidad biológica del estado de Morelos es atribuida en gran medida a su posición geográfica entre dos regiones consideradas centros de endemismos: el Eje Neovolcánico y la Cuenca del Balsas (Navarro y Benítez, 1993; Escalante *et al.*, 1993; Flores y Geréz, 1994). Ambas regiones se encuentran en la confluencia de dos grandes zonas biogeográficas, cada una de ellas con su flora y fauna característica: la región Neotropical a la que corresponden las tierras bajas y la región Neártica de las tierras altas y húmedas de una parte del sistema montañoso del Eje Neovolcánico Transversal (Toledo, 1988). Al compartir características de las dos regiones biogeográficas junto con una topografía compleja y su variación altitudinal que le confiere climas desde el frío al cálido, Morelos presenta una diversidad ecológica en los hábitats terrestres y acuáticos, que se traduce en una gran diversidad de especies.

En este capítulo se presenta información actualizada sobre la riqueza de especies de vertebrados y plantas vasculares registradas en el estado de Morelos, lo que constituye parte del capital natural de nuestro estado. Además, se describen los factores que afectan a la biodiversidad, así como las estrategias de conservación desarrolladas en el marco de políticas federales y estatales.

Situación actual de la diversidad de vertebrados

De acuerdo con Contreras y Ríos (2011), en Morelos existen 616 especies de vertebrados, de las cuales, 29 pertenecen al grupo de los peces, 16 a los anfibios, 70 a reptiles, 394 a las aves y 101 son mamíferos (Figura 3.1). En una actualización de la información a partir de la consulta de bibliografía especializada y de bases de datos de biodiversidad nacionales y mundiales, encontramos que el número de vertebrados registrados para Morelos ha aumentado a 664 especies, de las cuales,

123, se encuentran bajo alguna categoría de protección de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (Tabla 3.1).



Figura 3.1. A. *Phrynosoma orbiculare*; B. *Xenospiza baileyi*; C. *Anoura geoffroyi*; D. *Litobates berlandieri*, E. *Romerolagus diazi*; F. *Lampornis clemenciae*.

Tabla 3.1. Total de especies descritas para el estado de Morelos y número de especies bajo alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Grupo	Total de especies	Especies en la NOM-059	Sujetas a protección especial	Amenazadas	En peligro de extinción
Peces	29	2	0	1	1
Anfibios	38	19	14	5	0
Reptiles	93	50	27	21	2
Aves	394	42	12	27	3
Mamíferos	110	11	1	8	2

Situación actual de la diversidad florística

La diversidad florística en el estado ha sido estudiada de forma fragmentada. Existen diversos trabajos que abarcan regiones (Hernández, 1945; Ramírez-Cantú, 1949; Soria, 1985; Bonilla, 1992; Mijangos-Carro, 1993; Cerros-Tlatilpa y Espejo-Serna, 1998; Hernández-Cárdenas *et al.*, 2014), municipios (Bárceñas, 1977; Álvarez, 1979; Flores-Castorena y Martínez-Alvarado, 1990; Galindo y Fernández, 2002; Sotelo-Caro, 2005), reservas naturales (Bonilla-Barbosa y Viana, 1997; Dorado *et al.*, 2005; Pulido-Esparza *et al.*, 2009; Flores-Castorena y Martínez-Alvarado, 2010; García-Lara, 2013), mientras que otros se ocupan de grupos taxonómicos (Dorado, 1983; Martínez-Alvarado, 1985; Flores-Franco, 1990; Ramírez-Rodríguez, 1990; Riba *et al.*, 1996; González-Amado, 1998; Juárez-Delgado, 1998; Ramírez-Guadarrama, 1999; Espejo *et al.*, 2002; Piedra-Malagón *et al.*, 2006; Galván-González, 2009; González-Rocha, 2011; Miguel-Vázquez y Cerros-Tlatilpa, 2013).

El primer estudio de la flora a nivel estatal es el inventario de Vázquez (1974) con 3,000 especies y 164 familias de plantas vasculares. Posteriormente, Bonilla-Barbosa y Villaseñor (2003) publicaron un catálogo basado en la revisión de literatura y de herbario registrando

3,345 especies de plantas vasculares; de estas 3,138 especies son plantas con flores distribuidas en 173 familias y 751 géneros, 2,394 especies son dicotiledóneas y 206 géneros, 744 especies son monocotiledóneas (Tabla 3.2). Del total de especies señaladas en ambos estudios se observan tanto introducidas como nativas. Las especies citadas también refieren a nombres inválidos, sinónimos o especies que han cambiado de nombre. En las listas también se mencionan nombres de los cuales no hay especímenes de herbario y que son producto de identificaciones erróneas o que en su caso provienen de nombres citados en literatura.

Tabla 3.2. Plantas vasculares registradas en el estado de Morelos (Según los datos de Vázquez, Bonilla y Villaseñor, 2003).

Grupo taxonómico	Estado de Morelos	
	Vázquez	Bonilla y Villaseñor
Helechos y grupos afines	8	190
Gimnospermas	10	17
Dicotiledóneas	2525	2394
Monocotiledóneas	457	744
Total	3000	3345

Sin duda las angiospermas son el grupo más diverso en el estado. En el análisis de la flora de Morelos destacan aportaciones recientes como la de Galván-González (2009) que registra 11 familias, 22 géneros y 53 especies de plantas parásitas, de los cuales una familia, dos géneros y ocho especies son nuevos registros para el estado. Otra contribución es la de González-Rocha (2011) con la revisión de la familia Apocynaceae, en este trabajo se reportan dos subfamilias, diez géneros y 14 especies, seis de las cuales son endémicas de México (Endress, 2004; Endress *et al.*, 2007; Juárez-Jaimes *et al.*, 2007). Otro ejemplo es el de Miguel-Velázquez y Cerros-Tlatilpa (2013), en el cual reportan dos subfamilias, seis tribus, siete géneros y 26 especies de la familia Onagraceae, de las cuales nueve son endémicas para el país.

En el estudio de la familia Poaceae, Bonilla-Barbosa y Villaseñor (2003) la ubican en el tercer lugar de diversidad florística en el estado. Los estudios sobre gramíneas en Morelos son escasos y regionales (Sotelo, 1984; Bustos, 2008; Díaz-Pulido, 1998; Díaz-Pulido *et al.*, 2007a, 2007b, 2007c, 2007d, 2007e) y con ciertas incongruencias ya que de las 216 especies listadas (Bonilla y Villaseñor, 2003) 25% son introducidas y el resto hace referencia a taxa nativos, y de estas no se precisa el número de especies endémicas.

En los últimos cinco años se han intensificado las exploraciones botánicas en el estado de Morelos, enmarcadas en estudios florísticos que se llevan a cabo en la entidad, con base en la recolección periódica en diversas localidades del estado y en la revisión de ejemplares de diferentes herbarios consultados. Como resultado se han documentado un total de 32 nuevos registros (Figura 3.2) (Galván-González, 2009; Miguel-Vázquez y Cerros-Tlatilpa, 2013; Hernández-Cárdenas *et al.*, 2014) de plantas con flores y se han encontrado al menos once especies nuevas para la ciencia (Martínez-Correa *et al.*, 2010; Hernández-Cárdenas, 2012; Ramos y Martínez, 2013; González-Rocha, 2014; González-Rocha *et al.*, 2014). Estos resultados son producto de la revisión minuciosa de grupos taxonómicos y de la exploración en áreas de difícil acceso. Aunque estos representan grandes avances para el estudio de la flora de Morelos, el estado sigue siendo una región poco explorada florísticamente, ya que existen muchos refugios de diversidad biológica que no han sido estudiados. Por ello los estudios florísticos regionales y estatales son importantes ya que permiten tener un mejor conocimiento y documentación de la biodiversidad (Espejo-Serna *et al.*, 2004).



Figura 3.2. A. *Boeberoides grandiflora* (Asteraceae); B. *Polystemma guatemalense* (Asclepiadoideae); C. *Thenardia floribunda* (Apocynoideae); D. *Psittacanthus macrantherus* (Loranthaceae); E. *Phoradendron perredactum* (Santalaceae); F. *Limosella acaulis* (Scrophulariaceae).

Amenazas a la biodiversidad

Las principales amenazas a la biodiversidad, son la pérdida de la cobertura vegetal que constituye el hábitat de las especies, impulsada principalmente por el cambio de uso del suelo resultado de la expansión de la frontera agropecuaria y urbana; el crecimiento demográfico, la construcción de infraestructura (por la construcción de carreteras, redes eléctricas y represas), la introducción de especies invasoras, los incendios forestales, la sobreexplotación de los recursos naturales, el aprovechamiento ilegal y, más recientemente, el cambio climático global (McKee *et al.*, 2003).

Como resultado de su crecimiento demográfico y su desarrollo, los ecosistemas de Morelos se han transformado y degradado significativamente. En el 2005, según estimaciones del INEGI, existían cerca de 294,000 hectáreas de vegetación natural (47,071 hectáreas de bosques y 246,929 hectáreas de selva baja) es decir, que sólo 60% del territorio estatal presenta una cobertura vegetal.

Después de la destrucción del hábitat, el impacto de las especies invasoras se considera como la segunda causa más importante de la pérdida de biodiversidad a nivel global (Leung *et al.*, 2002). Las especies invasoras afectan a las nativas de flora y fauna a través de competencia, depredación, transmisión de enfermedades, modificación del hábitat y alteración de la estructura trófica. Además, en circunstancias especiales, las invasoras pueden entrecruzarse con las nativas, alterando el acervo genético de estas últimas.

Las especies invasoras se introducen en los ecosistemas no nativos por diversas vías: 1) aquéllas relacionadas con el sector transporte (que incluyen a los transportes en sí mismos, al equipo y vehículos militares, a los productos utilizados para el embalaje y envíos, a las empresas que realizan actividades turísticas y al movimiento de animales por motivos recreativos, entre otros); 2) las relacionadas con el comercio (por ejemplo, los productos animales o vegetales para consumo humano, las plantas acuáticas y terrestres para agricultura,

jardinería, horticultura o investigación, entre otros); 3) otras actividades humanas como la deforestación, apertura de carreteras, minería, cambio de uso del suelo, control biológico y la unión de cuerpos de agua previamente aislados; y 4) por los fenómenos naturales como los huracanes y las inundaciones. De acuerdo con el Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras (2010), en el territorio estatal están presentes 214 especies invasoras de vertebrados (Tabla 3.3). El grupo de los peces es el que mayor porcentaje de especies invasoras presenta, derivado de la acuicultura ornamental que se desarrolla en la entidad.

Tabla 3.3. Especies invasoras por grupo de vertebrados presentes en el Estado de Morelos.

Grupo	Especies invasoras	% respecto al total de especies
Mamíferos	1	0.90
Aves	15	3.80
Reptiles	2	2.15
Anfibios	2	5.2
Peces	14	48.27
Total	34	32.22

En el grupo de las plantas, destacan las gramíneas porque 25% de las 216 especies reportadas por Bonilla-Barbosa y Villaseñor (2003) para Morelos son introducidas (Cerros-Tlatilpa, com. pers.). Sánchez-Ken *et al.* (2013) descubrieron en el estado a la gramínea *Themeda quadrivalvis*, una maleza invasora muy nociva por lo que es necesario tomar acciones de control o erradicación ya que se encuentra dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Corredor Biológico Chichinautzin.

Aunque el cambio del uso de suelo y las especies invasoras tienen un efecto muy importante sobre la biodiversidad, la construcción de infraestructura (que incluye, además de caminos y carreteras, la ampliación del tendido eléctrico o la construcción de presas) también puede afectar gravemente la vida silvestre. El crecimiento de la infraestructura produce, entre sus efectos más significativos, la pérdida

y modificación de los ecosistemas, la fragmentación de las áreas remanentes de vegetación natural (Forman y Sperling, 2003) y, en el caso de caminos y carreteras, la muerte de los animales por atropellamientos (Spellerberg, 1998). En el estado de Morelos, la infraestructura carretera (que incluye carreteras pavimentadas, caminos rurales y brechas) creció 985 kilómetros entre los años 2000 y 2011, pasando de alrededor de 2,000 a 2,987 kilómetros, es decir, cerca de 90 kilómetros por año (Figura 3.3). Es importante mencionar que aunque la apertura de caminos no es el único factor que actúa a favor de la desaparición de los ecosistemas naturales terrestres y con ello, de su biodiversidad, sí tiene un efecto negativo sobre ellos al propiciar la colonización y el desarrollo de nuevos centros de población o explotación de recursos naturales.

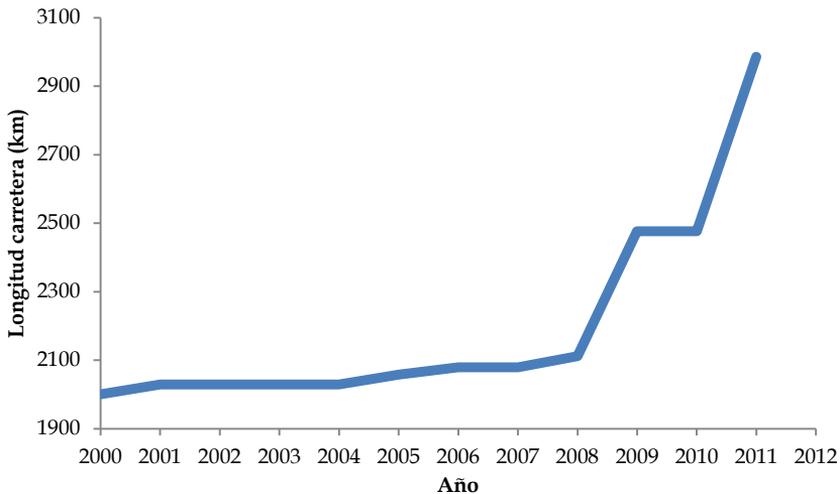


Figura 3.3. Crecimiento de la infraestructura carretera (carreteras pavimentadas, caminos rurales y brechas) en el estado de Morelos durante los años 2000 a 2012. Con información de los Anuarios Estadísticos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Los incendios forestales también pueden constituir una amenaza para la biodiversidad, principalmente a través de la pérdida de la cobertura de la vegetación natural. Los incendios forestales ocurren de manera natural y constituyen un factor importante para la dinámica de muchos ecosistemas forestales del mundo, sobre todo en los bosques templados y algunos matorrales de zonas secas (Bergeron *et al.*, 2002). El fuego influye en los procesos que determinan la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y promueve los procesos de sucesión ecológica que ayudan al mantenimiento de la biodiversidad (Noss *et al.*, 2006). Sin embargo, en la actualidad y debido en gran parte a las actividades humanas, los patrones naturales de ocurrencia de incendios han cambiado. Los efectos del fuego sobre los ecosistemas son diversos y dependen de su intensidad y frecuencia. Su mayor efecto es la eliminación de la biomasa vegetal que retrasa o interrumpe la regeneración natural, además de que propicia la invasión de plagas y enfermedades forestales. En el caso de la fauna, muchos individuos de algunas especies (sobre todo aquéllas con baja capacidad de movimiento) sucumben en los incendios (Figura 3.4), lo que puede causar la reducción de sus poblaciones e incluso, ocasionar su extinción local. En el periodo 1991 a 2012 se registró en la entidad un promedio anual de 223 incendios forestales, con una superficie afectada promedio de 821 hectáreas por año (Figura 3.5). Los años 1998 y 2011 fueron particularmente dañinos en materia de incendios forestales, destruyéndose en ambos años más de 2,300 hectáreas.

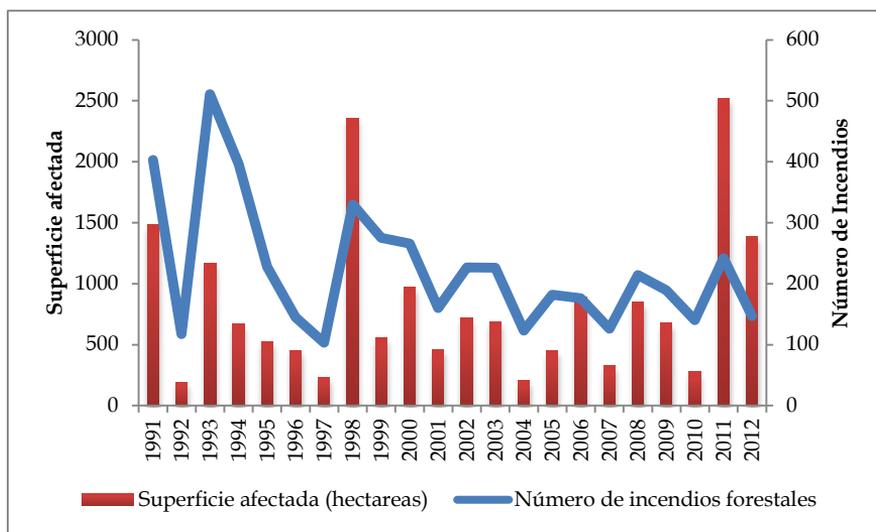


Figura 3.5. Número de incendios forestales y superficie afectada durante el periodo 1991 a 2012. Datos de la Comisión Nacional Forestal.



Figura 3.4. Individuo de conejo teporingo *Romerolagus diazi* quemado en un incendio provocado del zacatonal, para actividades pecuarias.

El aprovechamiento ilegal de especímenes de la vida silvestre es también una de las actividades que amenazan a la biodiversidad. Esta práctica incluye la cacería furtiva, captura, colecta, transporte y comercio no autorizado de ejemplares. Por los ingresos que genera, se considera como la tercera actividad ilícita más importante a nivel internacional, después del tráfico de drogas y armas (CONABIO, 1998). Sin embargo, en el estado se desconoce el volumen total de ejemplares de vida silvestre que se trafican ilegalmente al año o que se extraen de sus hábitats naturales para diversos fines, ya que no existe información oficial al respecto, por lo que se requiere que las autoridades del sector ambiental recaben estos datos.

Finalmente, el cambio climático es y será uno de los factores de presión más importantes para la persistencia de los ecosistemas y sus especies en el mundo (Dawson *et al.*, 2011). Se prevé que sus efectos provocarán el cambio en la distribución de muchas especies de plantas y animales, a una tasa que, en muchos casos superará su capacidad de adaptación, lo que las llevará irremediablemente a su extinción (Gitay *et al.*, 2002; Glick *et al.*, 2011).

En el estado de Morelos se han documentado dos ejemplos del efecto del cambio climático sobre especies que habitan dentro de sus límites. Anderson *et al.* (2009) modelaron la viabilidad poblacional y la distribución del conejo teporingo (*Romerolagus diazi*), en un escenario de cambio climático al año 2100. Encontraron que el límite inferior del rango de elevación se desplaza hacia arriba en aproximadamente 700 metros, lo que reduce en gran medida el área de hábitat disponible para las poblaciones de este lagomorfo endémico del país. Además, encontraron una disminución en la abundancia de hembras por efecto del cambio climático, lo que aumenta el riesgo de extinción de la especie. Por su parte, Pérez Gil *et al.* (2013) realizaron un análisis de la vulnerabilidad de 73 especies (12 anfibios, 24 reptiles, 14 aves, 11 mamíferos y 12 plantas) representantes de la biodiversidad del estado de Morelos frente a escenarios de cambio climático para los años 2050 y 2080. Sus resultados indicaron que 30% de las especies analizadas

resultaron con una alta vulnerabilidad, mientras que sólo 15% resultaron ser de baja vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático. Estos datos, aunque modestos en cuanto al número de especies estudiadas, sugieren la necesidad de iniciar acciones que protejan a la biodiversidad estatal de los efectos del cambio climático.

Estrategias de conservación de la biodiversidad

La conservación *in situ* es uno de los retos más grandes para la protección de la biodiversidad. En el Convenio sobre la Diversidad Biológica se definió a la conservación *in situ* como “la conservación de los ecosistemas y los hábitats naturales, y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y, en el caso de las especies domesticadas y cultivadas, en los entornos en los que se hayan desarrollado sus propiedades específicas (CBD, 1992). En contraste con la conservación *ex situ*, la conservación *in situ* permite mantener, al menos en cierta medida, las interacciones que subyacen a los servicios ambientales y que regulan los procesos ecológicos. De esta forma, las especies que viven en sus hábitats naturales conservan, al menos parcialmente, su diversidad genética y fenotípica e intervienen en el mantenimiento de los diferentes niveles ecológicos de complejidad (Urquiza-Hass, 2009).

A nivel federal, y en consecuencia en el estado de Morelos, se han desarrollado varias estrategias de conservación de la biodiversidad. Entre ellas destacan por su importancia las Áreas Naturales Protegidas (ANP), las Unidades de Manejo para la Conservación de la vida silvestre (UMA's), los esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), cada uno de los cuales cubre un ámbito específico de conservación que puede complementarse con los demás para promover una protección de biodiversidad más integral.

Áreas naturales protegidas

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son uno de los instrumentos más importantes de política ambiental para abordar la conservación *in situ* de los ecosistemas y la biodiversidad. Se definen como “porciones terrestres o acuáticas de territorio nacional cuya naturaleza no ha sido alterada en gran medida y que se designan con el objetivo de salvaguardar diversos ecosistemas representados en las mismas”. Las ANP pueden ser de jurisdicción federal, estatal o municipal dependiendo del nivel de gobierno del que se desprende su decreto, y por ende, su gestión. A nivel federal la gestión de las ANP ha sido asignada a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) que fue creada en el año 2000. A nivel estatal, la administración de las ANP está bajo la responsabilidad de la Dirección General de Áreas Naturales Protegidas, dependiente de la Secretaría de Desarrollo Sustentable. Además, la Ley General del Equilibrio Ecológico del Estado de Morelos mandata la creación de un Consejo Estatal de Áreas Naturales Protegidas, integrado por representantes de las instituciones, dependencias y entidades de carácter federal, estatal y municipal que tengan que ver con el conocimiento, planificación, manejo y aprovechamiento de las ANP de la Entidad.

Hasta el año 2013, en Morelos se cuenta con 11 ANP, cinco de carácter federal y seis estatales (Tabla 3.4), que cubren una superficie de 134,174 hectáreas, lo que representa casi 28% del territorio estatal, uno de los valores más altos para cualquier entidad federativa del país (Contreras-MacBeath *et al.*, 2006). Estas ANP incluyen prácticamente a todos los tipos de vegetación existentes en la entidad, así como a algunos cuerpos de agua y segmentos de ríos importantes. Además, de las 616 especies de vertebrados registrados en el estado, 433 se distribuyen dentro de las ANP, lo que significa que con esas áreas se protege a 65% de los vertebrados que habitan en Morelos. Los estudios para el conocimiento de la biodiversidad del estado de Morelos, se han enfocado en ANP como el Área de Protección de Flora y Fauna

Corredor Biológico Chichinautzin, los Parques Nacionales Lagunas de Zempoala y El Tepozteco, así como en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla (Figura 3.6).

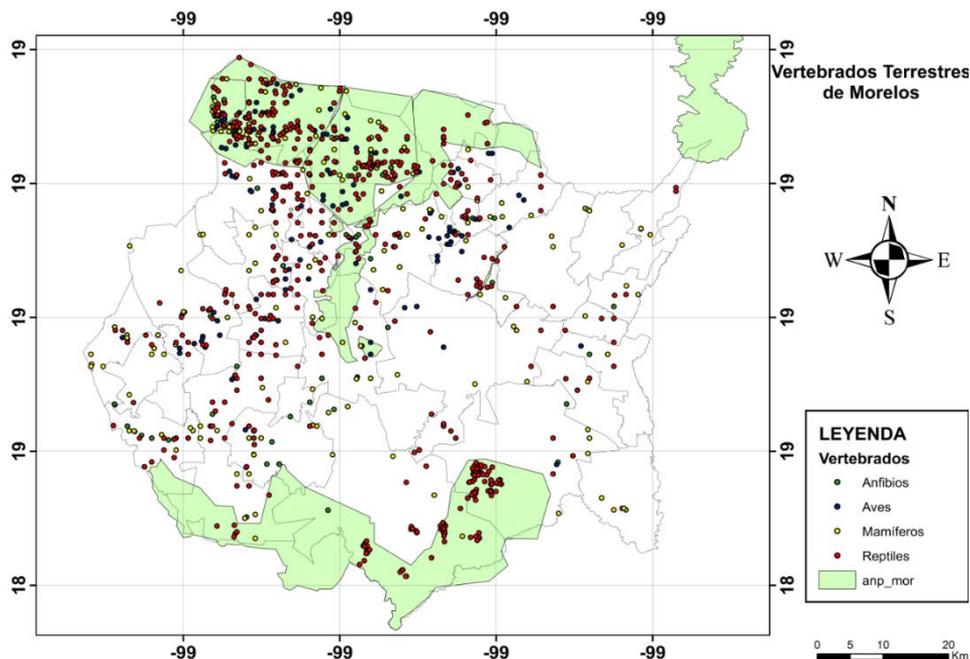


Figura 3.6. Muestreo de vertebrados terrestres en el Estado de Morelos (con información de proyectos de CONABIO, 2014).

De las 11 ANP en Morelos, destacan el Área de Protección Flora y Fauna Corredor Biológico Chichinautzin (COBIO) y la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH). Para la REBIOSH, Dorado *et al.* (2005) estiman 938 especies mientras que para el COBIOCH, Flores-Costorena y Martínez (2010) mencionan 1265 de plantas vasculares. En la Tabla 3.4 se señala la diversidad de los grupos taxonómicos a nivel estatal y en las ANP COBIOCH y REBIOSH.

Tabla 3.4. Plantas vasculares registradas en las Áreas Naturales Protegidas de carácter federal en el Estado de Morelos (Tomado de Dorado *et al.*, 2005; Flores-Castorena y Martínez Alvarado, 2010).

GRUPO TAXONÓMICO	ÁREAS NATURALES FEDERALES DE MORELOS	
	REBIOSH	COBIOCH
Helechos y grupos afines	20	137
Gimnospermas	3	18
Dicotiledóneas	763	652
Monocotiledóneas	152	458
Total	938	1265

Una tarea pendiente en Morelos es la evaluación de la efectividad de las ANP, que implica conocer el impacto de las políticas públicas y la gestión sobre el estado de los ecosistemas y la biodiversidad (Cortina-Segovia y Zorrilla-Ramos, 2009). Un elemento importante en esta evaluación son los Programas de Manejo, porque son el instrumento rector de la planeación y regulación que establece las actividades, acciones y lineamientos básicos para el manejo y administración del ANP. De las cinco ANP federales que se encuentran en territorio morelense, cuatro cuentan con sus Programas de Manejo publicados, pero de las seis ANP estatales solo dos cuentan con Programas de Manejo Publicados.

Otro aspecto a considerar es el número de personal asignado a cada ANP, así como sus capacidades, dado que de él depende la administración adecuada para alcanzar los objetivos y metas. Hasta 2012, las ANP estatales no contaban con personal, y aun hoy sólo se han nombrado un director para cada ANP quien realiza tareas de ser representante de la reserva ante las comunidades, ser gestor de recursos y promotor de la participación de los diversos actores involucrados en la administración de éstas.

Unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre

Las UMAS se establecieron en 1997 en el marco del Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva del Sector Rural 1997-2000. Su objetivo es promover esquemas alternativos de producción compatibles con el cuidado del ambiente, mediante el uso racional, ordenado y planificado de los recursos naturales renovables en ellas contenidos y mediante los cuales se favorece la conservación del hábitat de la vida silvestre, la reducción de las tasas de pérdida de especies prioritarias y la recuperación de las poblaciones de especies en riesgo (Gallina-Tessaro *et al.*, 2009). Este instrumento de conservación *in situ* tiene como estrategia favorecer a los propietarios de predios a quienes el gobierno federal les cede el usufructo de los recursos de interés a través de la generación de estudios poblacionales para establecer tasas de aprovechamiento y monitoreos anuales de las especies aprovechadas (LGVS, 2000). Las UMAS se clasifican en extractivas y no extractivas de acuerdo al aprovechamiento que se da en ellas. En las primeras se sustrae del sitio a los individuos de las especies aprovechadas para fines de cacería, mascotas, ornato, alimentación, producción de artesanías, entre otros. En las no extractivas se aprovechan las especies *in situ* sin provocar una disminución directa de las poblaciones, para actividades de ecoturismo, educación ambiental e investigación, entre otras.

En el estado, el número de UMAS ha mostrado un aumento constante desde su implementación. Para el año 2012, la Dirección General de Vida Silvestre reportó 124 UMAS en una superficie de 144 hectáreas (Figura 3.7), aunque cabe resaltar que este número no necesariamente refleja las UMAS que se encuentran funcionando en la actualidad, si no el acumulado histórico sin considerar aquellas dadas de baja por diversos motivos.

Actualmente se conoce poco sobre el desempeño de las UMA como instrumento de conservación, porque se carece de evaluaciones y de información sistematizada acerca del efecto del aprovechamiento

sobre las poblaciones de vida silvestre bajo manejo, así como del efecto de este manejo sobre la conservación del hábitat y la biodiversidad en general (Sisk *et al.*, 2006; Gallina-Tessaro *et al.*, 2009). La evaluación del impacto que ha tenido este instrumento sobre las poblaciones silvestres y su hábitat es una tarea pendiente y que debe considerarse como prioridad.

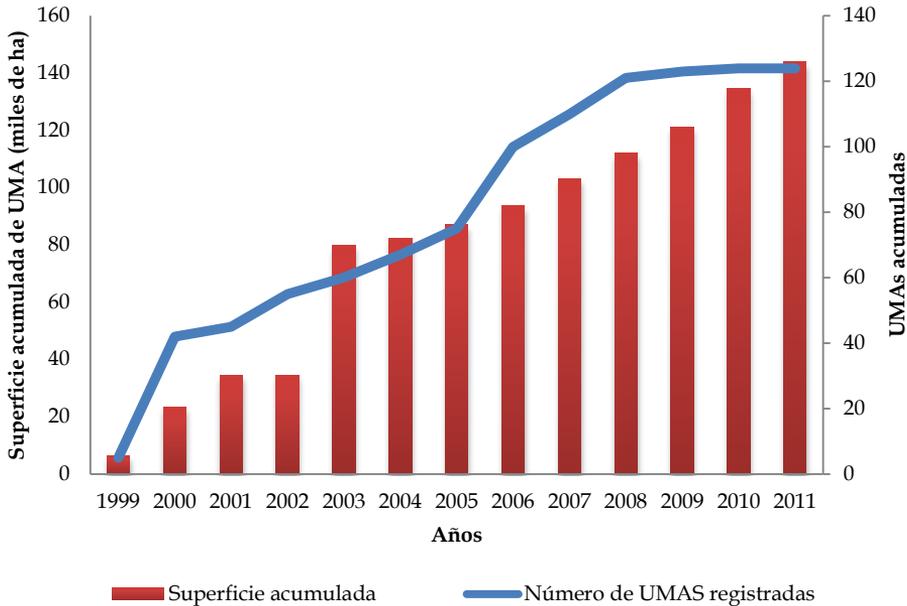


Figura 3.7. Número de UMAs en el estado de Morelos y superficie ocupada.

Pago por servicios ambientales

Los servicios ambientales son todos aquellos beneficios que proveen los ecosistemas a los seres humanos. Los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) son parte de un paradigma de conservación nuevo y más directo, que explícitamente reconoce la necesidad de crear puentes entre los intereses de los propietarios de la tierra y los usuarios

de los servicios. La idea que subyace al PSA es que quienes se benefician de ellos deberían de pagar a quienes poseen, conservan y restauran las tierras que los proveen (Wender, 2006).

El PSA es un programa federal que inició en el 2003 en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 y están reglamentados en la Ley General de Desarrollo Rural Sustentable y en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

Actualmente, se destacan cuatro tipos de programas de PSA: 1) Servicios hidrológicos, que se refieren a la retribución que se realiza a los propietarios de predios forestales para desarrollar acciones de protección y manejo de ecosistemas, con el fin de mantener y mejorar la provisión de los servicios ambientales hidrológicos; 2) Captura y almacenamiento de carbono, que incluye actividades de forestación y reforestación que contribuyan a la mitigación del cambio climático; 3) Protección de la biodiversidad, que pagan por el desarrollo de proyectos encaminados a realizar acciones de protección y manejo de la misma; y 4) Sistemas agroforestales con cultivos bajo sombra, que incluye el mejoramiento y la conversión a sistemas agroforestales que mantengan una cubierta vegetal.

En Morelos esta estrategia ha sido poco aceptada y utilizada por la población, debido quizá a la poca difusión que han hecho las autoridades de los distintos niveles de gobierno de estos programas. Entre los años 2000 y 2012 la superficie incorporada al PSA ha sido muy variable, con un máximo de 8.4 mil hectáreas en el 2009 (Figura 3.8).

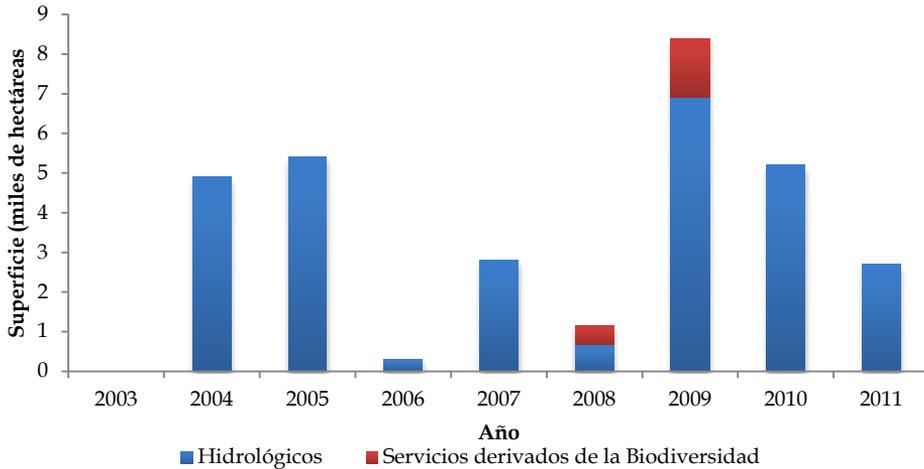


Figura 3.8. Superficie en el estado de Morelos incluida en el programa de Pago por Servicios Ambientales.

Ordenamientos ecológicos del territorio

Son un instrumento de la política ambiental que se concibe como un proceso de planeación cuyo objetivo es encontrar un patrón de ocupación del territorio que maximice el consenso y minimice el conflicto entre los diferentes sectores sociales y las autoridades en una región. Durante este proceso se generan, instrumentan, evalúan y, en su caso, modifican las políticas ambientales con las que se busca alcanzar un mejor balance entre las actividades productivas y la protección de los recursos naturales a través de la vinculación entre los tres órdenes de gobierno, la participación activa de la sociedad y la transparencia en la gestión ambiental.

Para los efectos de la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Morelos, se define al ordenamiento ecológico como el instrumento de planeación ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el

aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.

En el estado de Morelos, esta política pública ha avanzado lentamente, a la fecha sólo se han elaborado y publicado los ordenamientos de ocho municipios (Ayala, Axochiapan, Cautla, Cuernavaca, Huitzilac, Jiutepec, Jonacatepec y Tepoztlán), quedan pendientes aún los 25 municipios restantes. Además, el ordenamiento estatal está aún en desarrollo.

Comisión estatal de biodiversidad y estrategia estatal de biodiversidad

Como parte del compromiso de México como signatario de la Convención de Biodiversidad Biológica, la CONABIO generó el Estudio de País y la Estrategia Nacional de Biodiversidad y sugirió a las entidades federativas diseñar estrategias estatales (Contreras-MacBeath, 2011). De esta forma el 29 de mayo del 2013 se publica el decreto de creación de la Comisión Estatal de Biodiversidad (COESBIO), que tiene a su cargo las siguientes atribuciones:

- I. Generar, compilar y manejar información para el establecimiento de un programa sobre inventarios biológicos del Estado de Morelos, para conocer cualitativa y cuantitativamente la distribución de las diversas especies en todo el territorio estatal, su valor científico, ambiental, económico y estratégico para el Estado de Morelos, para el País y el Mundo.
- II. Elaborar y proponer al titular del Poder Ejecutivo para su publicación, la Estrategia Estatal de Biodiversidad, así como el denominado Estudio de Estado; sus actualizaciones correspondientes, así como instrumentar dentro de su competencia las acciones que se deriven de ambos documentos.

- III. Administrar la información relativa a los recursos biológicos del estado en un banco de datos moderno, permanente y actualizado.
- IV. Impulsar la participación ciudadana en el camino de la sustentabilidad para el desarrollo del estado.
- V. Desarrollar proyectos para el uso sustentable de los recursos biológicos, así como actividades productivas alternativas para las comunidades.
- VI. Participar con asesoría e información en la elaboración, modificación y actualización en los Programas de Ordenamiento Ecológico de Territorio del Estado y los Municipios del Estado de Morelos.
- VII. Asesorar en aspectos técnicos a los sectores gubernamental, social y privado sobre el uso y conservación de recursos biológicos.
- VIII. Difundir entre la sociedad y por todos los canales posibles, la riqueza biológica del Estado de Morelos y sus diversas formas de aprovechamiento sustentable. Divulgar las medidas que se propongan para evitar su deterioro y destrucción.
- IX. Conservar el conocimiento biológico tradicional de los pueblos y comunidades indígenas.
- X. Proponer al Congreso del Estado de Morelos, en las formas que establece la ley correspondiente, la agenda jurídica en materia de biodiversidad e impulsar la emisión de instrumentos normativos prioritarios.
- XI. Celebrar convenios con la federación sobre la transferencia, manejo y uso de organismos genéticamente modificables en el Estado de Morelos, que puedan tener un efecto adverso en la biodiversidad y sus componentes.
- XII. Participar y dar seguimiento a los convenios de colaboración y acuerdos de coordinación para la preservación y protección de la biodiversidad con el gobierno federal, estatal y municipal, en lo relativo a la materia de su competencia.

