



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ACATLAN"

FUNDAMENTOS DE INTRODUCCION A LA
INGENIERIA AMBIENTAL

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

LEOPOLDO OLGUIN CABRERA

ASESOR: DR. RAUL PINEDA OLMEDO



MEXICO, D. F.

AGOSTO 2005

m347630



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Au.: La Dirección General de Bibliotecas -
UNA: Fundir en formato de disco o reproso el
contenido de mi trabajo respectivo.
NOMBRE: Olyvis Cabrera
Leopoldo
FECHA: 29/ Agosto/ 2005
FIRMA: Leopoldo Olyvis Cabrera

Al Dr. Raúl Pineda Olmedo, por las facilidades y apoyos recibidos para llevar a cabo esta tesis.

A MI FAMILIA

A mí querido padre: Baltasar Olgúin Ledesma.

Hombre de bien, trabajador, honrado ya que gracias a su esfuerzo, sacrificio y ejemplo pude culminar mis estudios, como un reconocimiento a su apoyo y confianza, para que yo lograra de sus sueños una realidad.

A mi madre: María Magdalena Cabrera Martínez.

No hay palabras para agradecerte el haberme dado la oportunidad de elegir, mi profesión con tu apoyo, paciencia y confianza; tu, que siempre querías verme en lo más alto del estudio y de la vida, era para ti gran orgullo. Siempre a terminar, lo que se ha empezado, ahora que no estas cumplo tu ultima voluntad, cuanta falta me haces mamá, entre tu y yo no existió derrota alguna, tu me enseñaste a no darme por vencido, y a seguir ante la adversidad, un día te pregunte lloraras por si me muero, contestaste, si unos días pero luego se me va a olvidar, yo nunca dije nada, me quede callado, si hoy me preguntaras lloraras por si me muero, hoy te contestaría toda, toda la vida mamá.

Agradezco a mi hermano José Antonio Olgúin Cabrera:

El cual ha sido mi compañero durante mi vida, mi compañero de travesuras, de juegos incansables, recordando todos esos momentos agradables que hemos pasado en la vida cuando nuestra niñez, estando siempre juntos los dos en las buenas y en las malas, peleando si era necesario contra viento y marea, le doy gracias a dios por haberme concedido el honor de tenerlo como mi hermano, el cual tiene un valor incalculable en mi vida.

Mi hermano, mi compañero al cual respeto y amo en la vida, a el lo dejado al último porque quiero hacer un énfasis especial, ya que sin el apoyo, dedicación e inteligencia de él, no hubiera dado este paso tan importante, esta tesis de manera especial es dedicada a él y gracias a el estoy dando este paso en la vida.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	i
CAPITULO I SISTEMAS ECOLÓGICOS	
1.1.1 Generalidades.....	1
1.1.2 Cadena alimenticia.....	6
1.1.3 Ciclos biogeoquímicos.....	7
1.1.4 Estructura y clasificación de los ecosistemas.....	9
1.2.1 Recursos naturales.....	12
1.2.2 Efectos de la explotación de los recursos naturales.....	15
1.2.3 Efectos de las actividades económicas sobre los recursos Naturales.....	22
1.2.4 Consecuencias del crecimiento rápido.....	28
1.2.5 Soluciones al problema de la población.....	29
CAPITULO II LA INGENIERÍA Y SU MEDIO	
2.1 Influencia de las obras de ingeniería en el ambiente.....	32
2.2 Fenómenos demográficos y tendencias de crecimiento.....	34
2.3 Políticas de desarrollo. Urbanización. Industrialización Integración regional.....	42
CAPITULO III PROBLEMAS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	
3.1 Definiciones.....	49
3.2 Problemas de salud debidos a la contaminación. Otros problemas.....	52
3.3 Acciones de la Ingeniería Ambiental.....	56
CAPITULO IV CONTAMINACIÓN DEL AIRE	
4.1 Elementos naturales del aire. Contaminantes.....	62
4.2 Fuentes naturales y antropogénicas de la contaminación.....	68
4.2.1 Inversión térmica.....	70
4.2.2 Efecto invernadero.....	71
4.2.3 Enfermedades del hombre producidas por contaminantes atmosféricos.....	71
4.2.4 Soluciones a la contaminación atmosférica.....	72
CAPITULO V CONTAMINACIÓN DEL AGUA	
5.1 Elementos naturales del agua.....	78
5.1.2. Características físicas del agua.....	82
5.1.3. Características químicas.....	83
5.1.4. Características microbiológicas.....	90
5.1.5.Índice de calidad del agua.....	93
5.2 Fuentes naturales y antropogénicas de contaminación.....	94
5.2.1 Lluvia ácida, efecto invernadero y lixiviación.....	96
5.2.3 Efectos en la salud a causa de la contaminación del agua.....	97
5.2.4 Control de la contaminación (soluciones alternativas).....	97

CAPITULO VI CONTAMINACIÓN DEL SUELO	
6.1 Usos del suelo.....	104
6.2 Fuentes de contaminación.....	108
6.3 Clasificación de los residuos sólidos.....	109
6.3.1 Residuos sólidos biodegradables y no degradables.....	111
6.3.2 Clasificación CRETIB.....	112
6.4.1 Disposición final.....	113
6.4.2 Materiales reciclables.....	117
6.5 Plagas y enfermedades provocadas por los residuos sólidos.....	121
6.6 Alternativas de solución.....	121
CAPITULO VII LEGISLACIÓN AMBIENTAL	
7.1 Planes de gobierno. Leyes, Reglamentos, Normas.....	131
CONCLUSIONES.....	167
BIBLIOGRAFÍA.....	169

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Zona costera marítima mexicana.....	17
Tabla 4.1. Niveles máximos de ruido aceptables.....	69
Tabla 4.2. Comparación entre la descripción del IMECA, la del índice de Ott y Thon y la norma NAAQS, para distintos niveles de contaminantes del aire.....	73
Tabla 4.3. Medidas preventivas según el nivel de contaminación.....	74
Tabla 5.1. Agentes infecciosos causantes de enfermedades en el hombre por agua contaminada.....	79
Tabla 5.2. Alteraciones físicas del agua.....	81
Tabla 5.3. Alteraciones químicas del agua.....	81
Tabla 5.4. Alteraciones biológicas del agua.....	82
Tabla 5.5. Organismos patógenos relacionados con el agua.....	91
Tabla 5.6. Enfermedades causadas por patógenos contaminantes del agua.....	92
Tabla 5.7. Importancia relativa de los parámetros empleados en el cálculo del ICA.....	93
Tabla 5.8. Principales sustancias contaminantes según el sector Industrial.....	95
Tabla 5.9. Equivalentes de población (contaminantes expresados en DBO).....	95
Tabla 5.10. Tratamientos Físicos.....	100
Tabla 5.11. Partículas y tiempo de sedimentación.....	101
Tabla 5.12. Procesos biológicos empleados en el tratamiento de aguas residuales.....	102
Tabla 6.1. Degradación del suelo provocada por el hombre.....	106
Tabla 6.2. Clasificación de residuos según el código CRETIB.....	113
Tabla 6.3. Factores involucrados en la selección de sitios para rellenos sanitarios:.....	116
Tabla 6.4. Composición de líquidos percolados de un relleno sanitario con residuos domésticos.....	117
Tabla 6.5. Reciclaje de plásticos.....	119
Tabla 6.6. Vectores de enfermedades por exposición a residuos sólidos.....	121

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Entradas y salidas de un ecosistema urbano.....	3
Figura 1.2. Ciclo Hidrológico.....	8
Figura 1.3. Los biomas terrestres del mundo.....	10
Figura 1.4. Modificación del sistema de Holdridge para la clasificación de los biomas terrestres del mundo.....	11
Figura 1.5. Los biomas marítimos del mundo.....	11
Figura 1.6. El diagrama muestra las numerosas relaciones entre el crecimiento demográfico inmoderado y los problemas sociales y ambientales.....	29
Figura 1.7. Pobreza, degradación ambiental y tasas elevadas de fertilidad se anudan en un círculo vicioso que se perpetúa.....	30
Figura 1.8. Los cinco aspectos principales del aumento de asistencia social de los pobres se apoyan mutuamente y dependen uno del otro como se ilustra. Si falta cualquiera, se mina el éxito de los demás. Juntos, crean un “paquete” integrado que no sólo mejora las posibilidades de vida de la población, sino que también disminuye la fertilidad y protege el entorno. Todo el sistema contribuye a la sustentación.....	31
Figura 4.1. Formación del smog fotoquímico.....	66
Figura 4.2. La contaminación en una ciudad.....	66
Figura 4.3. La inversión térmica.....	67
Figura 4.4. La inversión térmica.....	70
Fig. 4.5. Análisis del sistema de calidad del aire.....	73
Figura 4.6. Ciclón.....	74
Figura 4.7. Precipitador electrostático.....	75
Figura 4.8. Filtros de bolsa.....	75
Figura 4.9. Lavador.....	76
Figura 4.10. Eficiencias de remoción de partículas según los dispositivos de control. A) ciclones, B) lavador, C) precipitador electrostático, D) filtro de bolsa.....	76
Figura 5.1. Escala de calidad del agua según el ICA.....	94
Figura 5.2. Tratamiento primario y tratamiento secundario.....	98
Figura 5.3. Coagulación y floculación.....	100
Figura 6.1. Formación del suelo.....	104
Figura 6.3. Ruta de incorporación de contaminantes.....	109
Figura 6.4. Proceso de extracción de vapores <i>in situ</i>	124
Figura 6.5. Lavado con agua <i>in situ</i>	124
Figura 6.6. Electroremediación <i>in situ</i>	125
Figura 6.7. Electroósmosis.....	125
Figura 6.8. Tratamiento microbiológico <i>in situ</i>	127

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los problemas de contaminación han adquirido tal magnitud y diversidad que la sociedad ha tomado cada vez mayor conciencia de los riesgos actuales y de los potenciales. Como resultado de la presión social generada, quienes toman decisiones muestran voluntad política para resolver los problemas. Es necesario que especialistas sólidamente formados les ofrezcan soluciones realistas. Actualmente, escuchamos en la radio, vemos en la televisión y leemos en la prensa e Internet noticias sobre el deterioro ambiental en México, lo cual contribuye a formar nuestras opiniones sobre el problema. Sin embargo, estos medios no proporcionan una cultura formal sobre el tema y, con frecuencia, inducen a la adopción de soluciones populares que no siempre son adecuadamente técnicas, económicamente viables y socialmente factibles. Para plantear soluciones que no sólo “suenen bien” sino que puedan ponerse en práctica, mejoren y preserven el ambiente, es preciso contar con conocimiento técnico tanto del problema como de las opciones de solución.

Para desarrollar soluciones, al problema ambiental es importante contar con un número suficiente de profesionales de la ingeniería, biología, economía y otras disciplinas especializados en ingeniería ambiental. Por ello, varias instituciones mexicanas de educación superior como lo es la FES Acatlán incluye en su plan de estudios la materia de “Introducción a la Ingeniería Ambiental”: En ella se estudian los capítulos siguientes.

En el Capítulo 1, “sistemas ecológicos”, se trata de la definición de un ecosistema y de los elementos que lo integran, su estructura, su clasificación y los principios bajo los cuales operan los ecosistemas. También se hace un análisis de los efectos de la explotación de los recursos naturales en México porque mientras en el mundo se habla de la era de la información, la economía de México se basa en los recursos naturales que hay que mantener en equilibrio. Tal estabilidad significa códigos de intervención y manejo que garantizan la permanencia de las especies y la supervivencia del ser humano. Los ecosistemas deben verse como capital ecológico. La riqueza ecológica de la nación ofrece funciones que trascienden el ámbito económico e impactan en la calidad de vida a través de estos bienes y servicios.

En el Capítulo 2, “la Ingeniería y su medio”, se analizan los impactos potenciales de las obras de ingeniería civil, como son las obras de uso y manejo del agua, de sistemas de transporte y de edificación. La ingeniería que realiza el hombre para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales en la satisfacción de sus necesidades y en la solución de problemas produce efectos adversos al ambiente. Se presta particular atención a los fenómenos demográficos, de antemano se sabe que uno de los mayores problemas que tiene el mundo es la sobrepoblación, lo que provoca que cada día se acreciente el desequilibrio ecológico, entre el hombre y las demás especies que habitan en nuestro planeta.