- XIII. Proponer un plan para la educación sobre biodiversidad y programas comunitarios relativos a la materia.
- XIV. Establecer un registro de organizaciones y personas que ofrezcan educación ambiental, y participar en un esquema de capacitación, validación y certificación formal de las mismas.
- XV. Mantener con la comunidad científica, los centros e institutos de investigación, en particular con los asentados en el territorio estatal, comunicación permanente y trabajo coordinado, para lo cual podrá celebrar los convenios que sean necesarios, siempre dentro de la Estrategia Estatal de Biodiversidad.

Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del estado de Morelos

Es un documento emanado de un proceso dinámico de planificación estratégica enriquecido por todos los sectores de la sociedad morelense, con el propósito de asegurar la permanencia útil en el tiempo de la diversidad biológica presente en el estado. El objetivo de la estrategia es dar continuidad al proceso de colaboración intersectorial para la planificación, el seguimiento y el control de las acciones a favor de la conservación de la biodiversidad del estado, así como orientar y ordenar las acciones de los principales actores relacionados con ésta, para lograr la conservación y el uso sustentable del patrimonio natural de los morelenses. Contempla cuatro líneas estratégicas, cada una con una serie de acciones: 1) Desarrollo y fortalecimiento de capacidades, 2) Gobernanza y reivindicación de los usos, valores e importancia de la biodiversidad, 3) Conservación de espacios, especies y servicios ecosistémicos, y 4) Seguimiento y evaluación de la estrategia.

Literatura citada

- Álvarez H. L. (1979). Breve estudio de las plantas medicinales en Hueyapan, Morelos. En: Biseca. (Ed.), Estudios sobre Etnobotánica y Antología Médica. México: IMEPLAM. 85-111 pp.
- Anderson, B. J., Akcakaya, H. R., Araújo, M. B., Fordham, D. A., Martínez-Meyer, E., Thuiller, W., Brook, B. W. (2009). Dynamics of range margins for metapopulations under climate change. *Proceedings B Royal Society*. 276, 1415-1420.
- Bárceñas, A. (1977). La vegetación herbácea de Coatlán del Río, Morelos. Tesis de Licenciatura. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 145 pp.
- Bergeron, Y., Leduc, A., Harvey, B. D., Gauthier, S. (2002). Natural fire regime: a guide for sustainable management of the Canadian boreal forest. *Silva Fennica*. 36, 81-95.
- Bonilla-Barbosa, B. J. R. (1992). Flora y Vegetación Acuática de las Lagunas de Zempoala, Morelos, México. Tesis de Maestría, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 145 pp
- Bonilla, J. R., Viana, A. J. (1997). Listado Florístico de México. XIV Flora del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. 31 pp.
- Bonilla, J. R., Villaseñor, R. J. L. (2003). Catálogo de la flora del estado de Morelos. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 129 pp.
- Bustos, M. O. Y. (2008). *La subfamilia Chloridoideae (Poaceae) en el estado de Morelos, México*. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 145 pp.

- Cerros-Tlatilpa, R., Espejo-Serna, A. (1998). Contribución al estudio Florístico de los cerros El Sombrerito y Las Mariposas (Zoapapalotl), municipio de Tlayacapan, Morelos, México. *Polibotánica*. 8: 29-46.
- CONABIO (1998). La diversidad biológica de México: Estudio de País, 1998. México. 293 pp.
- CONABIO (2008). Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. México. 30 pp.
- Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. (2010). Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. México: CONABIO- CONANP-SEMARNAT. 91 pp.
- Contreras-MacBeath, T., Ríos A. (2011). Biodiversidad en Morelos. México: Lunwerg Editores. 224 pp.
- Contreras-MacBeath, T., Boyás, J. C., Jaramillo, F. (2006). La Diversidad Biológica en Morelos: Estudio del Estado. México: CONABIO- Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 155 pp.
- Convenio Sobre la Diversidad Biológica (1992). Preámbulo. Documento en línea consultado en: www.cbd.int/doc/legal/cbd-esp.pdf.
- Cortina-Segovia, S. Zorrilla-Ramos, M. (2009). Capacidades para la implementación de políticas públicas. CONABIO-PNUD. En: México: Capacidades para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad. México: CONABIO-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 117-152 pp.
- Dawson, T. P., Stephen, T. J., House, J. I., Prentice, I. C., Mace, G. M. (2011). Beyond Predictions: Biodiversity Conservation in a Changing. *Science*. 332, 53-58.
- Díaz-Pulido, C.I. (1998). Las gramíneas (Poaceae) forrajeras del municipio de Tepoztlán, Estado de Morelos. México: Universidad Autónoma Metropolitana. 46 pp.
- Díaz-Pulido, C.I., Chávez-Pérez, J.A., Weber-Díaz, H. (2007a). Las gramíneas (Poaceae) del municipio de Yautepec, Estado de Morelos. México: Universidad Autónoma Metropolitana. 52 pp.

- Díaz-Pulido, C.I., Chávez-Pérez, J.A., Weber-Díaz, H., Barriga-Martínez, E.L. (2007b). Las Gramíneas (Poaceae) del municipio de Amacuzac, Estado de Morelos. México: Universidad Autónoma Metropolitana. 72 pp.
- Díaz-Pulido, C.I., Chávez-Pérez, J.A., Weber-Díaz, H., Barriga-Martínez, E.L. (2007c). Las Gramíneas (Poaceae) del municipio de Zacatepec, Estado de Morelos. México: Universidad Autónoma Metropolitana. 56 pp.
- Díaz-Pulido, C.I., Chávez-Pérez, J.A., Weber-Díaz, H., Reyes-López, B.A. (2007d). Las Gramíneas (Poaceae) del municipio de Ocuituco, Estado de Morelos. México: Universidad Autónoma Metropolitana. 150 pp.
- Díaz-Pulido, C.I., Granados-Agustín, M.R., Weber-Díaz, H. (2007e). Las Gramíneas (Poaceae) del municipio de Axochiapan, Estado de Morelos. México: Universidad Autónoma Metropolitana. 93 pp.
- Dorado, O., Maldonado, B., Arias, D. M., Sorani V., Ramírez R., Leyva, E., Valenzuela, D. (2005). Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera de Huautla. México: CONANP-SEMARNAT. 143 pp.
- Dorado, R. O. (1983). La subfamilia Mimosoideae (familia Leguminosae) en el Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 190 pp.
- Endress, M. E. (2004). Apocynaceae: Brown and now. *Telopea*. 10, 525-541.
- Endress, M. E., Liede, S. S., Meve, U. (2007). Advances in Apocynaceae: The enlightenment, an introduction. *Annals of the Missouri Botanical Garden - Wikipedia*. 94, 259-267.
- Escalante, P., Navarro, A. G., Peterson, A. T. (1993). A geographic, ecological and historical analysis of land bird diversity in Mexico. *In: Ramamoorthy, T. P. Bye, R., Lot, A., Fa, J. (Eds) Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. New York: University Press. 281-307 pp.

- Espejo, A., García-Cruz, J., López-Ferrari A. R., Jiménez Machorro, R., Sánchez Saldaña, L. (2002). Orquídeas del Estado de Morelos. *Orquídea*. México. 16, 1-392.
- Espejo-Serna, A., López-Ferrari A. R., Salgado-Ugarte, I. (2004). A current Estimate of Angiosperm Diversity in Mexico. *Taxon*. 53, 127-130.
- Flores-Castorena, A. Martínez-Alvarado, D. (1990). Flora arbórea de la ciudad de Cuernavaca, Morelos, México. *Universidad, Ciencia y Tecnología*. 1, 11.
- Flores-Castorena, A., Martínez-Alvarado D. (2010). Sinopsis florística. En: Bonilla-Barbosa, J., Mora, M. V., Luna-Figueroa, J., Colín, H., Santillán-Alarcón, S. (Eds). *Biodiversidad, conservación y manejo en el Corredor Biológico Chichinautzin condiciones actuales y perspectivas*. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 69-97 pp.
- Flores, V. O., Geréz, P. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 439 pp.
- Flores-Franco, G. (1990). La subfamilia Caesalpinioideae (familia Leguminosae) en el estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 134 pp.
- Forman, T. T., Sperling, D. (2003). *Road Ecology. Science and Solutions*. Washington, D.C: Island Press. 481 pp.
- Galindo, G. B., Fernández, R. N. (2002). Inventario florístico del municipio de Amacuzac, Morelos, México. *Polibotánica*. 13: 107-135.
- Galván-González, L. G. (2009). *Plantas parásitas del estado de Morelos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 130 pp.
- Gallina-Tessaro, S. A., Hernández-Huerta, A., Delfín-Alonso, C. A., González- Gallina, A. (2009). *Unidades para la Conservación*,

- manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre en México (UMA). Retos para su correcto funcionamiento. *Investigación Ambiental*. 1, 143-152.
- García-Lara, F. (2013). Inventario de especies leñosas de la Sierra Monte Negro en los municipios de Jiutepec y Emiliano Zapata, Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 44 pp.
- Gitay, H., Suárez, A., Watson, R. (2002). Climate change and biodiversity: IPCC Technical Paper V Intergovernmental Panel of Climate Change. Suiza. 77 pp.
- Glick, P., Stein, B., Edelson, N. (2011). Scanning the conservation horizon: A guide to climate change vulnerability assessment. Washington D. C.: National Wildlife Federation. 168 pp.
- González-Amado, H. I. (1998). La Familia Bignoniaceae en el estado de Morelos México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 91 pp.
- González-Rocha, E. (2011). Apocynaceae (Apocynoideae y Rauvolfioideae) en el Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 123 pp
- González-Rocha, E. (2014). Las Bromeliaceae del estado de Morelos, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. México. 272 pp.
- González-Rocha, E. López-Ferrari, A. R. Cerros-Tlatilpa, R., Espejo-Serna, A. (2014). Una nueva especie de *Hechtia* (Bromeliaceae; Hechtioideae) del estado de Morelos, México. *Acta Botánica Mexicana*. 109, 43-52.
- Hernández, P. (1945). La flora maravillosa de Tepoztlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 3, 13-15.
- Hernández-Cárdenas, R. Cerros-Tlatilpa R., Flores-Morales, A. (2014). Las plantas vasculares y vegetación de la Barranca Tepecapa en

- el municipio de Tlayacapan, Morelos, México. *Acta Botánica Mexicana*. 108: 11-38.
- Jeffries, M. (1997). *Biodiversity and conservation*. Inglaterra: Routledge. 227 pp.
- Juárez-Delgado, J. C. (1998). *La familia Malpighiaceae en el estado de Morelos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 90 pp.
- Juárez-Jaimes, V., Alvarado, L. O., Villaseñor, J. L. (2007). *La familia Apocynaceae sensu lato en México: diversidad y distribución*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 78, 459-482.
- Leung, B., Lodge, D. M., Finnoff, Shogren, D., Lewis, J. F., Lamberty, M. A. (2002). *An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species*. *Proceedings B Royal Society*. 269, 2407-2413.
- Ley General de Vida Silvestre (LGVS) publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 2000.
- López-Ramos, E. (1983) *Geología de México*. 3ra ed. México. 45 pp.
- Martínez-Alvarado, D. (1985). *Las Cactáceas del estado de Morelos*. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 178 pp.
- Martínez-Correa, N., Espejo, A., López, A. R., Ramírez, I. (2010). *Two Novelties in Hechtia (Bromeliaceae, Hechtioideae) from Mexico*. *Systematic Botany*. 35, 745-754.
- McKee, J. K., Sciulli, P. W., Foose, C. D., Waite, T. A. (2003). *Forecasting global biodiversity threats associated with human population growth*. *Biological Conservation*. 115, 161-164.
- Miguel-Vázquez, M. I., Cerros-Tlatilpa, R. (2013). *Onagraceae del Estado de Morelos, México*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 84, 1309-1315.
- Mijangos-Carro, M. A. (1993). *Flora y vegetación acuática vascular del lago de Coatetelco, Morelos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de

- Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 53 pp.
- Navarro, S. A. H., Benítez D. (1993). Patrones de riqueza y endemismo de las aves. *Revista Ciencias (México)*. 7, 45-54.
- Norma Oficial Mexicana. (2010). NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. México.
- Noss, R. F., Franklin, J. F., Baker, W. L., Schoennagel, T., Moyle, P. B. (2006). Managing fire-prone forest in the western United States. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 4, 481-487.
- Pérez, Gil S. R., Flores, V. H., Guevara, A., Arroyo, I., Linaje, M. A., Illoldi, P. (2013). Análisis de vulnerabilidad de la biodiversidad frente al cambio climático en el Estado de Morelos. *En: Ortiz-Hernández L. y Sánchez-Salinas E. (Comp). Cambio Climático: Vulnerabilidad de sectores clave en el estado de Morelos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 101-153 pp.*
- Piedra-Malagón, E., R. Ramírez, R., Ibarra, M., G. (2006). El género *Ficus* (Moraceae) en el Estado de Morelos. *Acta Botánica Mexicana*. 75, 45-75.
- Pulido-Esparza, V., Espejo-Serna, A., López-Ferrari, A. (2009). Las Monocotiledóneas Nativas del Corredor Biológico Chichinautzin. *Acta Botánica Mexicana*. 86, 9-38.
- Ramírez-Cantú, D. (1949). Notas generales sobre la vegetación de la Sierra de Tepoztlán, Morelos. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México*. 20, 189-228.
- Ramírez-Guadarrama, A. G. (1999). La familia Agavaceae en el Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca: Morelos. 90 pp.

- Ramírez-Rodríguez, J. R. (1990). Las Dioscóreas (Dioscoreaceae) del estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 63 pp.
- Ramos, A. C. H., Martínez, E. S. (2013) Una nueva especie del género *Esenbeckia* (Rutaceae). *Acta Botánica Hungárica*. 55, 393-396.
- Riba, R., Pacheco, L., Valdés, A., Sandoval, Y. (1996). Pteridoflora del estado de Morelos, México. Lista de familias, géneros y especies. *Acta Botánica Mexicana*. 37, 45-65.
- Sánchez-Ken, J.G., Cerros-Tlatilpa R., Vibrans, H. (2013). *Themeda quadrivalvis* (Sacchareae, Panicoideae, Poaceae), una maleza reglamentada presente y establecida en el centro de México. *Botanical Sciences*. 91, 531-536.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halfter, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S. de la Maza, J. (2009). Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. México: CONABIO. . 100 pp.
- Sisk T. D., Castellanos, A. E., Koch, G. W. (2006). Ecological impacts of wildlife conservation units policy in Mexico. *Ecological Environment*. 5, 209-212.
- Solís, V., Madrigal, P., Ayales, I. (1998). Convenio sobre la diversidad biológica. Un texto para todos. Convention on Biological Diversity Secretariat. Costa Rica: UICN, FES, FAO, FARBEN. 49 pp.
- Soria, G. R. (1985). Flora de Morelos descripción de las especies de la selva baja caducifolia en el Cañón de Lobos, Municipio de Yauhtepec. Serie de Ciencias Naturales y de la Salud. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 15 pp.
- Sotelo-Caro, G. A. (1984). La subfamilia Panicoideae (Gramineae) en el estado de Morelos. Tesis de Licenciatura, Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 221 pp.

- Sotelo-Caro, O. (2005). Flora Arbórea del municipio de Temixco, Morelos. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 133 pp.
- Spellerberg, I. F. (1998). Ecological effect of roads and traffic: a literature review. *Global ecology and biogeographical letters*. 7, 317-333.
- Toledo, V. (1988). La diversidad biológica de México. *Ciencia y Desarrollo*. 14, 17-30.
- Urquiza-Hass, E. G. (2009). Análisis de las Capacidades nacionales para la conservación in situ. En: CONABIO-PNUD. México: Capacidades para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México: 51-94 pp.
- Vázquez, S. J. (1974). Contribución al conocimiento de las plantas del Estado de Morelos (México). *Ciencia*. 29, 1-138.
- Wender, S. (2006). Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales. *Occasional Paper*. No. 42. Centro Internacional de Investigación Forestal. 24 pp.



**LOS RESIDUOS Y SUS INDICADORES
AMBIENTALES: NECESIDAD DE
CONOCIMIENTO PARA TRANSITAR HACIA SU
GESTIÓN INTEGRAL**

**C
A
P
Í
T
U
L
O**

4

María Luisa Castrejón-Godínez
Ma. Laura Ortiz-Hernández
Alexis Joavany Rodríguez Solís
Enrique Sánchez-Salinas

LOS RESIDUOS Y SUS INDICADORES AMBIENTALES: NECESIDAD DE CONOCIMIENTO PARA TRANSITAR HACIA SU GESTIÓN INTEGRAL

Resumen

Actualmente, el modelo económico dominante y la sociedad de consumo han incrementado la generación de residuos en el mundo. La inadecuada disposición de los residuos produce efectos ambientales en suelos y cuerpos de agua, a causa de la formación de lixiviados con metales pesados, hidrocarburos solubles, organismos patógenos y otras sustancias también en el aire por los gases compuestos volátiles emitidos y en los organismos por las propiedades químicas o físicas capaces de provocar alteraciones graves e incluso la muerte. La disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se realiza principalmente en llenos sanitarios, en donde la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos generan Gases de Efecto Invernadero (GEI), principalmente metano (CH_4), además, en la áreas rurales, una alternativa comúnmente usada es la incineración, sin embargo, esta acción no controlada genera como el metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y ácido sulfhídrico (H_2S).

En promedio, la producción de RSU en el país es de 1.04 kg/hab/día, siendo las zonas metropolitanas las de mayor generación. En materia de RP, en México están establecidas 84,279 empresas generadoras, de diferentes tipos, con una generación aproximada de dos millones de toneladas. En lo que respecta a RME no existe un registro detallado de sus volúmenes de generación, la información disponible solo abarca seis de las ocho categorías en que se dividen, y para algunos casos esta información es solamente parcial.

Anualmente poco más de 800 mil vehículos automotores llegan al final de su vida útil y tienen que ser eliminados, contribuyendo a la producción de RME en proporciones variables. Así mismo, las excretas del ganado porcino y bovino lechero contribuyen a la generación de

RME con 66.7 miles de toneladas, seguida por la fabricación de papel y cartón con 6.8 miles de toneladas y los residuos de la construcción y demolición con 6.1 miles de toneladas, entre otros. Este capítulo muestra a detalle la información existente con respecto a la producción, composición y gestión en materia de residuos.

Introducción

México enfrenta importantes desafíos en materia de residuos a causa del desarrollo económico, el crecimiento industrial, los cambios en los patrones de consumo, el incremento en los niveles de afluencia y de la concentración humana en un número limitado de centros urbanos (Buenrostro *et al.*, 2001).

En general los residuos presentan efectos ambientales y de salud pública cuando carecen de un sistema de manejo integral. Éstos pueden generar la emisión de gases y humos hacia el aire y lixiviados a los sistemas de agua subterránea y al suelo (Buenrostro e Israde, 2003). Además, diferentes residuos producen condiciones para que organismos vectores transmisores de una gran cantidad de enfermedades se desarrollen.

Un sistema de manejo integral de los residuos comprende la adecuada intervención en las diferentes etapas: reducción de la generación, la separación en la fuente, la recolección, el manejo, el aprovechamiento, el tratamiento, la disposición final, la promoción de una cultura, la educación y la capacitación ambiental. Por lo tanto, la gestión debe convertirse en una prioridad.

Los residuos y su clasificación

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) establece la definición y clasificación de éstos, además presenta su propio reglamento.

La LGPGIR define a un residuo como un material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado

sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven (LGPGIR 2014).

Los residuos se clasifican en tres grupos:

1. Residuos sólidos urbanos (RSU)
2. Residuos peligrosos (RP)
3. Residuos de manejo especial (RME)

Residuos Sólidos Urbanos

Comprende a todos aquellos generados en las casas habitación como resultado del desecho de los materiales que utilizan en las actividades domésticas (Bustos, 2009) y de los productos que consumen, de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que produzcan residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (LGPGIR, 2014).

Los Residuos Peligrosos

Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio. En el caso de los RP biológico-infecciosos, incluyen materiales de curación que contienen microorganismos que han entrado en contacto o que provienen del cuerpo de seres humanos o animales infectados o enfermos (por ejemplo, sangre, algunos fluidos corporales, cadáveres y órganos extirpados por cirugía); asimismo, incluyen cultivos de microorganismo usados con fines de investigación y objetos punzocortantes (incluyendo agujas de jeringas, material de

vidrio roto y otros objetos contaminados). Se originan en mayor cantidad fuera de los establecimientos médicos o laboratorios, por el gran número de desechos contaminados que producen los individuos infectados o enfermos en sus hogares. En el caso de los residuos químicos peligrosos, son los establecimientos industriales, comerciales y de servicios quienes producen el mayor volumen (SEMARNAT, 2012; LGPGIR, 2014).

Los riesgos al ambiente y a la salud causados por los RP son un foco de atención en el mundo, que ha propiciado la creación de disposiciones regulatorias (leyes, reglamentos y normas) que establecen pautas de conducta, a la vez que fijan límites de exposición o alternativas de tratamiento y disposición final para reducir su volumen y peligrosidad. El manejo de los RP incluye los procesos de minimización, reciclaje, recolección, almacenamiento, tratamiento, transporte y disposición final (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013).

Residuos de Manejo Especial

Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como RSU, o que son producidos por grandes generadores de RSU (LGPGIR, 2014). Su composición es variada e incluyen: escombros que surgen de procesos de demolición, residuos de la industria de la construcción, los desechos del sector salud y de fábricas de electrónicos, electrodomésticos, llantas, entre otros materiales. Su manejo y control es competencia de las autoridades de los Estados de la República.

El problema asociado a la generación de los residuos

El inadecuado manejo y disposición de los residuos puede causar graves problemas ambientales en suelos, principalmente por la generación de lixiviados que contienen metales pesados, hidrocarburos solubles y otras sustancias. En los cuerpos de agua, los residuos

provocan cambios en las propiedades naturales de estos ecosistemas. El aumento de la concentración de materia orgánica conduce a la eutrofización del cuerpo acuático, además los lixiviados producidos pueden contaminar tanto aguas superficiales, como subterráneas (Rivera, 2005).

Por medio de la incineración no controlada de residuos se producen gases de diferente composición química que pueden contribuir con el efecto invernadero como el CH₄ o el CO₂ y otros compuestos; además, al precipitarse pueden afectar cuerpos de agua, suelos, flora y fauna.

En los seres vivos algunos residuos generan bioacumulación de sustancias, con concentraciones que pueden provocar la muerte por intoxicación. Otro problema que causan los residuos es un deterioro del paisaje en las áreas utilizadas como tiraderos clandestinos, así como la fauna nociva presente en el lugar. Así mismo, originan problemas de salud pública por la presencia de agentes transmisores de enfermedades y por la exposición a tóxicos. En la economía también presentan un efecto negativo, debido a la pérdida de suelo cultivables y disminución de la calidad del agua; además de los recursos que se deben invertir por concepto de consultas médicas, medicinas, tratamientos, entre otros.

Una manera de reducir la cantidad de residuos sólidos y sus efectos, es limitar el consumo de materias primas e incrementar la tasa de recuperación y reutilización de materiales residuales (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Los Indicadores Ambientales: los residuos en cifras

Los IA surgieron como respuesta a la creciente preocupación social por los aspectos ambientales del desarrollo económico y social. La Organización para Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) considera a un IA como una variable que, mediante la síntesis de información, pretende reflejar el estado del ambiente, o de algún

aspecto de él, en un momento y en un espacio determinado y que por ello adquiere gran valor como herramienta en los procesos de evaluación y de toma de decisiones políticas sobre los problemas ambientales. Los IA surgen para alcanzar un doble objetivo: cubrir la creciente demanda de información ambiental por parte de administraciones públicas, empresas y ciudadanos, y facilitar la toma de decisiones.

Los niveles de desarrollo económico, la creciente industrialización y los modelos económicos actuales, han generado un incremento sostenido en los hábitos de consumo de las sociedades, repercutiendo de manera significativa en la cantidad y composición de los de residuos en nuestro planeta (Hamer, 2003). En el mundo se generan anualmente alrededor de 17 billones de toneladas de residuos sólidos y se espera que alcance los 27 billones de toneladas para el año 2050 (Karak *et al.*, 2012). Cerca de 1.3 billones de toneladas son RSU, de las diferentes ciudades del mundo y de acuerdo con los niveles de crecimiento poblacional, el incremento de la urbanización y el desarrollo socioeconómico de los países subdesarrollados y en vías de desarrollo, la cifra superará los 2.2 billones de toneladas para el año 2025; los habitantes de los países de la OCDE serán los que mayor aporte harán con un promedio *per cápita* de 2.2 kg de residuos por día (Hoorweg y Bhada-Tata, 2012).

En el caso de la República Mexicana se ha experimentado un proceso de creciente industrialización, a partir de la segunda mitad del siglo pasado, que se traduce una mayor demanda de materias primas, necesarias para satisfacer los requerimientos de bienes y servicios de una población en constante crecimiento. Como resultado del desarrollo económico nacional, los residuos se han incrementado paralelamente, impactando de manera negativa en la salud humana y en los ecosistemas (SEMARNAT, 2006). A continuación se desglosan las cifras para los diferentes tipos de residuos del país.

Residuos sólidos urbanos: generación y composición en México y en Morelos

De acuerdo con la información de la Base de Datos Estadísticos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (BADESNIARN), en el año 2012, las entidades federativas con mayor producción de RSU fueron: el Estado de México con 6.8 millones de toneladas, el Distrito Federal con más de 4.9 millones de toneladas, Jalisco con más de 3 millones de toneladas, Veracruz con 2.3 millones de toneladas y Nuevo León con 2.15 millones de toneladas (SNIARN-SEMARNAT, 2013).

Los niveles de generación de RSU guardan una estrecha relación con la densidad de población, los niveles de urbanización y el desarrollo económico. El último censo nacional de población y vivienda del año 2010, determinó una población de México en 112,336,538 habitantes (INEGI, 2010), de los cuales un tercio habita la región central del país, misma que incluye al Distrito Federal, al estado de México y Morelos, en esta región se genera el 30% de los RSU del país. Tan sólo en el Distrito Federal la densidad de población es de 5,920 hab/km², mientras que la media nacional es apenas de 57 hab/km². En las zonas urbanas habitan 80.42 millones de personas, y 31.92 millones en zonas rurales (INEGI, 2010). Por esta razón las zonas metropolitanas y las ciudades medias contribuyeron con 80% de los RSU del total producido en el país (SNIARN-SEMARNAT, 2013).

En la Figura 4.1 se observa la evolución de la generación nacional de RSU para el periodo 1997-2012, la mayor proporción de RSU se concentra en zonas metropolitanas y en ciudades medias, lo cual se relaciona con la factibilidad de adquirir productos que no se comercializan a gran escala en las zonas rurales del país, además se muestra una clara relación entre el incremento del PIB y el aumento de RSU.

Para el caso del estado de Morelos, los RSU presentaron un incremento de 37.6% para el periodo comprendido entre los años 2000-2012; pasando de 459.00 a 631.45 millones de toneladas (Figura 4.2). En lo que se refiere a la generación *per cápita* de RSU, en el año 2000 se contaba en promedio 0.81 kg diarios, mientras que para el año 2012 este valor se incrementó a 0.96 kg/día, mostrando un incremento de 18.5% a lo largo del periodo, comportamiento muy similar a lo observado a nivel nacional.

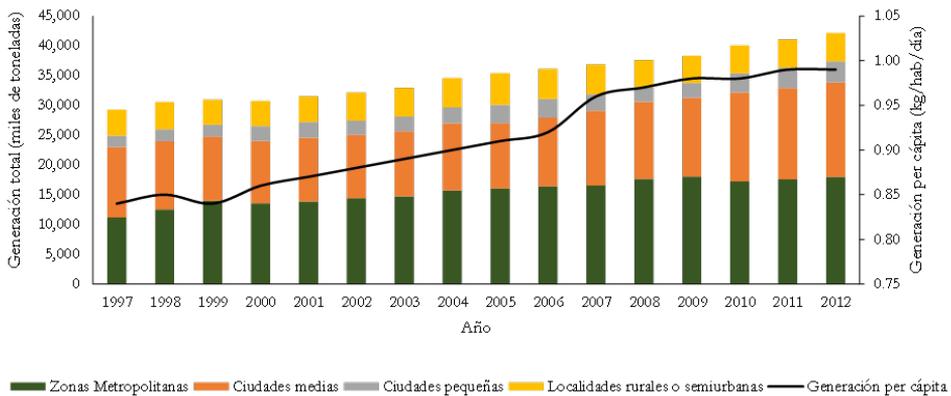


Figura 4.1. Generación de residuos sólidos urbanos en la República Mexicana por tamaños de los centros poblacionales en el período 1997 al 2012. Elaboración propia a partir de los datos publicados por SNIARN-SEMARNAT (2013).

Las cifras reportadas de RSU a nivel nacional, no corresponden a mediciones directas, representan estimaciones realizadas por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) de acuerdo a lo establecido en la NMX-AA-61-1985 sobre la Determinación de la Generación de Residuos Sólidos. Por tal motivo su análisis e interpretación debe realizarse con cautela debido a las limitaciones que esto implica (SNIARN-SEMARNAT, 2012).

La composición de los RSU generados en México es muy heterogénea, incluyendo papel, cartón, restos de comida y metales

como el aluminio, cobre, zinc, entre otros componentes. En la Figura 4.3 se muestran las proporciones correspondientes a los diferentes tipos de residuos que integran a los RSU. Como se observa en esta figura, más de 50% corresponde al material orgánico, como son restos de alimentos y jardinería, seguido de los productos de papel con 14% del total, como los más importantes.

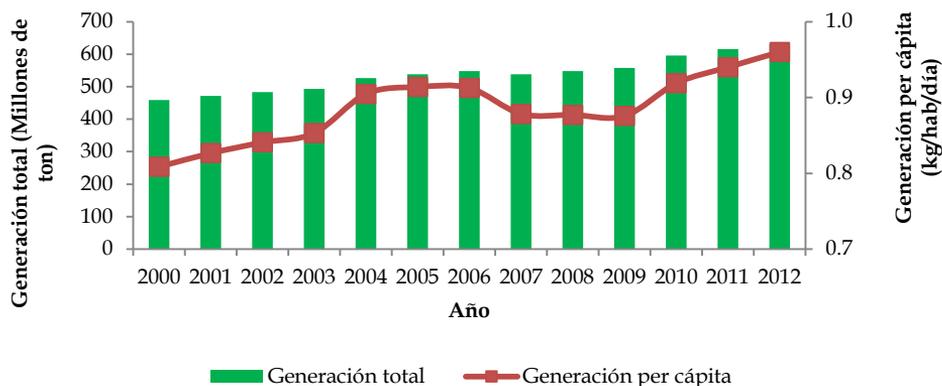


Figura 4.2. Generación de residuos sólidos urbanos en el estado de Morelos durante el período 2000 al 2012. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados por SNIARN-SEMARNAT (2013).

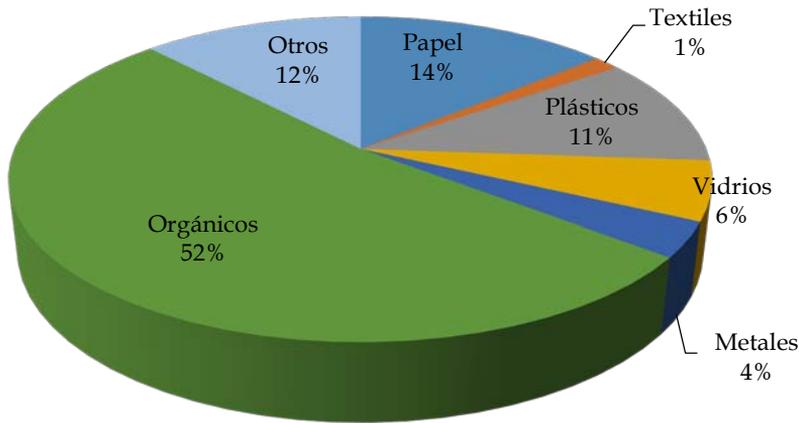


Figura 4.3. Proporción de los componentes de los residuos sólidos urbanos en México para el año 2012. Los productos de papel incluyen cartón; los metales incluyen aluminio, material ferroso, cobre, plomo, estaño y níquel; los materiales orgánicos incluyen residuos de alimentos y jardinería; la categoría otros incluye residuos como los pañales desechables. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados por SNIARN-SEMARNAT (2013).

Como se observa en la figura anterior, 66% de los RSU son de composición orgánica; por tal motivo la disposición final y degradación anaerobia en los rellenos sanitarios de estos residuos, puede contribuir directamente a la producción de metano (CH_4) una de los principales gases de efecto invernadero (GEI). Por tal motivo es muy importante realizar acciones, como reciclaje de los productos de papel, el compostaje de los residuos de alimentos y jardinería, o la cogeneración de energía eléctrica a través de la quema del CH_4 producido en los rellenos sanitarios, que permitan disminuir su impacto. La Figura 4.4 muestra las proporciones de los diferentes tipos de residuos que integran los RSU en el estado de Morelos. Como puede observarse, el principal componente de los RSU en el Estado son los residuos de tipo orgánico (45%) como restos de alimentos y jardinería; destacan los plásticos y los productos de papel con 13% y 9% respectivamente; la categoría de *otros* incluye residuos que no coinciden con ninguna de las

otras categorías, como los pañales desechables. Su contribución para el año 2007 fue del 26%.

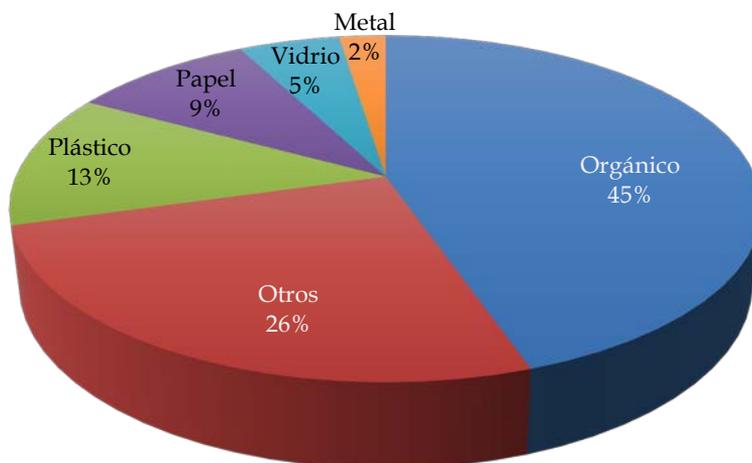


Figura 4.4. Proporción de los componentes de los RSU para el año 2007 en el estado de Morelos. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados por CEAMA (2007).

Residuos Peligrosos

Las actividades industriales se han convertido en una parte esencial de la vida moderna, y la generación de residuos es una consecuencia inevitable del desarrollo. Algunos materiales utilizados en la industria para fabricar productos de consumo pueden tener el potencial para causar daños a la salud humana y al ambiente, cuando no son tratados, almacenados, transportados, dispuestos o manejados adecuadamente (Misra y Pandey, 2005).

Una vez finalizada la vida útil de muchos de los productos que se fabrican a partir de estas sustancias o que las contienen, se convierten en desechos que ponen en riesgo la salud de las personas o pueden causar daños al medio ambiente. Entre estos desechos se encuentran los RP, los cuales son definidos de acuerdo LGPGIR como aquellos que poseen alguna de las características CRETIB (C: Corrosivo, R: Reactivo,

E: Explosivo, T: Tóxico, I: Inflamable, B: Biológico-Infecioso), que les confieren peligrosidad (SNIARN-SEMARNAT, 2012); la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 establece, además de sus características, los procedimientos para su identificación, clasificación y la lista de sustancias peligrosas (DOF, 2005).

Los primeros estudios para estimar el volumen de los RP en México fueron realizados por el Instituto Nacional de Ecología en el año 1994, con base en la información aportada por las empresas generadoras de los mismos o de empresas avocadas a su tratamiento. Actualmente para la adquisición de la información referente a la generación de RP la SEMARNAT cuenta con el Padrón de Empresas Generadoras de Residuos Peligrosos (SNIARN-SEMARNAT, 2012).

De acuerdo con los datos de la BADESNIARN, en el periodo 2004-2013 en México se han generado poco más de 2 millones de toneladas de RP, actualmente se encuentran registradas 84,279 empresas generadoras de RP, clasificadas como microgeneradoras, pequeñas generadoras y grandes generadoras en función de la cantidad que emiten. En la Figura 4.5A se ilustra su distribución porcentual y en la 4.5B su contribución de RP; como se observa en estas figuras las empresas gran generadoras sólo representan 7% del total de las registradas en el país pero producen 95% de RP. La mayor parte de estas empresas (13,040) están establecidas en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM); pero también las entidades federativas de Jalisco (8,242), Baja California (5,346), Estado de México (4,464), Michoacán (4,119), Chihuahua (4,088) y Veracruz (3,461), concentran más de 50% del total de empresas generadoras de RP en México (Figura 4.5C), y por esta razón, estos estados en conjunto han arrojado más de un millón de toneladas de RP en el periodo 2004-2013.

En la Figura 4.6 se muestra la distribución porcentual de los principales RP en México para el periodo 2004-2013. Como puede observarse en esta figura, los residuos sólidos y los aceites gastados en conjunto representan 66% del volumen de RP generados en el periodo. Los residuos sólidos son muy diversos e incluyen telas, pieles, asbesto,

sólidos del mantenimiento automotriz, sólidos con metales pesados, tortas de filtrado, entre otros. Por su parte los aceites gastados incluyen: aceites dieléctricos, lubricantes, hidráulicos, solubles y los utilizados para el templeado de metales.

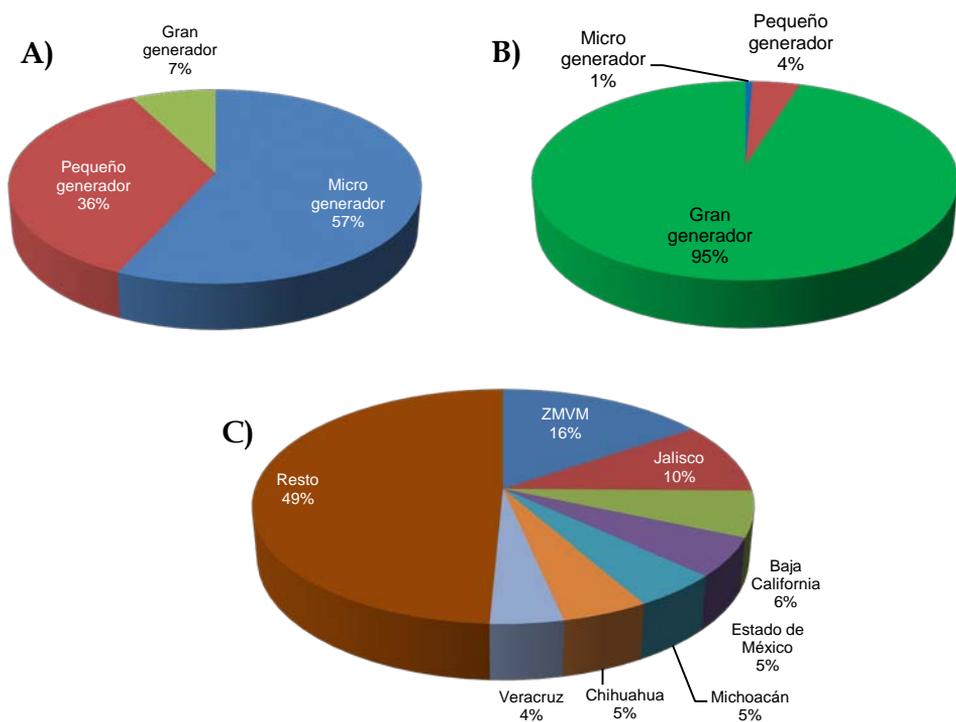


Figura 4.5. Distribución porcentual de las empresas generadoras de RP registradas en México. A). Proporción de acuerdo con su categoría, B). Proporción de acuerdo a su contribución al total de RP generados en México y C). Distribución nacional de las empresas generadoras de RP.

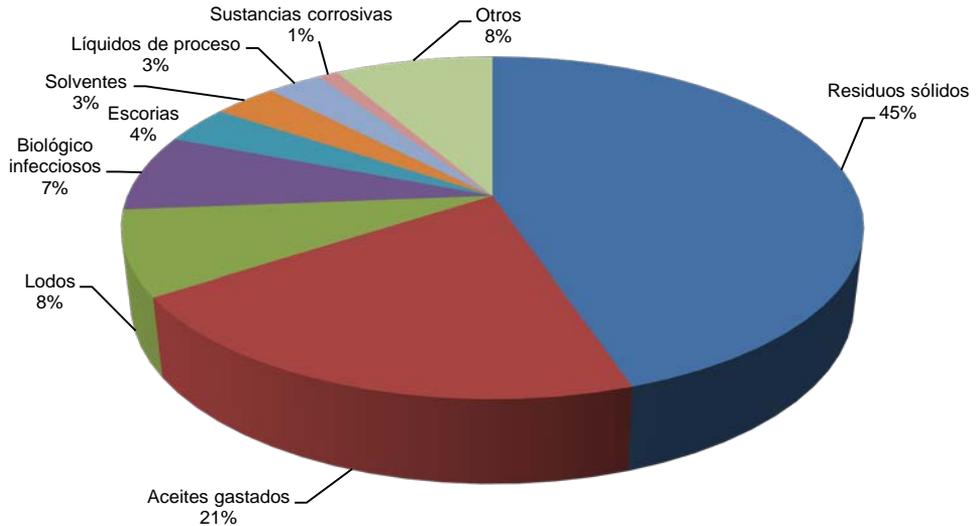


Figura 4.6. Distribución porcentual de los principales RP generados en México para el periodo 2004-2013 (SNIARN-SEMARNAT 2013).

Referente a la generación de RP por tipo de industria, en la Tabla 4.1 se enlistan, de acuerdo a la importancia de sus contribuciones, todos los ramos industriales (33 en total) que son generadores de RP. Las empresas que producen mayor cantidad de RP son las del ramo de servicios con más de 800 mil toneladas, seguidas de las industrias químicas, metalúrgicas, automotrices, servicios mercantiles, de electrónica y alimenticia, estas empresas en su conjunto propiciaron cerca de un millón 700 mil toneladas de RP en el periodo 2004-2013, correspondientes a más de 82% del total del periodo (SNIARN-SEMARNAT, 2013).

En el estado de Morelos para el periodo 2004-2013 se generaron 5,257.76 toneladas de RP en un total de 1,737 empresas. Así mismo, se reportan para el estado un inventario de RP de plaguicidas obsoletos o caducos con un volumen en litros de 6,492 y una cantidad de 2,256 kg para el periodo 2009-2011.

Tabla 4.1. Contribución de los diferentes tipos de industrias al volumen de RP generados en México y en Morelos mostradas en toneladas. Fuente: Elaboración propia con la información de generación de RP para el periodo 2004-2013 (SNIARN-SEMARNAT, 2013).

Tipo de industria	Nacional	Morelos
Prestadores de servicios que generan residuos peligrosos	816,798.49	1,126.56
Química	209,595.70	2,472.27
Metalúrgica	188,898.62	256.42
Automotriz	174,535.88	181.49
Servicios mercantiles que generan residuos peligrosos	122,808.84	487.23
Equipos y artículos electrónicos	86,338.25	12.12
Alimenticio	78,910.98	140.75
Pinturas y tintas	58,379.67	0.05
Artículos y productos metálicos	53,345.40	18.28
Petróleo y petroquímica	52,201.62	1.05
Servicios en manejo de residuos peligrosos	35,771.37	97.69
Artículos y productos de diferentes materiales	34,066.33	4.43
Artículos y productos de plástico	29,135.46	37.55
Prendas y artículos de vestir	15,729.41	0.96
Cemento y cal	14,795.27	49.44
Generación de energía eléctrica	13,568.62	0.40
Construcción	10,918.14	13.08
Celulosa y papel	9,510.53	5.32
Vidrio	7,887.56	324.83
Textil	7,725.42	22.45
Madera y productos	4,802.59	0
Exploraciones y explotaciones mineras	4,148.56	0
Marítimo	1,108.29	0
Congelación, hielo y productos	871.19	0.80
Mínero	763.74	2.53
Siderúrgica	524.69	0
Agrícola	550.25	1.80
Explotación de bancos de materiales	353.66	0
Acuicultura	346.71	
Comunicaciones	237.89	0
Asbesto	223.27	0
Forestal	180.47	0.26
Vida silvestre	36	0
Total	2,035,068.87	5,257.76

Residuos de manejo especial

Los residuos de manejo especial (RME) fueron definidos por primera vez en la LGPGIR publicada en el año 2003; incluyen a todos aquellos residuos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como RSU o RP, además de aquellos RSU generados en grandes cantidades (DOF, 2003; DOF, 2007). En la Tabla 4.2 se enumeran las categorías que comprenden a los RME. Debido a que la legislación referente a este tipo de residuos es reciente, aun no existen datos relacionados a sus volúmenes de generación, la información actual proviene de estudios específicos (SNIARN-SEMARNAT, 2012).

El Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, publicado por el INECC en 2012, reporta que para el periodo 2006-2012, la disponibilidad de información sobre la generación de RME sólo abarca seis de las ocho categorías en las que la LGPGIR los clasifica, además de una categoría adicional para otros tipos de residuos. Las categorías de las que aún no se dispone de información son las que corresponden a los residuos de rocas o los productos de su descomposición y la de los residuos de salud (INECC-SEMARNAT, 2012). En la Tabla 4.3 se enumeran las contribuciones de las principales corrientes de RME para el periodo 2006-2012, ordenados de acuerdo a sus volúmenes de generación.

Tabla 4.2. Categorías de residuos que comprenden la clasificación de Residuos de Manejo Especial.

Categoría	Consideraciones
1. Los residuos de las rocas o los productos de su descomposición	Utilizados para la fabricación de materiales de construcción o que se destinen para este fin, así como los productos derivados.
2. Los residuos generados de los servicios de salud	Generados por los establecimientos que realicen actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos.
3. Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas.	Incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades.
4. Residuos de los servicios de transporte.	Incluye los generados a consecuencia de las actividades que se realizan en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias y en las aduanas.
5. Los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales.	Generados en plantas de tratamiento de aguas residuales Municipales
6. Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales	Generados en grandes volúmenes
7. Residuos de la construcción	Generados del mantenimiento y demolición en general
8. Residuos tecnológicos	Provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico.

Tabla 4.3. Principales corrientes de generación de RME en México. Fuente: Elaboración propia a partir de la información de INECC-SEMARNAT (2012).

Tipo de residuo	Generación promedio anual	Aprovechamiento (%)	Disposición final (%) ⁶
Vehículos automotores¹	805,202.50	ND	ND
Excretas²	66,708.27	ND	ND
Construcción y Demolición	6,111.09	ND	ND
Papel y cartón	6,819.83	48.6	11
Vidrio	1,142.57	ND	ND
Llantas	1,011.03	ND	ND
Pesca	799.02	3.7	ND
Tiendas de autoservicio³	407.19	68	32
Agroplásticos	313.13	ND	ND
Residuos de hoteles	276.22	1.5	98.5
Electrónicos	263.85	ND	ND
Lodos PTAR⁴	232.00	ND	100
Pilas	33.98	3.15	ND
Electrodomésticos	21.66	ND	ND
Residuos aeroportuarios⁵	8.04	32.2	67.4

1 Al final de su vida útil, unidades promedio por año

2 Excretas de porcinos y bovinos lecheros

3 Datos del Grupo WalMart

4 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales

5 Datos del Aeropuerto Internacional "Benito Juárez" de la Ciudad de México

6 En rellenos sanitarios o sitios controlados

ND No existen datos disponibles

Nota: Los datos presentados en esta tabla se generaron en diferentes años por lo que solo corresponden a la información disponible al año 2012.

De acuerdo con los datos de la Tabla 4.3, anualmente más de 800 mil vehículos automotores llegan al final de su vida útil y tienen que ser eliminados, contribuyendo a la generación de RME en proporciones variables, de acuerdo a la disparidad de los pesos de cada vehículo. Respecto a las corrientes susceptibles de medición, los mayores volúmenes de generación de RME corresponden a las excretas del ganado porcino y bovino lechero, con 66.7 miles de toneladas, seguida por la generación de papel y cartón con 6.8 miles de toneladas y los

residuos de la construcción y demolición con 6.1 miles de toneladas, cifras en promedio anual. En contraste, los RME que se produjeron en menor volumen anual promedio fueron los electrodomésticos (22 toneladas), las pilas (34 toneladas) y los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (232 toneladas). Como puede observarse en la Tabla 4.4 para muchas de estas corrientes no hay datos referentes a su aprovechamiento para otros usos o de su disposición final en rellenos sanitarios o sitios controlados.

La gran cantidad de estiércol producido por el ganado no tiene un tratamiento previo o adecuado para su disposición final, lo cual implica mantener un foco de infección latente perjudicial para la comunidad en general (Vera-Romero *et al.*, 2014). Las excretas del ganado porcino y bovino lechero presentan un alto potencial para ser aprovechados a través de plantas de biodigestión, para la obtención de biogás, útil como combustible para la industria, así como subproductos líquidos y semisólidos que son utilizados nuevamente en la agricultura como mejoradores de suelo (INECC-SEMARNAT, 2012).

La gestión y manejo integral de los residuos

La generación de contaminantes y residuos excede la capacidad que tiene el planeta, para absorberlos y convertirlos en compuestos menos dañinos, y el incremento del deterioro de recursos tales como el agua, suelo, aire, generan la necesidad de diseñar estrategias integrales de gestión de residuos, que reduzcan las cargas ambientales. Esto requiere del uso de herramientas que permitan predecir los impactos potenciales de un sistema de gestión y el análisis del ciclo de vida, permite realizar dicha evaluación (Coleman *et al.*, 2003).

La gestión integral de los residuos debe ser planeada como un sistema completo en el que los componentes están interrelacionados y por lo tanto, los cambios en un proceso afectan al resto de los elementos.

Abarca *et al.* (2013) señalan que las características clave de un sistema integrado de gestión de residuos son:

- Tener un enfoque global
- Utilizar una serie de diferentes métodos de recolección y tratamiento
- Manejar todos los materiales en el flujo de residuos
- Ser ambientalmente efectivo
- Ser económicamente factible
- Ser socialmente aceptable

A nivel mundial los principales sistemas de gestión de residuos han mostrado una tendencia evolutiva, que inicia con el modelo donde se aborda principalmente el tema de la salud y la seguridad pública. Posteriormente avanzó a un enfoque integrado de la gestión de residuos, donde se adicionan las preocupaciones económicas y ambientales al sistema. Eventualmente un sistema de gestión integral de residuos puede llegar a convertirse en sí mismo en parte de un sistema de gestión de recursos, donde el agua, la energía, el balance de CO₂ y los residuos, se manejan dentro de un mismo esquema (Abarca *et al.*, 2013).

La gestión de los residuos forma parte integral de toda sociedad humana. Los enfoques para esta gestión deben ser compatibles con las características particulares de una sociedad. En consonancia con las tendencias mundiales, los sistemas de manejo integral (SMI) de residuos se orientan al concepto de sustentabilidad; principalmente a través de la incorporación de tecnologías de las 3R (reducir, reutilizar y reciclar). Sin embargo, el grado de desarrollo de los SMI depende en gran medida de la situación económica de un país (Shekdar, 2009).

El mecanismo general implementado para propiciar la producción y el consumo sustentable, se soporta a través de tres herramientas: los instrumentos económicos, la regulación normativa y la educación. El objetivo es minimizar la cantidad de residuos y valorar los ya generados a través de acciones de reducción, recuperación y reciclado (Paiva y Perelman, 2008).

Troschinetz y Mihelcic (2009) realizaron un análisis cualitativo de la situación de 23 países en desarrollo (incluido México), respecto a

la gestión de RSU, e identificaron los principales factores que influyen en el proceso de reciclado. Los factores son la política gubernamental, las finanzas públicas, la caracterización, la recolección y la segregación de los residuos, la educación y la economía familiar, el sistema de gestión de RSU y su administración, la educación individual en torno a los RSU, el plan de gestión de RSU, el mercado local, los recursos tecnológicos y humanos, y la existencia de sitios de disposición final.

Abarca *et al.* (2013) han explorado los factores económicos, sociales, políticos, ambientales, legales y técnicos que influyen en la toma de decisiones en el manejo de los residuos sólidos en diferentes países de la Comunidad Europea. Al respecto Morrissey y Browne (2004) señalan que existen tres modelos identificados para la toma de decisiones en torno a la gestión de residuos: los basados en el análisis de costo-beneficio, los que se basan en el análisis del ciclo de vida y por último los basados en el análisis multicriterio. Sin embargo ninguno considera el ciclo completo de la gestión, es decir desde la prevención hasta la disposición o tratamiento final. Además, a pesar de que reconocen que para ser catalogados como sustentables deben incluir criterios ambientales, económicos y sociales, ninguno considera los tres aspectos juntos.

En el caso de México, la LGPGIR publicada el 08 de octubre de 2003, establece en su artículo 25 que la SEMARNAT, deberá formular e instrumentar el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (publicado e implementado en 2009), de conformidad con el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos (DBGIR) y demás disposiciones aplicables. En consecuencia, con objeto de contar con los instrumentos necesarios para dar cumplimiento al compromiso mencionado, la SEMARNAT ha elaborado el DBGIR, que es un estudio que considera la cantidad y composición de los residuos, así como la infraestructura para el manejo integral de los mismos (Avedoy, 2006).

La gestión integral de residuos es definida por la LGPGIR (DOF, 2003) como el conjunto articulado e interrelacionado de acciones

normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

En la República Mexicana, la gestión de los residuos es una responsabilidad de los tres niveles de gobierno: el municipal tiene competencia sobre los RSU; el estatal tiene facultades sobre los RME, así como los RP generados o manejados por microgeneradores y finalmente el federal tiene bajo su competencia legal los RP provenientes de pequeños generadores, grandes generadores o de microgeneradores, siempre y cuando estos últimos no sean controlados por las entidades federativas.

La SEMARNAT (2013) señala que en México el gobierno Federal ha incluido como parte de sus programas nacionales, sectoriales y específicos, metas, acciones y estrategias encaminadas a transformar el manejo tradicional de los residuos en un manejo homogéneo en su cobertura e infraestructura, eficiente en su operación y moderno en su planeación. Para ello ha destinado importantes recursos económicos que permita reforzar la infraestructura, la planeación, el conocimiento y las habilidades técnicas de los recursos humanos que llevan a cabo las acciones de limpieza y recolección de residuos en las entidades del país.

Educación ambiental

La función de la educación ha sido destacada en numerosas iniciativas de organismos internacionales, subregionales y nacionales, tanto para buscar mejorar la calidad de vida de las personas como en los niveles de satisfacción personal, pero sobre todo como una herramienta para transformar la realidad. En este momento donde, las actividades humanas han generado una crisis ambiental planetaria que constituye una amenaza para la vida misma, la educación surge nuevamente como

el mejor medio para buscar alternativas de solución a los problemas sociales, económicos y ambientales existentes.

En este contexto surgió la educación para el desarrollo sostenible, como proceso de aprendizaje (o concepción pedagógica) basado en los ideales y principios de la sustentabilidad y relacionado con todos los tipos y niveles educativos. La educación para el desarrollo sostenible propicia cinco tipos fundamentales de aprendizaje, encaminadas a suministrar educación de calidad y promover el desarrollo humano sustentable: aprender a conocer, aprender a ser, aprender a vivir juntos, aprender hacer y aprender a transformarse a uno mismo y a la sociedad.

Entre los principales valores que promueve esta educación están (UNESCO, 2009):

- El respeto de la dignidad y los derechos humanos de todas las personas del mundo y el compromiso con la justicia social y económica para todos.
- El respeto de los derechos humanos de las generaciones futuras y el compromiso con la responsabilidad intergeneracional.
- El respeto y el cuidado de la gran comunidad de la vida en toda su diversidad, lo que incluye la protección y la restauración de los ecosistemas de la tierra.
- El respeto de la diversidad cultural y el compromiso de crear, a escala local y mundial, una cultura de tolerancia, sin violencia y paz.

La necesidad de un marco de respuesta a la problemática ambiental y de manera particular al manejo de los residuos sólidos, es una de las principales preocupaciones a nivel mundial y pone de relieve la necesidad de una eficiente campaña de educación e información sobre la disposición adecuada de los residuos (Herrera *et al.*, 2012).

Existe la necesidad de generar conocimientos, crear nuevas estructuras de organización e implementar programas innovadores que respondan mejor a las necesidades de las comunidades, que permitan el desarrollo de mecanismos para fortalecer la educación y la amplia

difusión de información pertinente sobre el manejo de residuos, como parte de un enfoque integrado para la prestación de servicios pertinentes, en un marco de sustentabilidad. El proceso de concientización ambiental puede ser inducido con el apoyo de los diferentes medios de comunicación: escritos (prensa) y electrónicos (radio, televisión e internet), además de seminarios y talleres dirigidos al público en general. Existe también a nivel mundial un creciente movimiento para volver a conectar a los niños con la naturaleza, como estrategia de los programas de EA, que buscan fomentar un comportamiento ambiental responsable y la protección del ambiente (Liefländer *et al.*, 2012; Ernst y Theimer, 2011). Para todo esto, los funcionarios los diferentes niveles de gobierno necesitan conocer el marco legal en relación con los residuos y estar familiarizados con el tema. Por desgracia, esto no sucede de manera común, muchos funcionarios responsables de la gestión de los residuos sólidos, no conocen sus responsabilidades y poseen insuficiente o inadecuada información del tema.

En la LGPGIR se establece una asignación de responsabilidades a todos los sectores sociales generadores de residuos en cuanto a la solución de problemas que estos plantean. En este sentido, la educación y la capacitación en la materia es una vía para lograr un trabajo conjunto entre gobierno y sociedad para cambiar las prácticas de consumo y producción que actualmente conducen a la generación creciente de residuos, y al desperdicio de recursos que suelen ir a parar a los sitios de disposición final. En el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, uno de sus objetivos está orientado a desarrollar e implementar un programa nacional de educación y capacitación efectivo y eficiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, con la finalidad de alcanzar un modelo sustentable. En nuestro país se han realizado diversas acciones en materia de educación y capacitación a través del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU) de la SEMARNAT, las cuales se muestran en la Tabla 4.4 (INECC, 2012).

A nivel estatal, el gobierno del Distrito Federal formuló un Programa de Educación Ambiental que promovió la recolección y manejo separado y la separación desde la fuente. El programa educativo consideró diversas estrategias educativas de intervención: comunicación educativa, capacitación, difusión y planeación participativa, así como una evaluación de los avances. Esto permitió que los actores involucrados (ciudadanos, trabajadores de limpia, y funcionarios) conocieran y aceptaran la Ley de Residuos Sólidos del D.F., mostraran un cambio de conducta ante la necesidad de separar los residuos y se diera una transformación paulatina del manejo de los mismos (Robles *et al.*, 2009). Así mismo, para el Distrito Federal se ha desarrollado un plan de manejo de residuos en la Central de abastos con la finalidad establecer las bases para la separación de éstos en la fuente y contribuir a la prevención y minimización de los residuos generados en este importante lugar (Morales, 2011).

Indicadores Ambientales

Tabla 4.4. Acciones en materia de educación y capacitación a través del CECADESU.

Año	Actividad	Objetivo	Resultados
2002-2009	Programa "Escuela Limpia"	Propiciar la comprensión integral de la problemática de los residuos sólidos desde el ámbito cultural, económico, social y natural.	Se capacitaron 40,563 docentes a nivel nacional y se elaboraron manuales específicos sobre el manejo integral de residuos.
2004-2009	El CECADESU en el Marco de la Reforma Integral de la Educación Básica preescolar y secundaria (REIB).	Elaborar propuestas para la incorporación de la educación ambiental para la sustentabilidad. Incorporar representantes de las áreas educativas de los siguientes organismos: CONAFOR, FIDE, IMTA, CONABIO, CONANP, CONAGUA, PROFECO y CECADESU.	Se incorporó en los planes y programas a nivel primaria educación ambiental para la sustentabilidad y en los libros de educación básica contenidos sobre residuos sólidos.
2009-2011	Programa de gestión ambiental para servidores públicos.	Actualizar y fortalecer las capacidades de los tomadores de decisiones y asegurar la adecuada gestión de los residuos sólidos.	Capacitación de 135 servidores públicos en Coahuila, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Campeche y Guerrero.
	Programa comunitario para la gestión integral de residuos.	Fortalecer las capacidades técnicas para el análisis, elaboración de propuestas, realización de talleres, negociación e investigación sobre los residuos en contextos locales.	Formación de 162 promotores ambientales comunitarios (Aguascalientes, Chiapas, Guerrero, Sinaloa y Yucatán) y jornadas comunitarias con 1,160 participantes de Sinaloa, Jalisco y Guerrero.
2007-2012	Programas Ambientales Institucionales (PAI)	Promover la incorporación ambiental en las universidades e impulsar el desarrollo de proyectos en Sistemas de Manejo Ambiental, en relación al manejo adecuado de los residuos sólidos generados dentro de los campus.	Se integraron 49 PAI en México que cubren acciones de educación y capacitación de docentes, investigadores y coordinadores de proyectos ambientales.
2009-2012	Estrategia de Comunicación Educativa para público infantil "Fans del planeta"	Impulsar la formación de una ciudadanía responsable, informada, participativa y comprometida con el cuidado y protección al ambiente, así como con el uso sustentable de los recursos naturales	Participaron niños y niñas entre 8 y 12 años de edad.
2010-2012	Apoyo a la Red de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRE SOL)	Formar promotores de los gobiernos municipales y estatales, consultores, académicos y la sociedad civil en el manejo integral de residuos sólidos.	Se conformó la Red Regional en materia de residuos en los estados de Tlaxcala, Puebla, Hidalgo y Veracruz.

Las Instituciones de Educación Superior en México han jugado un papel importante en el tema de educación ambiental para la sustentabilidad, generando estrategias diversas que permiten afrontar los problemas asociados a la generación de residuos. Un ejemplo es la Universidad Autónoma del Estado de Morelos que, ante los impactos ambientales producidos por el desempeño de las actividades cotidianas y asumiendo su responsabilidad social, ha iniciado un proceso de mejora continua en las áreas del ambiente, la seguridad y la calidad para contribuir en la consolidación de un *eco-campus* universitario, institucionalizando el Programa de Gestión Ambiental Universitario (PROGAU), con el cual impulsa la gestión ambiental como herramienta organizativa e integradora que asegura la calidad ambiental del entorno universitario con una orientación preventiva y correctiva (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013).

Consideraciones finales

El aumento en la producción de residuos en México en las últimas dos décadas ha sido considerable, esto ha llevado a su inadecuado manejo y disposición que genera graves problemas ambientales en suelo, agua y aire, principalmente por su ineficiente disposición final y generación de lixiviados que contienen metales pesados, compuestos orgánicos, entre otros contaminantes. Para resolver este problema se requiere contar con información acerca de su generación y partiendo de ellas una gestión integral de residuos, que se base en reducir de la generación, separación en la fuente, la recolección, el manejo, el aprovechamiento, tratamiento, disposición final, promoción de una cultura, educación y capacitación ambiental. Lo que se puede lograr a través de un cambio de actitud y compromiso de los generadores (grandes y pequeños), además la promulgación de políticas públicas en materia de residuos, pues a pesar que se promuevan instrumentos concretos como leyes, reglamentos y programas, no se percibe proceso de regulación cada vez más sofisticado. A nivel federal, el trabajo ha sido arduo, sin embargo,

a nivel municipal y local esta legislación no es todavía replicada, lo que no permite una implementación eficiente en materia de gestión ambiental.

Literatura citada

- Abarca, G. L. A., Maas, G., Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste management*. 33, 220-232.
- Avedoy, V. J. G. (2006). Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos. Instituto Nacional de Ecología. 11-14.
- Buenrostro, O., Bocco, G. (2003). Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives. *Resources, conservation and recycling*. 39. 3, 251-263.
- Buenrostro, O., Bocco, G., Bernache, G. (2001). Urban solid waste generation and disposal in Mexico: a case study. *Waste Management Research*. 19. 2, 169-176.
- Buenrostro, O., Israde, I. (2003). La gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del Lago de Cuitzeo, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 19. 4, 161-169.
- Bustos, F. C. (2009). La problemática de los desechos sólidos. *Economía*. 34. 27, 121-144.
- CEAMA Comisión Estatal de Agua y Medio Ambiente (2007) Residuos Sólidos. Consultado: en http://www.ceamamorelos.gob.mx/secciones/ambiente/residuos_solidos.html.
- Coleman, T., Masoni, P., Dryer, A., McDougall, F. (2003). International Expert Group on Life Cycle Assessment for Integrated Waste Management. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 8. 3, 175-178.
- DOF (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación publicado el 8 de octubre 2003.

- DOF (2005). Norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación. 23 de junio de 2005.
- DOF (2007). Reforma a la Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. Diario Oficial de la Federación. 16 de octubre de 2007.
- Ernst, J., Theimer, S. (2011). Evaluating the effects of environmental education programming on connectedness to nature. *Environmental Education Research*. 17. 5, 577-598.
- Hamer, G. (2003). Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety. *Biotechnology Advances*. 22. 1, 71-79.
- Herrera, F., Boyles, L. Z. Miculob, I. G. (2012). Level of Information and Education Campaign on Solid Waste Management and Household Practices on Solid Waste Disposal in Butuan City. *International Peer Reviewed Journal*. 10, 56-94.
- Hoornweg, D., Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. Washington DC: World Bank. 98 pp.
- INECC (2012). Diagnostico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. 193 pp.
- INECC-SEMARNAT (2012). Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos. 111 pp.
- INEGI (2010). México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de población y vivienda 2010.
- Karak, T., Bhagat, R. M., Bhattacharyya, P. (2012). Municipal solid waste generation, composition, and management: the world scenario. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 42. 15, 1509-1630.
- LGPGIR (2014). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Última reforma publicada. Secretaría del Medio

- Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 04 de junio de 2014.
- Misra, V., Pandey, S. D. (2005). Hazardous waste, impact on health and environment for development of better waste management strategies in future in India. *Environment International*. 31, 417-431.
- Morales, P. R. E. (2011). Planes de manejo de residuos de generadores de alto volumen: El caso de la Central de Abasto del Distrito Federal, México. Tesis de doctorado. Instituto Politécnico Nacional. 65 pp.
- Morrissey, A. J., Browne, J. (2004). Waste management models and their application to sustainable waste management. *Waste management*. 24, 297-308.
- Ortiz-Hernández, M.L, Sánchez-Salinas, E., Terrazas-Hoyos, H., Lara, M.J.C., Macedo, A.B. (2013). *Manual Verde Universitario: Guía de Procedimientos Ambientales en la UAEM*. Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 99 pp.
- Paiva, V., Perelman, M. (2008). Recolección y recuperación informal de residuos. La perspectiva de la teoría ambiental y de las políticas públicas. Ciudad de Buenos Aires 2001-2007. *Cuaderno Urbano*. 7, 35-54.
- Rivera, S. G. (2005). Diagnóstico de la problemática de los residuos sólidos urbanos en el municipio de Ciudad Ixtepec, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad del Mar Campus Puerto Angel. Oaxaca. 157 pp.
- Robles, M., Gasca R., Quintanilla, A. L., Guillen, F., Escofet, A. (2009) Educación Ambiental para el Manejo de Residuos Sólidos: el caso de Distrito Federal, México. *Investigación Ambiental* 2010-2. 1, 46-64.
- SEMARNAT (2013). Lineamientos para el otorgamiento de apoyos de la SEMARNAT para proyectos de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos

Naturales, Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental. 32 pp.

SEMARNAT (2006). Bases para legislar la prevención y gestión integral de residuos. En:

http://siscop.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/bases_legislar_preve_ncion_gestion_integral_residuos.pdf. Consultado el 3 de noviembre de 2014.

SEMARNAT (2012). Residuos peligrosos. En:

<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/materiales-y-actividades-riesgosas/residuos-peligrosos>. Consultado el 22 de junio de 2014.

Shekdar, A. V. (2009). Sustainable solid waste management: an integrated approach for Asian countries. *Waste Management*. 29. 4, 1438-1448.

SNIARN-SEMARNAT (2012) Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores ambientales y desempeño ambiental. Capítulo 7. Residuos. En:

http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf.

SNIARN-SEMARNAT (2013). Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. Módulo de consulta temática, dimensión ambiental, generación de residuos sólidos urbanos 2012. En:

http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RSM01_04&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Desechos Sólidos*. 1 y 2. Madrid: Editorial McGraw Hill. 1107 pp.

Troschinetz, A. M., Mihelcic, J. R. (2009). Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Management*. 29. 2, 915-923.

UNESCO (2009) Políticas, estrategias y planes regionales, subregionales y nacionales en educación para el desarrollo sostenible y la educación ambiental en América Latina y el Caribe. Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible 2005-2014. 93 pp.

- Vera-Romero, I., Martínez-Reyes, J., Estrada-Jaramillo, M., Ortiz-Soriano, A. (2014). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. 15, 429-436.
- Wilson, E. J., McDougall, F. R., Willmore, J. (2001). Euro-trash: searching Europe for a more sustainable approach to waste management. *Resources, conservation and recycling*. 31, 327-346.



**EL CAMBIO CLIMÁTICO COMO INDICADOR
DE LA COMPLEJIDAD AMBIENTAL EN EL
ESTADO DE MORELOS**

**CAPÍTULO
5**



**Enrique Sánchez-Salinas
Ma. Laura Ortiz-Hernández
María Luisa Castrejón-Godínez
Alexis Joavany Rodríguez Solís
Rosa Estela Quiroz-Castañeda**



EL CAMBIO CLIMÁTICO COMO INDICADOR DE LA COMPLEJIDAD AMBIENTAL EN EL ESTADO DE MORELOS

Resumen

La presencia de vapor de agua en la atmósfera (H_2O) y el excesivo incremento de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), resultado de las actividades humanas, han provocado un cambio en la temperatura promedio del planeta; estos gases pueden permanecer durante largos periodos, provocando la absorción de energía solar o evitando la pérdida de calor al espacio. El cambio climático puede originarse por causas naturales como las erupciones volcánicas o la actividad solar, sin embargo este proceso se ha acelerado y se ha relacionado de forma directa con las actividades antrópicas. Algunos de los efectos observados son modificaciones en los patrones de lluvia, aumento en la acidez y nivel del mar. Las emisiones de GEI muestran que el CO_2 es el gas de mayores emisiones con 77% del total, seguido por el CH_4 (14%) y finalmente el N_2O (8%); también se consideran como GEI al ozono (O_3) troposférico, los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6).

A nivel mundial, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha generado la metodología para organizar, registrar y analizar las emisiones de los países, incluso ciudades y otras unidades geopolíticas. En el estado de Morelos, 38% de las emisiones de CO_2 eq proviene de la categoría energía, 30% de los procesos industriales, 23% es generado por el tratamiento de desechos y aguas residuales; las actividades agrícolas producen 5% y el uso del suelo, cambio de uso del suelo y la silvicultura (USCUSyS) 4%.

En este capítulo se muestra el cambio climático como un indicador de complejidad, se incluyen aspectos sociales, educativos, de

gestión ambiental y política pública en los tres niveles de gobierno. Asimismo, se presenta un apartado de mitigación y adaptación ante el cambio climático con acciones para reducir las emisiones de GEI y sus efectos.

Introducción

La temperatura de la Tierra depende del balance entre la energía que entra y la que sale del planeta. Cuando la energía solar entra en contacto con la atmósfera de la Tierra, es absorbida y su superficie se calienta; cuando esta misma energía se refleja hacia el espacio, entonces la Tierra evita el calentamiento y, finalmente, cuando la energía regresa al espacio, la Tierra se enfría. Tanto las actividades naturales como las actividades humanas han causado una alteración en el balance de la energía radiativa en el sistema Tierra-atmósfera. Este desbalance se ha generado debido al aumento considerable de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a dichas actividades y, en respuesta, se ha exacerbado el efecto invernadero, cuyas consecuencias son los cambios en la temperatura y en el clima de la Tierra (OECD, 2013; EPA, 2014).

Una cantidad considerable de GEI es liberada a la atmósfera como resultado de las actividades asociadas con el hombre. Las principales fuentes emisoras de CO₂ provienen del uso de combustibles fósiles en la generación de electricidad, el transporte y el consumo de energía doméstico. Otras actividades que también generan GEI son las agrícolas (CH₄) y la deforestación por el cambio de uso de suelo (CO₂); así como el tratamiento de aguas residuales (CH₄) (EEA, 2014).

El IPCC (2007) define el cambio climático como cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a una variabilidad natural o como resultado de las actividades humanas. De hecho, se observan los cambios en el clima a través de los incrementos de las temperaturas, la alteración en los patrones de lluvia, los glaciares y las nieves perpetuas se están derritiendo y se ha elevado el nivel del mar (EEA, 2014). Se espera que estas tendencias continúen y que incluso

ocurran eventos con mayor frecuencia y más extremos, reflejados en sequías severas e inundaciones en diferentes partes del mundo (EEA, 2014).

Ante esta situación, ha surgido la necesidad de crear herramientas que puedan ser utilizadas para evaluar el estado actual de los factores que influyen en los diversos cambios del clima. En este contexto, los IA surgen como respuesta a la creciente preocupación por los aspectos ambientales que están involucrados en el desarrollo económico y social. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés) define un indicador ambiental como “una herramienta poderosa y de bajo costo que se emplea para dar seguimiento al progreso que se realiza a nivel ambiental, a la vez que permite tomar decisiones políticas sobre los problemas ambientales”. En general, los indicadores cuantifican la información mediante la agregación de múltiples y diferentes datos, en donde un proceso de síntesis ayuda a revelar fenómenos complejos (OECD, 2008).

En México, el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) es una iniciativa del Gobierno Federal elaborada de manera voluntaria, unilateral y con recursos propios, que busca contribuir a la solución del problema del cambio climático, el que se ha constituido como una de las mayores amenazas para el desarrollo, el bienestar humano y la integridad del capital natural.

En este programa se plantea la disminución de las emisiones de GEI rumbo al 2020 y 2050. Para lograrlo, se han realizado diversos esfuerzos, entre los que destacan la realización del Inventario Nacional de GEI y la presentación de los resultados ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC); cabe destacar que México es el único país “no anexo I” que ha publicado más de dos Comunicaciones Nacionales y recientemente se ha presentado la Quinta Comunicación Nacional (INE-SEMARNAT, 2010, 2012).

En el estado de Morelos, recientemente se ha publicado el Inventario Estatal de Emisiones, en el que se reportan las emisiones de

GEI generadas por los sectores energía, procesos industriales, agricultura, residuos, uso del suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013).

En Morelos, al igual que en otras entidades de la República Mexicana, el sector transporte es la principal fuente de emisiones de CO₂, en tanto que el tratamiento de aguas residuales y la disposición de residuos sólidos genera una cantidad importante de CH₄; finalmente, las emisiones de N₂O proceden principalmente del uso de suelos agrícolas (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013a; Quiroz-Castañeda *et al.*, 2013).

La información generada en el Inventario Estatal de GEI permite definir ciertos indicadores de desempeño ambiental que describan las tendencias de cambio y la situación actual del ambiente en el estado. Asimismo, permitirán detectar las principales amenazas al ambiente e identificar los sectores más vulnerables, con el fin de que se apliquen las debidas respuestas institucionales a través de medidas de mitigación y adaptación que permitirán contender con las consecuencias del cambio climático.

Actividades antrópicas y emisión de gases de efecto invernadero (GEI)

Actualmente, se han logrado considerables avances acerca de cómo las actividades humanas y los diversos factores asociadas a las mismas han generado cambios en el ambiente, o bien, cómo dichas actividades han sido las conductoras del cambio climático (Rosa y Dietz, 2012).