En el Capítulo 3, "problemas de la contaminación ambiental", se describen los factores abióticos y bióticos del ambiente, los determinantes de una población y la relación entre los humanos, determina la calidad del ambiente y por ello es necesaria la comprensión del proceso salud-enfermedad dentro de la relación huésped-parasito. El ambiente se ha convertido en prioridad en la definición de proyectos educativos, industriales, económicos, sociales y personales. El desarrollo sustentable concibe al ambiente como un paquete de recursos de posesión global en el que se debe incidir mediante nuevas formas de organización política y social. El proceso de urbanización del país plantea retos importantes para la sociedad y el gobierno. Entre ellos destacan problemas ambientales como la contaminación atmosférica y la del agua, la proliferación de residuos sólidos y peligrosos, así como la invasión y el deterioro de áreas de conservación antropológica y de recarga de acuíferos, problemas que tienen importancia en las ciudades medias, grandes y zonas metropolitanas del país. Para enfrentarlos es necesario repensar y renovar el marco conceptual que sostiene a las políticas públicas correspondientes. Se tienen avances tecnológicos, pero se están generando grandes cantidades de basura, desechos tóxicos, calor, etc., alterando los ecosistemas. En este capítulo se analizan los problemas de la contaminación y las medidas preventivas para mejorar el entorno ecológico.

En el Capítulo 4, "contaminación del aire", se inicia con la definición del problema y la descripción de los principales contaminantes. Trata en particular el aspecto del "efecto invernadero" y de la "inversión térmica" que aqueja a la ciudad de México y el origen de la contaminación atmosférica en la misma. Se presta atención a las técnicas para evaluar este fenómeno y se describen los programas gubernamentales de prevención y control. La importancia de la contaminación atmosférica en nuestro país radica en el hecho de que la capital sea tal vez la ciudad con la atmósfera más contaminada del mundo, sino que otras ciudades, como Monterrey y Guadalajara, siguen el mismo camino.

En el Capítulo 5, "contaminación del agua", se refiere a la composición del agua y las sustancias y organismos contaminantes. Se presentan técnicas de muestreo, analíticas y procedimientos para evaluar el grado de contaminación del agua. Se describen los principales tipos de tratamiento, tales como la potabilización, cuyo objetivo es hacer al agua apta para consumo humano; la depuración, que pretende remover los contaminantes de las aguas residuales para reducir los daños al ambiente en donde se vierten, y el acondicionamiento, cuyo fin es proporcionar a la industria agua con la calidad que se requiere. Se pone énfasis en el reuso porque puede constituir una solución de los problemas de contaminación del agua, sino que puede contribuir a reducir los problemas de escasez.

En el Capítulo 6, "contaminación del suelo", aborda el tema iniciando con la definición del problema y la descripción de los principales contaminantes de los suelos. Trata el problema de contaminación generalizado en nuestro país después del problema del agua, el ocasionado por los residuos sólidos, se centra en la caracterización, procesamiento y disposición de este tipo de desechos, dando tratamiento aparte a los residuos peligrosos.

En el Capítulo 7, "legislación ambiental", trata acerca de la Legislación Nacional actualmente vigente con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al

Ambiente (LGEEPA) con sus respectivos reglamentos y otras leyes. Se incluye un listado de las Normas Oficiales Mexicanas.

En resumen, esta tesina trata sobre los principales problemas de contaminación en México y se presentan algunas de las tecnologías disponibles en el mundo para resolverlos, desde la perspectiva particular de la situación nacional. Está dirigida a los estudiantes de Ingeniería Civil en la FES Acatlán como apoyo a la materia de Introducción a la Ingeniería Ambiental.

CAPITULO I

Sistemas Ecológicos

CAPÍTULO 1 SISTEMAS ECOLOGICOS

1.1.1 Generalidades

Los organismos vivos no existen en forma aislada, estos actúan entre sí y sobre los componentes físicos y químicos del ambiente. La ciencia que estudia las interacciones de los organismos y su ambiente es la ecología. Se denomina ecosistema a la unidad básica de interacción organismo-ambiente que resulta de las complejas relaciones existentes entre los elementos vivos e inanimados de una área dada. La ecología se define como el estudio de los ecosistemas. Los ecólogos han tratado de organizar el conocimiento acerca de las interacciones que se presentan en la naturaleza. Construyen modelos de estas interacciones, de manera que puedan predecir su futuro. La ecología es una ciencia joven, por lo que existen puntos en los que es difícil hacer predicciones precisas. Sin embargo, en los últimos 50 años se han desarrollado modelos conceptuales.

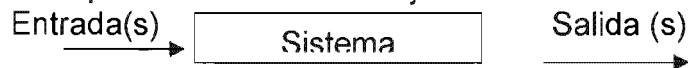
La ecología humana es el estudio de los ecosistemas desde el punto de vista de la forma en que afectan a los seres humanos y en la que resultan afectados por ellos. La ecología humana incluye conceptos acerca de aspectos químicos, económicos, políticos, sociales, éticos y biológicos. A medida que las interacciones del hombre con el ambiente se hacen más drásticas, mayor número de personas se preocupan de la ecología humana. Aunque se puede dividir el estudio de los ecosistemas desde el punto de vista del objeto de estudio (ecología y ecología humana); existen cuatro puntos de vista principales desde los cuales se puede enfocar su estudio.

- Punto de vista energético: se organiza la información de las interrelaciones de los factores bióticos y abióticos con base en el flujo energético. La energía se define como la capacidad para producir trabajo, por lo que es el origen de toda actividad. La energía transforma la materia y la vida, existe porque obtiene y pierde energía. La energía atraviesa los ecosistemas, durante este proceso se transforma en subproductos. Cuanto mayor es la complejidad organizacional de un sistema, mayor es la cantidad de energía necesaria para mantenerlo.
- Punto de vista cíclico: si se emplea el término ciclo en su sentido más general, se puede considerar una clase íntegra de fenómenos que son consecuencia de eventos regularmente recurrentes. La mayoría de los ciclos incluyen los componentes abióticos y bióticos. Estos ciclos se denominan ciclos biogeoquímicos. Los ciclos biogeoquímicos incluyen el ciclo del agua, del oxígeno, del carbono, de nitrógeno, del fósforo y los de diversos minerales.
- Punto de vista poblacional: las poblaciones se componen de todos los miembros de un mismo tipo de organismo (especie) que viven en una área determinada. Además de las características de los organismos individuales, las poblaciones tienen las suyas. Un organismo individual puede nacer o morir, pero solo las poblaciones poseen índices de natalidad y mortalidad. Una población se expande en el tiempo y tiene su propia natalidad, sus tiempos de expansión y de contracción, y puede morir (extinción).
- Punto de vista de comunidades o ecosistemas: se estudian las interacciones de todas las poblaciones en un área dada observando su nivel de organización de la

comunidad. Así como las poblaciones poseen características independientes de los organismos individuales que la constituyen, las comunidades tienen propiedades diferentes de cualquiera de sus poblaciones. Mediante el proceso de sucesión, las comunidades evolucionan desde interacciones simples hasta otras más complejas (maduras). En las comunidades maduras se mantiene un equilibrio general en el flujo energético y en la productividad.

Un conjunto de partes o eventos que pueden considerarse como algo simple y completo, debido a la independencia e interacción de dichas partes o eventos, forma un sistema. La teoría de sistemas es una forma de pensamiento acerca del mundo, un enfoque a la solución del problema y al desarrollo del modelo, que incluye la consideración de una serie compleja de eventos o de elementos como un todo sencillo. Se consideran dos tipos básicos de sistemas:

- **Sistemas abiertos:** estos sistemas procesan las entradas y producen salidas. Esto lo realizan en forma más o menos fija, la cantidad de salidas se relaciona directamente con la cantidad de entradas. Para funcionar, los sistemas abiertos requieren constantemente de entradas. La forma fácil de esquematizar un sistema de este tipo corresponde al modelo de caja.



- **Sistemas cibernéticos:** emplean la retroalimentación para ejercer un cierto autocontrol. La retroalimentación consiste en que la parte de la salida del sistema se utiliza para controlar parte de la entrada futura al sistema. Los sistemas cibernéticos poseen un estado ideal o punto de partida, que consiste en el estado en el cual se apoya el sistema.

Todos los sistemas biológicos son sistemas abiertos. Para mantenerse vivo y crecer en el sistema se debe tomar alimentos y nutrientes del exterior. El sistema también debe liberar el calor que se produce en los procesos químicos (respiración). Sin embargo, cada nivel de un sistema biológico abierto contiene sistemas cibernéticos. Los sistemas cibernéticos que operan a un nivel particular (dentro de un sistema abierto específico) proporcionan a éste sus características exclusivas. Algunos sistemas o modelos pueden describirse en términos verbales o gráficos, se les denomina modelos o sistemas informales. Los científicos perfeccionan sus modelos de términos verbales a gráficos y a matemáticos. Los modelos de sistemas matemáticos pueden realizar predicciones de salidas específicas futuras (cantidades y calidades específicas). A los modelos matemáticos de los sistemas se les denomina modelos formales. Para elaborar los modelos formales, los ecólogos deben traducir la información ecológica a símbolos matemáticos que permitan elaborar y establecer fórmulas. Este es un problema teórico y práctico difícil y complejo. Una vez que los conceptos físicos o biológicos se establecen en términos matemáticos, es posible hacer arreglos que determinan una mayor posibilidad de predicción.

Los ecólogos emplean el término ecosistema para describir un sistema que contiene componentes tanto vivos como inanimados. Un ecosistema se compone de subsistemas que presentan características e interacciones propias, pero el ecosistema es más útil cuando se considera un todo sencillo. El planeta tierra se puede considerar

como un ecosistema abierto único (figura 1.1): necesita constantemente entrada de energía y continuamente libera la energía utilizada en forma de calor. Al igual que otros ecosistemas posee subsistemas cibernéticos con punto de partida y ciclos de retroalimentación.

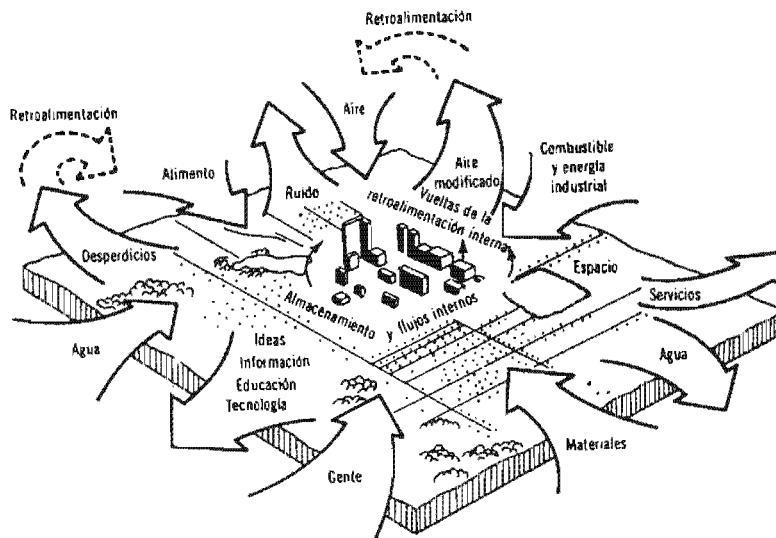


Figura 1.1. Entradas y salidas de un ecosistema urbano.