Diversas actividades humanas generan cantidades considerables de GEI, los cuales se acumulan en la atmósfera y son causa del efecto invernadero. El principal gas con esta característica es el CO₂ y los 20 principales países emisores se presentan en la Figura 5.1. China ocupa el primer lugar con 10,281 megatoneladas (Mt) de CO₂ emitido, seguido de Estados Unidos (5,298 Mt) e India (2,072 Mt). México ocupa el lugar número 13 con una contribución de 475 Mt (Olivier *et al.*, 2014).

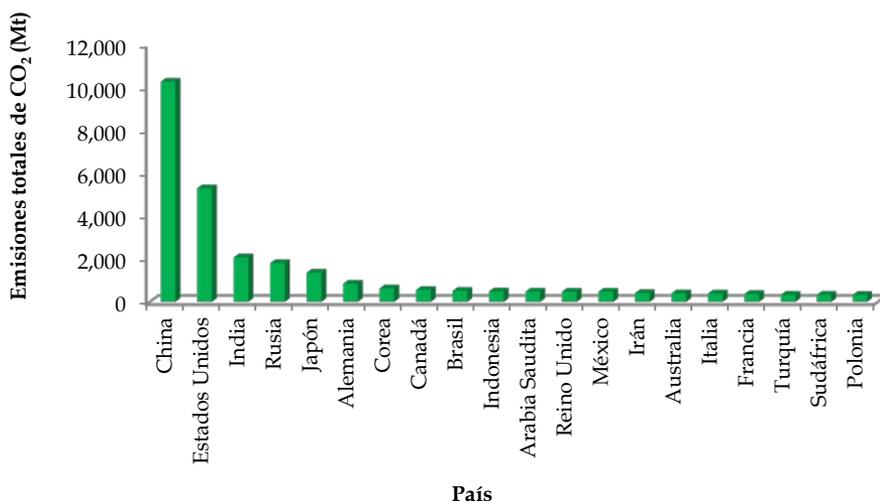


Figura 5.1. Principales países generadores de emisiones antropogénicas de CO₂ para el año 2013 (Olivier *et al.*, 2014).

El CO₂ representa el GEI más importante, con aproximadamente 77% del total de emisiones, en tanto que el CH₄ y el N₂O son emitidos en menores proporciones (14 y 8%, respectivamente); sin embargo, su potencial de calentamiento global es de 28 y 298 veces mayor que el potencial de calentamiento del CO₂ (IPCC, 2014; Garzón y Cárdenas, 2013; López *et al.*, 2013). A nivel mundial, la principal fuente de emisión de CO₂ es el uso de combustibles fósiles en los sectores doméstico y de transporte. Por otro lado, el tratamiento de desechos orgánicos como el compostaje, el tratamiento de aguas residuales y los rellenos sanitarios son las fuentes principales de emisión de CH₄; por último, el tratamiento de residuos, la producción de ácido nítrico y adípico y la cría de ganado son las principales fuentes emisoras de N₂O, considerado también como el responsable de la disminución del ozono atmosférico (EEA, 2011; López *et al.*, 2013).

Existen otros gases, además de los tres mencionados, que también tienen un papel importante en el efecto invernadero, entre los

que destaca el vapor de agua, cuya contribución al efecto invernadero es significativa a pesar de tener un tiempo de vida corto en la atmósfera (López *et al.*, 2013). Sin embargo, a nivel global la concentración del vapor de agua está controlada por la temperatura, la cual influye en las tasas de evaporación y precipitación y, por lo tanto, la concentración global de vapor de agua no está afectada sustancialmente por las emisiones humanas (NRC, 2010). Otro gas a considerar es el ozono (O_3) troposférico, el cual se forma a partir de reacciones químicas entre las emisiones de óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles provenientes de los automóviles, las plantas de energía y otras fuentes industriales. Además de atrapar el calor, el ozono es un contaminante que causa problemas respiratorios en los seres humanos y daña los cultivos y ecosistemas.

Finalmente, los llamados gases F que incluyen a los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6), son usados comúnmente en la fabricación de anticongelantes, extinguidores de fuego, solventes, pesticidas y aerosoles. Estos gases, a diferencia del vapor de agua, tienen un tiempo de vida muy largo en la atmósfera y muchas de estas emisiones afectarán el clima por décadas o siglos (NRC, 2010).

Para evaluar el daño causado por las emisiones de GEI a nivel mundial, existen organizaciones que se encargan de organizar, registrar y analizar las emisiones de los países, incluso ciudades y otras unidades geopolíticas (Rosa y Dietz, 2012).

En el estado de Morelos se han reportado las emisiones de GEI siguiendo la metodología del IPCC. En este caso, 38% de las emisiones de CO_2 eq provienen principalmente del sector energético, que involucra el uso de combustibles fósiles; 30% proviene de los procesos industriales que se desarrollan en el estado, como es la producción de cemento; 23% se genera por el tratamiento de desechos y aguas residuales; 5%, de las actividades agrícolas y 4% por el uso del suelo, el cambio de uso de suelo y silvicultura. Esta información ha permitido

identificar las fuentes clave de GEI en el estado, además es la base para implementar medidas de mitigación y adaptación que disminuyan las emisiones estatales (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013a; Quiroz-Castañeda *et al.*, 2013).

Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático

La atmósfera de la Tierra conserva e incrementa la temperatura de la superficie, retiene 20% de la energía solar, 50% de ésta llega a la superficie terrestre, calentándola, y 30% es reflejado hacia el espacio (albedo). La radiación de baja energía (radiaciones infrarrojas) es reflejada y absorbida por el CO₂, vapor de agua y otros en la troposfera, en un proceso natural llamado *efecto invernadero*. Este proceso es fundamental para la presencia de vida en planeta, la concentración de 0.036% del CO₂ en la atmósfera ha permitido una temperatura media terrestre de 15 grados Celsius.

Los principales gases responsables del llamado efecto invernadero son: el CO₂, el CH₄ y el N₂O; sin embargo, los hidrofluorocarbonos (HFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y el hexafluoruro de carbono (SF₆), provenientes de los sistemas de refrigeración, contribuyen de manera significativa a este efecto (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013b).

Los gases CO₂, CH₄ y N₂O representan 98% del total de las emisiones de GEI que se liberan en el mundo, y se estima que dichas emisiones continúen aumentando a lo largo de este siglo debido a una mayor actividad industrial dependiente de la naturaleza, así como al incremento de la población mundial (EEA, 2011).

El *calentamiento global* es consecuencia del incremento del porcentaje de los GEI en la atmósfera. El calentamiento global es definido como el aumento gradual de las temperaturas de la atmósfera y los océanos de la Tierra (EPA, 2014). Frecuentemente se usan de manera indistinta los términos de calentamiento global y efecto

invernadero, pero mientras uno describe el fenómeno del incremento de temperatura reciente, el otro se refiere al mecanismo que lo causa.

El *cambio climático* se refiere a una variación estadísticamente significativa en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado, normalmente decenios o más. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o forzamiento externo, a los cambios antropogénicos, a la composición de la atmósfera o al uso del suelo (VijayaVenkataaman *et al.*, 2012). El uso del término cambio climático, en el IPCC, se refiere a cualquier cambio en el clima producido durante el transcurso del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o a la actividad humana. Dicho uso difiere del de la CMNUCC, donde el cambio climático se refiere a un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante periodos comparables (IPCC, 2007).

Hoy en día se debe reconocer que el cambio climático no solamente es un aumento en la temperatura media ni un fenómeno que afecta determinadas regiones del planeta, sino que implica la alteración de los sistemas biofísicos y ecológicos en una escala planetaria. El cambio climático está relacionado de manera estrecha con el calentamiento global, debido principalmente al uso irracional de los combustibles fósiles (Gómez-Antón, 2009).

El cambio climático global es uno de los principales problemas de la actualidad, sus efectos no se limitan al entorno ambiental, además presenta implicaciones económicas, sociales y políticas de gran relevancia. El cambio climático afecta las actividades productivas y económicas, amenaza los ecosistemas, la biodiversidad y pone en riesgo los asentamientos humanos y la forma de vida actual (OECD, 2011; Cárdenas, 2010).

Antes de la presencia del hombre en la Tierra, los cambios en el clima tenían su origen en causas completamente naturales, tales como el cambio en la órbita de la Tierra, cambios en la actividad solar o

erupciones volcánicas. Sin embargo, el calentamiento observado a partir de mediados del siglo XX se atribuye a las emisiones de GEI antrópicas (Cubasch *et al.*, 2013; IPCC, 2007). Existen evidencias de los cambios del clima en la Tierra: las temperaturas se están elevando, los patrones de precipitación de lluvia y nieve se están modificando, presentándose cada vez más extremos, con eventos que nunca antes se habían registrado en número e intensidad.

Las tendencias actuales de emisión de GEI no son alentadoras y se espera que la temperatura de la Tierra se incremente, que el nivel del mar se eleve y aumente la acidez en los océanos; que los patrones y la cantidad de precipitaciones se modifiquen y que se reduzcan las cubiertas de nieve en los polos. Todas estas manifestaciones impactarán en el abastecimiento de alimentos, los recursos hídricos, la infraestructura, los ecosistemas e incluso en la propia salud humana (EPA, 2014).

A nivel mundial, las manifestaciones regionales de las proyecciones de los escenarios climáticos varían sustancialmente, destacándose un calentamiento mayor en latitudes mayores. Para este análisis se han propuesto tres escenarios diferentes: B1 es un escenario de bajas emisiones de GEI; A1B, un escenario de emisiones medias-altas y A2, un escenario de altas emisiones (Figura 5.2).

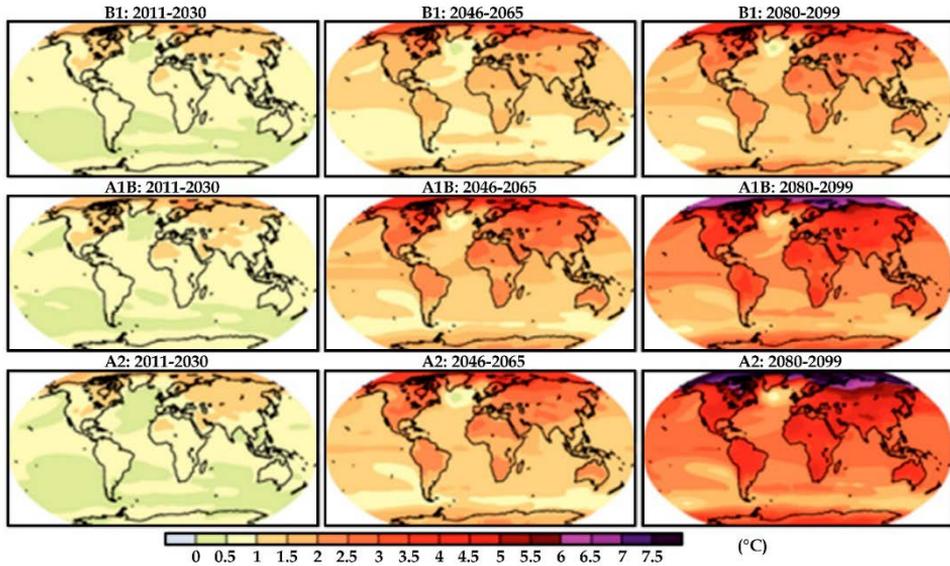


Figura 5.2. Proyecciones en los cambios de la temperatura a nivel mundial bajo tres escenarios de emisiones distintos (filas) y para tres periodos de tiempo diferentes (columnas). Fuente: Meehl *et al.* (2007).

A partir de 1870, el nivel promedio del mar ha aumentado 20.32 cm. Se estima que, en el futuro, este nivel aumente a una velocidad mayor que durante los pasados cincuenta años. La pérdida del hielo en Groenlandia y las capas de hielos del Antártico contribuirán a que el nivel del mar se incremente en poco más de 30 cm (NRC, 2011; IPCC, 2012). Algunas proyecciones para los cambios en el nivel del mar se observan en la Figura 5.3.

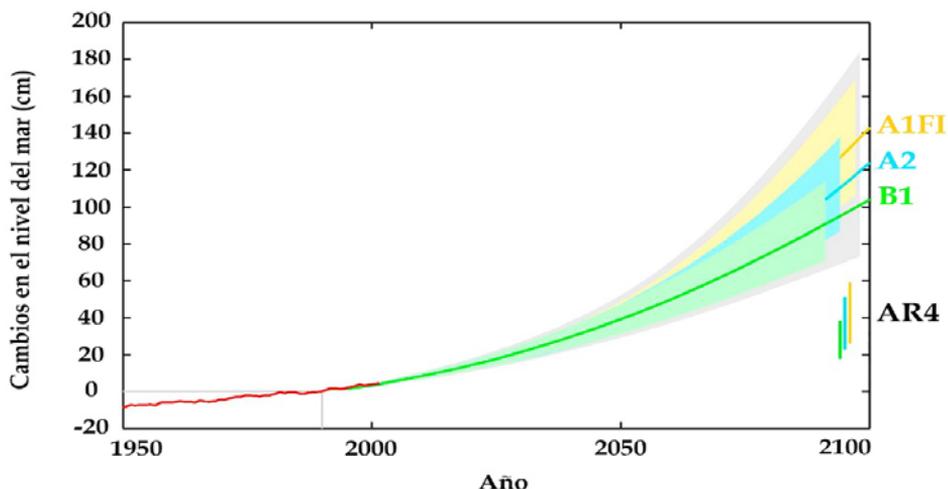


Figura 5.3. Proyección del aumento en el nivel del mar de 1900 a 2100 basado en tres escenarios de emisiones de GEI. B1 es un escenario de bajas emisiones; A2, un escenario de emisiones medias-altas y A1FI, un escenario de emisiones altas. Todas las proyecciones son considerablemente mayores al nivel del mar estimado para el año 2100 por el IPCC (barras verticales color pastel). El nivel del mar en el siglo pasado se muestra en la barra roja. Fuente: Vermeer y Rahmstorf (2009).

Ante estos panoramas, es imprescindible tomar decisiones que permitan una disminución considerable de las emisiones de los GEI. Es necesaria la implementación de políticas públicas que actúen a nivel estatal, nacional y mundial, si se pretende evitar los panoramas dramáticos que se proyectan con los datos actuales.

Consecuencias del cambio climático

A lo largo de la historia de la Tierra se han registrado cambios en el clima, pero tomaron cientos o miles de años en presentarse. De acuerdo con los registros disponibles, ningún cambio había sido tan rápido como el que se observa actualmente. A continuación se describen las

consecuencias más importantes que permiten observar la presencia del cambio climático a nivel global.

- *Incremento de la temperatura:* cambios drásticos en el clima se produjeron en escalas tan cortas de tiempo (décadas). De mediados del siglo XIX a la fecha, la actividad humana ha resultado en aumentos globales de la temperatura del orden de $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2001). Asimismo, se registró disminución de los días fríos.
- *Incremento de acontecimientos atmosféricos extremos:* modificación en los patrones de precipitación que están intensificando los ciclos hidrológicos provocando inundaciones y sequías (Estrada, 2001).
- *Incremento del nivel del mar:* el nivel medio del mar en todo el mundo ha subido y el contenido de calor de los océanos ha aumentado. El promedio global del nivel del mar se incrementó en un rango promedio de 1.8 mm por año de 1961 al 2003. Hecho que está poniendo en peligro a una serie de ciudades que se encuentran situadas a orillas de los ríos o de los propios océanos.
- *Deshielos:* como consecuencia del calentamiento global, está la disminución en la extensión del hielo y de la capa de nieve sobre la superficie terrestre. La temperatura promedio del Ártico, en el aire que corre cerca de la superficie del suelo, ha aumentado; en los últimos treinta años, la extensión de la capa de hielo que flota sobre la superficie del mar se ha reducido en 8%, y su grosor se ha reducido en 10 a 15% (HACIA, 2004). Los glaciares de las montañas y la capa de nieve han disminuido en promedio en ambos hemisferios. En general la disminución de glaciares y capas de hielo ha contribuido al aumento del nivel del mar (IPCC, 2007).
- *Cambios en el comportamiento de algunas especies:* otra consecuencia del cambio climático son los cambios en el comportamiento y

distribución sobre la Tierra de algunas especies de animales y vegetales.

- *Salud*: las enfermedades típicas en las regiones tropicales y subtropicales de América Latina y de otras partes del mundo encontrarán un clima más propicio para su expansión. Por ejemplo, las aguas más cálidas permitirán la transmisión de diversos agentes infecciosos, ya sean virus, bacterias o protozoos, que pueden vivir por periodos prolongados hasta encontrar un huésped en el cual instalarse (PNUMA y ORPALC, 2005).

Las consecuencias del cambio climático seguirán afectando a nivel general, sus impactos se han observado globalmente y podrían intensificarse si no se toman medidas de mitigación (Olivo y Soto-Olivo, 2010).

En los últimos años se han manifestado diferentes catástrofes producidas por el cambio climático en varias partes del mundo, como los fenómenos del Niño y la Niña, que son pruebas evidentes de las extremas perturbaciones climáticas a nivel global. El fenómeno del Niño de 1997-1998 ocasionó un impacto global de 24,120 muertos y 110,997,518 damnificados, además de severos daños de diferente índole en varios países (OPS, 2000). Otro ejemplo es la disminución de precipitaciones al sur de Chile, sureste de Argentina y sur de Perú. En otros lugares como el sur del Brasil, Paraguay, Uruguay, el noreste de Argentina y noreste de Perú y Ecuador las precipitaciones han aumentado.

La percepción social del cambio climático

Las diversas corrientes de pensamiento que utilizan el concepto de percepción analizan las relaciones entre las sensaciones y el proceso perceptivo y se agrupan en tres grandes concepciones que influyen en los estudios sobre el proceso perceptivo: la empirista, la intelectualista

y la fenomenológica. Para los empiristas, la sensación y la percepción dependen de estímulos externos y el individuo es un ser pasivo. La percepción consiste en la organización de las sensaciones puntuales e independientes unas de las otras, siendo que la repetición de esas sensaciones es la base para el conocimiento. Para los intelectualistas, por su parte, sensación y percepción son fenómenos directamente relacionados con la capacidad intelectual del sujeto del conocimiento. El sujeto es activo ante los acontecimientos externos a él, y la cosa, sentida y percibida, es pasiva. La sensación sólo es procesada y conducida a una percepción cuando ocurre una actividad de entendimiento de lo que se siente, es decir, cuando se procesan racionalmente las sensaciones. Por último, la formulación de la fenomenología en la filosofía presenta una nueva concepción, en la cual no hay diferencias entre sensación y percepción, sino que ocurren concomitantemente (Benez *et al.*, 2010).

El comportamiento de los individuos y las sociedades está determinado por lo que dichos individuos y sociedades perciben de los fenómenos que ocurren a su alrededor. Desde una perspectiva psicológica y cognitiva, la manera de percibir y representar la realidad depende de los procesos cognitivos que los individuos de una sociedad integran durante su desarrollo (Lammel y Kozakai, 2005). Las potencialidades de la percepción ambiental se basan en el hecho de que los seres humanos no nos comportamos, en general, de acuerdo con la realidad, sino a partir de cómo la percibimos. Su utilidad, entonces, es más que evidente en dos asuntos: uno de carácter aplicado y otro informativo o educativo. Por una parte es importante conocer las imágenes mentales que tienen las personas que integran un grupo sobre el entorno ambiental para prever la evolución y el comportamiento individual y colectivo del mismo, y así adecuar servicios e infraestructura de acuerdo con las demandas y necesidades sociales de los escenarios futuros previsibles (Dorantes *et al.*, 2014). Por otra parte, la información perceptual ha de permitir una mejor elaboración de los mensajes e información que se han de difundir entre la sociedad a partir

del conocimiento de lo que cada individuo cree, siente o percibe, de modo que se esclarezcan asuntos complejos o se corrijan creencias erróneas (Martín-Vide, 2001).

La percepción ambiental constituye una herramienta útil de análisis de la realidad para la planificación territorial y la programación de acciones. Aunque los resultados que la percepción suministre puedan, en ocasiones, discrepar abiertamente de la realidad, sirven al gestor y al planificador en la toma de decisiones adecuadas para la colectividad en sus relaciones con el marco físico (Álvarez *et al.*, 2007; Martín-Vide, 2001). Al respecto, Catalán *et al.* (2001) coinciden en que los trabajos de percepción ambiental contribuyen en la planeación de soluciones ante la necesidad de mejoramiento del medio ambiente. Álvarez *et al.* (2007), señalan que es partir de los años setenta del siglo XX que se detecta un progresivo interés de los ciudadanos de los países occidentales hacia la protección y mejora del ambiente. No obstante y de manera paralela, se comprueba que éstos apenas desarrollan comportamientos proambientales.

La investigación sobre la percepción y conocimientos de los impactos en la salud humana y los riesgos asociados con el cambio climático ha sido relativamente escasa. Algunos de estos estudios de percepción social se describen a continuación.

Aragonés *et al.* (2006) realizaron una investigación que propone el concepto de problema ambiental como palabra inductora para identificar los temas sustantivos que las personas asocian con dicha cuestión, es decir, se trata de averiguar cuáles son los problemas ambientales que las personas perciben, atendiendo a la sensibilidad que muestran hacia diversas variables sociodemográficas. Los encuestados españoles se agruparon en estudiantes universitarios y población urbana, el análisis de contenido de las respuestas permitió establecer una lista de treinta problemas ambientales que se han organizado en los dominios biótico, abiótico y de actividad humana. Los estudiantes universitarios situaron el calentamiento global en la posición 21, el efecto invernadero en la 17, esto a pesar de que ubicaron la

contaminación atmosférica como el problema ambiental más importante. Por otro lado, la población general consideró el calentamiento global como un problema poco importante (posición 26 de 30); no obstante, al efecto invernadero le otorgó un mayor nivel de importancia al situarlo en el lugar 15. La contaminación del agua fue calificada como el problema ambiental más relevante.

En el año de 2007, Leiserowitz reportó que la gran mayoría de la población mundial es consciente del calentamiento global y lo considera un problema muy serio y cada vez más preocupante. En general, no parece haber diferencia en el nivel de preocupación por el cambio climático en la Unión Europea que en China o los Estados Unidos e incluso entre países en desarrollo como Brasil e India. Muchos de los encuestados consideran el calentamiento global una amenaza para los intereses vitales de su propio país; sin embargo, las personas en los países en desarrollo parecen estar más convencidas de que el cambio climático es una amenaza directa para ellos y sus familias que los individuos en los países desarrollados. A nivel mundial, los encuestados están más preocupados por los posibles efectos sobre la salud humana, seguido por la escasez de agua, la pérdida de especies o los fenómenos meteorológicos extremos. Una gran mayoría de los encuestados de todo el mundo cree que las actividades humanas son una causa significativa del cambio climático; sin embargo, muchos confunden el calentamiento global con el agotamiento de la capa de ozono. Por otra parte, muchos manifiestan que sus gobiernos deben actuar con mayor rapidez y llegar a acuerdos internacionales en torno al problema. Además, los resultados muestran la voluntad de pagar precios más altos por el combustible, si el dinero recaudado se dedica a reducir la contaminación atmosférica.

Álvarez *et al.* (2007) reportan que numerosos estudios indican que la sensibilidad ambiental de los ciudadanos europeos presenta, en muchos casos, un carácter superficial, muy alejado de un verdadero conocimiento y compromiso personal hacia la protección y mejora del medio ambiente. En un estudio realizado en España, los participantes

que tienen estudios universitarios mencionan el cambio climático global en el cuarto lugar de importancia, y en el lugar trece los que sólo tienen estudios primarios. Explican estos resultados debido a que a los sujetos con un nivel de estudios más bajo les resulta más difícil determinar la gravedad de aquellas problemáticas que no perciben como próximas o que piensan que no llegaran a afectarles personalmente.

Hidalgo y Pisano (2010), llevaron a cabo un estudio piloto donde analizaron conjuntamente los predictores de la percepción de riesgo y de la disposición a actuar contra el cambio climático más relevantes reportados en la literatura previa. Elaboraron una escala tipo Likert para evaluar las variables: conocimiento, actitudes hacia el cambio climático y autoeficacia; como predictoras y percepción de riesgo e intención de conducta como criterios. Sometieron la escala a prueba en una muestra de 84 estudiantes de la Universidad de Málaga, España. Los resultados de los análisis de regresión indican que la percepción sobre la realidad del cambio climático se explica, en 44% de la varianza, a partir del nivel de conocimientos, la actitud hacia el cambio climático y la autoeficacia. La intención de conducta se predice en 17% a partir de la actitud hacia el cambio climático y la autoeficacia.

Akelorf *et al.* (2010), reportan un estudio de percepción pública en Estados Unidos, Canadá y Malta, donde se observó una asociación significativa entre el cambio climático y riesgos a la salud y el bienestar humanos. En los tres países afirman que las personas ya están siendo afectadas. Los canadienses señalan a las personas mayores y a los niños como sectores de la población con mayor riesgo; sin embargo, los estadounidenses manifiestan que la gente de los países en desarrollo tiene más riesgo que la de su nación. Los problemas respiratorios, el cáncer y las enfermedades infecciosas, quemaduras solares y las alergias se asocian con el cambio climático de manera diferenciada en los tres países. Sin embargo, el cambio climático parece carecer de relevancia como problema de salud en los tres países. Los autores

señalan que el aire y el agua son los elementos hacia los que parece haber mayor sensibilidad.

En una encuesta realizada entre campesinos del sector cacaotero y cafetero del centro de Santander, Colombia, Pinilla-Herrera *et al.* (2012), analizaron las percepciones sobre los fenómenos de variabilidad climática y cambio climático. Encontraron que esta variabilidad es un tema muy reconocido ya que la gente percibe los cambios en el clima regional, sus causas e impactos. Los resultados revelan algunas prácticas culturales como estrategias de adaptación espontánea al clima cambiante. Sobre el cambio climático se determinó que, como fenómeno, es reconocido pero aún no tiene mucha difusión y hay poco conocimiento sobre sus causas, consecuencias y formas de mitigarlo; sin embargo, la gente lo percibe como una problemática local, regional y global, que potencialmente puede tener solución mediante la acción colectiva.

González-Gaudio (2012) realizó una revisión de la producción internacional, en lenguas inglesa, castellana y portuguesa, de los estudios de percepción y representación social del cambio climático. Explica que pocos problemas que caracterizan la vida contemporánea como el cambio climático, se muestran con tal complejidad. Pese a sus evidentes manifestaciones, continúa con una baja prioridad social y política frente a otros problemas ambientales y que sigue viéndose como un riesgo moderado y lejano, lo cual puede explicar por qué algunas políticas de respuesta han sido tan lentas y débiles. La preocupación, el sentido de urgencia y la importancia varían fuertemente de país a país y a lo largo de las distintas clases sociales, regiones geográficas y formas culturales, pero en general, la comprensión de sus causas y consecuencias en la sociedad y los ecosistemas permanece limitada.

Urbina (2006) y, más recientemente, Hidalgo y Pisano (2010) señalan que el primer paso para abordar el problema del cambio climático debe pasar por la realización de estudios sistemáticos que logren describir y explicar cómo la gente percibe el problema, cuáles

son sus conocimientos y actitudes y, sobre todo, deben aportar luz sobre las posibles acciones individuales y colectivas que sean capaces de asumir los diferentes sectores de la población.

El cambio climático como indicador sintético de la complejidad

Leff (2007) señala que la complejidad ambiental es la reflexión del conocimiento sobre lo real, lo que lleva a objetivar la naturaleza e intervenirla, complejizarla por un conocimiento que transforma el mundo a través de sus estrategias de conocimiento. La complejidad ambiental invita a ver más allá del economocentrismo, el antropocentrismo, el dualismo y los reduccionismos (Eschenhagen, 2007). De acuerdo con Morin (1985), se trata de pensar la multidimensionalidad para poder pensar y entender la realidad de una manera menos mutilante, lo cual se traduce principalmente en aceptar y tratar de aprehender la multiplicidad de relaciones que se establecen entre los procesos materiales y no, como se ha hecho tradicionalmente, en el estudio de los objetos mismos de manera aislada.

La estrategia metodológica capaz de dar cuenta de la complejidad de los fenómenos no se resume en miradas múltiples cohabitando o coexistiendo en un campo científico dado, sino que es preciso descubrir la unidad en esa inmensa diversidad compleja de objetos, miradores y miradas (Almeida-Filho, 2006).

En este contexto, el cambio climático representa una compleja relación entre ciencia, política y sociedad. Blanco y Fuenzalida (2013) señalan que el cambio climático no es sólo consecuencia de la actividad humana, es también un efecto de la ciencia, en tantos mecanismos de representación de cambios ecosistémicos de alta complejidad que requieren la cooperación interdisciplinaria para su estudio. El cambio climático involucra interacciones complejas entre las cuestiones geofísicas y ambientales. Sin embargo, ellas no pueden ser tratadas sin la debida consideración de los procesos sociales, económicos, políticos, institucionales y tecnológicos y, eventualmente, cualquier otra fuente

de tensión a la que el desarrollo está indudablemente ligado (Rusticucci *et al.*, 2002).

Por lo tanto, el abordaje de un problema tan complejo requiere no una política pública sino de un sistema integrado de políticas públicas. Lo Vuolo (2014) propone un rediseño institucional en donde las nuevas políticas, atentas a los desafíos del cambio climático, deberían: 1) integrar los objetivos ambientales sostenibles en objetivos básicos de la política social; 2) incorporar las incertidumbres y complejidades asociadas con el cambio climático en el análisis de las políticas sociales; 3) asegurar que las políticas económicas estén diseñadas para satisfacer el núcleo social y ambiental, y no simplemente los objetivos de crecimiento; 4) crear empleo y facilitar la adopción de empleos de la economía verde en los grupos desfavorecidos; 5) reducir las desigualdades y desventajas arraigadas a través de políticas sociales redistributivas.

González-Gaudio (2012) señala que es evidente que los sistemas educativos, en su expresión actual, difícilmente pueden responder a la complejidad del cambio climático en la forma debida. Por ello, este fenómeno hipercomplejo está recorriendo el mismo camino que se le recetó a la educación ambiental en su conjunto: incorporar contenidos como elementos discretos en algunas asignaturas de los planes de estudio, en espera de que la alfabetización científica sobre el cambio climático modifique el comportamiento individual y colectivo que está provocándolo.

Por otro lado, la complejidad de un fenómeno como el cambio climático hace necesaria, más que nunca, una cooperación por parte de los medios de comunicación masiva en la búsqueda de una mínima alfabetización científica que permita a la sociedad comprender en su complejidad todos los cambios geográficos, económicos, políticos, ambientales y sociales que ya se están produciendo y cuya inercia ya es difícilmente reversible (Piñuel, 2013).

La mitigación de GEI como estrategia global

La mitigación puede definirse como toda intervención antropogénica que reduce las fuentes o aumenta los sumideros de GEI (IPCC, 2014; Klein *et al.*, 2007). Una opción de mitigación de carbono debe dar como resultado la reducción del incremento neto de las emisiones de este gas en un área determinada o la sustitución de combustibles fósiles (Masera, 1995; Masera *et al.*, 2000).

La mitigación busca establecer acciones para reducir las emisiones de GEI, cuya finalidad es disminuir el impacto que se produce al ambiente. Para ello, se deben modificar procedimientos, usar tecnologías limpias y eficientes, así como fomentar prácticas ecológicas, ya sea para compensar o para evitar más emisiones de GEI. Las medidas de mitigación pueden reducir la velocidad con que aumentan las concentraciones actuales de GEI y por consiguiente reducir los impactos del calentamiento global (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013b). Además, las medidas de mitigación deben ser cuantificables, notificables y verificables, adecuadas a las condiciones de cada país o región (Herrán, 2012).

El término de mitigación ha dominado hasta ahora el discurso global de la política de cambio climático y la adaptación es considerada en gran medida como responsabilidad individual de cada país (Ayers y Huq, 2009). A pesar de los crecientes desafíos de adaptación, los países desarrollados siguen enfocando sus esfuerzos en la mitigación, mientras que la adaptación es una prioridad clave para los países en desarrollo más vulnerables. Este patrón puede ser el resultado de la concepción de que la mitigación podría ser suficiente para hacer frente al cambio climático (Duguma *et al.*, 2014).

Bowen *et al.* (2014) y Olbrisch *et al.* (2011) señalan que para mantener el incremento de la temperatura promedio de planeta por debajo de 2°C se requiere de la acción concertada de mitigación de los países desarrollados y los países en desarrollo. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el

Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de Copenhague, los países desarrollados adquirieron la obligación de proveer fondos para la mitigación en los países en desarrollo. Sin embargo, no hay ninguna base para la determinación de la cantidad para el apoyo financiero internacional que debe proporcionarse a las medidas de mitigación en los países en desarrollo. La transición a una economía de bajas emisiones de carbono requerirá de una inversión significativa para transformar los sistemas de energía, alterar el entorno construido y la infraestructura adaptada. Las pocas evaluaciones de los costos de mitigación adicionales disponibles sugieren que estos costos aumentarán significativamente durante las próximas dos décadas y superarán los 100 mil millones de dólares para el año 2030, no obstante, aún no es posible determinar si el financiamiento prometido será suficiente.

La CMNUCC estableció en el año de 1997 el Protocolo de Kioto, un acuerdo internacional con la finalidad de reducir las emisiones de GEI (ONU, 1998), este tratado entró en vigor en el año 2005, después de su ratificación en Rusia en el año 2004 (ONU, 2009). México participa en la CMNUCC desde el año 1992, sin embargo, como país “no anexo 1”, no tiene compromisos cuantitativos en lo referente a la reducción de sus emisiones de GEI, no obstante, es pionero en la adopción de medidas y ha impulsado iniciativas propias para su reducción, dentro de las cuales, establece su compromiso para integrar inventarios de emisiones de GEI.

A nivel mundial, la estrategia general consiste en la estabilización de las emisiones. Entre las medidas de mitigación globales más importantes están las siguientes (Salazar y Masera, 2010):

1. Reducir las emisiones de GEI mediante la sustitución de energías convencionales por tecnologías limpias, desde fuentes renovables; promover el ahorro y la eficiencia energética; desarrollar tecnologías de reducción y captura de emisiones en la industria y el transporte.

2. Conservar y ampliar las zonas boscosas y de vegetación: las emisiones generadas en los ecosistemas por combustión de materia orgánica y degradación de suelos se reducen al contener la deforestación mediante programas de manejo, prácticas agroforestales o plantaciones comerciales forestales. Además de incrementar la captura de CO₂, es conveniente la sustitución de combustibles fósiles por bioenergéticos para usos locales y regionales, aunado a la implementación de estrategias económicas ecológicas de desarrollo social.
3. Cambiar los patrones de consumo y estilo de vida: los hábitos de millones de personas generan toneladas de carbono al año, principalmente por el uso del transporte y la energía eléctrica. Se pueden reducir significativamente las emisiones al reducir, tanto la demanda de electricidad de edificios mediante el manejo integral de residuos, como la intensidad del uso de autos particulares.

Jacob *et al.* (2014) señalan que los países en desarrollo pueden reducir las emisiones y prosperar sólo si el crecimiento económico se desliga de las emisiones relacionadas con la energía y aunque en teoría es posible les impondría costos considerables. Por lo que la reorientación hacia un desarrollo bajo en carbono en estos países no es muy realista y los esfuerzos se centran en “acciones de mitigación posibles, como la eliminación de subsidios a los energéticos, la descentralización de la industria energética y la sustitución de combustibles.

En México, el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 (DOF, 2007), en su eje estratégico número 4, “Sustentabilidad ambiental”, establecía en su punto 4.6., “Cambio climático”, la necesidad de reducir las emisiones de GEI en sectores estratégicos como el energético a través de la eficiencia y tecnologías limpias para la generación de energía, la promoción del uso eficiente de energía en el ámbito doméstico, industrial, agrícola y de transporte, la adopción de estándares

internacionales para las emisiones vehiculares y el fomento de la recuperación de energía a partir de residuos. En este mismo punto se establece la importancia de la adaptación ante el cambio climático a través de la planeación e inclusión de aspectos de adaptación al cambio climático en los distintos sectores de la sociedad, el desarrollo de escenarios climáticos futuros, la evaluación de los impactos y la vulnerabilidad social y ecológica, así como la promoción y difusión sobre los impactos, vulnerabilidad y medidas de adaptación al cambio climático. El actual Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, en la estrategia 4.3.3., establece fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono, a través de acciones de mitigación y adaptación (DOF, 2013).

Vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático

La *vulnerabilidad* se refiere al grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos; la vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema y de su sensibilidad y capacidad de adaptación (Vergara, 2011; INECC, 2010).

La vulnerabilidad ante los desastres naturales puede verse acrecentada por otros factores concomitantes como la pobreza, la desigualdad de recursos y los giros en la economía mundial, los mercados o los servicios de salud pública.

Por otra parte, la *adaptación* se define como el ajuste en los sistemas naturales o humanos (ecológicos, sociales o económicos) en respuesta a los estímulos climáticos, a sus efectos esperados o reales, para moderar el daño o explotar las oportunidades benéficas que representan estos cambios (IPCC, 2007).

En el contexto del cambio climático, la adaptación ha sido hasta ahora objeto de menor atención respecto a la mitigación; sin embargo,

la adaptación es clave en las políticas futuras en materia de cambio climático, ya que permite atender directamente los impactos locales sobre los sectores más desprotegidos de la sociedad. De hecho, la adaptación es considerada como una serie de cambios locales, en tanto que la mitigación es un proceso global que requiere de la cooperación internacional y un compromiso común (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013b).

La capacidad de adaptación permite reducir la vulnerabilidad ante los cambios climáticos; ésta deriva de la fortaleza de las instituciones, de los recursos disponibles y de la capacidad de generar una respuesta anticipada y coordinada por parte de la sociedad y sus instituciones. En muchos casos requiere de esfuerzos importantes en cuanto a planeación, logística e ingeniería para la protección o modificación de las actividades y los recursos que puedan verse afectados. La adaptación es desde luego una actividad preventiva esencial, y puede incluso ser benéfica tanto a corto como a largo plazo. Los escenarios climáticos generales han sido ya planteados y, por lo tanto, las estrategias de adaptación pueden ser planificadas considerando estos escenarios, para enmarcarse dentro de los planes de desarrollo sectorial, social y económico, ya sea en ámbitos nacionales, regionales o locales. Es cada vez más importante hacer las estimaciones climáticas a nivel regional y de proyectos, en sectores tales como: agricultura, energía, recursos hidrológicos, planeación urbana, turismo o comercio. Con base en estudios de este tipo se pueden identificar las acciones con una alta relación costo-beneficio, las cuales en muchos casos pueden maximizarse con una adaptación temprana. Ahora bien, tanto la aplicación como la efectividad de las medidas de adaptación pueden ser limitadas o potenciadas por factores de orden financiero, tecnológico, cognitivo, político, cultural, social o institucional (Salazar y Masera, 2010).

Los indicadores relativos al cambio climático en México

El desarrollo de planes nacionales de política ambiental ha generado la necesidad de poner en práctica instrumentos que evalúen la situación del medio ambiente y las consecuencias de las medidas aplicadas. Así, la creciente demanda de información ambiental, útil en espacio y tiempo, para prever situaciones ambientales y por tanto capaz de servir a un proceso político preventivo justifica que, a pesar de tener que seguir agudizando esfuerzos en la obtención de información de base sea preciso avanzar con carácter prioritario en el desarrollo de indicadores y sistemas de indicadores, y que estos además deben responder a un esquema común y por tanto comparable a nivel regional, nacional y hasta internacional (Manteiga, 2000).

El cambio climático es un indicador de evaluación ambiental que refleja el estado del medio ambiente en relación con este tema, la presión que éste soporta y la respuesta social implementada. Una de las principales limitaciones a las que se enfrenta éste a nivel nacional es la calidad de las estadísticas.

La SEMARNAT (2012) publicó los Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental. Al conjunto lo integran alrededor de 115, los cuales cubren los temas ambientales prioritarios de la agenda nacional. Uno de los temas es el de la atmósfera, que incluye indicadores sobre la calidad del aire, cambio climático y ozono troposférico. El indicador de cambio climático fue desarrollado con el esquema Presión-Estado-Respuesta, como se muestra en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Esquema Presión-Estado-Respuesta del indicador cambio climático Fuente: SEMARNAT, 2012.

Presión	Estado	Respuesta
Emisión mundial de CO ₂ por consumo de combustibles fósiles	Concentración global atmosférica de CO ₂	Medidas tomadas por México en materia de cambio climático
Emisión mundial de CO ₂ por consumo de combustibles fósiles	Variación de la temperatura global	
Emisión y captura nacional de CO ₂ por uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura		

El estado de Morelos ante el cambio climático en el contexto nacional

El estado de Morelos cuenta con su primer Inventario de emisiones de GEI (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013a). En este primer inventario se calcularon las emisiones de los principales GEI, CO₂, CH₄ y N₂O, generadas en el estado para los años 2005, 2007 y 2009 de acuerdo con la metodología establecida por el IPCC (1996). Las categorías abordadas en este inventario fueron Energía, Procesos Industriales, Agricultura, Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSyS) y Residuos (Quiroz-Castañeda *et al.*, 2013).

En el Inventario de emisiones de GEI del estado de Morelos, los valores de las emisiones calculados para cada una de las diferentes categorías fueron reportadas como unidades de bióxido de carbono equivalentes (CO_{2eq}), facilitando su análisis y comparación. En la Tabla 5.2 se enlistan, agrupadas por categoría y fuente, las emisiones de GEI generadas en el estado. Como se observa en la tabla, en el año 2009, las emisiones de GEI alcanzaron un valor de 9,149.76 Gg de CO₂ eq, presentando un incremento de 1.74% respecto al año base, 2005.

Indicadores Ambientales

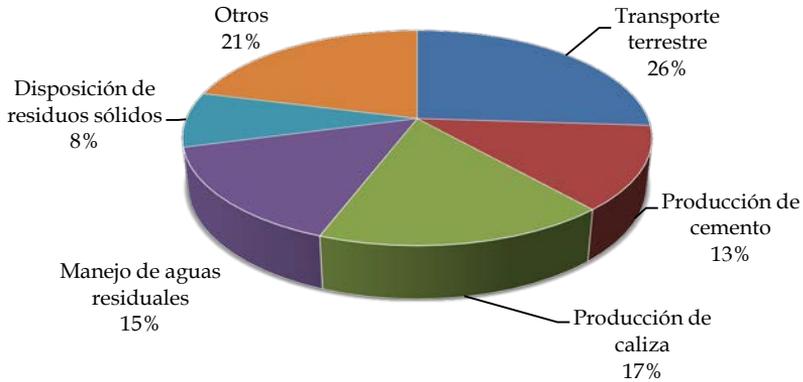
Tabla 5.2. Emisiones totales de CO₂ eq en el estado de Morelos.

Categoría	Fuente de Emisión	Gas	Cantidad de CO ₂ eq emitida/capturada (Gg)		
			2005	2007	2009
Energía	Industrial	CO ₂	54.9	74.3	55.08
		CH ₄	0.04	0.05	0.04
		N ₂ O	0.16	0.22	0.16
	Comercial	CO ₂	85.39	103.89	94.63
		CH ₄	0.29	0.35	0.32
		N ₂ O	0.25	0.31	0.28
	Residencial	CO ₂	387.75	375.44	338.51
		CH ₄	1.3	1.26	1.13
		N ₂ O	1.15	1.11	1
	Agrícola	CO ₂	11.93	3.4	3.53
		CH ₄	0.02	0.01	0.01
		N ₂ O	0.04	0.01	0.01
	Trasporte terrestre	CO ₂	2,228.72	2,369.14	2,484.74
		CH ₄	106.71	113.24	122.34
		N ₂ O	5.8	6.18	6.51
	Transporte aéreo	CO ₂	3.36	12.25	2.9
		N ₂ O	0.03	0.11	0.03
	Transporte acuático	CO ₂	1.24	1.23	1.23
	Consumo de energía eléctrica	CO ₂	521.75	1,054.77	1,181.58
Total Energía			3,410.83	4,117.27	4,294.03
Procesos industriales	Producción de cemento	CO ₂	1,132.12	1,259.03	1,242.45
	Producción de caliza	CO ₂	1,535.56	1,561.19	813.15
	CO ₂ por consulta en el RETC	CO ₂	69.49	266.74	290.82
	Total Procesos Industriales		2,737.17	3,086.96	2,346.42
Agricultura	Suelos agrícolas	N ₂ O	410.01	418.26	446.81
	Manejo de estiércol	CH ₄	0.01	0.01	0.01
		N ₂ O	6.2	6.2	6.2
	Quema en el cultivo de caña de azúcar	CH ₄	6.13	6.5	5.94
		N ₂ O	2.99	3.17	2.89
	Cultivo de arroz	CH ₄	6.18	4.33	5.96
	Fermentación entérica	CH ₄	0.15	0.14	0.15
	Total Agricultura		431.67	438.61	467.96
USCUSyS	Cambio en la biomasa de bosques y otros tipos de vegetación leñosa	CO ₂	223.84	199.86	196.15
	Conversión de bosques y praderas	CO ₂	64.27	42.29	43.43
		CH ₄	0.01	0.21	0.01
	Emisiones y remociones de CO ₂ del suelo	CO ₂	32.08	32.08	32.08
	Captura por abandono de tierras	CO ₂	-3.41	-4.68	-4.68
	Total USCUSyS		316.79	269.76	266.99
Residuos	Disposición de residuos sólidos	CH ₄	742.35	742.35	769.95
	Tratamiento de aguas residuales	CH ₄	1,315.89	1,714.87	958.52
		N ₂ O	38.36	44.1	45.89
	Total Residuos		2,096.6	2,501.32	1,774.36
Balance neto de emisiones			8,993.06	10,413.92	9,149.76
Ortiz-Hernández et al., 2013b					

En la Figura 5.4 se ilustra la contribución proporcional de estas fuentes de emisión para el año 2009, en comparación con el año base, 2005. Las principales fuentes generadoras de emisiones en el estado de Morelos incluyen: la combustión proveniente del transporte terrestre (categoría de Energía), las producciones de cemento y de caliza (categoría de Procesos industriales), el manejo de aguas residuales y la disposición de residuos sólidos (categoría de Residuos). La elaboración del Inventario de emisiones de GEI del estado de Morelos permitió identificar las principales fuentes de emisión, generando información esencial para proponer medidas de mitigación y lograr reducciones significativas de las emisiones estatales en el futuro.

En lo referente al contexto nacional, de acuerdo con los datos del primer Inventario de emisiones de GEI, en el año base 2005, el estado de Morelos contribuyó con el 1.35% de las emisiones totales de México, mientras que para el año 2009, su contribución disminuyó a 1.24%, como se aprecia en la Tabla 5.2. Al igual que para el estado de Morelos, la categoría de Energía es la principal fuente de emisiones de GEI a nivel nacional, representando aproximadamente 68% de las emisiones nacionales y 47% de las emisiones de Morelos para el año 2009. El estado de Morelos presenta sus contribuciones más significativas a las emisiones nacionales en las categorías de Procesos industriales y Residuos.

A.



B.

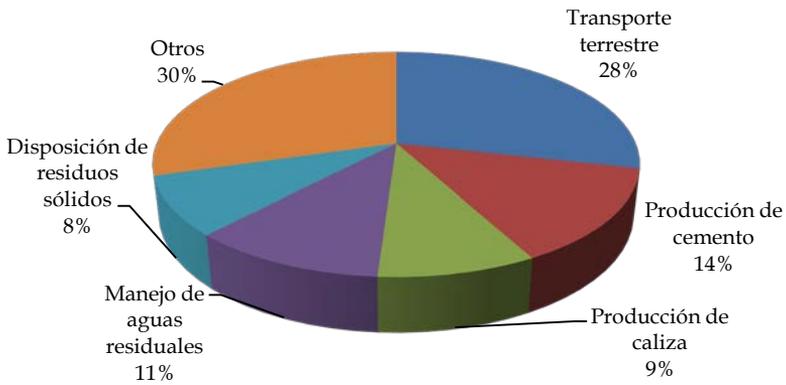


Figura 5.4. Contribuciones proporcionales de las principales fuentes de emisión para el estado de Morelos. A., año base 2005 y B., año 2009. Elaboración propia con datos de Ortiz-Hernández *et al.* (2013b).

Tabla 5.2. Comparación entre las emisiones nacionales reportadas para los años 2005, 2007 y 2009 y las del Inventario de emisiones de GEI del estado de Morelos.

Categoría	Nacionales (Gg de CO _{2eq})*			Morelos (Gg de CO _{2eq}) [§]			Relación porcentual (%)		
	2005	2007	2009	2005	2007	2009	2005	2007	2009
Energía	444,687.8	486,195.9	500,048.4	3,410.83	4,117.27	4,294.03	0.77	0.85	0.86
Procesos industriales	46,900.0	55,949.1	55,308.2	2,737.17	3,086.96	2,346.42	5.84	5.52	4.24
Agricultura	88,745.60	89,635.30	91,503.80	431.67	438.61	467.96	0.49	0.49	0.51
USCUSyS	51,043	50,780	47,410	316.79	269.76	266.99	0.62	0.53	0.56
Residuos	34,314.1	38,424.1	42,066.4	2,096.6	2,501.32	1,774.36	6.11	6.51	4.22
Totales	666,913.0	722,207.7	737,559.6	8,993.06	10,413.92	9,149.76	1.35	1.44	1.24

*INECC-SEMARNAT 2013; [§]Ortiz-Hernández *et al.*, 2013b

La respuesta ante el cambio climático en Morelos

En el año 2012 se publicó la *Ley General de Cambio Climático (LGCC)*, la cual establece las definiciones, competencia y atribuciones de los diferentes órganos de gobierno, define los principios y los instrumentos básicos para la política de cambio climático y plantea los objetivos para las políticas de adaptación y mitigación ante el cambio climático (DOF, 2012). Por lo que, de acuerdo con esta ley, en sus artículos 8 y 9, tanto las entidades federativas como sus municipios son responsables de formular, dirigir e implementar las acciones de mitigación y adaptación ante el cambio climático a través de programas estatales (PEACC) y municipales (PACMUN).

En el estado de Morelos se pretende implementar medidas para mitigar de manera paulatina y permanente una cantidad importante de emisiones de GEI. El Plan Estatal de Desarrollo 2013-2018, en su eje 4, "*Morelos verde y sustentable*", estrategia 4.4.6, se plantea establecer y operar el Programa Estatal de Acciones ante el Cambio Climático, con la finalidad de definir los lineamientos para la mitigación de los GEI y la adaptación ante el cambio climático, así como el análisis de

vulnerabilidad y escenarios de cambio climático para el estado (Periódico Oficial *Tierra y Libertad*, 2013). Actualmente, en el estado de Morelos, se ha publicado el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (Periódico Oficial *Tierra y Libertad*, 2015) y en lo referente a los Planes de Acción Climática Municipales, 32 de los 33 municipios del estado se encuentran afilados a la Agencia Internacional de Medio Ambiente para los Gobiernos Locales (ICLEI, por sus siglas en inglés), para el desarrollo de sus planes de acción climática (SEDESU-Morelos, 2014a).

Por otro lado el gobierno del estado de Morelos, a través de la Secretaría de Desarrollo Sustentable, ha lanzado el Programa Estatal de Educación Capacitación y Cultura Ambiental para la Sustentabilidad (PEECCAS), programa que incluye un conjunto de proyectos y acciones para promover una cultura ambiental que se traduzca en la adopción de medidas de mitigación y adaptación ante el cambio climático en Morelos (SEDESU-Morelos, 2014b). Este programa representa la respuesta estatal ante los desafíos que plantea el cambio climático.

Consideraciones finales

La información recopilada ha permitido identificar las fuentes emisoras de GEI en el estado de Morelos, con estos datos ha sido posible desarrollar propuestas de medidas de mitigación y adaptación en condiciones de cambio climático. Estas medidas plantean buscar la sustitución de energías convencionales por tecnologías amigables con el ambiente; reducir la dependencia en el uso de los combustibles fósiles sustituyéndolos por bioenergéticos; conservar y aumentar las áreas de vegetación y reducir la deforestación; implementar estrategias económicas y ecológicas de desarrollo social; y cambiar los patrones de consumo y estilo de vida para la reducción de residuos. El cambio climático se ha reconocido como uno de los principales problemas de carácter global, presenta implicaciones económicas, sociales y políticas, es por esto que la generación de información de diferentes indicadores

permite evaluar la situación que guarda el estado de Morelos respecto a su calidad ambiental. A pesar de las limitaciones que enfrenta la construcción de éste en cuanto a la calidad y cantidad de datos, se pueden generar políticas públicas enfocadas a la mitigación de GEI y sobre todo a la adaptación.

Literatura citada

- Akerlof, K., DeBono, R., Berry, P., Leiserowitz, A., Roser-Renouf, C., Clarke, K. L., Rogaeva, A., Nisbet, M. C., Weathers, M.R., Maibach, E. W. (2010). Public Perceptions of Climate Change as a Human Health Risk: Surveys of the United States, Canada and Malta. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 7, 2559-2606.
- Almeida-Filho, N. (2006) Complejidad y transdisciplinariedad en el campo de la salud colectiva: Evaluación de conceptos y aplicaciones. *Salud Colectiva*. 2. 2, 123-146.
- Álvarez, S. P., De la Fuente, S. E., Cañadas, D. G. (2007). Escalamiento subjetivo de problemas ambientales en ciudadanos españoles. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*. 8. 1 y 2, 93-110.
- Aragonés, J. I., Sevillano, V., Cortés, B., Amérigo, M. (2006). Cuestiones ambientales que se perciben como problemas. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*. 7. 2, 1-19.
- Assessment, A. C. I. (2004). Impacts of a Warming Arctic-Arctic Climate Impact Assessment. *Impacts of a Warming Arctic-Arctic Climate Impact Assessment*, by Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 144 pp.
- Benez, M. C., Kauffer, M. E., Álvarez, G. M. (2010). Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. *Frontera Norte*. 22. 439, 129-158.
- Blanco, W. G., Fuenzalida, M. I. (2013). La construcción de agendas científicas sobre cambio climático y su influencia en la territorialización de políticas blicas: reflexiones a partir del caso

- chileno. *En*: Postigo J. (ed) Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas. Una vinculación necesaria. Santiago de Chile: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. 75-102 pp.
- Bowen, A., Campiglio, E., Tavoni, M. (2014). A macroeconomic perspective on climate change mitigation: Meeting the financing challenge. *Climate Change Economics*. 5, 01-30.
- Cárdenas, M. J. (2010). México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación. Greenpeace. *En*: <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2010/6/vulnerabilidad-mexico.pdf>.
- Catalán, V. M., Rojas, R. M., Pérez, N. J. (2001). La percepción que tiene la población adulta del Distrito Federal sobre la contaminación del aire. Estudio descriptivo. *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias*. 14. 4, 220-223.
- Cubasch, U., Wuebbles, D., Chen, D., Facchini, M.C., Frame, D., Mahowald, N., Winther, J.G. (2013). Introduction. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge-New York: Cambridge University Press. 13-25 pp.
- DOF (2007). Plan nacional de desarrollo 2007-2012. Diario oficial de la Federación. 31 de mayo de 2007.
- DOF (2012). Ley general de cambio climático. Diario oficial de la Federación. 06 de junio de 2012.
- DOF (2013). Plan nacional de desarrollo 2013-2018. Diario oficial de la Federación. 20 de mayo de 2013.
- Dorantes, A. G., Sánchez-Salinas, E., Ortiz-Hernández, M. L. (2014). Percepción ambiental: herramienta de análisis de la realidad. *En*: Sánchez-Salinas, E., Ortiz-Hernández, M.L., Castrejón-Godínez, M.L. (comps). *Contaminación urbana del aire: Aspectos*

- fisicoquímicos, microbiológicos y sociales. Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 157-180 pp.
- Duguma, L. A., Wambugu, S. W., Minang, P. A., Van Noordwijk, M. (2014). A systematic analysis of enabling conditions for synergy between climate change mitigation and adaptation measures in developing countries. *Environmental Science & Policy*. 42, 138-148.
- EEA (2011). European Environment Agency (2011) Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2009 and inventory report 2011.
- EEA (2014). European Environment Agency (EEA)-Climate change. Consultado en: <http://www.eea.europa.eu/themes/climate>, el 20 de julio de 2014.
- EPA (2014). United States Environmental Protection Agency. Greenhouse Gases.
- Eschenhagen, M.L. (2007). Diversas consideraciones y aproximaciones a la noción de complejidad ambiental. *Reflexión*. 10, 4, 83-93.
- Estrada, P. M. (2001). Cambio climático global: causas y consecuencias. *Revista de Información y Análisis*. 16, 7-17.
- Garzón, J. E., Cárdenas, E. A. (2013). Emisiones antropogénicas de amoníaco, nitratos y óxido nítrico: compuestos nitrogenados que afectan el medio ambiente en el sector agropecuario colombiano. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. 60. 2, 121-138.
- González-Gaudiano, E. (2012a). La ambientalización del currículum escolar: breve recuento de una azarosa historia. *Profesorado*. 16. 2, 15-24.
- González-Gaudiano, E. (2012b). La representación social del cambio climático. Una revisión internacional. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*. 17. 559, 1035-1062.
- Gómez-Antón, R. M. (2009). Contención del calentamiento global. Cambio climático ¿un desafío a nuestro alcance? Salamanca: Universidad de Salamanca. 271-286.

- Herrán, C. (2012). El cambio climático y sus consecuencias para América Latina. Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert-FES. México. 8 pp.
- Hidalgo, C. M., Pisano, I. (2010). Predictores de la percepción de riesgo y del comportamiento ante el cambio climático. Un estudio piloto. *Psycology*. 1, 39-46.
- INECC (2010). Cambio climático en México. En: <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/comprendercc/porquydo ndesomosvul/queeslavulnerabilidad.html> Consultado el 20 de julio de 2014.
- INECC-SEMARNAT (2013). Informes del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. En: <http://www.inecc.gob.mx/cpcc-lineas/1165-inem-1990-2010>. Consultado 2 de noviembre de 2014.
- INECC-SEMARNAT (2014). Avances de los programas estatales de acción ante el cambio climático. En: <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/peacc/>. Consultado el 2 de noviembre de 2014.
- INE-SEMARNAT (2010). Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional. México. 26 pp
- INE-SEMARNAT (2012). Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México. 399 pp
- IPCC (2001). *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. 1005 pp.
- IPCC (2007a). *Climate Change 2007: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC. 104 pp.

- IPCC (2007b). *Climate change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of working group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* 868 pp
- IPCC (2007c). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* UK-New York: Cambridge University Press. 940 pp.
- IPCC (2012). *Summary for Policymakers in: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* EPA Disclaimer. UK-New York: Cambridge University Press. 594 pp
- IPCC (2014a). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. 1535 pp.
- IPCC (2014b). *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* UK-New York: Cambridge University Press. 1435 pp.
- Klein, R. J. T., Huq, S., Denton, F., Downing, T. E., Richels, R. G., Robinson, J. B., Toth, F. L. (2007). Inter-relationships between adaptation and mitigation. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* UK: Cambridge University Press. Cambridge. 745-777 pp.
- Lammel, A., Kozakai, T. (2005). Percepción y representación de los riesgos de la contaminación atmosférica según el pensamiento holístico y el pensamiento analítico. *Desacatos, Revista de Antropología Social.* 19, 85-98.

-
- Leff, E. (2007). La complejidad ambiental. *Polis* 16. En: <http://polis.revues.org/4605>.
- Leiserowitz, A. (2007) International public opinion, perception, and understanding of global climate change. United Nations Human Development Report Office. 40 pp.
- Lo Vuolo, R. (2014). Cambio climático, políticas ambientales y regímenes de protección social. Visiones para América Latina. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 43 pp.
- López, C., Quijano, G., Souza, T. S. O., Estrada, J. M., Lebrero R., Muñoz, R. (2013). Biotechnologies for greenhouse gases (CH₄, N₂O, and CO₂) abatement: state of the art and challenges. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 97, 2277-2303.
- Manteiga, L. (2000). Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas. *Estadística y Medio Ambiente*. Sevilla: Instituto de Estadística de Andalucía. 11 pp.
- Martín-Vide, J. (2001). Algunas reflexiones y ejemplos del valor de la percepción ambiental en la planificación territorial y de actividades. *RDE-Revista de Desarrollo Económico*. 3, 61-65.
- Masera, O. R. (1995). Carbón mitigation scenarios for mexican forests: methodological considerations and results. *Interciencia*. 20: 388-395
- Masera, O., de Jong, B, Ricalde, I. (2000). Consolidación de la oficina mexicana para la mitigación de gases de efecto invernadero. Sector Forestal. Instituto Nacional de Ecológica-UNAM-ECOSUR. 197 pp.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J., Zhao, Z. C. (2007). Global Climate Projections. *Climate Change (2007): The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth

- Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK-New York: Cambridge University Press. 749-844.
- Morin, E. (1985). On the definition of complexity. *The science and praxis of complexity*. Tokyo: The United Nations University. 62-68.
- Nathan, K., Heath, R. L., Douglas, W. (1992). Tolerance for Potential Environmental Health Risks: The Influence of Knowledge, Benefits, Control, Involvement, and Uncertainty. *Journal of Public Relations Research*. 4, 235-258.
- NRC (2010). *Advancing the Science of Climate Change*. National Research Council. Washington: The National Academies Press. 528 pp.
- NRC (2011). *Climate Stabilization Targets: Emissions, Concentrations, and Impacts over Decades to Millennia*. Exit EPA Disclaimer National Research Council. Washington: The National Academies Press. 298 pp.
- OECD (2008). *Key environmental indicators*. OECD Environment Directorate. Paris. 36 pp.
- OECD (2011). *Recent OECD work on Climate change*. Organization for Economic Cooperation and Development. 94 pp.
- OECD (2013). *Environment at a glance. OECD Indicators*. OECD Publishing. En: <http://www.oecd.org/edu/eag.htm>. Consultado el 20 de octubre de 2014.
- Olivier, J.G.J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M. Peters, J.H.A.W. (2014). *Trends in global CO₂ emissions. 2014 report*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. 60 pp.
- Olivo, M., Soto, A. (2010). Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial. *Universidad Ciencia y Tecnología*. 14, 221-230.
- Olbrisch, S., Haites, E., Savage, M., Dadhich, P., Shrivastava, M. K. (2011). Estimates of incremental investment for and cost of mitigation measures in developing countries. *Climate Policy*. 11, 970-986.

- ONU (1998). Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>. Consultado el 20 de octubre de 2014.
- ONU (2009). Kyoto Protocol: Status of Ratification. En: http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf. Consultado el 20 de octubre de 2014.
- OPS (2000). *Fenómeno El Niño, 1997-1998*. Capítulo 2. Resumen ejecutivo. El niño, Oscilación Sur (ENOS), (Serie Crónicas de Desastres, 8). Washington, D.C.
- Ortiz-Hernández, M. L., Quiroz Castañeda, R. E., Sánchez-Salinas, E., Castrejón- Godínez, M. L., Macedo-Abarca, B. (2013a). Emisiones de gases de efecto invernadero en el estado de Morelos. México Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 141 pp.
- Ortiz-Hernández, M. L., Sánchez-Salinas, E., Castrejón-Godínez, M. L., Terrazas- Hoyos, H., Rodríguez, A., Quiroz Castañeda, R. E., Lara-Manrique, J. L. (2013b). Morelos frente al cambio climático: Análisis y perspectivas. Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 153 pp.
- Periódico Oficial Tierra y Libertad (2013). Plan estatal de desarrollo 2013-2018. Periódico Oficial Tierra y Libertad. 27 de marzo de 2013.
- Periódico Oficial Tierra y Libertad (2015). Decreto por el que se expide el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Morelos "PEACCMOR". Periódico Oficial Tierra y Libertad. 4 de marzo de 2015.
- Pinilla-Herrera, M. C., Rueda, A., Pinzón, C., Sánchez, J. (2012). Percepciones sobre los fenómenos de variabilidad climática y cambio climático entre campesinos del centro de Santander, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*. 16, 25-37.

- Piñuel, R. J. L. (2013). El discurso hegemónico de los media sobre el “cambio climático” (riesgo, incertidumbre y conflicto) y estrategias de intervención. *En: Fernández-Reyes, Marcinas-Chavez (Coord). Actas de las jornadas internacionales medios de comunicación y cambio climático. Fenix. Sevilla. 27-44 pp.*
- PNUMA-ORPALC (2005). Cambio climático: Proyecto de Ciudadanía Ambiental Global 2005. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Oficina Regional para América Latina y el Caribe. México. 33 pp
- Quiroz-Castañeda, R. E., Sánchez-Salinas, E., Castrejón-Godínez, M. L., Ortiz- Hernández, M. L. (2013). Greenhouse gas emissions in the state of Morelos, Mexico: A first approximation for establishing mitigation strategies. *Journal of the Air & Waste Management Association. 63, 1298-1312.*
- Rosa, E. A., Dietz, T. (2012). Human drivers of national greenhouse-gas emissions. *Nature Climate Change. 2. 8, 581-586.*
- Rusticucci, M., Abraham, M., Jankilevich, S., Brunstein, F., Canziani, O. (2002). Cambio climático. Documento de Trabajo N° 84, Universidad de Belgrano. 32 pp.
- Salazar, A., Masera, O. (2010). México ante el cambio climático. Resolviendo necesidades locales con impactos globales. Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad, A.C. 14 pp.
- SEDESU-Morelos (2014a). Plan de acción climática municipal (PACMUN). *En: <http://sustentable.morelos.gob.mx/categoria/temas/ecc/pacmun> Consultado el 02 de noviembre de 2014.*
- SEDESU-Morelos (2014b). Programa Estatal de Educación Capacitación y Cultura Ambiental para la Sustentabilidad (PEECCAS). *En: <http://sustentable.morelos.gob.mx/categoria/temas/eca/peeccas>. Consultado el 02 de noviembre de 2014.*
- SEMARNAT (2010). Indicadores básicos del desempeño ambiental de México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 241 pp.

- Urbina, S. J. (2006). Dimensiones psicológicas del cambio ambiental global. Más allá del cambio climático. En Urbina, J., Martínez, J. (Comps). Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología-Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Psicología. 65-77 pp.
- Vergara, R. A. (2011). Vulnerabilidad en grandes ciudades de América Latina. Universidad del Norte. 150 pp.
- Vermeer, M., Rahmstorf, S. (2009). Global sea level linked to global temperature. Proceedings of the National Academy of Sciences. 106. 51, 21527-21532.
- VijayaVenkataRaman, S., Iniyar, S., Goic, R. (2012). A review of climate change, mitigation and adaptation. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16. 1, 878-897.



**LA CALIDAD DEL AIRE COMO
INSTRUMENTO PARA EL DESARROLLO DE
GESTIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL**

**C
A
P
Í
T
U
L
O**
6

**Enrique Sánchez-Salinas
Ma. Laura Ortiz-Hernández
María Luisa Castrejón-Godínez
Alexis Joavany Rodríguez Solís**

LA CALIDAD DEL AIRE COMO INSTRUMENTO PARA EL DESARROLLO DE GESTIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL

Resumen

La contaminación del aire se ha reconocido como uno de los problemas más graves a nivel mundial y regional. Las actividades humanas generan contaminantes de diversa naturaleza que ponen en riesgo el equilibrio ecológico y la salud humana. No obstante, hasta recientes décadas se ha reconocido la necesidad de dirigir los esfuerzos hacia el enfrentamiento de la problemática asociada a la calidad del aire de una manera integral. El modelo económico dominante ha favorecido la crisis ambiental y aparece como elemento indisoluble del proceso de la globalización; esta situación ubica los países en desarrollo como los más vulnerables y con menor capacidad de resiliencia. Existe un reconocimiento general de la relación que existe entre la política y la gestión ambiental para reducir y detener la degradación ambiental, producto de los patrones de consumo y el modelo de desarrollo mundial. En el presente capítulo se aborda desde el origen, estructura y composición de la atmósfera terrestre, las características del aire, las fuentes de contaminación, los contaminantes, criterio y su relación con la calidad del aire, además de los efectos a la salud y al ambiente en general. Asimismo, se describen los fundamentos de la legislación para la prevención y control de la contaminación atmosférica y, de manera particular, se detallan las normas oficiales mexicanas en materia de calidad del aire. Se aborda también el papel que desempeña la sociedad en la construcción de estrategias de gestión y política ambiental. Finalmente, se comenta la situación del aire como indicador del desempeño ambiental en Morelos.

Introducción

La crisis ambiental urbana surge, más que por el proceso de urbanización mismo, como resultado de una administración ineficaz, una planeación deficiente y la ausencia de políticas coherentes con criterios de sustentabilidad urbana. No existe la cantidad de recursos económicos, la tecnología o los conocimientos que garanticen el desarrollo sustentable si un gobierno no establece su gestión sobre bases participativas, democráticas y plurales (PNUMA, 2002).

En este contexto, la toma de decisiones de política pública debe considerar el valor de la percepción social y sus múltiples dimensiones (Slovic, 1999), principalmente en torno a la problemática ambiental y sus riesgos. La crisis ambiental se ha reconocido como un tema complejo en el que convergen múltiples intereses, por lo que los gobiernos deben responder oportunamente a las demandas sociales de gestión ambiental. En este sentido, la participación social adquiere una mayor relevancia en la reorganización de los procesos institucionales de toma de decisiones y la construcción de propuestas de solución efectiva de los problemas ambientales, en un enfoque “de abajo hacia arriba”, en contraposición con el enfoque racional prevaleciente, donde la construcción se realiza de “arriba hacia abajo” (Chávez, 2006; Martínez y Chávez, 2014).

De manera particular, la contaminación atmosférica ha sido reconocida como un tema prioritario para las zonas urbanas (Gaffney y Marley, 2009), debido a la estrecha relación que guarda con diferentes enfermedades crónico-degenerativas (Valdés *et al.*, 2011). Además, los efectos sobre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas demandan la planificación y gestión de las zonas urbanas (Ramalho y Hobbs, 2011), debido a la concentración de las principales fuentes de emisiones contaminantes antrópicas. Por otro lado, los costos asociados con la atención de la salud pública y los controles que demandan las fuentes generadoras de contaminantes atmosféricos tienen un alto impacto económico (García-Ubaque *et al.*, 2012).

Es por todo eso que la calidad del aire se constituye en un indicador fundamental para examinar los cambios y la situación actual de este recurso vital, así como de las presiones que lo afectan y las respuestas institucionales encaminadas a su conservación y recuperación en un marco de sustentabilidad.

La atmósfera terrestre: origen, estructura y composición

El Sistema Solar se formó por el colapso gravitatorio de una nube interestelar constituida por gases y partículas de polvo, que probablemente eran restos de cuerpos estelares preexistentes. La condensación de la mayor parte de estos constituyentes originó el Sol y en torno a él, se formó un disco protoplanetario del que surgieron los planetas y demás cuerpos del Sistema Solar, hace unos 4,600 millones de años (Martínez, 2013). La Tierra se formó por múltiples colisiones de cuerpos planetarios más pequeños que formaban parte del disco protoplanetario constituido en torno al Sol (Martínez, 2013; Pedrinaci *et al.*, 2013).

Las características generales que la Tierra tiene como planeta están determinadas por su ubicación en la zona interna del Sistema Solar y la composición de los materiales que allí se concentraron. Así, los planetas que se originaron en esta zona son pequeños, rocosos y densos, características que los diferencian de los formados en la zona externa, que son grandes, ligeros y mayoritariamente gaseosos (Pedrinaci *et al.*, 2013).

La atmósfera terrestre es una capa gaseosa relativamente delgada cuya densidad disminuye exponencialmente con la altitud (Barlier, 2010). La atmósfera de la Tierra, la de Venus y la de Marte tienen un origen común, además de que se originaron prácticamente al mismo tiempo. Sin embargo, la atmósfera terrestre fue cambiando en forma gradual, gracias a que en ella se originó la vida (Conde, 2007).

La atmósfera de la Tierra se caracteriza por variaciones de temperatura y presión con respecto a la altura. De hecho, las variaciones

del perfil medio de la temperatura con la altitud son la base para distinguir las capas de la atmósfera. Seinfeld y Pandis (2006), Barlier (2010) y Barry y Chorley (2010) señalan que las regiones de la atmósfera y sus características son las siguientes:

Tropósfera. La capa más baja de la atmósfera se extiende desde la superficie terrestre hasta la tropopausa, que se ubica a 10-15 km de altitud, dependiendo de la latitud y el tiempo del año; se caracteriza por un gradiente negativo de la temperatura (de aproximadamente 27 °C a -60 °C), resultado del balance radiativo de los gases de efecto invernadero y los procesos convectivos. Es la zona donde se producen importantes movimientos de masas de aire (vientos) y los fenómenos meteorológicos son más marcados.

Estratósfera. Se extiende desde la tropopausa hasta la estratopausa (aproximadamente de los 45 a los 55 km de altitud); presenta un gradiente positivo de la temperatura (desde -60 °C hasta 0 °C), inducido por la absorción de la radiación solar por la capa de ozono. En la estratósfera se forma una capa de ozono a 15-40 km de altitud, que actúa como un filtro protector para las radiaciones UV nocivas (200-280 nm) que llegan a la Tierra, permitiendo el paso de las radiaciones ultravioletas de onda larga (320-400 nm), necesarias para la fotosíntesis.

Mesósfera. Se extiende desde la estratósfera hasta aproximadamente 80-90 km de altitud. Tiene un gradiente de temperatura negativo debido a la emisión infrarroja de esta capa. Alcanza un mínimo de temperatura de aproximadamente -100 °C a una altitud de 85 kilómetros.

Termósfera (Heterósfera). Se caracteriza por un fuerte gradiente de temperatura positivo por encima de la mesósfera. Este gradiente de temperatura se debe a la absorción de la radiación de ondas cortas del Sol.

Exósfera. La parte superior de la termósfera es la exósfera. Se estima que inicia a los 650 km de altitud, es sumamente tenue debido a que los gases no forman moléculas y los átomos pueden escapar al espacio exterior.

En la Figura 6.1 se observan las diferentes capas que constituyen la atmósfera terrestre.

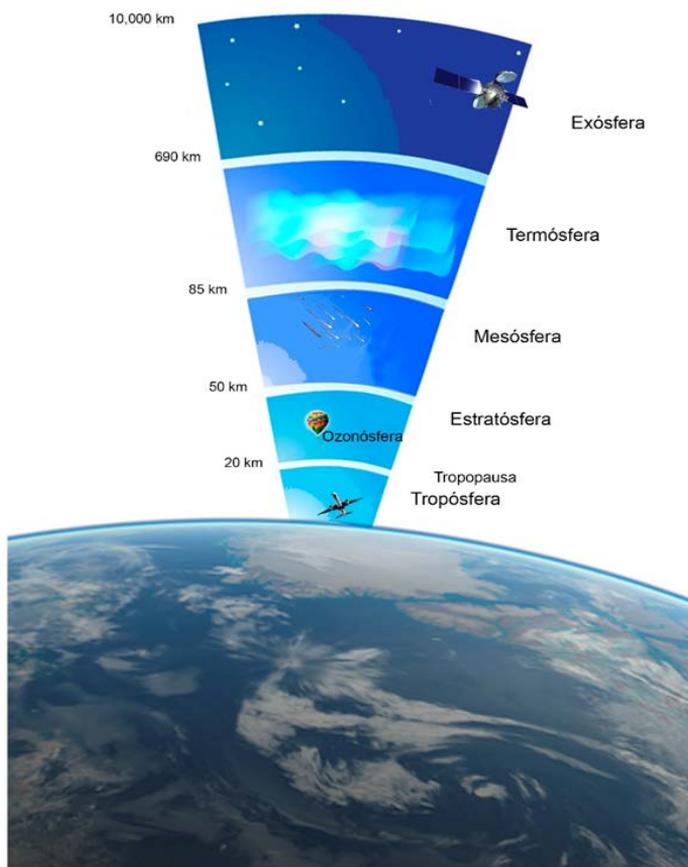


Figura 6.1. Capas de la atmósfera terrestre.