En realidad el planeta tierra, como un todo, resulta demasiado grande y complejo para que pueda contemplarse de manera útil como un ecosistema. No existe técnicamente ninguna razón para que esto no deba hacerse, pero desde un punto de vista práctico se debe limitar el uso de palabra ecosistema a un grupo de organismos que actúan entre sí y que pueden estudiarse utilizando los instrumentos y conceptos actuales. Al estudiar un ecosistema particular se debe determinar el factor tiempo. Un ecosistema se puede considerar como algo estático y estudiar las interacciones de los componentes del sistema como si fuesen constantes, también se puede considerar como una entidad dinámica cuyos componentes evolucionan constantemente y modifican al sistema. La aplicación de este punto de vista es difícil, pero se logra una visión realista de una parte del mundo. Cuando se toma en consideración la evolución de los componentes del ecosistema es usual que se excluyan cambios del concepto de ecosistema. Si se considera un pantano, su historia puede iniciarse con la última glaciación al final de la última edad de hielo. Si el hombre drena el pantano y construye en su lugar una fábrica, se podrá decir que el ecosistema pantano ha dejado de existir y se inicia un nuevo ecosistema. Un ecosistema particular puede perdurar solamente hasta que la mayoría de sus componentes o interacciones permanecen sin cambio sustancial.

Es necesario reafirmar el hecho de que no existe un sistema aislado. Cada ecosistema es parte de un ecosistema mayor; así cada ecosistema incluye ecosistemas que contienen otros ecosistemas, hasta llegar a las relaciones ambientales básicas. Los ecosistemas pueden relacionarse en forma horizontal puesto que las entradas de cualquier ecosistema constituyen la salida de otro ecosistema. Desde el punto de vista energético, la tierra es un sistema abierto. Para que la vida pueda existir, la tierra debe recibir constantemente la energía que proviene del sol y producir salidas de energía calorífica que pasan al espacio exterior. La vida en nuestro planeta es posible porque

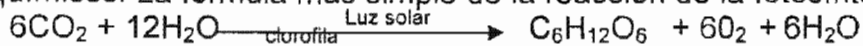
se reciben constantemente radiaciones de energía solar, pues mantiene todos los procesos vitales del ecosistema de la tierra. Al mismo tiempo, grandes cantidades de energía calórica salen de la tierra y pasan al reservorio de calor. El ecosistema terrestre se mantiene estable debido a las entradas continuas de radiaciones solares y al flujo constante de calor al exterior. La temperatura constante de la superficie terrestre es el resultado del continuo equilibrio energético entrada-salida del ecosistema tierra.

El sol es como una bomba de hidrógeno. Una masa de hidrógeno constantemente se transforma en helio, con la emisión de una enorme cantidad de energía en forma de ondas electromagnéticas (radiaciones). Estas ondas irradian desde el sol en todas direcciones. La tierra recibe solamente 1 / 50,000,000 de las ondas electromagnéticas del sol. La energía solar se irradia a la tierra, pero la atmósfera evita que parte de la radiación solar llegue a ella. Alrededor del 50% de la luz del sol que llega a la parte superior de la atmósfera de la tierra continúa hasta su superficie. El calor procedente de la tierra se desprende constantemente hacia el espacio exterior. Más de un tercio de la energía solar que llega a la atmósfera se refleja hacia el espacio por las nubes, el polvo atmosférico y demás superficies reflectoras (nieve, mar, arena). Alrededor del 14 % se absorbe en los gases a medida que penetra en la atmósfera. Del restante 50%, aproximadamente un 25 % llega directamente a la superficie. El otro 25 % se esparce en las nubes y polvo, irradiándose, hasta la tierra desde dichas nubes y partículas atmosféricas. La radiación solar que atraviesa la atmósfera y se absorbe en la superficie terrestre se utiliza en diversos procesos. Conduce los ciclos atmosféricos principales, funde el hielo, evapora el agua y genera vientos, ondas y corrientes. Asimismo, suministra energía a todos los organismos que habitan el planeta.

La mayor parte de la energía que llega a la tierra se refleja en su superficie. Refleja radiaciones de longitud de onda grande ($12 \mu\text{m}$). Esto significa que la mayor parte de la energía llega al globo terráqueo como luz visible, que se irradia hacia el espacio en forma de calor. Porque la atmósfera no es transparente a las radiaciones calóricas y las retiene temporalmente, una porción de la energía irradiada desde la superficie de la tierra. El bióxido de carbono (CO_2) y el vapor de agua de la atmósfera, que permiten la entrada de las radiaciones de longitud de onda corta, absorben las radiaciones infrarrojas. Con ello, evitan que el calor abandone al planeta lo cual da al fenómeno su nombre: efecto invernadero. La vida depende tanto de la claridad como de la opacidad de la atmósfera, requiere una capa atmosférica que reciba la luz visible y absorba la ultravioleta. Necesita una atmósfera opaca al calor de manera que la energía que se refleja desde la superficie terrestre pueda retenerse y distribuirse antes de perderse en el espacio. En las plantas la luz solar se transforma por medio de la fotosíntesis en moléculas químicas complejas. Cuando necesitan energía las plantas y los animales degradan dichas moléculas y liberan la energía almacenada en ellas.

La mitad de la luz solar que llega a la superficie terrestre está constituida por longitudes de onda que pueden utilizarse en el proceso fotosintético. La luz solar que reciben los vegetales se transforma en energía radiante a energía química, en presencia de la clorofila. Los ecólogos se refieren a este proceso como la fijación de la energía solar. Sin la fotosíntesis, que proporciona a los organismos vivientes la energía necesaria para elaborar moléculas complejas, la vida no podría existir. La fotosíntesis es el

proceso mediante el cual las plantas absorben la luz solar y la utilizan para producir compuestos químicos. La fórmula más simple de la reacción de la fotosíntesis es:



6 moléculas de bióxido de carbono y 12 de agua se transforman, por medio de la luz solar y de la clorofila, en una molécula de azúcar (glucosa), seis moléculas de oxígeno y seis de agua. Los átomos de carbono (C) que estaban presentes en el bióxido de carbono forman parte de la glucosa. Los compuestos que contienen carbono se denominan compuestos orgánicos e incluyen a todos los alimentos (proteínas, grasas, carbohidratos) y a los tejidos vivos. En este caso, la glucosa es la molécula orgánica que almacena energía. La fotosíntesis es importante porque constituye la única forma para los seres vivos de fijar significativamente la energía solar. Por medio de la fotosíntesis, las plantas almacenan la energía solar en moléculas químicas de elevada energía. Los heterótrofos consumen las plantas verdes, no pueden fijar la energía solar y para ello deben obtener los compuestos ricos en energía de los tejidos vegetales. Tanto las plantas como los animales liberan la energía que se halla en dichas sustancias mediante el proceso de respiración. Todos los procesos energéticos se controlan por las leyes de la termodinámica, las cuales indican las relaciones entre las diferentes formas de la energía. La primera ley de la termodinámica establece que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma.

La energía puede adoptar diversas formas, como energía nuclear, energía radiante (luz visible, luz ultravioleta y rayos X), energía química, energía calorífica o la energía asociada a la masa misma ($E = mc^2$). La primera ley de la termodinámica (de conservación de la energía) establece que la cantidad total de energía permanece constante. Aunque la energía puede cambiar de una forma a otra, la suma de todas las formas permanece constante. La segunda ley de la termodinámica establece que siempre que la energía se transforma, tiende a pasar de una forma más organizada y concentrada a otra menos organizada y más dispersa. La implicación ecológica de la segunda ley de la termodinámica, consiste en que nunca es muy eficaz la transferencia de energía de un lugar a otro. En cada transferencia, parte de la energía se desorganiza o dispersa tanto que deja de ser útil. Ello implica que cuando la energía se procesa a través de un ecosistema cada vez es menor la cantidad utilizable.

Las dos leyes de la termodinámica permiten contabilizar toda la energía que interviene en los sistemas ecológicos. También indican que cuando la energía fluye a través de un sistema ecológico cada vez es menor su capacidad para producir trabajo. Tanto los organismos biológicos como las máquinas construidas por el hombre pueden organizar sustancias difusas procedentes del ambiente. Estos procesos parecen negar la tendencia hacia el desorden que se deduce de la segunda ley de la termodinámica. Pero una contabilidad completa de todas las consecuencias revela que el desorden en el sistema íntegro aumenta invariablemente. El combustible y la energía que gasta el hombre o una máquina, en la generación de electricidad, se convierte parcialmente en energía eléctrica concentrada. Una porción de la energía total se degrada en calor. Este desperdicio calorífico, la energía eléctrica producida, también se degrada a calor cuando se trasmite y utiliza en lámparas eléctricas o en motores eléctricos. Toda actividad humana requiere energía, y cuando se emplea esta energía se libera calor.

Ninguna innovación tecnológica puede modificar esta consecuencia de la segunda ley de la termodinámica. La energía procedente del sol no se destruye cuando fluye a través del ecosistema tierra, pero se degrada de una forma más concentrada de energía (capaz de conducir reacciones y de producir trabajo) en una clase de energía más difusa (el calor). La primera ley supone que la cantidad total de energía en el universo permanece constante, mientras que la segunda ley, afirma que la energía concentrada y utilizable disminuye constantemente.

1.1.2 Cadena alimenticia

La energía fluye a través de la biosfera secuencialmente y de un organismo a otro. La energía se mueve en la biosfera en forma de moléculas de elevada energía, que son elaboradas y almacenadas por los productores. Estos sirven de alimento a una serie de consumidores. Tanto los productores como los consumidores obtienen energía a partir de las moléculas ricas en energía. Cualquier energía que fijan los productores o acumulan los consumidores, y que ninguno de los dos emplee, es liberada por los reductores. Estas relaciones alimenticias pueden esquematizarse en cadenas alimenticias o en redes alimenticias. Una cadena alimenticia es una serie de relaciones de alimentación entre organismos, la cual indica quién come a quién. La energía se transforma mediante la fotosíntesis y después se transfiere de un organismo a otro, produciéndose rearrreglos de los compuestos químicos en cada etapa. En cada una de estas etapas la energía se transforma en calor y sale del sistema. Las cadenas alimenticias raramente corresponden a secuencias aisladas. Se entrelazan varias de ellas para constituir una red alimenticia, que es una serie compleja de relaciones alimenticias. Un productor utiliza la luz solar y por medio de la fotosíntesis, produce moléculas ricas en energía, las moléculas producidas hacen que aumente el tejido vegetal. En el curso de su vida, los vegetales emplean la mayor parte de la energía que fijan para conservarse vivos o reproducirse. Cuando mueren, el tejido muerto contiene energía que pueden aprovechar los organismos reductores.

Los herbívoros son organismos que consumen el tejido vegetal. De esta manera, obtienen las moléculas ricas en energía que pueden degradar para liberar la que necesitan para vivir. Los herbívoros son heterótrofos que consumen la mayor parte de la energía que obtienen en vivir, crecer y reproducirse. Los carnívoros son organismos que se alimentan de herbívoros. Al igual que los herbívoros, los carnívoros no pueden obtener energía directamente de la luz solar. Consumen herbívoros para adquirir las moléculas orgánicas ricas en energía. Los herbívoros y los carnívoros gastan su energía tanto en conservación de su vida (respiración) como en la elaboración de tejidos (crecimiento y reproducción). Los carnívoros también pueden comer a otros carnívoros. Los reductores viven de las moléculas ricas en energía que obtienen de los tejidos de los organismos muertos. Gran parte de los alimentos que ingieren los utilizan en la respiración, pero también se multiplican, con lo cual crean nuevos tejidos. Hay dos tipos de cadenas alimenticias: a) Cadena alimenticia parasítica: cadena alimenticia en la que el productor o el consumidor están parasitados y el alimento pasa a un organismo más pequeño y no a uno mayor; b) Cadenas alimenticias detritófagas: cadenas alimenticias en las que el herbívoro subsiste por la ingestión de material orgánico muerto (que procede del exterior del ecosistema) en vez de alimentarse con productores. El nivel trófico de un organismo se refiere al número de etapas que

separan a dicho organismo de la producción primaria. La producción primaria constituye el primer nivel trófico. Una forma de observar las redes alimenticias, consiste en analizar los diferentes organismos de acuerdo con el nivel trófico que ocupan.