La atmósfera terrestre es una cobertura gaseosa compuesta principalmente por nitrógeno (N₂) y oxígeno (O₂) molecular, con pequeñas cantidades de otros gases, como vapor de agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂) (Tabla 6.1). Aunque tiene un espesor de varias centenas de kilómetros, cerca de 99% de su masa gaseosa se encuentra dentro de los primeros 30 km cercanos a la superficie terrestre.

Tabla 6.1. Composición de la atmósfera terrestre.

Gas	Fórmula química	Porcentaje por volumen	Peso molecular/atómico
Gases permanentes			
Nitrógeno	N ₂	78.08	28.01
Oxígeno	O ₂	20.95	32.00
Argón	Ar	0.93	39.95
Neón	Ne	0.002	20.18
Helio	He	0.0005	4.00
Kriptón	Kr	0.0001	83.8
Hidrógeno	H ₂	0.00005	2.02
Xenón	Xe	0.00009	131.3
Gases variables			
Vapor de agua	H ₂ O	0.25	18.01
Dióxido de carbono	CO ₂	0.036	44.01
Metano	CH ₄	0.00017	16.04
Óxido nitroso	N ₂ O	0.00003	44.01
Ozono	O ₃	0.000004	48
Partículas		0.000001	NA
Clorofluorocarbono (CFC)	CHF ₃	0.00000002	70.01
	CCl ₂ FCClF ₂		187.4

Modificado de Aguado *et al.*, 2007.

Contaminación del aire y sus fuentes

El aire es un componente esencial para el desarrollo de la vida, está constituido principalmente por 78% de nitrógeno molecular, 21% de oxígeno molecular y 1% de argón y define en gran medida la dinámica

atmosférica y su fotoquímica (Morales-Cueto y Saldarriega-Noreña, 2014).

La contaminación del aire se define como la introducción o adición de material o formas de energía que modifique su composición natural y que implique riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza (García y Flaman, 2008); además de que es generada por residuos o productos secundarios gaseosos, sólidos o líquidos, que pueden poner en riesgo la salud humana y de los mismos ecosistemas, atacar distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables (Sánchez-Salinas y Ortiz-Hernández, 2005; Flores, 2013).

La contaminación atmosférica es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial. Está presente en todas las sociedades, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico, y constituye un fenómeno que tiene particular incidencia sobre la salud del hombre (Romero-Placeres *et al.*, 2006).

Existen diferentes tipos de fuentes que emiten diversos gases que participan en el deterioro de la calidad del aire. Estas fuentes se conocen como fuentes naturales, fuentes fijas y fuentes móviles.

Fuentes naturales. La actividad volcánica es considerada una fuente de contaminación natural por sus emisiones de CO₂, bióxido y trióxido de azufre (SO₂, SO₃), que combinados con el vapor de agua originan ácidos sulfhídrico y sulfúrico (H₂S, H₂SO₄). Ácido clorhídrico (HCl), CO, ácido fluorhídrico (HF), hidrógeno (H), helio (He) y radón (Rn) también son expulsados durante la erupción, así como mercurio (Hg), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y bromo (Br), además de ceniza volcánica constituida de grano fino (menor de 2 mm), entre otros (Bobrowski *et al.*, 2003; OPS, 2005; Enríquez, 2012; Grob *et al.*, 2012;). Otros procesos naturales contaminantes son las tormentas eléctricas e incendios forestales que originan NO_x (Morales y Leiva, 2006; Huepe, 2014). Las tormentas de polvo y arena que se originan en las zonas áridas emiten una gran cantidad de partículas a la atmósfera, mismas que se pueden elevar hasta 250 metros de altura y avanzan con

velocidades que pueden llegar a alcanzar los 200 m/s (Mezzanotte, 2007). Por otro lado, las emisiones originadas por erosión eólica, asociadas con suelos perturbados, frecuentemente son tratadas como fuentes de área (son emisiones que no se localizan en un punto específico, pues se generan en una serie de fuentes pequeñas, numerosas y dispersas). Las emisiones biogénicas (emitidas por la vegetación y la actividad microbiana) incluyen NO_x, HC no metanogénicos, metano (CH₄), CO₂ y CO y compuestos nitrogenados y azufrados (Cárdenas *et al.*, 2003; Aragón, 2011;). Otras categorías más pequeñas de fuentes naturales de contaminación incluyen a las termitas, quienes emiten CH₄, y la actividad geotérmica con emisiones de SO_x.

Fuentes fijas. Deben sus aportes contaminantes a procesos industriales como la síntesis química, de fundición y de obtención de energía. Ejemplo de ello es la industria, plantas generadoras de energía, la quema de basura y los incendios forestales. Algunas de las ramas industriales en México más contaminantes son la cementera, la textil, la de la celulosa y papel, la cerámica, la química de los alimentos y bebidas y la del vidrio, entre otras (Sánchez-Salinas y Ortiz-Hernández, 2005). Además, representan una de las fuentes que contribuyen en mayor proporción a la contaminación del aire en las grandes ciudades (Flores, 2013).

Fuentes móviles. Son aquellas que no se encuentran asentadas en un mismo lugar, sino que se encuentran en constante movimiento. Los vehículos con motor de combustión interna como motocicletas, automóviles y camiones, así como los barcos, lanchas, helicópteros y aviones, integran esta categoría. Las emisiones de estas fuentes son ocasionadas por el aumento de parque vehicular y el número de viajes, al punto de que las emisiones pasajero-kilómetro se ven disparadas por su crecimiento; además, son las principales fuentes tanto de material particulado como de ozono (O’Ryan y Larraguibel, 2000).

En la Figura 6.2 se observan los diferentes tipos de fuentes emisoras y algunos contaminantes.

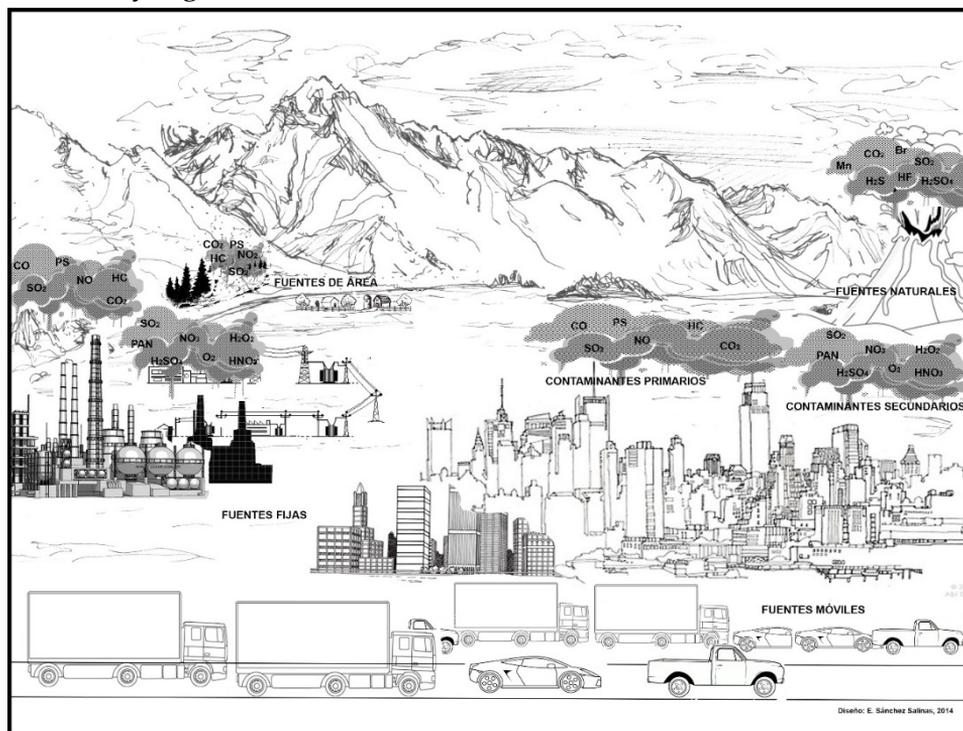


Figura 6.2. Tipos de fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos.

Contaminantes del aire

Los contaminantes del aire se han clasificado como “criterio” y “no criterio”. Los contaminantes criterio se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de calidad del aire en los Estados Unidos (EU), con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población (Campos *et*

al., 2008; SEMARNAT-INECC, 2013). Actualmente, el término de contaminantes criterio ha sido adoptado en muchos países, y son los siguientes:

1. **Bióxido de azufre (SO₂):** El SO₂ pertenece a la familia de los óxidos de azufre (SO_x) que son gases incoloros que se forman al quemar azufre y tienden a disolverse fácilmente en agua. La fuente primaria de SO_x es la quema de combustibles fósiles, que contienen azufre en su composición, como el combustóleo y, en particular, el carbón. La exposición a SO₂ produce irritación e inflamación aguda o crónica de las mucosas conjuntival y respiratoria. El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al SO₂ en México es el valor regulado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-022-SSA1-1993.
2. **Bióxido de nitrógeno (NO₂):** Este gas pertenece a los óxidos de nitrógeno (NO_x), término genérico comúnmente empleado para referirse a un grupo de gases altamente reactivos, que contienen diferentes cantidades de oxígeno y nitrógeno, como el óxido nítrico (NO) y el bióxido de nitrógeno. Los óxidos de nitrógeno se forman cuando un combustible es quemado a altas temperaturas o cuando éste contiene compuestos nitrogenados. Las principales fuentes antropogénicas de NO_x son los vehículos automotores, plantas de generación de electricidad y otras fuentes industriales, comerciales y residenciales que queman combustibles. Los NO_x pueden formarse también naturalmente por la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos y, en menor grado, por las tormentas eléctricas. El aumento progresivo en la exposición al NO₂ puede producir problemas de percepción olfativa, molestias respiratorias, dolores respiratorios agudos y edema pulmonar. El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al bióxido de nitrógeno (NO₂) en México es el valor normado para la

protección de la salud de la población en la norma NOM-023-SSA1-1993.

3. **Material Particulado (PM):** El material particulado forma una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición, dependiendo fundamentalmente de su origen. El tamaño del material particulado varía desde 0.005 hasta 100 micras (10^{-6}) de diámetro aerodinámico. Las partículas se forman por procesos naturales como la polinización de las plantas e incendios forestales y por fuentes antropogénicas que abarcan desde la quema de combustibles hasta la fertilización de campos agrícolas. El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto a partículas menores de 2.5 micras ($PM_{2.5}$) y partículas menores de 10 micras (PM_{10}), son los valores establecidos para la protección de la salud de la población en la norma: NOM-025-SSA1-1993; y para PST en la norma NOM-024-SSA1-1993. Causan irritación en las membranas mucosas, aumento en dificultades respiratorias y tienen ciertas propiedades carcinógenas.
4. **Plomo (Pb):** El plomo es un metal que se usaba frecuentemente para fabricar tuberías de agua, recipientes para alimentos y como aditivos en pinturas y gasolina. La fuente primaria de contaminación del aire por plomo ha sido el uso de combustibles con plomo en los automóviles, ya que el plomo no se consume en el proceso de combustión y se emite como material particulado. El plomo es un contaminante tóxico para los humanos, su difícil remoción del cuerpo hace que se acumule en varios órganos y pueda dañar el sistema nervioso central. La intoxicación aguda produce síntomas como diarrea, vómito, cólico, convulsiones y dolor de cabeza. El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al Pb es el valor regulado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-026-SSA1-1993.

5. **Monóxido de carbono (CO):** Es un gas incoloro e inodoro que en concentraciones altas puede ser letal, pues impide el transporte del oxígeno a la sangre, lo que puede ocasionar una reducción significativa en la dotación de oxígeno al corazón. Se produce por una combustión incompleta del carbono en combustibles (carbón, leña, petróleo, gas, gasolina) en fuentes industriales, residenciales y móviles; su principal fuente de contaminación son los vehículos de motor. El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al CO es el valor regulado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-021-SSA1-1993.
6. **Ozono (O₃):** El ozono es un compuesto gaseoso incoloro, que posee la capacidad de oxidar materiales. El ozono es un contaminante secundario que se debe básicamente a tres reacciones químicas simultáneas, donde están involucrados el NO, el NO₂ y compuestos orgánicos volátiles (COV) de la tropósfera. Sin embargo, es un componente necesario para la estratósfera, ya que protege a la tierra de la nociva luz ultravioleta del sol. El ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar y efectos sistémicos en órganos blandos como el hígado. El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al O₃ es el valor regulado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-020-SSA1-1993.

Para cada contaminante criterio se han desarrollado guías y normas. Las guías son recomendaciones que establecen los niveles de exposición a contaminantes atmosféricos, a fin de reducir los riesgos o proteger de los efectos nocivos. Las normas establecen las concentraciones máximas de los contaminantes atmosféricos que se permiten durante un período definido, estos valores límite son

diseñados con un margen de protección ante los riesgos y tienen la finalidad de proteger la salud humana y el ambiente (SEMARNAT-INECC, 2013).

Calidad del aire

El incremento de la población y la satisfacción de sus necesidades en los centros urbanos del país, la instalación de industrias, el aumento del parque vehicular y las zonas deforestadas, así como la escasa y desintegrada planeación para el crecimiento y ordenamiento urbano han propiciado diversos problemas de contaminación, siendo el atmosférico uno de los más importantes (SEMARNAT-Gobierno del Estado de Guanajuato, 2004).

La alteración en la composición de la atmósfera terrestre por fuentes antrópicas o naturales modifica la calidad del aire. Ésta se ha utilizado como un indicador de contaminación atmosférica que no implique efectos negativos para las personas o los bienes de cualquier naturaleza.

La modificación de la composición de la atmósfera puede darse a dos escalas: 1) local, regional y de larga distancia, en donde la disminución de la calidad del aire puede tener efectos negativos sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos y sobre la salud humana; y 2) a nivel global, donde la emisión de gases de efecto invernadero modifica el balance radiativo terrestre e inducir el cambio climático (Querol, 2008).

El deterioro del aire, al afectar al ambiente, genera impactos en las actividades socioeconómicas. Por tal motivo, las Directrices sobre Calidad del Aire elaboradas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), están concebidas para ofrecer una orientación mundial para reducir las repercusiones sanitarias de la contaminación atmosférica. Las primeras directrices, publicadas en 1987 y actualizadas en 1997, se restringían al ámbito europeo; sin embargo, a partir de 2005 son aplicables a todo el mundo y se basan en una evaluación de pruebas

científicas vigentes, llevada a cabo por expertos. En ellas se recomiendan nuevos límites de concentración de algunos contaminantes en el aire para reducir de modo significativo los riesgos sanitarios; entre ellos están los PM (materiales particulados), O₃, NO₂ y SO₂ de aplicación en todas las regiones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011).

Debido a esta problemática se exigen mediciones más frecuentes y con mayor cobertura espacial. La calidad de las mediciones es tan importante como la cantidad, específicamente para la obtención de una mayor gama de especies químicas y de partículas orgánicas (Raga *et al.*, 2001). Por medio del monitoreo atmosférico se determina la cantidad de una sustancia o contaminante presente en el aire de un lugar y en un tiempo determinados, donde se emplean técnicas y procedimientos estandarizados también regulados por normas oficiales específicas (SEMARNAT-INECC, 2013).

Las autoridades que establecen las normas de calidad, usualmente evalúan todas estas condiciones para determinar si el control de emisiones permite llegar a los niveles establecidos en las normas, o bien, a la frecuencia aceptable, que es el número de veces que se permite exceder los niveles establecidos (Zuk *et al.*, 2007). La problemática de la calidad del aire se debe abordar como una compleja relación entre la contaminación del aire, el crecimiento económico, los valores sociales y las políticas de gestión.

Evaluación de la calidad del aire

Debido a la asociación entre la contaminación atmosférica y los efectos en el ambiente y en la salud, la gestión de la calidad del aire en las ciudades mexicanas se ha establecido como una prioridad para las autoridades ambientales. El monitoreo y los inventarios de emisiones son las herramientas básicas para la atención de los problemas de calidad del aire. En este proceso es imprescindible contar con un diagnóstico preciso de la distribución en espacio y tiempo de cada

contaminante, pues sólo a partir de ello es posible estimar la magnitud del problema que se pretende atender (Zuk *et al.*, 2007).

Las primeras aproximaciones realizadas en México para evaluar la calidad del aire se realizaron a finales de la década de 1970, con el establecimiento del Índice Mexicano de la Calidad del Aire (IMECA), cuya metodología transforma a una escala dimensional las concentraciones de los contaminantes criterio. A partir de enero de 1986, el IMECA se empezó a difundir entre la población a través de diversos medios. El IMECA emplea una escala numérica de 0 a 500 puntos o una escala de colores asociados con la prevención de riesgos a la salud y para transmitir el estado que guarda el aire (IMECA, 2011).

Entre las principales fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera se encuentran el parque vehicular, un número importante de industrias, comercios y servicios (INE, 2000), los contaminantes liberados por estas fuentes tienen que ser monitoreados constantemente para garantizar la calidad del aire. La instalación de redes de monitoreo del aire puede tener distintos objetivos (OMS, 1999), dentro de los que se encuentran: evaluar el cumplimiento de las normas, verificar o calibrar modelos de la calidad del aire, informar a la población sobre los niveles de contaminación, cuantificar los riesgos a la salud y a los ecosistemas, caracterizar la exposición de la población a ciertos contaminantes, determinar los impactos de las medidas de control de emisiones, desarrollar políticas y establecer prioridades para la gestión ambiental, identificar o vigilar zonas críticas (también conocidas como *hot spots*) y cuantificar tendencias para identificar progresos y posibles problemas futuros. Desde el año 2003 se han establecido en diferentes localidades del país estaciones de monitoreo ambiental para el seguimiento de las concentraciones de los principales contaminantes atmosféricos (Figura 6.3).

Como se observa en la Figura 6.3, las principales zonas metropolitanas del centro y de la frontera norte de México tienen una buena cobertura de monitoreo; sin embargo, muchas de las entidades federativas, principalmente en el sur y sureste de la República

Mexicana, no cuentan con estaciones de monitoreo. Las redes de monitoreo se conforman por estaciones de monitoreo, donde se encuentran los equipos de medición y un centro de control para almacenar, revisar y validar los datos generados por dichas estaciones.

En general, las estaciones de monitoreo deben estar ubicadas estratégicamente para cuantificar los niveles de contaminación en sitios representativos, con el fin de caracterizar adecuadamente el grado de contaminación. Después del muestreo, la validación de los datos es indispensable. Para tal efecto, los administradores de las redes de monitoreo revisan los datos generados automáticamente por los equipos de monitoreo, para determinar, basándose en las bitácoras y en su experiencia, que los datos sean reales (Zuk *et al.*, 2007).



Figura 6.3. Principales puntos de la red de muestreo de la calidad del aire en México. Elaboración propia a partir de la información del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA, 2013).

Cada uno de los puntos principales del SINAICA, tiene diferentes características, que van desde el número de estaciones de muestreo, el diseño de los equipos de muestreo (automáticos, manuales, móviles) en cada una de las estaciones, procedimientos de validación y formatos para el reporte de la información. En la Tabla 6.2 se enlistan los principales puntos de monitoreo de la red, la cantidad de estaciones de muestreo pertenecientes a cada uno y el año en que se integraron a la red.

Tabla 6.2. Principales sistemas de monitoreo atmosférico, SINAICA.

Estado	Localidad principal	Estaciones de muestreo*	Año de integración a la red
Aguascalientes	Aguascalientes	7	2012
	Ensenada	1	2012
	Mexicali	6	2004
Baja California	Rosarito	1	2004
	Tecate	1	2004
	Tijuana	5	2004
Baja California Sur	La Paz	1	2010
Chihuahua	Chihuahua	1	2008
	Ciudad Juárez	13	2004
Coahuila	Torreón	9	2006
Distrito Federal	Ciudad de México	34	2003
	CENICA	1	2004
Durango	Durango	7	2006
	Gómez Palacio	4	2005
Estado de México	Toluca	7	2003
Hidalgo	Pachuca	10	2011
	Región Tula-Tepeji	11	2005
Jalisco	Guadalajara	9	2004
Guanajuato	Celaya	3	2005
	Irapuato	3	2005
	León	3	2005
	Salamanca	3	2004
	Silao	1	2006
Michoacán	Morelia	1	2008
Morelos	Cuernavaca	4	2005
Nuevo León	Monterrey	9	2004
Puebla	Puebla	5	2003
San Luis Potosí	San Luis Potosí	4	2006
Tabasco	Villahermosa	7	2007

*Incluye estaciones de muestreo automáticas, manuales y móviles. Elaboración propia a partir de la información de SINAICA, 2013.

Efectos en la salud y el ambiente

La presencia de altas concentraciones de partículas en el aire puede causar o agravar enfermedades cardiovasculares y pulmonares, por ejemplo, reduciendo la función pulmonar y ocasionando ataques de asma, bronquitis crónica y susceptibilidad a infecciones respiratorias, también puede causar arritmias y ataques de corazón y afectar, además, los sistemas nervioso central y reproductivo e incluso causar cáncer, propiciando muerte prematura (Ballester, 2005; EEA, 2011). Los grupos que se encuentran con mayor susceptibilidad son los niños, ancianos y personas que padecen enfermedades cardíacas y respiratorias.

Algunos estudios epidemiológicos muestran que la exposición a ciertos contaminantes atmosféricos está asociada con un incremento de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Borja-Aburto *et al.*, 1998; Castillejos *et al.*, 2000; Pope *et al.*, 2002). Se estima que, la contaminación atmosférica causa entre 200,000 y 570,000 muertes anuales, lo que representa entre 0.1 y 1.1% de las muertes anuales (Mazzeo y Venegas, 2006).

Normalmente se identifican condiciones que conducen a un mayor riesgo o deterioro en la salud, algunas características son:

- Concentración en el ambiente
- Estándares de calidad del aire
- Tamaño de la población expuesta
- Tamaño de la población en riesgo o susceptible
- Vías de exposición

Por otro lado, la contaminación atmosférica tiene efectos negativos sobre el ambiente, disminuye la visibilidad (SEMARNAT, 2006), afecta los bosques (de Bauer y Hernández-Tejeda, 2007), daña los cultivos generando la pérdida de las cosechas y pone en riesgo la biodiversidad (Cabrera, 2013).

Legislación en materia de calidad del aire en México

La contaminación, tanto en espacios interiores como al aire libre, constituye un grave problema de salud medioambiental que afecta a los países desarrollados y en desarrollo por igual. A nivel mundial, la OMS ha establecido las Directrices sobre la Calidad del Aire, las cuales fueron concebidas con la finalidad de orientar las estrategias para disminuir repercusiones sanitarias de la contaminación del aire. Las primeras directrices, dirigidas al ámbito europeo, fueron publicadas en 1987 y posteriormente actualizadas en 1997. Sin embargo, las directrices publicadas en el año 2005 son aplicables a todo el mundo y se basan en una evaluación de pruebas científicas actuales llevada a cabo por expertos. En ellas se recomiendan nuevos límites de concentración de algunos contaminantes en el aire como partículas en suspensión PM, O₃, NO₂ y SO₂ (OMS, 2011).

Con el propósito de proteger la salud humana, los gobiernos empezaron a utilizar normativas para controlar los niveles de las concentraciones de los contaminantes ambientales, estas normas se basan en especificaciones, características y estudios realizados que evalúan la exposición de un contaminante en diferentes períodos y sus efectos a la salud (INECC, 2009; Zuk *et al.*, 2007). En México, la contaminación del aire fue una de las preocupaciones iniciales en materia ambiental. Una política fuerte y continua se aplica desde finales de los años ochenta, gracias a lo cual se ha mejorado la calidad del aire en las principales ciudades, particularmente en la Ciudad de México. El mejoramiento de la calidad de los combustibles fue la piedra angular de las primeras acciones. No obstante, aún queda una agenda pendiente que implica abatir la contaminación por ozono, óxidos de nitrógeno y partículas suspendidas, así como elaborar programas, instaurar el monitoreo de emisiones y aplicar sanciones por incumplimiento en la mayor parte de las ciudades medias (Sanginés, 2005). Por tal motivo, las normas de calidad del aire constituyen el elemento esencial para la evaluación, prevención y control de la contaminación atmosférica.

México enfrenta, desde hace tiempo, problemas de aire en sus principales zonas metropolitanas, el aire que se respira en las principales ciudades del país se encuentra contaminado por diferentes compuestos que son generados y liberados a la atmósfera tanto por procesos naturales como por actividades humanas (Zuk *et al.*, 2007), destacando el Valle de México como el caso más estudiado y documentado (Vallejo *et al.*, 2002; Raga *et al.*, 2001; Lezama, 1997).

En México, el Gobierno Federal ha generado diferentes instrumentos jurídicos que permiten prevenir y controlar la contaminación del aire, entre los que se encuentran la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, el Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica y las normas para el control de los niveles de emisiones de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes determinadas. Por conducto de la Secretaría de Salud (SSA) y la SEMARNAT, a través de las Normas Oficiales Mexicanas (Tabla 6.3), se establecen los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes atmosféricos, las estrategias para el monitoreo ambiental, se regulan la fuentes de emisión (fijas y móviles) y las características de los combustibles.

Tabla 6.3. Normas Oficiales Mexicanas en materia de la calidad del aire.

CLAVE-NOM	NOMBRE	PUBLICACIÓN DOF
Calidad del aire		
NOM-020-SSA1-1993	Salud Ambiental. Criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono (O ₃) de la calidad del aire ambiente. Criterio para evaluar la calidad del aire.	1 de agosto de 2002
NOM-021-SSA1-1993	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.	23 de diciembre de 1994
NOM-022-SSA1-2010	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de azufre (SO ₂). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO ₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.	11 de junio de 2010
NOM-023-SSA1-1993	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO ₂). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO ₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.	23 de diciembre de 1994
NOM-025-SSA1-1993	Salud ambiental. Criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM10 y partículas menores de 2.5 micrómetros PM2.5 de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire.	23 de diciembre de 1994
NOM-026-SSA1-1993	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de Pb en el ambiente como medida de protección a la salud de la población.	23 de diciembre de 1994
NOM-034-SEMARNAT-1993	Establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.	23 de abril de 2003
NOM-035-SEMARNAT-1993	Establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.	23 de abril de 2003
NOM-036-SEMARNAT-1993	Establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.	23 de abril de 2003
NOM-037-SEMARNAT-1993	Establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.	23 de abril de 2003
NOM-038-SEMARNAT-1993	Establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.	23 de abril de 2003

Indicadores Ambientales

Continúa Tabla 6.3.

CLAVE-NOM	Nombre	Publicación DOF
Monitoreo ambiental		
NOM-156-SEMARNAT-2012	Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.	16 de julio de 2012
Características de los combustibles		
NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005	Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental.	30 de enero de 2006
Fuentes de emisión fijas		
NOM-039-SEMARNAT-1993	Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico, en plantas productoras de ácido sulfúrico.	23 de abril de 2003
NOM-040-SEMARNAT-2002	Protección ambiental-Fabricación de cemento hidráulico-Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera.	23 de abril de 2003
NOM-043-SEMARNAT-1993	Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.	23 de abril de 2003
NOM-046-SEMARNAT-1993	Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido de azufre, neblinas de azufre y ácido sulfúrico, provenientes de procesos de producción de ácido dodecilbensensulfónico en fuentes fijas.	23 de abril de 2003
NOM-051-SEMARNAT-1993	Establece el nivel máximo permisible en peso de azufre, en el combustible líquido gasóleo industrial que se consuma por las fuentes fijas en la zona metropolitana de la ciudad de México.	23 de abril de 2003
NOM-075-SEMARNAT-1995	Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de los separadores de agua-aceite de las refinerías de petróleo .	23 de abril de 2003
NOM-085-SEMARNAT-2011	Contaminación atmosférica. Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.	2 de febrero de 2012
NOM-092-SEMARNAT-1995	Regula la contaminación atmosférica y establece los requisitos, especificaciones y parámetros para la instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo ubicadas en el Valle de México.	23 de abril de 2003
NOM-093-SEMARNAT-1995	Establece el método de prueba para determinar la eficiencia de laboratorio de los sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo.	23 de abril de 2003
NOM-097-SEMARNAT-1995	Establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país.	23 de abril de 2003
NOM-105-SEMARNAT-1996	Establece los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total provenientes de los procesos de recuperación de químicos de las plantas de fabricación de celulosa.	23 de abril de 2003
NOM-121-SEMARNAT-1997	Establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COV's) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y utilitarios; carga y camiones ligeros, así como el método para calcular sus emisiones.	23 de abril de 2003

Continúa Tabla 6.3.

CLAVE-NOM	Nombre	Publicación DOF
NOM-123-SEMARNAT-1998	Establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COV's), en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pinturas y recubrimientos.	23 de abril de 2003
NOM-137-SEMARNAT-2013	Contaminación atmosférica. Complejos procesadores de gas. Control de emisiones de compuestos de azufre.	20 de febrero de 2014
Fuentes de emisión móviles		
NOM-041-SEMARNAT-2006	Establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.	6 de marzo de 2007
NOM-042-SEMARNAT-2003	Establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kg, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.	7 de septiembre de 2005
NOM-044-SEMARNAT-2006	Establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kg, así como para unidades nuevas con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kg equipadas con este tipo de motores.	12 de octubre de 2006
NOM-045-SEMARNAT-2006	Protección ambiental. Vehículos en circulación que usan diésel como combustible. Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.	13 de septiembre de 2007
NOM-047-SEMARNAT-1999	Establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.	23 de abril de 2003
NOM-048-SEMARNAT-1993	Establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono y humo, provenientes del escape de las motocicletas en circulación que utilizan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible.	23 de abril de 2003
NOM-049-SEMARNAT-1993	Establece las características del equipo y el procedimiento de medición, para la verificación de los niveles de emisión de gases contaminantes, provenientes de las motocicletas en circulación que usan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible.	23 de abril de 2003
NOM-050-SEMARNAT-1993	Establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible.	23 de abril de 2003

Continúa Tabla 6.3.

CLAVE-NOM	Nombre	Publicación DOF
NOM-076-SEMARNAT-2012	Establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kg nuevos en planta.	27 de noviembre de 2012
NOM-077-SEMARNAT-1995	Establece el procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de la opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diésel como combustible.	23 de abril de 2003
NOM-132-SEMARNAT-1998	Establece las características del equipo y procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.	23 de abril de 2003

Las normas de calidad del aire, de acuerdo con estudios toxicológicos y epidemiológicos, establecen concentraciones aceptables para la población en términos de los riesgos que los contaminantes representan para la salud humana. Así, dichas normas definen las concentraciones aceptables durante diferentes períodos de exposición, ya que en algunos casos se considera que una concentración menor, pero durante un tiempo de exposición mayor, también representa un riesgo para la población. En la Tabla 6.4 se enlistan los valores de las concentraciones límite para los contaminantes atmosféricos criterio y las normas que los regulan.

Tabla 6.4. Límites máximos permisibles para contaminantes atmosféricos criterio y plomo, de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas.

Contaminante	Valores límite			Norma Oficial Mexicana
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable (anual)	Exposición crónica (promedio aritmético)	
Ozono (O ₃)	0.11 ppm (1 hora)	No permisible	-	NOM-020-SSA1-1993
	0.08 ppm (8 horas)	4 veces	-	
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas)	1 vez	-	NOM-021-SSA1-1993
Bióxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm (24 horas)	1 vez	0.03 ppm	NOM-022-SSA1-1993
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm (1 hora)	1 vez	-	NOM-023-SSA1-1993
Partículas suspendidas totales (PST)	210 µg/m ³ (24 horas)	2% de mediciones	-	NOM-25-SSA1-1993
Partículas menores de 10 µm (PM ₁₀)	120 µg/m ³ (24 horas)	2% de mediciones	50 µg/m ³	NOM-25-SSA1-1993
Partículas menores de 2.5 µm (PM _{2.5})	65 µg/m ³ (24 horas)	2% de mediciones	15 µg/m ³	NOM-25-SSA1-1993
Plomo (Pb)	-	-	1.5 µg/m ³ (3 meses)	NOM-26-SSA1-1993

Modificada de Zuk *et al.*, 2007.

Las Normas Oficiales Mexicanas para el monitoreo ambiental, establecen los métodos de medición y los procedimientos de calibración de los equipos de monitoreo con el fin de determinar la concentración de los diferentes contaminantes criterio (O₃, PST, CO, SO₂, NO₂), así como el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo atmosférico. La NOM-086-SEMARNAT-2005 por su parte, establece las especificaciones con las que deben cumplir los combustibles fósiles, líquidos o gaseosos, para garantizar la protección ambiental, regulando principalmente las concentraciones máximas de azufre y sus compuestos, en gasolinas (80 ppm), diésel (15 ppm, uso automotriz, 500

ppm, maquinaria agrícola e industrial), turbosina (3,000 ppm), gasóleo (500 ppm), combustóleo (40,000 ppm) y gas LP (140 ppm).

Las fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos, tanto fijas como móviles, son reguladas también a través de Normas Oficiales Mexicanas, mismas que regulan sus niveles de emisión, los métodos y procedimientos para su determinación y van en función del tipo de giro industrial, tipo de vehículo, el combustible que utiliza o los contaminantes atmosféricos específicos.

Sociedad y calidad del aire

La calidad del aire puede ser vista como un problema estructural derivado del modelo de desarrollo, como un asunto institucional ligado a la política pública de regulaciones y normas, como un asunto técnico que requiere soluciones científicas o como una realidad social, que pasa por la responsabilidad de la ciudadanía con respecto al tema. Ciertos actores, ciertos grupos y ciertas categorías de ciudadanos son portadores y defensores de una u otra de estas visiones (Simioni, 2003).

De acuerdo con Nicod e Iizuka (2000), la conciencia humana es un estado del proceso de respuesta del individuo frente a estímulos provenientes del entorno donde actúa. Este proceso de respuesta tendría dos momentos donde la actuación no se ajusta a la intención manifiesta para realizar una acción, es decir, la conciencia como respuesta del individuo tiene una fase de intención declarada y otra de acción ejecutada, ambas no siempre pueden coincidir en cada individuo aunque sí son más manejables cuando se tratan de grupos sociales o individuos que forman parte de un colectivo social, donde el entorno puede ser estratégico para hacer coincidir la intención con la acción.

El comportamiento de los individuos y las sociedades está determinado por lo que dichos individuos y sociedades perciben de los fenómenos que ocurren a su alrededor. Las potencialidades de la percepción ambiental se basan en el hecho de que los humanos no nos comportamos, en general, de acuerdo con la realidad, sino a partir de

cómo la percibimos. Su utilidad, entonces, es más que evidente en dos asuntos: uno de carácter aplicado y otro informativo o educativo. Por una parte es importante conocer las imágenes mentales que tienen las personas que integran un grupo sobre el entorno ambiental para prever la evolución y el comportamiento individual y colectivo del mismo y así adecuar servicios e infraestructura de acuerdo con las demandas y necesidades sociales de los escenarios futuros previsibles. Por otra parte, la información perceptual ha de permitir una mejor elaboración de los mensajes e información que se han de difundir entre la sociedad a partir del conocimiento de lo que cada individuo cree, siente o percibe, de modo que se esclarezcan asuntos complejos o se corrijan creencias erróneas (Martín-Vide, 2001).

Howel *et al.* (2002) manifiestan que es tan importante monitorear la calidad del aire *per se*, así como realizar estudios que evalúen la percepción de la población local sobre dicho tema. Señalan, además que un bajo nivel en la percepción sobre la calidad del aire está asociado con una percepción negativa del ambiente desde un punto de vista social y económico. Sin embargo, un factor que está directamente vinculado al nivel de conciencia ciudadana es el reconocimiento, por parte de la población, de la importancia de la contaminación atmosférica (Nicod e Iizuka, 2000). Además, la valoración de los bienes ambientales, tales como el aire limpio, es difícil porque los bienes ambientales no tienen mercado (Mardones, 2006).

Martín-Vide (2001) señala que la percepción ambiental constituye una herramienta útil de análisis de la realidad para la planificación territorial y la programación de acciones. Aunque los resultados que la percepción suministre puedan, en ocasiones, discrepar abiertamente de la realidad, sirven al gestor y al planificador en la toma de decisiones adecuadas para la colectividad en sus relaciones con el marco físico. Al respecto, Catalán *et al.* (2001) coinciden en que los trabajos de percepción ambiental contribuyen a la planeación de soluciones ante la necesidad de mejoramiento del medio ambiente.

Gestión de la calidad del aire

Con el objetivo de minimizar el riesgo que representa la contaminación del aire, principalmente para la salud pública, los gobiernos intentan establecer estructuras institucionales y técnicas para mejorar las acciones de vigilancia, control y prevención.

La gestión ambiental urbana implica un análisis de las ciudades con un enfoque sistémico, que permita evaluar sus elementos y procesos existentes, con el fin de determinar no sólo los impactos de tipo ambiental, sino sus causas (Moreno, 2008).

En la gestión de la calidad del aire (entendida como la forma en que se aplican los conocimientos al diseño de políticas y la gestión del sistema, así como a la capacidad política para resolver problemas que se conocen técnicamente) se requiere de visión, liderazgo y capacidad de movilizar a un gran número de agentes, en lo que las autoridades tienen muy poca experiencia (Semioni, 2003). La participación ciudadana es valorada no sólo como canal de expresión, sino también como un instrumento de gestión.

Un programa de gestión integral de la calidad del aire involucra la participación de toda la sociedad y su éxito depende de las acciones de los distintos sectores de la comunidad. Las estrategias implementadas deben enfocarse en reducir las emisiones causadas por fuente fijas y móviles (transporte e industria), fortalecer las instituciones, proteger la salud pública, lograr el desarrollo urbano sustentable, promover la participación ciudadana, la educación, la investigación y la aplicación de tecnologías.

La gestión ambiental en general, y la de la calidad del aire en particular, demandan la participación de sectores muy diversos que cumplen objetivos sociales a veces contradictorios. En América Latina, aun cuando los esfuerzos de coordinación institucional para la gestión ambiental se iniciaron en los años setenta, en la actualidad predominan las dificultades de articulación entre las diferentes instituciones involucradas. El establecimiento de mecanismos de participación

ciudadana debe favorecer la inclusión de los representantes de las organizaciones sociales, la comunidad académica y los sectores productivos (Semioni, 2003).