Más de un herbívoro puede alimentarse de una especie vegetal determinada. Estos consumidores primarios son presa de más de un carnívoro, y es posible que se alimenten de diferentes tipos de plantas. De esta manera, las cadenas alimenticias se entrelazan, lo cual se denomina red alimenticia. Si dos organismos se encuentran separados de los productores el mismo número de etapas, se dice que ocupan el mismo nivel trófico. Cuando se analizan las redes alimenticias pueden observarse que muchos organismos diferentes aparecen en un mismo nivel trófico. A medida que la energía se moviliza dentro de una red alimenticia, la mayor parte de ella se pierde en la respiración. La ley del diez por ciento establece que solamente alrededor del 10% de la energía procedente de un nivel, puede ser obtenida por los organismos del nivel trófico inmediato superior. Una de las consecuencias principales de la segunda ley de la termodinámica consiste en que cada transferencia energética origina una pérdida considerable de energía.

Los problemas técnicos que plantea la determinación del flujo energético en un ecosistema son complejos. Solo una pequeña parte de la luz solar que llega a los productores se transforma en materia orgánica. De la energía que el productor obtiene se emplea una gran parte en la respiración. La cantidad total de energía en cada nivel trófico es mucho menor que la del nivel precedente. Los reductores derivan su energía del tejido muerto de los organismos que ocupan todas las etapas precedentes. Esto se considera como una cadena alimenticia detritófaga separada. Las estructuras tróficas de las comunidades de organismos se representan con pirámides ecológicas. Los primeros eslabones de la cadena deben producir lo suficiente para mantenerse a sí mismos, y nutrir al siguiente eslabón. Cada uno de los pasos sucesivos, desde el vegetal al carnívoro, representa una menor cantidad de la energía original del sistema. Generalmente se presenta una menor cantidad de material vivo (biomasa) a lo largo de la cadena alimenticia. En todos estos aspectos (número, energía y biomasa) existe un efecto piramidal en la estructura trófica de la comunidad.

1.1.3 Ciclos biogeoquímicos

Ciclos astronómicos. Todos los ecosistemas de la tierra y el planeta, toman parte en los ciclos astronómicos. La noche y el día, los cambios de la luna y las estaciones del año, son manifestaciones de estos ciclos. Diversos movimientos astronómicos rigen dichos ciclos. Cada 365 días, la tierra completa una órbita elíptica, de aproximadamente 939 millones de km alrededor del sol. A través de dicha órbita gira la tierra alrededor de su propio eje, el cual está inclinado 23.5 grados de su vertical. De esta manera, tanto la duración de la luz del día como el ángulo de los rayos solares que tocan la superficie en un punto dado cambian constantemente. Estos factores explican la existencia de las estaciones. Cuando Norteamérica está en verano, el hemisferio septentrional se inclina hacia el sol. En ese momento, los rayos solares caen directamente sobre Norteamérica durante un periodo de luz diurna de mayor duración. Seis meses después, en el punto opuesto de la revolución anual, el día en Norteamérica es más corto, los rayos solares llegan en forma oblicua, razón por la cual calientan en menor medida la superficie.

Entonces se presenta el invierno. La primavera y el otoño son transiciones entre estos extremos. Otra consecuencia de los movimientos astronómicos son las mareas. Estas son el resultado de la fuerza gravitacional de la luna y de sol sobre la tierra.

Ciclo geológico. Se refiere a la formación y al desplazamiento del material que constituye la superficie terrestre. Constantemente se forman nuevas superficies mediante presiones procedentes del interior de la tierra a través de las grietas del fondo del mar. Los continentes son empujados por dichas presiones del fondo marino en expansión. Cuando se encuentran los continentes y las nuevas superficies, el fondo del mar se hunde, retornando al manto de la tierra. Comparado con cualquier otro de los ciclos, el ciclo geológico tiene gran duración, el más breve de los eventos se mide en millones de años. La atmósfera es uno de los componentes del geosistema tierra.

Ciclo del agua. El agua se mueve constantemente desde la atmósfera a la tierra, a los mares y luego a la atmósfera. Cuando el agua se mueve, modifica la superficie de la tierra. El agua es indispensable para la existencia de la vida debido a que es un solvente universal. Las corrientes de aire pueden transportar sustancias miles de kilómetros. El vapor de agua en la atmósfera atraviesa grandes distancias. Cuando se enfría el aire que conduce vapor este se condensa en agua líquida, esta condensación se observa en forma de nubes. Si la condensación continúa, las gotas de agua aumentan de tamaño y se generan las lluvias. No todo el vapor se condensa. La precipitación sobre el mar es más de tres veces mayor que la que cae sobre la tierra. La precipitación del agua puede tomar diversos cursos:

- a) Puede reevaporarse inmediatamente, por la acción de la energía solar.
- b) Puede caer en el depósito principal del agua: el mar.
- c) Puede caer en las masas terrestres, siguiendo algunos de los cursos siguientes:
 - Puede filtrarse al suelo y ser absorbida por las raíces vegetales, empleada en la fotosíntesis y transpirada.
 - Puede correr, hasta unirse a los arroyos y a los ríos, y llegar al mar, esta agua ocasiona la erosión de la superficie de la tierra.
 - Puede filtrarse y unirse a los depósitos de agua subterránea y reaparecer como manantiales, fuentes o lagos.
 - Puede evaporarse una vez más.

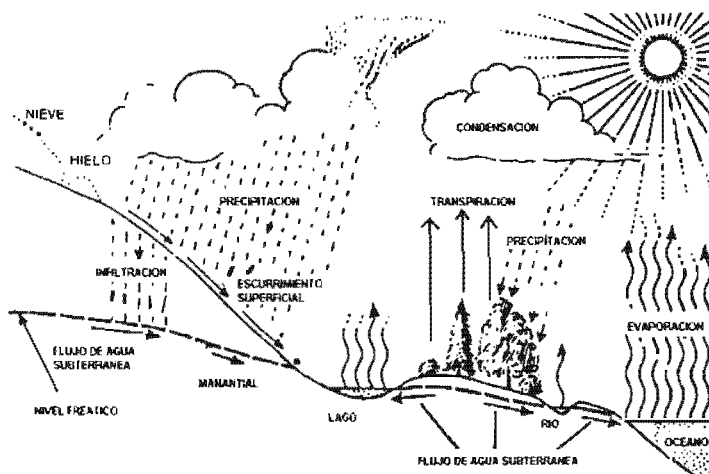


Figura 1.2. Ciclo Hidrológico.

Ciclo del Carbono. Este elemento está presente en toda la materia viva y es fundamental para ella. Forma parte de la atmósfera como un gas (dióxido de carbono, CO₂). Es emitido por las erupciones volcánicas y las combustiones de diferentes clases (entre ellas la respiración). El ciclo del carbono se inicia con los vegetales verdes, que toman del aire el CO₂ y elaboran con él carbohidratos, grasas y proteínas por medio de la fotosíntesis. Después, los herbívoros consumen estas plantas e incorporan el carbono a su propio protoplasma celular. Los carnívoros obtienen el carbono cuando se comen a los herbívoros. Luego, mueren plantas y animales y los microorganismos descomponedores actúan sobre los restos orgánicos y liberan CO₂. Así, el carbono, queda de nuevo a disposición de los vegetales. Otra forma de incorporar CO₂ a la atmósfera es a través de la respiración de los animales. Como producto de desecho de ésta; es absorbido por los vegetales para formar parte del ciclo de carbono.

Ciclo del nitrógeno. El nitrógeno es otro elemento importante para la vida, puesto que es necesario para la formación de proteínas y de la materia viva en general. Es un gas que existe en la atmósfera en una proporción elevada (79 %). El nitrógeno es cíclico por la forma en que los seres vivos lo producen y consumen. Las plantas no pueden tomar el nitrógeno de la atmósfera para su nutrición a pesar de su abundancia en ella; lo absorben del suelo en forma de nitratos. Los nitratos se originan de varias formas. Por ejemplo, durante las tormentas, las descargas eléctricas producen nitratos que son transportados al suelo por la lluvia.

Las plantas empobrecen el suelo al absorber los compuestos de nitrógeno. Existen bacterias capaces de fijar el nitrógeno gaseoso de la atmósfera convirtiéndolo en nitratos. Algunas bacterias fijadoras de nitrógeno viven en el suelo, mientras que las otras forman nódulos en las raíces de las plantas leguminosas, como el frijol, chicharo, alfalfa, etc. Luego, los nitratos del suelo son captados por las plantas a través de su raíz. Durante la fotosíntesis los emplean en la formación de compuestos orgánicos nitrogenados. En esa forma el nitrógeno de los vegetales nutre a los herbívoros y después a los carnívoros. Los desechos de los vegetales y animales son atacados en el suelo por hongos y bacterias desintegradoras. Estos microbios descomponen los compuestos nitrogenados y liberan nitrógeno a la atmósfera.

1.1.4 Estructura y clasificación de los ecosistemas

Un ecosistema se compone de poblaciones que actúan entre sí y con el ambiente abiótico, en un área determinada. Los ecosistemas poseen mecanismos cibernéticos que mantienen ciertas características a nivel de ecosistema. Todos los ecosistemas son sistemas abiertos; dependen de la entrada de energía y ellos mismos producen salidas de calor. Los ecosistemas dependen también de los ciclos biogeoquímico para obtener y producir nutrientes y agua. En la mayoría de los ecosistemas entran y salen: vegetales, animales y microorganismos. El mundo se divide en grandes comunidades denominadas biomas. Se denomina biosfera a la comunidad más grande posible, que comprende a todos los organismos vivos que se encuentran sobre la Tierra. El término bioma se emplea para designar a comunidades bióticas terrestres grandes. Existen

diversas clasificaciones de los biomas. Una de ellas, la desarrollaron los botánicos del siglo XIX y se basa en las especies vegetales dominantes (Figura 1.3).

Otro sistema clasifica a los biomas de acuerdo a los factores abióticos del habitat, el sistema de Holdridge (Figura 1.4) relaciona los gradientes de factores abióticos, pero puede emplearse para predecir un patrón vegetacional. Se le puede denominar sistema de clasificación biogeofísica. En la figura 3 los biomas terrestres se grafican contra el clima y los factores geográficos y latitudinales. Cada uno de los biomas ocupan límites específicos de los gradientes ambientales. Los límites de tolerancia de una especie corresponden a los del área que ocupa dicho bioma. En conjunto, todos los biomas constituyen la biosfera, la comunidad más grande posible que contiene todos los organismos vivientes de la tierra.

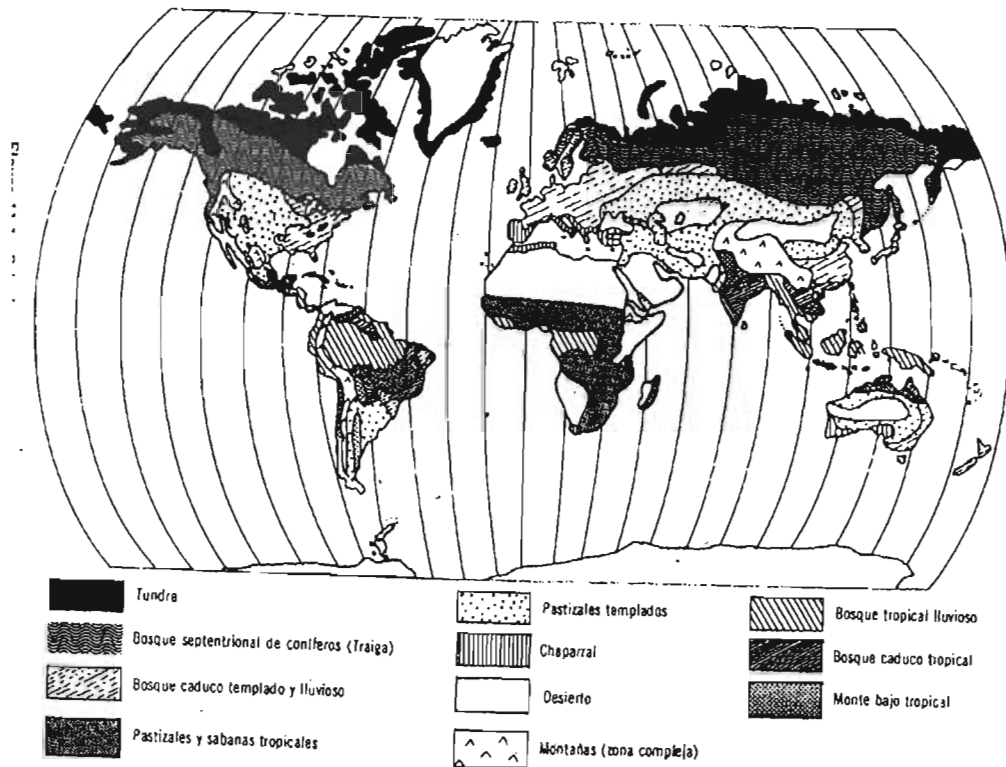


Figura 1.3. Los biomas terrestres del mundo.

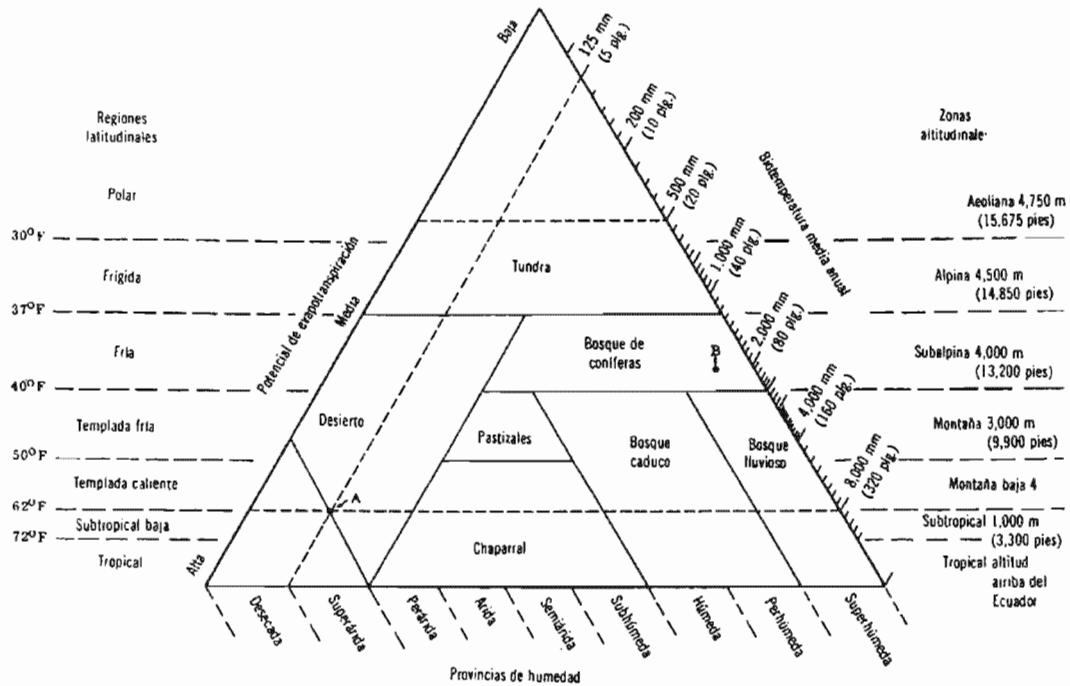


Figura 1.4. Modificación del sistema de Holdridge para la clasificación de los biomas terrestres del mundo.

Así como las áreas terrestres del mundo pueden dividirse en biomas (provincias bióticas terrestres), los océanos también pueden dividirse en provincias bióticas. Las zonas marítimas se clasifican con base en la profundidad, temperatura, densidad del agua, disponibilidad de luz y en los factores químicos como el contenido salino, cantidad de oxígeno disuelto y disponibilidad de nitrógeno y de fósforo. El sistema de clasificación de las provincias oceánicas más común se basa en la profundidad del mar (Figura 1.5). Más del 77% del mar tiene al menos 3000 metros de profundidad.

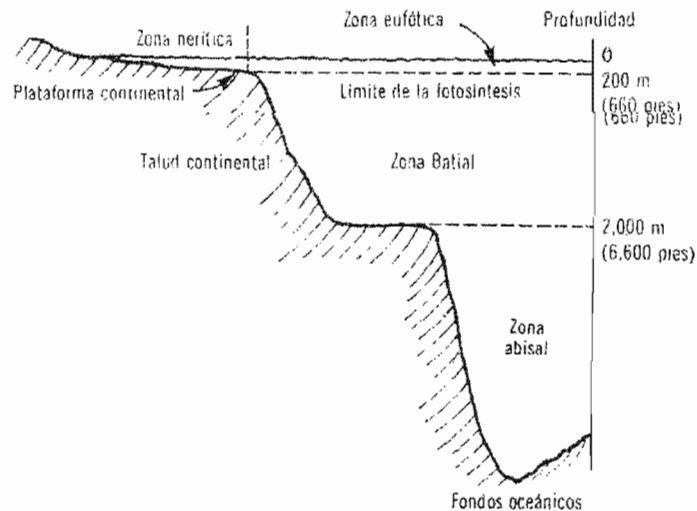


Figura 1.5. Los biomas marítimos del mundo.

1.2.1 Recursos naturales

México es inmensamente rico desde el punto de vista biológico. Su territorio es de aproximadamente 2 millones de km², entre superficie continental e islas, con un litoral de 9 953 km. El territorio está situado en la confluencia de dos grandes regiones geográficas: la neártica y la neotropical. Es un conjunto de valles y pendientes que producen diferencias regionales en cuanto a la precipitación pluvial, la humedad y en los climas. Las elevaciones se convierten en barreras físicas que han creado condiciones de aislamiento que provocan la presencia de múltiples tipos de suelo y procesos de especiación. El relieve del país acusa también una amplia variedad, como lo muestran las sierras Madre Occidental, Madre Oriental y Volcánica Transversal, la altiplanicie mexicana, la depresión del Balsas y las extensas llanuras costeras. Estas características han determinado la configuración de cuatro zonas ecológicas que se localizan: la árida, en el noroeste del territorio; la templada, en el centro del país; y los trópicos húmedo y seco, en el sureste y norte respectivamente. Se estima que la zona árida comprende aproximadamente 61% de la superficie territorial, la templada 26% y la tropical 13%. Ello favorece la existencia de una multiplicidad de ambientes y especies de flora y fauna. Este fenómeno permite que en el país existan paisajes diversos (desierto, selva, playas tropicales, nieves perpetuas y glaciales) y se cuente con un alto nivel de índices de flora y fauna. Esta compleja estructura ecológica ubica a México entre los principales países de acuerdo con su diversidad biológica y de ecosistemas. Junto con Brasil, Colombia, Indonesia, China y Australia, México es de los lugares con mayor riqueza de flora y fauna.

México ocupa el segundo lugar mundial en diversidad de mamíferos (cuenta con 449 de las 4 170 especies que hay en el mundo). En aves, México ocupa el duodécimo lugar (1 150 especies de las 9 198 existentes). En anfibios ocupa el cuarto lugar con 282 de las 4 184 que existen (63% de las especies son endémicas). En reptiles ocupa el primer lugar con 717 especies de las 6 300 que se tienen registradas, de las cuales 574 son endémicas. En mariposas de la familia Papilionidae, México ocupa el décimo lugar con 52 especies de las 1 012 registradas y cuenta con 2000 especies de mariposas diurnas. En plantas vasculares ocupa el cuarto lugar con 25 000 especies de las 250 000 y se estiman en 30 000 más las que aún no se han descrito en México. Entre los países neotropicales de alta diversidad México ocupa el primer lugar en mamíferos, el séptimo en aves, el cuarto en anfibios, el primero en reptiles, el sexto en mariposas y el tercero en plantas. Tal diversidad ofrece grandes posibilidades de aprovechamiento. Existe una gran cantidad de plantas que han sido empleadas para fines alimentarios, medicinales, habitacionales y rituales. Esta variedad de aplicaciones no ha sido aprovechada con fines comerciales, reduciéndose a una aplicación doméstica.

La vegetación natural, como expresión de los factores ambientales, se ha desarrollado en México desde la selva perennifolia de los Chimalapas y la Lacandona, hasta los desiertos, que son los más secos del mundo. Los regímenes pluviales y el tipo de suelos han dado origen a bosques tropicales subperennifolios, sabanas, selvas caducifolias y selvas bajas espinosas, y a niveles de precipitación pluvial más bajos, la vegetación xerófitas que encuentra puntos clímax de diversidad en el mundo. Las condiciones específicas de topografía, latitud y vientos oceánicos definen la existencia

de bosques mesófilos o macizos de bosques de coníferas o encinos. Los habitats acuáticos y costeros se añaden a la riqueza ecológica del país: lagunas, pantanos y manglares. México cuenta con 21 600 especies con flores (9% del total conocido) esto lo ubica en el cuarto sitio a escala mundial. Al incluir los helechos, los musgos, los líquenes y hongos podrían alcanzar las 29 mil especies. Se considera que el número de especies descritas de manera científica existentes en el país es de 33,500. Los endemismos florísticos son abundantes: más de 300 géneros de especies de fanerógamas son endémicas. La biodiversidad florística se correlaciona con su diversidad faunística. México es el país con mayor diversidad de reptiles en el mundo, ocupa el segundo lugar en cuanto a diversidad de mamíferos y el cuarto sitio en la existencia de anfibios. De las 705 especies de reptiles, de las 295 de anfibios y de las 466 de mamíferos existentes, 368, 174 y 136, respectivamente, son especies endémicas. De las especies de flora y fauna existentes en México 242 se encuentran en peligro de extinción; 435 están amenazadas y 164 son especies raras.

Los recursos acuáticos costeros y continentales han sufrido perturbaciones debido a la contaminación producida por el vertimiento de aguas residuales, la pesca incidental, los asentamientos en torno a plantas de procesamiento de productos pesqueros y la actividad de los centros turísticos. Existen efectos como la destrucción de manglares y de recintos naturales para el refugio, la alimentación, la reproducción y la crianza de especies acuáticas migratorias. Los problemas que afectan estos recursos son: la sobre explotación de las especies de alto valor comercial y el impacto ambiental sobre los elementos funcionales y estructurales de los procesos ecológicos que tienen lugar en el entorno acuático (continental, costero u oceánico). Todo repercute en la disminución de la productividad de la pesca a gran escala y la tradicional y el abatimiento de especies importantes, desde el punto de vista comercial y ecológico. En el caso de la fauna acuática son explotadas especies migratorias.

Las condiciones geográficas del país le confieren características variadas que permiten la existencia de todos los biomas que se han descrito en la Tierra. La superficie forestal ocupa 73.3% del territorio nacional (143.6 millones de Ha) cuya superficie arbolada constituida por bosques y selvas, ocupa 38.9 millones de Ha (19.9% de la superficie total del territorio). De estos ecosistemas no todos son aprovechables forestalmente; se consideran como tales: bosques de pino, pino-encino, encino, encino-pino-enebro, liquidámbar, pino-enebro, oyamel, oyamel-pino, pino-oyamel, cedro blanco, encino-liquidámbar, aile, oyamel-enebro, enebro-encino, eucalipto, enebro-pino y pirul. También son aprovechables la vegetación de galería, la selva alta perennifolia, media subperennifolia, media subcaducifolia, media caducifolia y los manglares. Su distribución coincide, a grandes rasgos, con la de los macizos montañosos. Con una extensión un poco menor, las selvas altas y medianas constituyen las comunidades más ricas y variadas que se distribuyen en el este y sureste del país, así como en las vertientes del Golfo de México y el Pacífico desde el centro del Estado de Sinaloa hasta Chiapas. Las selvas bajas, chaparrales, mezquiales, matorrales y vegetación hidrófila presentan un aprovechamiento forestal. Se explotan comercialmente la jojoba y la candelilla para la extracción de productos para el mercado nacional e internacional.