Valadéz y Landa (2003) señalan que el proceso de gestión ambiental moderno se estructura en términos del conjunto de acciones que buscan orientar y alentar cambios en las actividades sociales y económicas, tanto de los productores como de los consumidores, con el objeto de transitar hacia un esquema de desarrollo sustentable. El diseño y aplicación de una gestión ambiental adecuada debiera considerar una perspectiva global de las interacciones y los impactos que tienen los procesos globales e interregionales. La gestión ambiental debe basarse en políticas ambientales que van más allá de los temas estrictamente sectoriales, es decir, un enfoque integral con posibilidad de lograr un impacto a largo plazo.

La gestión ambiental debe buscar la posibilidad de reorientar las actividades económicas hacia un desarrollo sustentable, fundado en prácticas de manejo múltiple e integrado de los recursos, adaptado a las condiciones ecológicas particulares de cada región y a los valores culturales de las comunidades (Leff, 1993). Es decir, la democracia participativa, la gestión ambiental y el desarrollo sustentable son ejes indisolubles ante la crisis global y la degradación ambiental.

Existe un reconocimiento general de que la relación entre la política y la gestión ambiental es importante para reducir y detener la degradación del ambiente, ya que el modelo de desarrollo y los patrones de consumo son configurados por los deseos y valores que pueden ser influenciados por diversas intervenciones políticas, así como por amplios procesos de gestión ambiental (Valadez y Landa, 2003).

Se entiende por política pública el conjunto conformado por uno o varios objetivos considerados necesarios o deseables, y por los medios y acciones impulsados, por lo menos parcialmente, por una institución u organización gubernamental con el fin de orientar el comportamiento de actores individuales o colectivos para modificar una situación

percibida como insatisfactoria o problemática (Roth, 2002). Así, las políticas públicas diseñan una agenda que trata de establecer prioridades de atención de los asuntos que se buscan (lo planeado) o se presentan (lo contingente) en la sociedad, la economía, la cultura (Valadez y Landa, 2003).

Indicadores de la calidad del aire en el estado de Morelos

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales administra el Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA) que forma parte del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN). En el SNIA se incluyen los conjuntos de indicadores Básico y Clave, que ofrecen una visión general del desempeño ambiental del país. Los anteriores están organizados de acuerdo al modelo de Presión-Estado-Respuesta (PER). En el conjunto de indicadores Básico y Clave se incluye el de atmósfera, que contempla la calidad del aire.

Para el estado de Morelos, el indicador de Calidad del aire se integra en el conjunto Atmósfera con el del Cambio Climático (Capítulo 1).

Los 33 municipios de la entidad presentan diferentes modelos espaciales en cuanto a número, distribución de las fuentes de emisión y patrones de dispersión de los contaminantes, dependiendo de sus características geográficas, sociodemográficas y de desarrollo urbano-industrial. En el estado de Morelos destaca la zona metropolitana de Cuernavaca que incluye los municipios de Cuernavaca, Emiliano Zapata, Huitzilac, Jiutepec, Temixco, Tepoztlán y Xochitepec, y que concentran 49.29% de la población del estado. Las unidades económicas potencialmente emisoras de contaminantes atmosféricos localizadas en esta zona metropolitana representan 49.75% del total registrado en el estado. Además, los municipios de esta zona concentran aproximadamente 60% de los vehículos automotores en circulación, registrados a nivel estatal. Por otro lado, cuatro de los ocho municipios

de la zona (Huitzilac, Tepoztlán, Cuernavaca y Emiliano Zapata) reportan un importante número de incendios forestales por año. Además, Xochitepec y Emiliano Zapata son municipios productores de caña de azúcar, la cual es quemada antes de su cosecha. Los municipios de Cuernavaca, Jiutepec, Emiliano Zapata, Tepoztlán, Xochitepec y Temixco tienen la mayor tasa de urbanización y población urbana en el estado. Además, cabe destacar que la mayor densidad poblacional se localiza en Jiutepec, mismo que cuenta con una tasa de crecimiento urbano de las más grandes a nivel nacional. Por todo esto, la zona metropolitana de Cuernavaca presenta los problemas más graves de contaminación, principalmente en lo que corresponde a la calidad del aire, la cual es monitoreada por una sola estación, ubicada en el Centro Histórico de la ciudad capital, Cuernavaca.

Las fuentes móviles manifiestan un incremento significativo a nivel estatal, por lo que el consumo de combustibles fósiles para el transporte ha presentado importantes aumentos (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013). Esta situación ubica al transporte como la principal fuente de emisiones de contaminantes atmosféricos. Esto pone de manifiesto la necesidad urgente de establecer estrategias encaminadas a regular el transporte terrestre y a desarrollar una reingeniería vial en las principales ciudades del estado de Morelos.

De acuerdo con los datos reportados por las estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del estado de Morelos (RAMAMOR), la mayoría de los contaminantes criterio no exceden las concentraciones máximas establecidas por las Normas Oficiales Mexicanas. Sin embargo, la estación de Cuernavaca excedió la NOM-022-SSA1-1993 de la concentración de bióxido de azufre por un período aproximado de cuatro meses, en el período 2010-2012. Las PM₁₀ también excedieron los límites máximos permisibles de la NOM 025-SSA1-1993 durante algunos períodos de 24 horas en las estaciones de Zacatepec Cuernavaca y Ocuituco.

La Agencia de Protección al Ambiente, de los Estados Unidos (EPA, 2007 y 2011), y la Organización Mundial de la Salud (2000 y 2006)

establecen que las redes de monitoreo de contaminantes atmosféricos deben contar con un programa de aseguramiento de calidad que incluya: diseño de la red, selección de sitios, evaluación y selección del equipo, diseño del sistema de muestreo, infraestructura del sitio, operaciones de rutina, mantenimiento y calibración del equipo, acopio, revisión y validación de datos. Los estándares de calidad tienen un nivel de confianza establecido, que permite lograr comparabilidad y compatibilidad dentro de una red y entre redes a escala internacional. De acuerdo con la evaluación realizada por el INECC (2013), la RAMAMOR no cubre plenamente algunos criterios de control y aseguramiento de calidad. Además, la reubicación de la estación del municipio de Zacatepec y la necesidad de incrementar el número de estaciones, a efecto de contar con una cobertura espacial de monitoreo más amplia, principalmente de las zonas que concentran las mayores densidades poblacionales y fuentes de contaminación, tanto fijas como móviles, son situaciones que requieren una pronta solución. Por otro lado, es importante desarrollar estudios toxicológicos y epidemiológicos, que permitan establecer los riesgos que diferentes contaminantes no normados representan para la salud humana.

Consideraciones finales

La calidad del aire es un indicador fundamental para evaluar el desempeño ambiental de una región definida. Permite establecer estrategias de política y gestión integral con el objetivo de abatir los efectos ambientales y de salud pública que genera la contaminación ambiental.

No obstante, a nivel nacional, y en la mayoría de las entidades, no se cuenta con redes o estaciones de monitoreo con cobertura espacial suficiente, programas de mantenimiento preventivo de los equipos e información validada confiable, como base para reorientar el crecimiento urbano y las actividades económicas bajo los criterios de desarrollo sustentable, fundado en prácticas de manejo múltiple e

integrado de los recursos, adaptado a las particulares condiciones ecológicas regionales, a los valores culturales de las comunidades y a su amplia participación en los procesos de toma de decisiones y la construcción de propuestas de solución efectiva de la compleja problemática ambiental vigente.

Literatura citada

- Aragón, P. A. (2011). ¿Cómo son las partículas atmosféricas antropogénicas y cuál es su relación con los diversos tipos de fuentes contaminantes? Instituto de Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí y Capstone Mining Corp. Bloomington, EEUU. 117 pp.
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*. 79, 159-175.
- Barlier, F. (2010). Observations of the Earth's atmosphere: Introductory remarks. *Comptes Rendus Geoscience*. 342, 301-311.
- Barry, R.G., Chorley, R.J. (2010). *Atmosphere, weather and climate*. New York: Routledge. 108 pp.
- Bobrowski, N., Hönninger, G., Galle, B., Platt, U. (2003). Detection of bromine monoxide in a volcanic plume. *Nature*. 423, 273-276.
- Borja-Aburto, V.H., Castillejos, M., Gold, D.R., Bierzwinski, S., Loomis, D. (1998). Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico City, 1993-1995. *Environmental Health Perspectives*. 106, 849-856.
- Cabrera, G.J.T. (2013). Población-Ambiente. Desarrollo y Agricultura Urbana en un Municipio de Ciudad Habana, Cuba. *Revista Brasileira do Caribe*. 14. 27, 177-207.
- Campos, A., Gómez, R., Licon, L., Carrillo, J., Ramírez, E., Herrera, E. F. (2008). Monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Chihuahua (Norte de México) como una herramienta para la gestión de la calidad del aire. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 4. 3, 357-366.

- Cárdenas, G. B., Revah, M. S., Hernández, S., Martínez, S. A., Gutiérrez, A. V. (2003). Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas. México: INE-SEMARNAT. 61 pp.
- Castillejos, M., Borja-Aburto, V., Dockery, D., Loomis, D. (2000). Coarse particles and mortality in Mexico City. *Inhalation Toxicology*. 12. 1, 61-72.
- Chávez, C. M. (2006). Distintas vías para abordar la sustentabilidad: una exploración del camino seguido por el gobierno mexicano. *Nueva Época*. 19. 51, 173-212.
- De Bauer, M. D. L., Hernández-Tejeda, T. (2007). A review of ozone-induced effects on the forests of central Mexico. *Environmental Pollution*. 147. 3, 446-453.
- EEA (2011). Air Quality in Europe - 2011 Report. EEA Technical Report No. 12/2011. Reporte Técnico, Copenhague: European Environment Agency. 84 pp.
- Enríquez, R. A. I. (2012). Impacto de las erupciones volcánicas sobre el sistema respiratorio. Master en Análisis y Gestión de Emergencias y Desastres. Universidad de Oviedo. Oviedo España. 33 pp.
- EPA (2007). Ambient Air Monitoring Network Assessment Guidance. Analytical Techniques Technical Assessments of Ambient Air Monitoring Networks. Air Quality Assessment Division Research Triangle Park. North Carolina. 70 pp.
- EPA (2011). CFR (Code of Federal Regulations), Part 58, Appendix E. Probe and Monitoring Path Siting Criteria for Ambient Air Quality Monitoring. 11 pp.
- Flores, T. A. K. I. (2013). Análisis de la calidad del aire de los municipios de Cuernavaca, Ocuilco y Zacatepec, Morelos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 117 pp
- Gaffney, J. S., Marley, N. A. (2009). The impacts of combustion emissions on air quality and climate. From coal to biofuels and beyond. *Atmospheric Environment*. 43, 23-36.

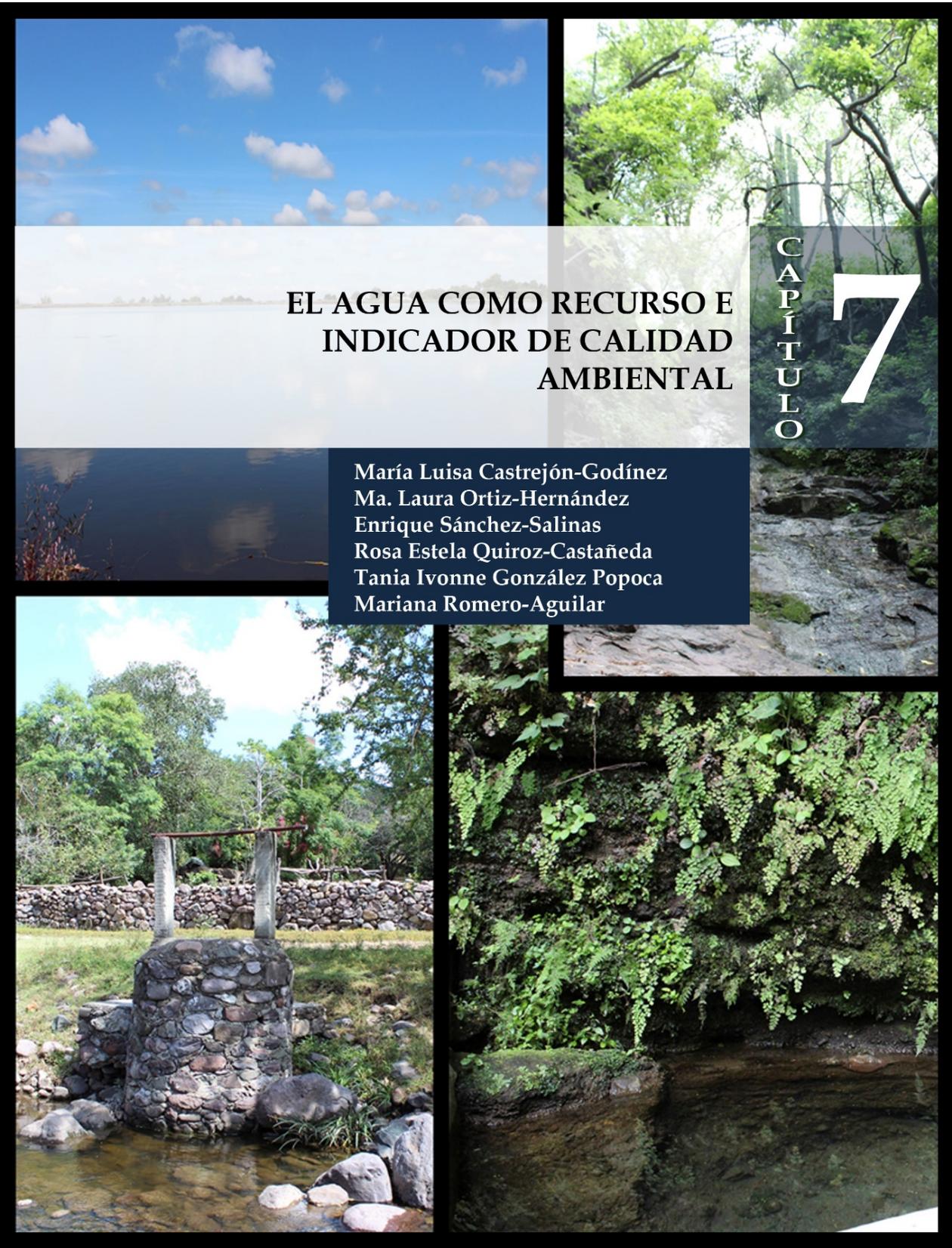
- García, M. O. C., Flamand, L. (2008). Políticas intergubernamentales para controlar la contaminación del aire en ciudades mexicanas. *Gestión y Política Pública*. 17. 2, 261-313.
- García-Ubaque, C. A., García-Ubaque, J. C., Vaca-Bohórquez, M. L. (2012). Políticas en salud ambiental, con énfasis en contaminación atmosférica e infancia, en ciudades colombianas. *Revista de Salud pública (Bogotá)*. 14. 2, 100-112.
- Grob, B. E., Oyarzún, G. M., Cavieres, C. I., Zarges, T. P., Bustamante, M. G. (2012). ¿Son las cenizas volcánicas un riesgo para la salud respiratoria? Revisión a propósito de la erupción del cordón del Caulle en junio de 2011. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*. 28, 294-302.
- Huepe, F. J. L. (2014). Desarrollo y evaluación de una pintura fotocatalítica para disminuir NOx presentes en aire. Tesis Doctoral, Universidad de Chile, Santiago de Chile. 113 pp.
- IMECA (2011) Calidad del aire en la Ciudad de México-Informe 2011. En:
http://148.243.232.112/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/informe_anual_calidad_aire_2011/. Consultado el 20 de julio de 2014.
- INE (2000). Gestión de la calidad del aire en México: logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. México: Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Gestión e Información Ambiental. 184 pp.
- INECC (2009). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. <http://www.inecc.gob.mx/calair-informacion-basica/559-calair-nom-cal-air>.
- INECC (2013). Proyecto "Acciones para el fortalecimiento de los sistemas de monitoreo de contaminantes atmosféricos" Convenio de Coordinación INECC: INE/A1-010/2013. 117 pp.
- Leff, E. (1993). Cultura democrática, gestión ambiental y desarrollo sustentable en América Latina. *Ecología política*. 4, 47-55.

- Lezama, J. L. (1997). El problema del aire en el valle de México: crítica a la política gubernamental 1979-1996. *Estudios Demográficos y Urbanos*. 427-472.
- Martínez, N., Chávez, R. (2014). Nuevos agentes en la gestión ambiental: El caso de las organizaciones de la sociedad civil en Ensenada. *Estudios Fronterizos*. 15. 29, 85-123.
- Mazzeo, N. A., Venegas, L. E. (2006). Red de monitoreo de calidad del aire para áreas urbanas: diseño y representatividad espacial. En: AIDIS. Rescatando antiguos principios para los nuevos desafíos del milenio. 1-13 pp.
- Mezzanotte, J. (2007). *Tormentas de Polvo. Weekly Reader, Early Learning Library*. USA: Milwaukee. 24 pp.
- Morales, S. R. E., Leiva, G. M. (2006). Distribución y concentraciones críticas de material particulado en la ciudad de Santiago. En: Morales, S.R.E. (Ed). *Contaminación atmosférica urbana, episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria. 107-131 pp.
- Morales-Cueto, R., Saldarriega-Noreña, H. (2014). Fuentes químicas de la contaminación troposférica. En. Sánchez-Salinas, E., Ortiz-Hernández, M.L., Castrejón-Godínez, M.L. (comps) *Contaminación urbana del aire: Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales*. Cuernavaca: UAEM. 45-73pp.
- Moreno, S.M. (2008). La gestión ambiental urbana. El caso de la contaminación atmosférica en Bogotá. *Revista EAN*. 62, 29-38.
- Nicod, C., Iizuka, M. (2000). *Conciencia ciudadana y contaminación atmosférica: estado de situación en el área metropolitana de Santiago de Chile*. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 50 pp.
- OMS (1999). *Monitoring Ambient Air Quality for Health Impact Assessment*. Regional Publications. European Series No. 85. En: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/119674/E67902.pdf. Consultado el 20 de julio de 2014.

- OMS (2000). Air quality guidelines for Europe. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 91.
- OMS (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno. Actualización mundial 2005. Suiza: Organización Mundial de la Salud. 25 pp.
- OMS (2011). Calidad del aire y salud. Nota descriptiva No. 313. Organización Mundial de la Salud. En: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>- Consultado el 18 de julio de 2014.
- OPS (2005). Guía de preparativos de Salud frente a erupciones volcánicas. Módulo 1: El sector salud frente al riesgo volcánico. Organización Panamericana de la Salud. En: http://www1.paho.org/spanish/dd/ped/gv_modulo1.pdf. Consultado el 05 de mayo de 2014.
- Ortiz-Hernández, M. L., Quiroz-Castañeda, R. E., Sánchez-Salinas, E., Castrejón- Godínez, M. L., Macedo-Abarca, B. (2013). Emisiones de gases de efecto invernadero en el estado de Morelos. Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 141 pp.
- O'Ryan, R., Larraguibel, L. (2000). Contaminación del aire en Santiago: estado actual y soluciones (No. 75). Centro de Economía Aplicada, Universidad de Chile. 42 pp.
- PNUMA (2002). Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2002. GEO-3. Pasado, presente y futuro. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Madrid: Mundi-Prensa Libros S.A. 425 pp.
- Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*. 287. 9, 1132-1141.
- Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. *Revista Española de Salud Pública*. 82, 447-454.

- Raga, G. B., Baumgardner, D., Castro, T., Martínez, A., Navarro, R. (2001). Mexico City air quality: a qualitative review of gas and aerosol measurements (1960-2000). *Atmospheric Environment*. 35. 23, 4041-4058.
- Ramalho, C. E., Hobbs, R. J. (2011). Time for a change: dynamic urban ecology. *Trends in Ecology & Evolution*. 27. 3, 179-788.
- Romero-Placeres, M., Diego-Olite F., Álvarez-Toste M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 44. En: <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v44n2/hie08206.pdf>.
- Roth, D. A. N. (2002). Políticas públicas. Formulación, implementación y evaluación. Bogotá: Ediciones Aurora. 134 pp.
- Sánchez-Salinas, E., Ortiz-Hernández, M. L. (2005). La degradación ambiental: Problemática en un mundo globalizado. En: Sánchez-Salinas, E., Ortiz-Hernández, M. L. (Eds). *Biociencias*. Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 194-229 pp.
- Sanginés, A. G. (2005). Política ambiental en México: génesis, desarrollo y perspectivas. *Información Comercial Española-Monthly edition*. 821, 163-175.
- Seinfeld, J. H., Pandis, S. N. (2006). *Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to climate change*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Hoboken. 1203 pp.
- SEMARNAT-Gobierno del Estado de Guanajuato (2004). Programa para mejorar la calidad del aire en Salamanca 2003-2006. 33-42 pp.
- SEMARNAT-INE (2006). *Inventario Nacional de Emisiones de México 1999*. México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología. 380 pp
- SEMARNAT-INECC (2013). *Contaminantes criterio*. En: <http://www.inecc.gob.mx/calair-indicadores/523-calair-cont-criterio>. Consultado el 18 de junio de 2014.

- Simioni, D. (2003). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. 278 pp.
- SINAICA (2013). Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire. Consultado en: <http://sinaica.ine.gob.mx/>, el 17 de julio de 2014.
- Slovic, P. (1999). Trust, Emotion, Sex, Politics, and Science: Surveying the Risk-Assessment Battlefield. *Risk Analysis*. 19.4, 689-701.
- Valadéz, R.A., Landa, D. P. (2003). Política y gestión ambiental. Características y lineamientos generales. *Psicología y Ciencias Sociales*. 5. 2, 54-61.
- Valdés, H. J., Canún, S. S., Reyes, P. A., Navarrete, H. E. (2011). Urbanización, megalopolización y mortalidad por defectos al nacimiento en menores de cinco años en México. *Gaceta Médica de México*. 147, 209-218.
- Vallejo, M., Jáuregui-Renaud, K., Hermosillo, A. G., Márquez, M. F., Cárdenas, M. (2003). Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la Ciudad de México. *Gaceta Médica de México*. 139. 1, 57-64.
- Zuk, M., Tzintzun C. G., Rojas, B. L. (2007). Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas. Instituto Nacional de Ecología. 103 pp.



EL AGUA COMO RECURSO E INDICADOR DE CALIDAD AMBIENTAL

C
A
P
Í
T
U
L
O

7

María Luisa Castrejón-Godínez
Ma. Laura Ortiz-Hernández
Enrique Sánchez-Salinas
Rosa Estela Quiroz-Castañeda
Tania Ivonne González Popoca
Mariana Romero-Aguilar

EL AGUA COMO RECURSO E INDICADOR DE CALIDAD AMBIENTAL

Resumen

El agua es un recurso imprescindible para la vida; el volumen total es de aproximadamente 1,400 millones de km³, de los cuales sólo 2.5%, o alrededor de 35 millones de km³, corresponde al agua dulce en el planeta. En México, 76.7% del volumen total de agua concesionada para usos consuntivos corresponde al sector agrícola, 14.3% es para servicio público, 4% para la industria autoabastecida y 5.1% para la generación de energía eléctrica. Estas actividades han provocado modificaciones en la calidad de este recurso, la contaminación representa uno de los principales problemas que enfrentan los acuíferos. Se estima que en México, el volumen total existente de agua contaminada es de 18.1%. Además la falta de una estrategia de gestión integral, dificulta el suministro de agua potable a la población, sobre todo de las comunidades más vulnerables. Ante esta situación, los IA son una herramienta que permite el conocimiento general de la situación actual de este recurso, así como la evaluación de los planes y políticas públicas ambientales. En este capítulo se presenta la información general de la disponibilidad, calidad y gestión del agua, así como el avance en la generación de IA que permitan el manejo integrado de este recurso.

Introducción

El agua es necesaria para la formación y combinación de las diferentes moléculas inorgánicas y orgánicas que dieron origen a los protobiontes, los cuales posteriormente originaron las primeras células, a partir de las que evolucionaron todas las demás formas de vida. La actividad volcánica y los meteoritos que impactaron la Tierra originaron conjuntamente el agua. Aproximadamente, 75% del planeta está cubierto de agua y constituye un recurso fundamental para los procesos

ambientales y sociales. Es por esto que la disponibilidad de este recurso es primordial para conservar las condiciones de vida del planeta y el desarrollo de la humanidad.

El volumen total de este recurso en la Tierra es de aproximadamente 1,400 millones de km³, de los cuales, sólo 3% corresponde al agua dulce (SEMARNAT- CONAGUA, 2011a), y sólo 0.003% representa la disponibilidad en ríos y lagos, sin embargo estas proporciones han complicado el aprovechamiento del recurso para algunas poblaciones humanas (UNEP, 2002).

Hoy en día, las grandes ciudades reclaman una gran cantidad de agua para satisfacer las necesidades de sus habitantes, al mismo tiempo, en el sector agropecuario se requiere del agua para la producción de alimentos, además la industria demanda volúmenes suficientes para sus diferentes procesos. Estas actividades contaminan el agua con una amplia gama de compuesto y deterioran su calidad.

La gestión del agua potable en las zonas urbanas representa un gran desafío tanto a nivel mundial como nacional. En el año 2011, la población mundial estaba cercana a los 7,000 millones de personas, de éstos, más de la mitad residía en las ciudades, y se estima que para el año 2024 la población urbana rondará los 8,000 millones, todos ellos con la necesidad primordial de abastecerse de agua potable (UNFPA, 2011).

En México, la cobertura de agua potable en el período 1990-2010 pasó de 89.4% a 95.4%, sin embargo, el constante crecimiento de la población urbana nacional aumentó 49% en el mismo período; estas cifras muestran que la disponibilidad, la calidad y la gestión del agua representan un desafío (SEMARNAT-CONAGUA, 2011a).

En la búsqueda de soluciones a los problemas relacionados con la gestión del agua, su disponibilidad y la calidad de la misma, han surgido planteamientos como la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que se ha perfilado como uno de los enfoques más aceptados a nivel mundial. La GIRH propone una visión integral del agua para encontrar soluciones al suministro, la calidad, el control de

inundaciones, sus diversos usos, entre otros (Tiburcio y Perevochtchikova, 2012).

Una herramienta básica que responde a dos necesidades importantes en la implementación del manejo integrado del agua son los IA. Éstos permiten la recopilación, síntesis y explicación de cantidades considerables de información, y al mismo tiempo representan una herramienta de seguimiento que permite establecer objetivos claros y concretos, así como evaluar el progreso en la implementación de los planes y políticas públicas ambientales (Dunn y Bakker, 2011).

La sociedad en su conjunto identifica estas variaciones y puede adoptar medidas (respuestas) que tratarían de corregir las tendencias negativas detectadas. Estas medidas se dirigen con carácter cautelar, contra los mismos mecanismos de presión, o bien, con carácter corrector, directamente sobre los factores afectados del medio (Aguirre-Royuela, 2002). En Latinoamérica, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) se ha encargado de la publicación de los IA para sus países miembros, muchos de los cuales ya cuentan con estos programas en desarrollo, como Colombia, Argentina, Brasil, entre otros (Rayén-Quiroga, 2007).

En México, el primer reporte de avance se publicó en 2006, conjuntamente por la SEMARNAT y el INEGI. El resultado de ese esfuerzo actualmente es un total de 41 indicadores, distribuidos en seis áreas temáticas: diversidad biológica, gestión de recursos hídricos, vulnerabilidad de asentamientos humanos y ciudades sostenibles, temas sociales (incluyendo salud, inequidad y pobreza), aspectos económicos (incluidos el comercio y los patrones de producción y consumo) y, finalmente, los aspectos institucionales (SEMARNAT-SNIA, 2013).

El agua como recurso

El agua es uno de los recursos naturales indispensables para el desarrollo de la vida en la tierra, esto se le atribuye a las propiedades físicas y químicas que la caracterizan, las cuales le permiten estar inmersa en procesos de suma importancia como son el ciclo hidrológico, la determinación del clima y como disolvente universal. Sin dejar a un lado el valor económico y social por los servicios ambientales en los que está presente.

El abasto fijo mundial de agua en sus diferentes formas (vapor, líquido y sólido) es alto, 97% del volumen del agua en la Tierra se encuentra en los mares y océanos, los cuales son demasiado salados para consumo humano, para usarse en los cultivos o en la mayor parte de los procesos industriales, excepto para métodos de enfriamiento; el 3% restante corresponde a agua dulce, de la cual, 97% se encuentra prácticamente inaccesible para su uso, ya que se encuentra en el hielo de los polos y en los glaciares o es agua subterránea situada a profundidad y resulta muy costoso extraerla. Esto significa que sólo 0.003% del volumen total de agua en la tierra es de fácil acceso, localizada en lagos, en la humedad del suelo, en el agua subterránea aprovechable, en el vapor de agua atmosférica y en corrientes fluviales (Figura 7.1).

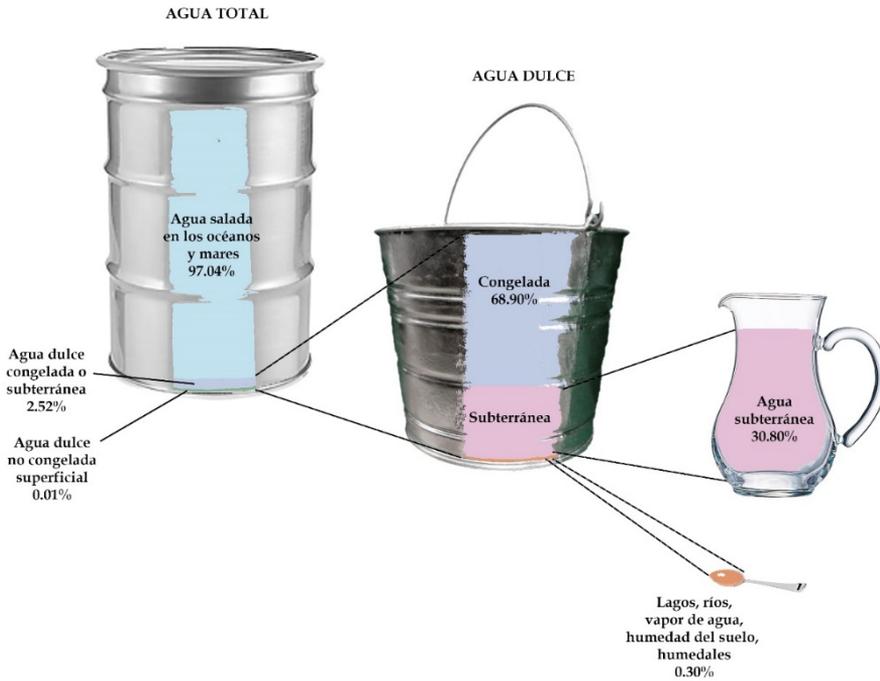


Figura 7.1. Distribución del agua a nivel mundial.

La disponibilidad de agua a nivel mundial varía de acuerdo al continente del que se trate. En América, la cantidad de agua por habitante por año es de 24,000 m³; en Europa, de 9,300 m³; en África, de 5,000 m³ y en Asia, de 3,400 m³. Esta disposición depende de los reservorios de agua que se poseen y de la correcta distribución del recurso (FAO-UN, 2003). Las reservas del agua dulce en el mundo por región se muestran en la Figura 7.2.



Figura 7.2. Reservas de agua dulce en el mundo. Fuente: FAO-Aquastat 2014.

A nivel mundial, la disponibilidad de agua per cápita ha disminuido significativamente en unas cuantas décadas. En 1960, a cada ciudadano del mundo le correspondían 11,300 m³ por año, los cuales se redujeron a sólo 5,000 m³ para el 2010, cuando la población mundial fue de aproximadamente 6,900 millones de personas (MEA, 2005).

En México la disponibilidad también se ha reducido de manera importante: en 1950, era de 17,742 m³ por año, pasando a poco menos de 11,000 en 1960 y a menos de 8,000 en 1970. En 2010, la disponibilidad por habitante fue de 4,090 m³ anuales (SEMARNAT-CONAGUA, 2012b), un volumen que de acuerdo al World Resources Institute (WRI) se considera como de disponibilidad baja. La disponibilidad de agua por habitante de México es mucho menor que la de países como Canadá

(84,633 m³/hab/año), Panamá (42,577 m³/hab/año) o Estados Unidos (9,159 m³/hab/año), y en general de toda América del Sur, pero ligeramente superior al promedio de muchos de los países europeos (FAO-UN, 2003). Para 2030 se proyecta que la disponibilidad de agua por habitante será de tan sólo 3,800 m³/hab/año (SEMARNAT-CONAGUA, 2010a).

En materia de infraestructura para el almacenamiento, México ocupa el lugar número 19 a nivel mundial, con 1,189 m³/hab (SEMARNAT-CONAGUA, 2011b). El territorio nacional cuenta con 11,122 km de litoral, 15,000 km² de lagunas costeras y 29,000 km² de cuerpos de agua interiores que forman una gran variedad de ecosistemas acuáticos (Güitron de los Reyes y Preciado, 2012). Anualmente se reciben 1,489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. Se estima que 73.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, 21.1% escurre por los ríos y arroyos, y el 4.8% restante se filtra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Si tomamos en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, así como la recarga incidental, el país cuenta con 462 mil millones de m³ de agua dulce renovable, por año (CONAGUA, 2012).

La demanda del vital líquido es cada vez mayor, provocando el desabasto y deterioro en su calidad, estos hechos generan diversas problemáticas que convierten en una política pública su conservación y cuidado. La disponibilidad de agua en cantidad y calidad es una condición necesaria para hacer viable el desarrollo social, económico y ambiental de nuestro país para las generaciones presentes y futuras (SINA, 2013).

Es importante tomar consciencia acerca del cuidado y conservación del agua como parte del desarrollo económico y social de nuestra entidad, a través de la realización de proyectos que permitan la aportación de nuevos conocimientos y tecnologías más eficientes en relación con la captación de agua de lluvias, implementación de plantas tratadoras de agua en los municipios que carecen de ellas, talleres de

concientización pública y actualización de las Normas Oficiales Mexicanas en cuanto a la calidad del agua.

Disponibilidad de Agua en el estado de Morelos

En el estado de Morelos se ha reportado de manera equivocada que el agua es un recurso abundante. Por el contrario, se ha registrado que el volumen de las corrientes superficiales es irregular a lo largo del año y que oscila entre 20 y 50% durante el estiaje. Dicha irregularidad está asociada a la ausencia de sitios apropiados para la construcción de presas, lo que dificulta el aprovechamiento de las aguas superficiales del estado y genera una distribución inadecuada del recurso y una escasez relativa.

Morelos se encuentra dentro de la región administrativa IV, siendo la única entidad que pertenece en su totalidad; y de manera parcial se encuentran Tlaxcala, Puebla, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Estado de México y Jalisco (SEMARNAT-CONAGUA, 2010*b*). En la región Balsas, la disponibilidad relativa del recurso en la región es baja, lo que se traduce en fuertes problemas de escasez. De hecho, es considerada como una zona con subexplotación con algunas áreas o valles sobreexplotados, con disponibilidad global limitada y escasa reserva, apenas suficiente para admitir, de manera sustentable, nuevos aprovechamientos destinados a satisfacer usos prioritarios.

El estado de Morelos forma parte de la región hidrológica Río Balsas (cuenca de los ríos Amacuzac y Atoyac). La totalidad de los cuerpos de agua del estado corresponden a la cuenca del Balsas, que es el río más grande del sur del país que desemboca en el océano Pacífico. En la entidad, el río Balsas se encuentra dividido en tres subcuencas: la cuenca del río Amacuzac, con una superficie de 4,303.39 km²; la cuenca del río Nexapa o Atoyac, con 673.17 km² y la cuenca del río Balsas-Mezcala, con 1.6 km². De acuerdo con el inventario de cuerpos de agua morelenses, se cuenta con siete ríos, seis lagos, 124 embalses y alrededor de 50 manantiales (Bolongaro *et al.*, 2006).

De acuerdo a lo reportado por el INEGI (2013), la captación de agua para el abastecimiento público en el estado de Morelos es a través de la extracción de agua de fuentes subterráneas y superficiales, con un total de 324 tomas de captación de agua para el abastecimiento público, de las cuales, 91% corresponde a pozos. Los 33 municipios que conforman el estado disponen de agua potable, de ellos, 94% cuenta con servicio de alcantarillado de la red pública; y de estos últimos, 35% da tratamiento al menos a una parte de sus aguas residuales. Es importante resaltar que donde reside 56% de la población (seis municipios ubicados en su mayoría en la zona conurbada de Cuernavaca y dos ubicados en el centro de la entidad) se concentra el 58% de todas las fuentes de captación.

Especialmente en Morelos, la dotación de agua potable por habitante al día es de 532 litros, lo que representa el valor más elevado a nivel estatal en el país, sobrepasando en 90% a la media nacional. Esto no significa que exista abundancia del líquido, por el contrario, es el resultado de las malas condiciones de la infraestructura hidráulica, la gran cantidad de albercas que frecuentemente cambian su agua, así como la existencia de fugas importante en redes de agua potable, los hábitos de consumo inapropiados y la falta de incentivos para proteger y cuidar este vital recurso (SEMARNAT-CONAGUA, 2010*b*).

En Morelos se encuentran los siguientes acuíferos: Cuernavaca, Cuautla-Yautepec, Tepalcingo-Axochiapan y Zacatepec.

- El acuífero del valle de Cuernavaca se compone por una zona de recarga, un acuífero superior, un paquete de formaciones confinantes y un acuífero profundo. El grupo Chichinautzin y la formación Cuernavaca constituyen el acuífero superior. El grupo Balsas y las de Tepoztlán y Mexcala actúan como confinantes. Las formaciones Cuautla y Morelos forman el acuífero inferior.
- En el valle de Cuautla-Yautepec se encuentran acuíferos constituidos por clastos no consolidados, rocas volcánicas fracturadas y calizas arrecifales. En las porciones del norte y oriente,

rocas volcánicas del grupo Chichinautzin forman acuíferos colgados con niveles freáticos, muy someros, que contienen agua de buena calidad y sostienen la descarga de los manantiales localizados en el área de Oaxtepec. La mayor parte de la recarga de este acuífero proviene de las formaciones basálticas que se encuentran entre los poblados de Tlayacapan y Yecapixtla (SARH, 1981). El flujo proveniente de las zonas mencionadas corre en su mayor parte hacia la zona de Cuautla, donde se une el flujo procedente del sur de Yecapixtla, para drenar hacia el río Cuautla. La parte restante de la recarga fluye hacia el río Yautepec.

- Los depósitos clásticos continentales constituyen el acuífero que actualmente se explota en el valle de Axochiapan-Tepalcingo, el cual se encuentra confinado por la formación Mexcala. Este acuífero presumiblemente tiene una circulación Kárstica, donde el líquido circula perfectamente a lo largo de los planos de la estratificación de las formaciones Cuautla y Morelos que funcionan como drenes subterráneos (Jaimes-Palomera y Cortés, 1991).
- El valle de Zacatepec cubre un área aproximada de 1,100 km² abarcando los municipios de Amacuzac, Jojutla y Tlaltizapán, parte de Mazatepec, Puente de Ixtla, Tetecala, Tlalquiltenango y Zacatepec. El acuífero del Valle de Zacatepec se encuentra en equilibrio, y se forma por zonas de recarga y descarga, un acuífero superior, un paquete de formaciones confinantes y un acuífero profundo. La zona de recarga está localizada en rocas ígneas extrusivas terciarias del grupo de Buenavista y la Riolita Tilzaplotla. La descarga se ubica en el valle de Zacatepec en materiales sedimentarios de las formaciones de Cuautla y Morelos. Por otra parte, el Grupo Balsas y la formación Mexcala actúan como confinantes de los acuíferos superior y profundo, integrados por las formaciones Cuernavaca y Cuautla y Morelos, respectivamente (SARH, 1981). En la Figura 7.3 se muestran los acuíferos del estado de Morelos.

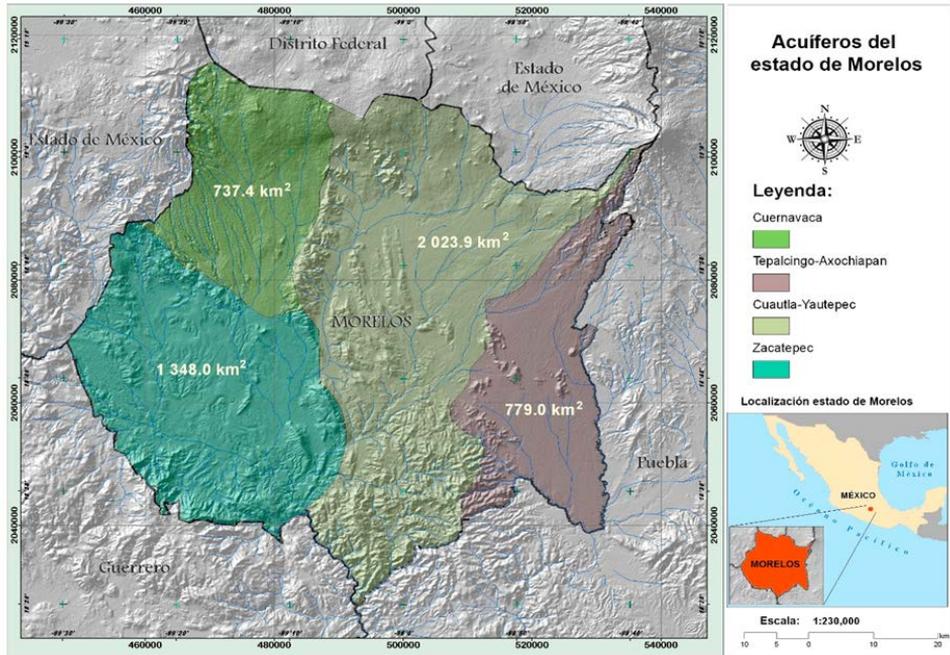


Figura 7.3. Acuíferos del estado de Morelos. Fuente: Modificado de Bolongaro-Crevenna *et al.*, 2013.

La disponibilidad de agua en los acuíferos muestra una tendencia a la baja y se estima que para el año 2030 se disponga de menos de la mitad de la cantidad de agua que se tiene hoy en día (Figura 7.4). De hecho, el acuífero de Cuernavaca tiene una disponibilidad apenas del orden de 32.75 hm^3 (10%), situación que pone en riesgo el abasto de agua en la cuenca, especialmente por la dinámica de crecimiento poblacional que se registra. Cosgrove y Rijsberman (2000) mencionan que la disponibilidad anual mundial promedio de recursos hídricos renovables disminuirá de 6,600 a 4,800 metros cúbicos.

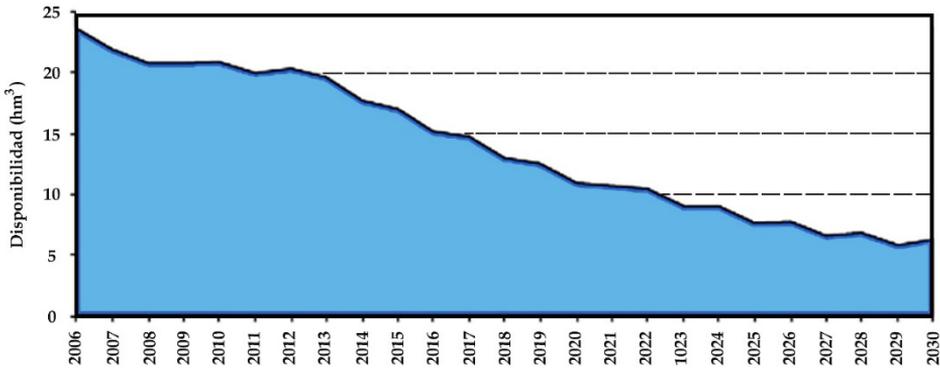


Figura 7.4. Tendencia en la disponibilidad de agua en el acuífero Cuernavaca (SEMARNAT-CONAGUA, 2010b).

En Morelos se dispone de reservorios considerables de agua, como lo es el lago de Tequesquitengo, el cual tiene una capacidad media de almacenamiento de 160 millones de m³ en un área de 8 km². Además, posee presas importantes como Cruz Pintada, Quilamula, Chinameca, Coahuixtla, Huitchila, Los Carros, Cayehuacan, Abrevadero, Tilzapotla, El Rodeo, La Parota y Ahuehuetzingo, entre otras (SEMARNAT-CONAGUA, 2012a).

En lo que respecta a los ríos, la mayor parte del estado de Morelos se encuentra dentro de la cuenca del río Amacuzac, que incluye cinco ríos principales: Apatlaco, Yautepec, Cuautla, Chalma-Tembembe y Amacuzac. Si bien éstos representan una fuente de agua superficial importante, la mayoría cuenta con un grado de contaminación considerable por plaguicidas y fertilizantes que impide su uso para el ser humano, además de la contaminación que se genera cuando éstos se infiltra al subsuelo, llegando a los acuíferos y los cauces (SEMARNAT-CONAGUA, 2010a).

Morelos es un estado con una actividad agrícola importante, por lo cual es imprescindible que la tecnología se enfoque en incrementar la productividad del agua, mejorar los sistemas de irrigación para un mejor aprovechamiento, incrementar el almacenamiento del recurso

mediante la construcción de presas, entre otras estrategias que, aplicadas de manera racional, podrían contribuir a tener un uso más eficiente del agua en el futuro.

Usos del recurso hídrico

El agua es empleada de diversas formas, prácticamente en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o para producir e intercambiar bienes y servicios. El desarrollo de la agricultura y de la industria, la expansión demográfica y el agudo incremento de los consumos de agua que conllevan todas estas actividades tienen una considerable incidencia sobre los regímenes hidrológicos y sobre el estado de los recursos hidráulicos (Balairón, 2002).

En el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), se registran los volúmenes concesionados (o asignados, en el caso de volúmenes destinados al uso público urbano o doméstico) a los usuarios de aguas nacionales. Dicho registro se agrupa en cinco grandes grupos; cuatro de ellos corresponden a “usos consuntivos”, como el agrícola, el abastecimiento público, la industria autoabastecida, la generación de energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad (Cosgrove y Rijsberman, 2000), y por último el hidroeléctrico, que se contabiliza aparte por corresponder a un uso no consuntivo.

Se denomina *uso consuntivo* a los usos fuera del cuerpo de agua para los que el líquido se transporta al lugar donde se utilizará y ya no regresa, ni total ni parcialmente, al cuerpo de agua del que se extrajo. Sin embargo, el *uso no consuntivo* se refiere a los usos en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo, un ejemplo de ese tipo de usos es el que se hace en las plantas hidroeléctricas (SEMARNAT-CONAGUA, 2010c).

El mayor volumen concesionado para usos consuntivos del agua es el que corresponde a las actividades agrícolas, con 76.6% (Figura 7.5), seguido del abastecimiento público (14.3%), la industria autoabastecida (4%) y generación de energía eléctrica (5.1%) (SEMARNAT-

CONAGUA, 2012b). Se observa que el mayor volumen concesionado para usos consuntivos del agua corresponde al uso agrícola, de hecho, nuestro país es uno de los que posee mayor infraestructura de riego en el mundo.

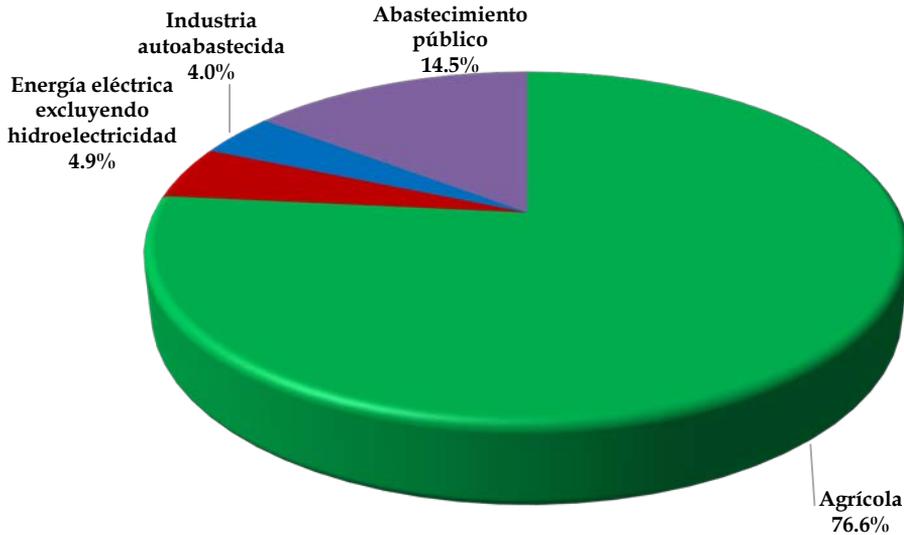


Figura 7.5. Utilización del agua destinada al uso consuntivo en México en 2012 (SEMARNAT-CONAGUA, 2013).

El abastecimiento público consiste en el agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a las diversas industrias y servicios conectados a dichas redes. En lo que se refiere a las centrales hidroeléctricas, que representan un uso no consuntivo del recurso, se utilizaron en el país 136.1 miles de millones de metros cúbicos de agua en el 2009.

El agua empleada en usos consuntivos respecto al agua renovable (se denomina así a la cantidad de agua máxima que es factible explotar anualmente, proveniente de la lluvia y de escurrimientos naturales de una región o país) es un indicador del

grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico en un país, cuenca o región. Se considera que si el porcentaje es mayor a 40% se ejerce una fuerte presión sobre el recurso. A nivel nacional, México experimenta un grado de presión de 17.5%, lo cual se considera de nivel moderado; sin embargo, la zona centro, norte y noroeste del país experimenta un grado de presión fuerte sobre el recurso (SEMARNAT-CONAGUA, 2011a).

Contaminación del agua

La contaminación es uno de los principales problemas que enfrentan los acuíferos en México, y se entiende como la acción y el efecto de introducir algún material en el agua de modo directo o indirecto alterando su calidad y composición química (Quiquinta *et al.*, 2003).

A finales del año 2010, más de 70% de los cuerpos de agua del país presentaba algún indicio de contaminación (SEMARNAT-CONAGUA, 2011b). Las cuencas que destacan por sus altos índices de contaminación son la del Lerma Santiago-Pacífico, la del Balsas y, sobre todas, la del Valle de México. Las mayores fuentes de contaminación del agua son los desechos de agua doméstica, los escurrimientos industriales, el escurrimiento de la tierra labrada, la depositación atmosférica, la filtración de las operaciones de minas y los rellenos sanitarios. De acuerdo con Romero-Aguilar (2007) las principales fuentes de contaminación son:

- **Natural:** se presentan sustancias extrañas que de manera natural contaminan aguas superficiales. Dentro de estas fuentes se encuentra la Erosión hídrica y eólica, erupciones volcánicas, yacimientos subterráneos de sustancias tóxicas.
- **Antropogénica:** son el resultado de las actividades humanas que producen sustancias extrañas y las liberan al agua, degradando la calidad de la misma y dificultando su uso.

Jiménez (2001), clasifica a los contaminantes de acuerdo a su naturaleza en:

- **Químicos:** Los compuestos químicos provienen de los drenados de minas, desechos solubilizados de la agricultura, derrames de petróleo, plaguicidas, aguas residuales municipales, desechos líquidos industriales y compuestos radiactivos. Producen efectos diversos y pueden ser de origen natural o sintético. Algunos son desechados directamente, otros se forman por la reacción entre diferentes compuestos en el agua y, por último, una pequeña fracción se forma durante el procesamiento del agua.
- **Biológicos:** Son organismos que provocan enfermedades en el hombre u otros organismos. Las más comunes en el hombre son tifoidea, salmonelosis, disentería, cólera y helmintiasis. Los agentes que las causas se incorporan en el agua a través de las heces fecales.
- **Físicos:** Son alteraciones de las propiedades físicas del agua, tales como temperatura, color, entre otros. Su origen y efectos son diversos.

La Tabla 7.1 clasifica las fuentes de contaminación, tomando como base el tipo de escurrimiento y la naturaleza del contaminante.

Los contaminantes forman la principal causa de la degradación de la calidad de agua en la naturaleza. De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente (LGEEPA) un contaminante es toda materia que al mezclarse con aguas claras, agua potable o tratada, altera, corrompe o modifica sus características e impide con ello su uso consuntivo (LGEEPA, 2014).

Tabla 7.1. Fuentes de contaminación según el tipo de escurrimiento y tipo de contaminante (Romero-Aguilar, 2007).

TIPO	FUENTE DE CONTAMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
Según el tipo de escurrimiento		
No localizada o escurrimientos	Arrastre de los agentes contaminantes por el agua de lluvia o por erosión del suelo hacia los cuerpos de agua.	La forma más común es la filtración, generando lixiviados con alto contenido de sustancias contaminantes.
Localizada	Los efluentes, directa o indirectamente, afectan la calidad de los cuerpos de agua receptores, en la cual se conoce el punto exacto de introducción.	Es generada por emisiones de industrias, plantas tratadoras de aguas residuales, descargas municipales tratadas o no, entre otras.
Según el tipo de contaminante		
Orgánica	Descargas de altas cantidades de compuestos orgánicos a los cuerpos de agua.	La materia orgánica es utilizada por algunos microorganismos para la síntesis de nuevos compuestos. Se genera principalmente por drenajes, sanitarios e industrias alimentarias y de celulosa.
Inorgánica	Descargas de sustancias químicas generadas por las actividades antropogénicas o por procesos naturales.	El aumento de nutrientes provocados por la erosión y las distancias recorridas por los ríos, impacta principalmente en los lagos, causando eutroficación.
Térmica	Descarga de aguas con altas temperaturas.	Se genera debido al enfriamiento en plantas generadoras de energía eléctrica, principalmente. Esta contaminación ocasiona un cambio en la densidad del agua y su concentración de oxígeno.
Biológica	Presencia en el agua de microorganismos que dañan la salud humana.	Se le conoce como contaminación microbiológica, y es ocasionada principalmente por los desechos de personas infectadas, así como de lodos procedentes de tratamientos biológicos de agua.
Tóxica	Metales pesados, aniones y compuestos orgánicos tóxicos provenientes de diferentes industrias.	Son la causa de muerte de los organismos aún en concentraciones pequeñas.

Calidad del agua

La disponibilidad de agua de buena calidad es una condición indispensable para los seres vivos y, más que cualquier otro factor, condiciona la calidad de vida de las personas (Asvall y Alleyde, 1999;

Curtís y Barnes, 2004; Nelson y Cox, 2005). El agua pierde su calidad cuando, por diferentes causas y vías, sufre un proceso de contaminación. Se considera que el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas y biológicas, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas. Las aguas residuales, se definen como aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general, de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (Rodríguez-Moroy y Duran de Bazúa, 2006).

Para conservar este recurso natural, es importante contar con información acerca de su calidad, relacionada con los atributos que presente el agua, de manera tal, que reúna criterios de aceptabilidad para diversos usos. Dichos criterios comprenden todos los parámetros que influyen en el uso benéfico del agua, como son los físicos, químicos y biológicos. Para ello debe evaluarse la presencia de sustancias que puedan afectar la salud, el bienestar del hombre o ser una amenaza para el ambiente (Martínez y Trujillo, 2007).

Existen diferentes reportes que indican la contaminación de los cauces de agua en numerosas zonas geográficas de México, confirmando que las aguas superficiales y subterráneas se encuentran contaminadas con sustancias orgánicas (Gelover *et al.*, 2000), inorgánicas (Méndez-García *et al.*, 2000) y biológicas (Jiménez, 2005). En México, la CONAGUA realiza la evaluación de ésta utilizando tres indicadores: la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST). La DBO_5 y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales de origen municipal y no municipal; el aumento de la DQO indica presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Por su parte, los SST tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo.

Conforme a su concentración, los criterios que conforman la escala de clasificación del agua se muestra en la Tabla 7.2 (SEMARNAT-CONAGUA, 2010c).

Tabla 7.2. Escalas de clasificación de la calidad del agua.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)		
Criterio (mg/l)	Clasificación	Color
DBO₅ ≤ 3	EXCELENTE. No contaminada	Azul
3 < DBO₅ ≤ 6	BUENA CALIDAD. Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánico biodegradable	Verde
6 < DBO₅ ≤ 30	ACEPTABLE. Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
30 < DBO₅ ≤ 120	CONTAMINADA. Aguas superficiales con descarga de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
DBO₅ >120	FUERTEMENTE CONTAMINADA. Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo
Demanda Química de Oxígeno (DQO)		
DQO ≤ 10	EXCELENTE. No contaminada	Azul
10 < DQO ≤ 20	BUENA CALIDAD. Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	Verde
20 < DQO ≤ 40	ACEPTABLE. Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
40 < DQO ≤ 200	CONTAMINADA. Aguas superficiales con descarga de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
DQO >200	FUERTEMENTE CONTAMINADA. Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo
Sólidos Suspendidos Totales (SST)		
SST ≤ 25	EXCELENTE. Clase de excepción, muy buena calidad.	Azul
25 < SST ≤ 75	BUENA CALIDAD. Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.	Verde
75 < SST ≤ 150	ACEPTABLE. Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido.	Amarillo
150 < SST ≤ 400	CONTAMINADA. Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido.	Naranja
SST >200	FUERTEMENTE CONTAMINADA. Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.	Rojo

Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa. De acuerdo con los resultados de la calidad del agua en México, en promedio, 35.4% del agua se clasifica como excelente, 26.9% de buena calidad, 19.6% aceptable, 13.3% contaminada y 4.8% como fuertemente contaminada (CONAGUA, 2010). Es oportuno mencionar que los sitios con monitoreo del agua están ubicados en zonas con un alta influencia antropogénica.

Gestión del recurso agua

El agua es un elemento esencial para la vida de este planeta, a la vez que también lo es para la producción de alimentos, para muchos procesos de fabricación, para la generación de energía hidroeléctrica y para el sector de los servicios. El valor del agua varía para los distintos usuarios en función de la capacidad que estos tengan para pagar por ella, el uso al que el agua este destinada, el acceso a suministros alternativos y la diversidad de valores sociales, culturales y ambientales asociados al recurso. Reconocer la totalidad y la interdependencia de los valores relacionados con el agua que son importantes para las distintas partes concernidas y los usuarios del agua es fundamental para poder llevar a la práctica la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (UNESCO, 2006).

La Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) se define como el proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. La GIRH tiene como propósito central elaborar políticas públicas socialmente aceptadas y hacer efectiva la implementación por los distintos actores en los diferentes ámbitos (Carabias y Landa, 2005).

En América Latina, en las últimas tres décadas se ha propuesto generar nuevos modelos para la gestión de recursos hídricos, motivado por una percepción de la degradación creciente de los recursos, como por una insatisfacción con los modelos y prácticas de gestión preexistentes, lo cual se tradujo en la discusión, formulación y eventual aprobación de un nuevo marco normativo para la política hídrica a nivel internacional, conocido como paradigma GIRH. El nuevo paradigma se centra en la concepción del agua como: 1) un recurso vital para la vida humana 2) cuya disponibilidad es limitada y 3) cuyo uso debe ser reconocido como un bien como valor económico. Para la gestión del recurso así definido, se proponen distintos principios de política hídrica, los cuales pueden ser sintetizados en tres términos: integralidad, descentralización y participación (Gutiérrez, 2011).

En México el agua es un recurso definido en el artículo 27 constitucional como propiedad de la nación, y por ende, el Estado, como garante del interés público, tiene la rectoría sobre el agua, por medio del Gobierno Federal. El agua es un bien público que tiene que ser considerado como un recurso estratégico, cuyo manejo es asunto de seguridad nacional. La *Ley de aguas nacionales* establece en el artículo 15 que la planificación debe ser de carácter obligatorio para la gestión integrada de los recursos hídricos, conservación de los recursos naturales, de los ecosistemas vitales y del ambiente, lo que convierte al proceso en el instrumento más importante de la gestión hídrica. México ha institucionalizado, desde el siglo pasado, la gestión del recurso agua, sin embargo ésta no se ha fortalecido por la falta de armonía entre políticas públicas, lo que ha afectado a la misma gestión así como al manejo y la administración. Por lo anterior, el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 considera necesario realizar reformas del sector hídrico en cuanto al marco jurídico, institucionalidad del sector público, gestión de recursos humanos, sistema financiero y planeación hídrica para “lograr la seguridad y sustentabilidad hídrica en México”. Asimismo, El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 establece cinco lineamientos rectores para el desarrollo del sector hídrico en México: 1)

el agua como elemento integrador de los mexicanos; 2) el agua como elemento de justicia social; 3) sociedad informada y participativa para desarrollar una cultura del agua; 4) el agua como promotor del desarrollo sustentable y 5) México como referente mundial en el tema del agua.

La creciente escasez del agua, la demanda de mejores servicios de abastecimiento y saneamiento son un tema de preocupación a nivel internacional y nacional. La aplicación de forma efectiva y eficiente de la GIRH en nuestro país traerá consigo beneficios para los sectores ambientales, sociales, económicos y de salud como parte de una responsabilidad compartida entre los usuarios y el gobierno.

A nivel estatal, existe el Programa Hídrico 2030 del estado de Morelos, en el cual se pretende hacer una evaluación del estado actual de los recursos hídricos para plantear escenarios hacia el año 2030 e implementar políticas que ayuden a lograr un manejo integral del agua. En Morelos, 95% del agua superficial se utiliza en el sector agrícola, 3% en el sector servicios e industria, y 2% es de uso público. De esta agua utilizada, sólo una pequeña cantidad puede ser reusada a través del tratamiento de la misma; se estima que de un total de 81 plantas de tratamiento de agua de origen industrial solamente 68 están en operación, tratando 2,157 litros por segundo. Por otro lado, las 25 plantas de aguas residuales municipales que están operando tratan 959 litros por segundo (SEMARNAT-CONAGUA, 2010a). Si bien el tratamiento del agua es uno de los puntos cruciales para un buen uso del agua a futuro, aún falta mucho trabajo por desarrollar.

Indicadores Ambientales en materia de agua en México

De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (Quiroga, 2007; Quiroga, 2009), los IA se constituyen por un sistema de señales claras y oportunas sobre un determinado proceso ambiental. Es decir, son herramientas de objetivación de los procesos ambientales y de sostenibilidad del desarrollo.

A nivel internacional, en las últimas dos décadas se ha registrado un auge en la creación de IA. Canadá es considerado como precursor del modelo de IA en la cadena lógica “Presión-Estado-Respuesta”, el cual se ha difundido ampliamente a nivel internacional por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (Berger y Hodge, 1998). Este modelo obedece a una lógica según la cual las actividades humanas ejercen presiones sobre el entorno y los recursos ambientales y naturales, alterando en mayor o menor medida, su estado inicial.

La construcción de los IA, en su esencia, permite generar evidencias de los procesos de monitoreo, decisión e intervención, que debería culminar en el respaldo de toma de decisiones respecto a políticas públicas e intervenciones específicas en problemas de índole ambiental críticos o urgentes.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha originado productos de difusión impresa y digital que contienen datos sobre la calidad, uso y conservación del recurso hídrico: las Estadísticas del Agua en México, Cubos Portátiles de Información y reportes anuales sobre el estado del suministro de agua potable y saneamiento.

Con esta información recopilada de diferentes instituciones a nivel estatal y federal de los últimos diez años, la CONAGUA es el ente gubernamental que ha participado en la integración del Sistema Nacional de Información del Agua (SNIA).

Sin embargo, la naturaleza de los datos recopilados es en exceso general, esto no permite establecer conclusiones precisas que vinculen el estado del recurso con los programas y políticas públicas que se llevan a cabo. El reporte la “Situación del Subsector de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento” (CONAGUA, 2010) confirma lo anterior, mencionando que los datos provienen de fuentes no auditadas, carecen de inconsistencias en el tiempo, los sujetos de medición y las unidades de medida.

Es importante tomar en cuenta que en México, la gestión en materia de IA es centralizada, por lo tanto, la producción de éstos

actualmente se ha realizado prácticamente por una sola institución gubernamental que incluso ha marcado los estándares de generación de IA a nivel estatal.

A nivel estatal, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), desarrolló herramientas de seguimiento de la calidad y uso del manejo del recurso hídrico, utilizando los indicadores propuestos por CONAGUA y otros generados por el mismo sistema. Esto permite la evaluación principal del abastecimiento de agua potable y drenaje a la población de la ciudad, sus indicadores se han relacionado con el tema de servicios, incorporan: 1) la eficiencia comercial que se refiere al porcentaje de recaudación obtenido respecto del volumen facturado, 2) la eficiencia física que se refiere al porcentaje de agua (Tiburcio y Perevochtchikova, 2012).

En el 2003, se desarrollaron los Indicadores Ambientales del Estado de Hidalgo, basados en siete temas prioritarios: agua, suelo, residuos sólidos (municipales, industriales peligrosos y no peligrosos, biológico-infecciosos y mineros), forestal, pesquero, vida silvestre y aire. Para la estructuración de los IA, en el recurso hídrico se basan principalmente en: agua disponibilidad y calidad, al igual que el SNIA.

Con lo anterior se establece que existe un rezago en el desarrollo de IA para la gestión del agua en México.

Consideraciones finales

Las actividades humanas están fuertemente ligadas a cuerpos de agua, esto ha provocado la contaminación de este recurso. En México, la disponibilidad por habitante en el año 2010 fue de 4,090 m³ anuales, lo cual a nivel mundial es bajo. Se requiere crear estrategias que permitan su manejo integral, desarrollando acciones tales como: aumentar el tratamiento eficiente de aguas residuales; reutilizar aguas tratadas para la reducción del uso de agua potable principalmente en la industria, modificar leyes que permitan la sanción de los usuarios que contaminan en mayor medida y monitorear de manera ordenada y

precisa la disposición y calidad del agua en el país. La información de los IA permitirá la toma de decisiones e intervenciones en problemas específicos de índole ambiental críticos y la generación de políticas públicas, lo que en conjunto generará acciones para el manejo integral del recurso agua.

Literatura citada

- Aguirre-Royuela, M. A. (2002). Los sistemas de indicadores ambientales y su papel en la información e integración del medio ambiente. I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente (ICITEMA). Madrid. 25. 27, 1231-1256
- Asvall, J. E. y Alleyde, G. (1999). Agua y salud. Washington: Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. 20 pp.
- Balairón, P. L. (2002). Gestión de recursos hídricos. Universidad Politécnica de Catalunya. 69-77 pp.
- Berger, A. R., Hodge, R. A. (1998). Natural Change in the Environment: A Challenge to the Pressure-State-Response Concept. *Social Indicators Research*. 44, 255-265.
- Bolongaro, C. A., Sierra, O. R., Torres, R. V., Márquez, G. A., Ramírez, V. J., Uribe, N. S., Castillo, H. F., Lagunas, G. R., Suárez, T. F., Sotelo, P. N., Velasco, V. B, Monsalvo, J. C (2006). Diagnóstico del Impacto y Riesgo Derivado de la Variabilidad Climática y el Cambio Climático Global en la Disponibilidad y Manejo del agua y en la Agricultura. Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 187 pp.
- Bolongaro-Crevenna, R. A., Torres-Rodríguez, V., Pohle-Morales, O. Chavarría- Hernández, J. García-Vicario, F. (2013). Vulnerabilidad del recurso hídrico en el estado de Morelos ante el cambio climático. En: Ortiz-Hernández, M. L., Sánchez-Salinas E. (Comps.). Cambio Climático. Vulnerabilidad de sectores clave en el estado de Morelos. Universidad Autónoma

- del Estado de Morelos. Programa de Gestión Ambiental Universitario. 57-100 pp.
- Carabías, J., Landa, R. (2005). Agua Medioambiente y Sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 122pp.
- CONAGUA (2012). *Comisión Nacional del Agua. Atlas del Agua en México*. En: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/>. Consultado el 23 de septiembre de 2014.
- Curtis, H., Barnes, N. (2004). Biología. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana. 1491 pp.
- Dunn, G., Bakker, K. (2011). Fresh Water-Related Indicators in Canada: An Inventory and Analysis. *Canadian Water Resources Journal*. 36, 135-148.
- FAO-Aquastat (2014). Sistema de información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO.
- FAO-UN (2003). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Water Reports. Review of world water resources by country. 127 pp.
- Gelover, S., Bandala, E.R., Leal-Ascencio, T., Pérez, S., Martínez, E. (2000). GC-MS determination of volatile compounds in drinking water supplies in Mexico. *Environmental Toxicology*. 15, 131-139.
- Güitrón de los Reyes, A., Preciado, J. M. (2012). El agua en México: Situación y Tendencias. En: Vargas V. S., Mollard, E., Güitrón, A. (Coord.). Los conflictos por agua en México. Caracterización y prospectiva. Cuernavaca: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 23-56 pp.
- Gutiérrez, R. (2011) Modelo para armar: Gestión del agua en la provincia de Buenos Aires. Sexto Congreso Argentino de Administración Pública. Argentina: Universidad Nacional de San Martín/CONICET. 28 pp.

- INEGI (2013). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Boletín de prensa núm. 150/13. Cuernavaca, Morelos. 8 pp.
- Jaimes-Palomera, R., Cortés, S. A. (1991). Hidrogeología de las cuencas de los ríos Apatlaco y Yautepec, región noroccidental del estado de Morelos. En: Oswald, S. U., Serrano Moreno, J. R. (coords.). El recurso agua en el estado de Morelos y problemas de su contaminación. México: UNAM-CRIM. 93-117 pp.
- Jiménez, B. (2005). Treatment technology and standard for agricultural wastewater reuse: a case study in Mexico. *Irrigation and Drainage*. 54. S1, S23-S33.
- Martínez, V. J., Trujillo, E. (2007). Modificación química del agua potable en un sistema de distribución de fierro fundido gris. Memorias VI Congreso Internacional y XII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. Chihuahua, 6 al 8 de junio de 2007.
- MEA.(2005). Millenium Ecosystems Assesment Board. Ecosystems and human well-being: Current State and Trends Vol. 1. Findings of the Condition and Trends Working Group. Eds. Rashid Hassan, Robert Scholes, Neville Ash. Island Press. 901 pp
- Méndez-García, T., Rodríguez-Domínguez, L., Palacios-Mayorga, S. (2000). Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales en suelos. *Terra*. 18. 4, 277-288.
- Nelson, D. L., Cox, M. M. (2005). *Lehninger Principios en bioquímica*. Barcelona: Omega. 1119 pp.
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Nacional Hídrico 2014-2018. Gobierno de la Republica. México: SEMARNAT-CNA. 105 pp.
- Ponce, M., López-Velarde, M. L. (2005). *Ecología organismos, ambientes y su preservación*. México: Editorial Esfinge, S. de R.L. de C.V. 174 pp.
- Quiquinta, W. M., Rueda, N. S., Terrazas, C. G. (2003). Contaminación del agua e impactos por actividad hidrocarburífera en la serranía Aguaragüe (No. 5). *Fundacion Pieb*. 181 pp.

- Quiroga, R. (2007). Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. Serie Manuales no. 55. Comisión Económica para América Latina. 227 pp.
- Quiroga, R. (2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. Serie Manuales no. 61. Comisión Económica para América Latina. 132 pp.
- Rayén-Quiroga, M. (2007). Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. CEPAL-Naciones Unidas. División de estadísticas y proyecciones económicas. 228 pp.
- Rodríguez-Monroy, J., Duran de Bazúa, C. (2006). Norma Mexicana. Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *Revista Tecnología Ciencia y Educación*. 21. 1, 25-33.
- Romero-Aguilar, M. (2007). Remoción de DQO de agua residual proveniente de un tratamiento primario por *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel y *Typha domingensis* (Pers.) Steudel en un humedal. Universidad Autónoma del Estado de México. 91 pp.
- SARH (1981). Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Plan Nacional Hidráulico 1981. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México. 139 pp.
- SEMARNAT (2010). Los indicadores ambientales. Marco conceptual. Sistema Nacional de Indicadores Ambientales. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En: http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/snia/documentos/marco_conceptual.htm.
- SEMARNAT (2013). Indicadores ambientales del Estado de Hidalgo. Consultado en: <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/SNIA/Pages/IndicadoresEstatales.aspx>.

- SEMARNAT-CONAGUA (2010b). Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Morelos. 172 pp.
- SEMARNAT-CONAGUA (2010a). Estadísticas del agua en la Cuenca del Río Balsas, 2010. 180 pp.
- SEMARNAT-CONAGUA (2010c). Estadísticas del agua en México, edición 2010. Capítulo 3. Usos del agua. 60-76 pp.
- SEMARNAT-CONAGUA. (2011a). Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. 96 pp.
- SEMARNAT-CONAGUA (2011b). Estadísticas del agua en México. Edición 2011. 181 pp.
- SEMARNAT-CONAGUA (2012a). Atlas del agua en México, edición 2012. 142 pp.
- SEMARNAT-CONAGUA (2012b). Estadísticas del agua en México, edición 2012. 140 pp.
- SEMARNAT-CONAGUA (2013). Estadísticas del agua en México, edición 2013. Capítulo 3. Usos del agua. 46-51 pp.
- SEMARNAT-SNIA (2013). Sistema Nacional de Indicadores Ambientales. Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el desarrollo sostenible. Conjunto de indicadores internacionales. En: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/estadisticas-ambientales/snia>.
- SINA (2013). *Sistema Nacional de Información del Agua*. Consultado en: <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60> el 3 marzo de 2014.
- Tiburcio, S. A., Perevochtchikova, M. (2012). La gestión del agua y el desarrollo de indicadores ambientales en México y Canadá: un análisis comparativo. *Journal of Latin American Geography*. 11. 2, 145-165.
- UNEP (2002). United Nations Environment Programme. *Global Environment Outlook 3*. London: Earthscan publications Ltd. 425 pp.
- UNESCO (2006) 2° Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: "El agua, una

responsabilidad compartida". Capítulo 12: Valorar y cobrar el agua. 35-37 pp

UNFPA (2011). State of World Population. People and possibilities in a world of 7 billion. UNFPA-United Nations Population Fund. 123 pp.

**LOS INDICADORES AMBIENTALES COMO HERRAMIENTA PARA LA SUSTENTABILIDAD:
ESTUDIO DE CASO EN MORELOS**

**Se terminó de imprimir en Dicograf editores,
En Junio de 2015, en Cuernavaca, Morelos.
La edición consta de 500 ejemplares**

Los indicadores ambientales son herramientas que proporcionan una amplia visión del ambiente de una determinada zona geográfica, integran los factores que representan una amenaza y permiten evaluar la efectividad de las políticas públicas. Son, entonces, instrumentos fundamentales para operar la obtención, el almacenamiento, el análisis y el flujo de información.

En este libro se analiza la situación del ambiente en el estado de Morelos a través de algunos de estos indicadores. En la primera parte se revisan los modelos actualmente utilizados en el mundo; en particular, se describe el modelo de Presión-Estado-Respuesta y se estudia el papel de los indicadores ambientales en la toma de decisiones y en la definición de políticas públicas. En el capítulo dos se aborda el tema de la biodiversidad y se analiza la vegetación arbórea como uno de estos indicadores; además, se describe la riqueza de especies en el estado y se analizan las estrategias llevadas a cabo para la conservación de la vida silvestre.

En otro capítulo, se examinan las tendencias de la producción y el manejo integral de residuos, así como los riesgos ambientales que se derivan de su disposición, y se revisa la contribución de dichos residuos a la emisión de gases de efecto invernadero, tanto en el ámbito estatal como en el nacional.

Esta obra incluye el tema de la atmósfera: se describe la calidad del aire, las fuentes de contaminación y sus principales efectos en la salud y en el ambiente. También se aborda el cambio climático como indicador de complejidad, y se analizan las emisiones de este tipo de gases y las estrategias de mitigación y adaptación ante este fenómeno.

Por último, se analiza la situación del agua, su disponibilidad, los problemas asociados al uso de este recurso y los esquemas de gestión actuales. También se examina el estado actual de la contaminación que presentan algunos cuerpos de agua.