Los recursos hidrológicos son de fundamental importancia para el desarrollo socioeconómico. Sin embargo, la gran diversidad fisiográfica y climática de México hacen que este vital recurso no esté distribuido regularmente en el territorio nacional. Estos recursos pueden considerarse en dos grandes grupos: i) aguas superficiales (mares costeros y aguas continentales) y ii) aguas subterráneas. Las aguas continentales son escurrimientos superficiales cuyo volumen promedio anual es de 410 millones de m^3 , de los cuales el 37% constituye el total de la precipitación en el mismo período. Estos escurrimientos se distribuyen en 320 cuencas hidrológicas. Las más importantes son las de los ríos Yaqui, Fuerte, Mezquital, Lerma, Santiago y Balsas en la vertiente del Pacífico. Las de los ríos Bravo, Pánuco, Papaloapan, Grijalva y Usumacinta en la vertiente del Golfo y la del río Nazas entre las cuencas endorreicas. El volumen medio anual de los ríos en México es de 360 000 millones de m^3 60% de este caudal es aportado por siete ríos. La superficie territorial que estos drenan representa apenas 27%, lo que indica la asimétrica distribución. El 80% de los recursos hidrológicos del país se halla por debajo de la cota de 500 msnm, y por encima de este nivel se asienta más de 70% de la población y 80% de la actividad industrial. De la capacidad total de almacenamiento de aguas en las presas, 33% es empleado en obras de riego, 37% es destinado para la generación de energía eléctrica, 15% se destina al control de avenidas y 15% corresponde a capacidad muerta. La evaporación se ha calculado en 9 300 millones de m^3 anuales en los cuerpos de almacenamiento del país. México gracias a sus más de 10 000 km de litoral continental que cuenta con 1.6 millones de Ha de estuarios y 1.25 millones de Ha de lagunas costeras. El mar territorial de nuestro país ocupa 231 813 km^2 y la superficie de la zona económica exclusiva 2 892 000 km^2 .

Las aguas subterráneas son fuente importante de este recurso en aquellas regiones en donde no existen escurrimientos superficiales. Se estima en 17 409 millones de m^3 el promedio de la recarga anual y en 16 395 millones de m^3 el de extracción; así como de 110 350 millones de m^3 el volumen total de almacenamiento. La precipitación pluvial es un factor determinante en el mantenimiento de volúmenes, tanto en aguas superficiales como subterráneas. Nuestro país presenta un promedio anual de 780 mm de precipitación pluvial; lo que corresponde a un volumen anual de 1 532 millones de m^3 . Sin embargo, mientras que en la zona norte y el altiplano la media anual es inferior a los 500 mm, en el sureste (7% del territorio) la precipitación es de más de 2 000 mm anuales. Por lo que se calcula que 50% del escurrimiento anual total se encuentra en los ríos más caudalosos del sureste del país, y cuya región hidrológica comprende 20% de la superficie del territorio nacional. En la zona norte sólo se tiene un escurrimiento de 3% del total de un área equivalente a 30% del territorio. Debido a estas circunstancias se han tenido que construir sistemas de almacenamiento y obras de riego para solucionar las sequías de los estados del norte; y para prevenir inundaciones por exceso de lluvias, ha sido necesario construir bordos de protección, rectificaciones y cauces de alivio. Sólo la región central muestra un equilibrio entre el promedio de escurrimiento y la extensión territorial, teniendo una disponibilidad de 47% en 50% del territorio. En esta zona se ha tenido que recurrir al trasvase de cuencas para satisfacer la demanda de la zona metropolitana de la ciudad de México con todas las implicaciones que esto contiene para las zonas afectadas.

La capacidad de uso de suelo se clasifica por su vocación en pecuaria, agrícola, forestal, mixta, improductiva, urbana, o cuerpos de agua. El 13.8% del territorio se utiliza para la agricultura; 8.6% del mismo exhibe condiciones propicias para cualquier modalidad de aprovechamiento. En los suelos mixtos se encuentran condiciones ecológicas que permiten el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias y forestales. La mitad del territorio se destina a la ganadería semiextensiva y al pastoreo, estas actividades generan modificaciones en la articulación natural del agua, aire y suelo, con la flora y la fauna. De los 2 millones de km² que comprende el territorio mexicano, el 17% es apto para la agricultura, el 50% para la ganadería y el 14% está cubierto de bosques. La agricultura utiliza 20.8 millones de Ha, de las cuales el 78% es de temporal; la ganadería ocupa 128 millones de Ha. De los cuales 210 574 km² son de temporal y 58 031 km² de riego. El crecimiento demográfico y los procesos de urbanización e industrialización han modificado el suelo, afectándolo de manera irreversible. La expansión de las fronteras agropecuarias y urbanas han alterado las superficies que conforman macizos forestales, bosques, pastizales, valles y cuencas naturales.

1.2.2 Efectos de la explotación de los recursos naturales

Mientras en el mundo se habla de la era de la información, la economía de México se basa en los recursos naturales que hay que mantener en equilibrio. Tal estabilidad significa códigos de intervención y manejo que garantizan la permanencia de las especies y la supervivencia del ser humano. Los ecosistemas deben verse como capital ecológico. La riqueza ecológica de la nación ofrece funciones que trascienden el ámbito económico e impactan en la calidad de vida a través de estos bienes y servicios: i) conservación del germoplasma, ii) absorción de CO₂ de la atmósfera, iii) reducción del cambio climático global, iv) regulación de regímenes hidrológicos, v) protección costera, vi) protección contra la erosión, vii) control biológico de plagas y enfermedades, viii) actividades económicas directas, ix) recreación y turismo, x) investigación biotecnológica; y xi) alimentación y salud humana.

La agricultura y la ganadería han mediado las transformaciones ambientales más importantes en América Latina. La ganadería es la principal causa de deforestación y de la pérdida de biodiversidad, incremento de la erosión, de la migración humana, aceleración del cambio climático y alteración del régimen hidrológico, entre otros impactos. El 15% de la superficie terrestre sufre un proceso de degradación del suelo a causa de la actividad humana. El predeterminar los usos del suelo contraviene principios ecológicos fundamentales, sobre todo en un territorio de enorme diversidad ecológica y biológica. Por lo cual se debe mantener la estructura y las relaciones básicas entre flora, fauna y elementos físicos; de lo contrario, se modifican y destruyen los ecosistemas y, en el mejor de los casos se subutilizan. México y Brasil suman casi las tres cuartas partes de nuevas tierras que en América Latina se abrieron a los cultivos anuales entre 1980 y 1985. A partir de 1980 se estabilizó la tendencia decreciente de participación del PIB primario en torno al 10 %. En México fue del 7%.

La ganadería que se practica en México es de tipo especializado y extensivo. La ganadería extensiva ha situado al país en un tercer lugar mundial en deforestación, se han arrasado cerca del 90% de las selvas tropicales húmedas y subhúmedas. El sector

pecuario ha ganado terreno económico a costa del capital ecológico del país, sin que esto haya elevado el nivel nutricional de la población ni las condiciones socioeconómicas de los campesinos. La frontera pecuaria crece en los ecosistemas tropicales y templados, y en las zonas áridas. La ganadería en México se realiza en todo el territorio; al norte en matorrales xerófilos o praderas artificiales; al centro, en los bosques templados o potreros abiertos después de desmonte; en el sur, en las zonas tropicales antes bosques húmedos. El número de cabezas no solo debe definirse en función del consumo de hierbas por animal, sino que se debe tomar en cuenta el efecto del paso de las bestias sobre el suelo que reduce la permeabilidad y favorece la erosión.

Las actividades forestales se distinguen de otras actividades primarias en los costos y sus beneficios, impactan localmente y trascienden al ámbito global. Los bosques de México ocupan el tercer lugar de América Latina por su extensión; los bosques tropicales ocupan las zonas bajas del sureste y sur del país. Todas las áreas boscosas ocupan menos de la quinta parte del territorio nacional. Se calcula que una superficie de 34 millones de Ha están cubiertas por bosques templados, tropicales altos y medianos y tropicales secos o selvas bajas, aunque en esta superficie deben considerarse áreas fragmentadas, abiertas o con distinto grado de perturbación. El aprovechamiento forestal es escaso, es una práctica extractiva de recursos maderables y concentrada en especies arbóreas y pocos no maderables como resinas, semillas, plantas medicinales; el cultivo forestal es aún de poca importancia. Los bosques son poblaciones con una curva de crecimiento logarítmica. No obstante los estudios dasonómicos y los compromisos de reforestación, no se ha logrado obtener el modelo de manejo que garantice la permanencia de las áreas forestales debido a la sobreexplotación. La carencia de infraestructura industrial debilita el interés sobre las especies arbóreas, se introduce ganado menor que apisona el suelo evitando la germinación de las semillas, ramonea el renuevo y conduce a la masa forestal a un estado de decadencia con la concomitante explosión de plagas y enfermedades. El aprovechamiento de la flora silvestre se ha enfocado a la explotación de coníferas, maderas preciosas, plantas ornamentales, rizomas, ceras y resinas. Se estima que son 5 000 las especies de flora que se encuentran sujetas a algún tipo de aprovechamiento.

Existe una limitada presencia de organizaciones que valoren los bosques mexicanos. Muchos los explotan de manera oficial o clandestina. No obstante, los dueños de predios forestales no encuentran rentable su posesión. Nuestra balanza de pagos en el sector sigue siendo negativa. Con biomasa forestal semejante a Noruega, importamos papel. La industria nacional no ha podido desarrollarse debido en parte a rezagos tecnológicos y en parte a los procesos de expansión agropecuaria, que han planteado deforestación, destrucción de ecosistemas y problemas como: i) la erosión afecta 80% del territorio nacional, parte de las tierras de temporal se ubican en pendientes abruptas y después de 2 o 3 años de cultivo se abandonan o se convierten en pastizales para ganadería extensiva; y ii) la baja productividad del sector rural se correlaciona con los niveles extremos de pobreza que predominan en las zonas sur, sureste y oriente del país. Estableciéndose un círculo de pobreza y conductas de supervivencia que impactan el capital ecológico de la nación.

Algunas agencias especializadas en el tráfico de especies estiman que esta actividad ilícita es la tercera en importancia, de acuerdo con los ingresos que genera, después de tráfico de drogas y de armas. La pérdida de germoplasma y la modificación del hábitat han llevado a algunas especies de fauna y flora a disminuir sus poblaciones silvestres de manera drástica en el territorio nacional. En cuanto a la fauna silvestre, su aprovechamiento se ha orientado a los usos cinegético, peletero, ornamental y científico. En el calendario cinegético se consideran 105 especies destinadas a propósitos de cacería; de éstas 56 son aves y 42 mamíferos. México se encuentra aislado del resto del mundo, pues colinda al oeste, al sur y al oriente y sur-sureste bañan con el océano Pacífico, el Golfo y el Mar de las Antillas. Esta zona marítima cuenta con 500 mil km² de plataforma continental, 16 mil km² de superficie estuarina y 12 mil km² de lagunas costeras. Esta zona costera proporciona al país una riqueza extraordinaria. Las zonas costeras mexicanas constituyen una extensa área con posibilidad de aprovecharse sustentablemente debido a la riqueza de sus aguas y ecosistemas lagunares. En el Pacífico centro-norte, el Golfo de California, el Pacífico sur, el Golfo de México y el Caribe mexicano se encuentran ecosistemas costeros ricos en biodiversidad marina.

En la costa del Golfo de México y el Caribe hay 31 lagunas, superficies pantanosas hacia el sur y desembocaduras de los ríos más caudalosos del país que forman barras arenosas. Esta zona es rica en anfibios (cecilias, salamandras y anuros) y en reptiles (tortugas, lagartijas, serpientes y cocodrilos). También hay 11 playas de anidación de tortugas marinas que cuentan con control de depredación por actividades humanas. En el país se reconocen 45 especies de mamíferos marinos. Tanto en las zonas costeras del Golfo de México y el Caribe como en las del Pacífico norte, centro y sur existen diversas modalidades de vegetación acuática: i) la vegetación marina del litoral afectada por los regímenes de mareas, ii) los manglares, humedades y marismas, iii) el popal, iv) el tular y el carrizal, v) la vegetación flotante, vi) la vegetación sumergida, y vii) el bosque de galería o vegetación riparia. Las especies que son objeto de pesca comercial constituyen elementos de la vida silvestre, que son aprovechados gracias a sus tasas naturales de regeneración.

Tabla 1.1. Zona costera marítima mexicana.

Litoral	11 000 km
Plataforma continental	500 000 km ²
Superficie estuariana	16 000 km ²
Superficie de lagunas costeras	12 500 km ²
Aspectos pesqueros	80 % en aguas sobre la plataforma
Producción pesquera	Continental 20% en aguas oceánicas y continentales
Captura total anual promedio	1.3 millones de toneladas
Número de especies potencialmente explotables	300
Número de especies comercialmente explotables	25
Número de especies ícticas exóticas	33

Otros ambientes asociados con zonas inundables incluyen la selva baja, el palmar, el matorral espinoso y las dunas costeras. Estos sistemas están sujetos a considerables presiones. En el Golfo de México, las industrias petrolera y petroquímica (de México y

Estados Unidos) vierten sobre el Golfo sus aguas residuales, contaminando en alto grado los recursos costeros y la biodiversidad marina de esta zona. En ambos litorales, otras actividades productivas plantean problemas serios, como es el caso de la agricultura (aguas de retorno con altas concentraciones de plaguicidas) en Sonora y Sinaloa, e industria (descargas de beneficios de café, ingenios azucareros, fábricas papeleras, textiles y químicas) de los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco o Campeche. Es de gran relevancia, por sus impactos ambientales, la concentración urbana e industrial de las zonas costeras del Golfo de México.

Si bien, son muchas las acciones humanas que ponen en peligro la productividad y diversidad de los ecosistemas marinos, la pesca descontrolada es un factor de presión importante. Gran parte de las plataformas continentales han sido perturbadas por la pesca, en especial por aquella que utiliza redes de arrastre. Por esta razón en México se han afectado las plataformas continentales del Banco de Campeche y el Mar de Cortés. Muchas pesquerías se orientan a la producción de alimentos balanceados para el ganado, con lo cual se introduce un eslabón de ineficiencia productiva y energética; a la vez que se alteran sustratos básicos para importantes cadenas tróficas; cualquier pesquería genera problemas de captura de acompañamiento o captura incidental. Provocan un verdadero desmonte masivo de los ecosistemas marinos, sólo equiparable a la deforestación en tierra con maquinaria pesada. Por cada tonelada de camarón se capturan y matan hasta 10 o 15 toneladas de otras especies.

Se ha demostrado que es posible resolver estos problemas en nuestro país; como ejemplo destaca el de la captura incidental de delfines asociada a las redes de cerco para atún aleta amarilla, la cual se ha abatido gracias al cambio tecnológico y al sistema de vigilancia. La saturación y colapso de algunas pesquerías ha inducido a prácticas acuícolas como la acuicultura del camarón. Uno de los impactos más preocupantes de la acuicultura es la destrucción de manglares y la alteración de los humedales costeros. Las experiencias de Ecuador y Tailandia parecen comenzar a desarrollarse en nuestro país en las costas del Pacífico norte (Nayarit y Sinaloa). La destrucción de humedales y manglares elimina mecanismos de generación de nutrientes, que son exportados a las zonas marinas y que soportan a las pesquerías con alto valor comercial. La actividad pesquera tiene poca participación en el producto interno bruto si se le compara con otras ramas de economía nacional; no obstante, es crucial desde el punto de vista económico, social, ambiental e internacional. Los ingresos generados por esta actividad son importantes, reporta flujos de divisas por sus exportaciones.

El potencial económico de las zonas áridas y semiáridas es grande y muestra expectativas de aprovechamiento que no perjudican sus ecosistemas. Estudios al respecto demuestran que es posible aprovechar comercialmente especies a partir de un manejo que permita al ecosistema absorber la perturbación, favoreciendo así su pluralismo simbiótico que caracteriza a la naturaleza. En la producción forestal no maderable, los productos con mayor consumo son: la resina de pino, de la cual se extraen aguarrás, brea y aceites esenciales; siguiéndole en importancia las fibras, rizomas, ceras y gomas. La predominancia de los productos no maderables sobre los maderables, rechaza la idea común de que las selvas tropicales sean productoras de madera. La vegetación predominante en el territorio nacional es el matorral xerófilo

(28.6%), seguida de la superficie arbolada (bosques y selvas) y pastizales naturales. El matorral es la comunidad vegetal menos alterada por las actividades humanas. La afectación de bosques y selvas ha sido significativa, ya que estos operan como reguladores del clima, constituyen la fuente de oxígeno más importante y desempeñan un papel importante en el control de inundaciones y la erosión. Además de ser recursos para satisfacer la demanda de productos como madera y papel, los bosques proporcionan servicios difíciles de cuantificar, como la protección de cuencas hidrológicas y por constituir el medio de la fauna y flora silvestres.

Respecto a las especies de flora y fauna acuáticas no existe información sobre su cantidad y potencial aprovechable, se estima que en nuestras aguas marinas habitan más 800 especies de peces. También se sabe que se explotan quince especies de crustáceos, 18 de moluscos y tres de algas marinas. La ictiofauna dulceacuícola de México está constituida por 500 especies, distribuidas en 47 familias. De las que 60 se explotan regularmente. Los endemismos son múltiples y las cuencas más importantes son las de los ríos Lerma-Santiago, Usumacinta, Grijalva y Panúco; así como las cuencas endorreicas de Cuatro Ciénegas en Coahuila, Chichancanab en Yucatán y las lagunas de la Media Luna en San Luís Potosí. Se sabe son 15 las especies de anfibios y reptiles que se aprovechan, entre las que se encuentran las tortugas dulceacuícolas y las ranas. Nuestro país enfrenta serios problemas ambientales que ponen en peligro la sobrevivencia de cientos de especies vegetales y animales.

En México se reportan crecientes índices de deforestación, equivalentes a 500 mil Ha al año. El problema de la deforestación se atribuye no sólo a la expansión de la frontera agropecuaria y al crecimiento urbano, sino también a los incendios forestales naturales, accidentales e inducidos. La deforestación anual abarca entre 400 y 800 mil Ha, más de 60 millones de Ha están erosionadas, y un 15% de la flora se ha declarado en peligro de extinción. Sólo el 0.86% del territorio se encuentra protegido en algunos parques nacionales, reservas ecológicas, parques urbanos y monumentos naturales. El 50% de estas áreas de protección están deterioradas por la tala, sobrepastoreo y erosión. Un caso particular lo constituye la Selva Lacandona. La zona lacandona y parte de la cuenca del río Usumacinta, constituyen el área compacta de selva alta perennifolia más extensa del territorio nacional. Antes de 1970, esta selva ocupaba más de 1 millón 200 mil Ha, en los últimos quince años la superficie arbolada se ha reducido casi a la mitad. Esta deforestación se ha hecho para favorecer las actividades ganaderas, sin una planificación adecuada, lo que ocasiona problemas ecológicos y sociales. A este deterioro hay que agregar los efectos de la explotación petrolera.

La contaminación del agua se deriva de tres principales fuentes: la municipal, asociada a las cargas de origen doméstico y público que constituyen una importante porción de aguas residuales; la agropecuaria, representada por los afluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado, así como por las aguas de retorno de los campos agrícolas; y la industrial, referida a las cargas originadas por las actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo y satisfactores para la población. La contaminación del agua se conforma por una sucesión de fenómenos asociados a la concentración poblacional y de la actividad económica, toda vez que se demanda crecientes volúmenes de líquido y se generan

descargas de agua sin tratamiento. En 1980 fueron descargados a los cuerpos de agua del país 110 m³/seg de aguas residuales municipales, 74 m³/seg de residuos líquidos industriales y 0.5 m³/seg de aguas residuales provenientes de la agricultura. En las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara se generan 46, 8.5 y 8.2 m³/seg de aguas residuales, respectivamente, que en conjunto equivalen a 34% del total nacional (184 m³/seg). De la descarga de aguas residuales municipales sólo se trata el 15.7%, la mitad del volumen tratado es para reuso y no para el control de la contaminación. Por lo que respecta a las aguas residuales industriales sólo se trata el 15.5%. Del total de plantas de tratamiento sólo 20% operan adecuadamente, 35% operan en forma ineficiente y 45% se encuentran fuera de operación.

Los principales contaminantes que modifican la calidad natural de las corrientes de agua son: materia orgánica, grasas y aceites, organismos patógenos, metales pesados, detergentes y plaguicidas. Entre las manifestaciones del deterioro de la calidad del agua se pueden mencionar: el agotamiento de los suelos, la desertificación, la inutilización de los cuerpos de agua que surten a la población, el abatimiento de los niveles piezométricos y la insalubridad de los centros urbanos. Las 31 cuencas más deterioradas reciben 91% de la materia orgánica generada en el país. Dichas cuencas son: Pánuco, Lerma-Santiago, San Juan, Balsas, Blanco, Papaloapan, Culiacán, Coatzacoalcos, Fuerte, Jamapa, La Antigua, Guayalejo, Grijalva, Nazas, Coahuayana, Armería, Ameca, Conchos, Tijuana, Tehuantepec, Salado, Colorado, Bravo, Yaqui, Nautla, Sonora, San Pedro, Laguna de Coyuca, Purificación, Presidio y Concepción. Las cinco primeras requieren acción urgente, por las descargas de las concentraciones urbano-industriales aledañas a dichas cuencas.

La contaminación marina se manifiesta en la sobrevivencia de peces y de algunos moluscos bivalvos, de importancia comercial y sanitaria. Ha registrado índices de gravedad por derrames de hidrocarburos, y por la perforación y explotación de pozos marinos. En lo que se refiere a la protección de los recursos marinos es evidente que debe prestarse atención a los problemas de la contaminación costera. Siendo los mares el receptáculo final de todos los escurrimientos continentales, los desechos orgánicos e inorgánicos que estos arrastren, contaminarán las aguas costeras. Aún no hay evaluaciones en este sentido. Las mareas negras provocan una pérdida de especies de flora y fauna determinando que los ecosistemas litorales se encaminen hacia su simplificación. En alta mar, esta capa de petróleo retrasa las dinámicas atmosféricas, frena la actividad solar y los intercambios de bióxido de carbono-oxígeno.

La sobreexplotación del agua subterránea se está generalizando en las zonas áridas y semiáridas, lo que ha ocasionado deterioros irreversibles como intrusión salina, hundimiento de terrenos y necesidad de bombeo a profundidades cada vez mayores. En la zona metropolitana de la Ciudad de México se consumen 58 m³/seg de agua potable. De este volumen, en el DF se utilizan 35 m³/seg. Más de la mitad del agua disponible se consume dentro de los hogares, y cerca del 75 % de esta agua potable se gasta en el excusado y la regadera; la utilizada para beber y cocinar es el 5%. La región lagunera ha vivido problemas por la sobreexplotación de los mantos freáticos. Se estima que se extraen para uso agrícola, industrial y doméstico cerca de 290 millones de m³ anuales de agua, siendo la recarga de sólo 18% de lo extraído, lo cual provoca la

movilización de aguas fósiles con alto contenido de arsénico. El 56% de los habitantes padece envenenamiento crónico de arsénico y hay una alta incidencia de cáncer epidémico y problemas circulatorios. A ello habría que sumar otros efectos en las aguas subterráneas, como los que ocasionan los grandes tiraderos de basura a cielo abierto en las principales urbes del país. La contaminación de las aguas residuales municipales, aprovechadas para fines agrícolas en zonas áridas y semiáridas en los estados de México e Hidalgo representa problemas graves porque transportan agentes patógenos y desechos industriales con sustancias químicas (mercurio, plomo, cadmio y cromo).

La pérdida de suelo por abuso de actividades humanas trae consigo la alteración ecológica de la parte afectada, traduciéndose en un abatimiento de la productividad, disminución de la producción neta y virtual, y pérdida de terreno con capacidad agrícola o ganadera. Esto lleva aparejadas otras consecuencias, como el avance sobre ecosistemas no aptos para prácticas agropecuarias, principalmente forestales. La acción de agentes como la lluvia, el viento y las corrientes de agua provocan la pérdida de suelo. Esto es un fenómeno natural (intemperismo) que bajo ciertas condiciones se encuentra en equilibrio con el proceso de formación de suelo. En el caso de las actividades humanas, la pérdida de suelo supera su recuperación. Este tipo de erosión es un fenómeno con repercusiones en lo ecológico, económico y social. La erosión suele asociarse con la destrucción de los bosques para llevar a cabo actividades humanas, lo cual reduce la capa de humus, disminuye la permeabilidad y el agua de lluvia escurre sin infiltrarse en el suelo. Por lo que el régimen hídrico de los ecosistemas forestales se modifica generando fenómenos como las crecidas de los ríos.

A medida que la erosión aumenta se produce un mayor arrastre de materia orgánica hacia las tierras bajas, cuya fase final son comarcas lacustres, estuarios u otros cuerpos. Eso provoca su eutroficación que afecta a múltiples especies acuáticas por la disminución del oxígeno disuelto. La erosión se vincula a la desertificación, que es la destrucción del potencial biológico de la tierra que genera el deterioro de los ecosistemas. Las principales causas de la erosión en México son: destrucción de la vegetación natural; inadecuado manejo de los cultivos en terrenos con pendientes acentuadas; sobrepastoreo y tala inmoderada. El viento sólo tiene un efecto considerable en las zonas áridas y semiáridas. Tal fenómeno se expresa en el arrastre de sedimentos por los ríos y en las áreas comprendidas entre corrientes. De esta forma, la erosión hídrica se ha convertido en uno de los problemas ambientales críticos, se estima que los suelos afectados representan un 86% del territorio nacional. Las áreas más erosionadas son las de mayores pendientes y las zonas áridas o subhúmedas. Las altas tasas de erosión reportadas en zonas montañosas derivande la ganadería extensiva y del cultivo intensivo del maíz en condiciones de un manejo inadecuado.

Los problemas de erosión provocan una pérdida de productividad en los ecosistemas afectados y generan azolve de presas, fenómenos de eutroficación, contaminación de ríos y lagos, inundaciones y reducción de acuíferos. Otro problema que afecta los suelos es la salinización. Característico de las zonas de riego agrícola que consumen grandes cantidades de agua. Más del 10% de la superficie total irrigada en nuestro país, presenta problemas de salinización, principalmente los distritos de riego del

noroeste, como el del Río Colorado en Baja California Norte, del Río Fuerte, del Río Culiacán y del Río Humaya, en Sinaloa, así como los del Río Mayo y el Río Yaqui en Sonora. Dado que las aguas residuales suelen utilizarse para riego agrícola, sin tratamiento previo, se ha observado una disminución en el rendimiento de diferentes cultivos, determinándose que el factor edáfico se encuentra afectado por esa causa.

1.2.3 Efectos de las actividades económicas sobre los recursos naturales

Los estilos de desarrollo nacional impulsados a partir de la década de los años cuarenta han seguido un patrón incompatible con el cuidado del medio ambiente. Una parte del costo del desarrollo ha sido financiado mediante la utilización irracional de los recursos naturales y su concomitante depredación de los ecosistemas. Como muestra de ello puede citarse: la deforestación de selvas y bosques; la desecación de pantanos, humedales, esteros y otros cuerpos de agua; la contaminación de suelo, aire y agua; el tráfico de especies, las prácticas cinegéticas ilegales y la cacería de individuos jóvenes; el avance de la mancha urbana y de la frontera agropecuaria; y, la introducción de especies exóticas.

La preocupación mundial por los problemas de medio ambiente y su impacto en la calidad de vida (binomio sociedad-naturaleza) se asocia a los efectos del desarrollo basado en la economía de mercado. La articulación insoslayable entre los satisfactores que demanda la población y la urgencia de preservar los recursos naturales conduce al análisis de la implicación de las actividades económicas. En México, las políticas para promover la producción primaria se han caracterizado por ignorar la heterogeneidad ambiental, implantándose modelos tecnológicos inapropiados para las condiciones ecológicas, los cuales no siempre mejoran la producción e impactan los recursos naturales. En cuanto a las actividades secundarias, está probado que la industria contribuye al desperdicio y contaminación del agua; produce cientos de miles de toneladas de residuos sólidos (con características tóxicas y peligrosas); y ha sido una de las causas de la contaminación atmosférica en todo sitio donde existen este tipo de instalaciones. En lo que corresponde a las actividades terciarias (transporte, comercio, servicios municipales y servicios del sector público y del privado) el problema radica en la producción, acumulación y manejo inadecuado de sus residuos sólidos.

Las actividades primarias que deterioran los ecosistemas son: la agricultura, la explotación forestal, la ganadería extensiva y el pastoreo, la porcicultura y la pesca. Las superficies en producción agrícola de riego y temporal, correspondientes a los años 1982, 1985 y 1990 fueron, respectivamente, de 19.3, 20.6 y 22.9 millones de hectáreas. Los cultivos de riego generaron aguas residuales que son fuente de contaminación por arrastre de agroquímicos, con un impacto en los cuerpos de agua en proceso de eutrofización. Las aguas residuales ascienden a 11 085 millones de m³. La actividad agrícola, al utilizar el suelo y el agua de los ecosistemas naturales, ocasiona la extinción de especies vegetales y animales, y modifica las relaciones ecológicas originales. Esto da como resultado un ecosistema artificial, en que se alteraron el ciclo del agua y de los nutrientes. Al desaparecer ciertas plantas e insectos que en el ecosistema original funcionaban como predadores otras comienzan a proliferar se alimentan con los cultivos, lo cual obliga a aplicar agroquímicos para obtener un equilibrio en este ecosistema; éste se vuelve dependiente de la acción humana para su manejo y

mantenimiento. La actividad forestal ocasiona la modificación del ciclo hidrológico debido a la transformación de la cubierta vegetal original. La pérdida de la vegetación incrementa el escurrimiento, disminuye la infiltración y altera fenómenos climáticos. Ello produce cambios en la recarga de acuíferos, aparición de inundaciones, reducción de humedad en las laderas, cambios en la dinámica geomorfológica y erosión.

El aprovechamiento forestal ha sido proclive a la explotación de unas cuantas especies de alta estima económica como las maderas preciosas (caoba, cedro rojo, guanacastle, ceiba, entre otros) y las coníferas (pino, oyamel, cedro blanco, ciprés, encino). El 80% de la madera proviene de la explotación de especies de pino extraídos de Durango, Chihuahua, Michoacán y Jalisco. Basar la producción maderable sólo en el pino ha sido causa de un deterioro de las zonas templadas. Esta sobreexplotación de los bosques de pino contrasta con el desperdicio de recursos maderables de las zonas tropicales. En las selvas, a pesar de que se desmontan centenares de hectáreas, la madera es utilizada para el autoconsumo, el resto se quema. Sólo las maderas tropicales preciosas tienen demanda y un mercado establecido. Durante décadas han sido extraídas sin preocuparse de su capacidad regenerativa. Por ello se han agotado, afectando el hábitat que ocupan y la cadena trófica de la cual forman parte. Otra forma de explotación forestal es la de los productos no maderables como las resinas, fibras, rizomas, ceras y gomas, entre otros. La mayoría de los cuales se exportan como materias primas, pero la falta de regulación de la explotación de los recursos no maderables ha causado daños a los ecosistemas.

En 1989 México había perdido más del 95% de sus selvas húmedas; más de la mitad de sus selvas bajas; más de dos terceras partes de sus bosques mesófilos y una porción de sus humedales. Veracruz, Campeche, Chiapas y Tabasco se convierten en un potrero. En el norte del país, donde se concentra el ganado vacuno, el problema es diferente. La ganadería se establece en los ecosistemas naturales, matorrales. La superficie que una vaca requiere para alimentarse en estas condiciones es de 20 a 40 Ha. La legislación establece como pequeña propiedad ganadera aquella que sea necesaria para sostener a 500 cabezas de ganado, lo cual propicia la reconcentración de tierras en latifundios de hasta 20 o 25 mil Ha. En contraste, la mayoría de los campesinos sólo cuenta con una hectárea para cultivar. Más del 50% del territorio nacional (100 millones de Ha) está dedicado a la ganadería bovina de libre pastoreo. 37 millones de cabezas de ganado vacuno, que producen un millón de toneladas de carne, ocupan el 90% de las selvas tropicales, el 25% del trópico, el 80% de las zonas áridas y semiáridas y el 20% de las templadas. Se establecen incluso en terrenos con potencialidad agrícola. Es una práctica productiva poco tecnificada e ineficiente y derrochadora de recursos naturales, económicamente rentable. La rentabilidad se ha logrado a costa de los ambientes naturales. La ganadería extensiva es un problema ecológico que destruye sistemas naturales y desperdicia decenas de especies útiles que podrían aprovecharse y genera un problema social que incrementa las desigualdades de los productores del campo.

La actividad agrícola para producir alimento para la ganadería intensiva ha ocupado cada vez mayor superficie. La alfalfa, la cebada, los pastos y el sorgo ocupan 75% y 70% de los terrenos dedicados a cultivos de ciclos cortos y perennes, respectivamente.

La situación que guarda en las distintas regiones ecológicas muestra que la superficie requerida para alimentar una cabeza de ganado en las áreas tropicales cálido-húmedas es de 0.8 Ha; pero se necesitan hasta 70 Ha en las porciones más secas del país. La superficie dedicada a los cultivos básicos se ha estancado en las últimas tres décadas. Su incremento fue de 31%. Sin embargo, los cultivos destinados al consumo animal crecieron en un 1000%, ocupando extensiones maiceras en áreas de temporal. El desarrollo del campo mexicano ha provocado una fuerte polarización del campesinado. Por un lado una agricultura económicamente dinámica, basada en el capital, dedicada a los cultivos comerciales, de exportación y a los alimentos balanceados para la ganadería, ocupa las mejores tierras agrícolas y utiliza una tecnología costosa económica y energéticamente. En el otro extremo, encontramos una agricultura marginada, productora de los alimentos que demanda el mercado nacional, temporalera, con escaso apoyo económico, técnico y de infraestructura, con gran heterogeneidad de prácticas productivas y de ambientes naturales, situada en las regiones más pobres del país, donde se localizan los asentamientos indígenas.

En cuanto a la porcicultura, no se cuenta con información acerca del consumo de agua, ni de la generación de aguas residuales. En la zona de la Piedad, Michoacán, se ha observado que se utilizan de 10 a 15 litros de agua por kilogramo de estiércol y que se generan 2 kg de excremento por cabeza cada día, considerando un peso promedio de los cerdos de granja de 70 kg. La actividad de la crianza porcina representa un aspecto crítico de deterioro ambiental y sanitario en las regiones donde se practica, debido a la agresividad de sus desechos, al escaso tratamiento que reciben y a su inadecuada disposición final. La producción de ganado porcino se desarrolla en los estados de Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Sonora y Veracruz; observándose un crecimiento constante en la producción. El corredor comprendido entre las poblaciones de Abasolo, Guanajuato y La Piedad, Michoacán se ha caracterizado por ser el lugar de mayor relevancia, a nivel nacional, en la generación de contaminantes por esta actividad.

La pesca representa una industria que se ha desarrollado en poco tiempo en el país, dada su riqueza acuática, toda vez que México se encuentra entre los primeros 17 países pesqueros, con una producción aproximada de 1 574 000. A este desarrollo ha contribuido la acuicultura, la cual aportó 179 000 toneladas. Las 2 239 embarcaciones con redes de arrastre, especialmente las camaroneras, hacen un barrido en el fondo del mar, acarreado especies no deseadas por la tripulación que son devueltas al mar ya sin vida.

Es el sector industrial el que genera volúmenes significativos de la contaminación de agua, suelo y aire. El sector industrial se ha clasificado en 39 grupos, de los cuales nueve son los que mayor cantidad de aguas residuales producen: azúcar, química en general, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textiles, siderúrgica, eléctrica y alimentos. En conjunto, estos nueve grupos arrojan 81.7% del total de aguas residuales de origen industrial. Sólo los dos primeros representan 59.8% del total. En cuanto a la generación de residuos sólidos, el sector industrial genera 370 mil toneladas diariamente. De este total, 8 219 toneladas/día (3 millones anuales) son peligrosos. La explotación minera genera más del 90% de los residuos a nivel nacional, que representa 120 millones de

toneladas/año (328 767 toneladas/día), algunos peligrosos por su alto contenido de metales pesados. Los procesos siderúrgicos y de fundición de chatarra producen polvos y lodos que contienen metales pesados, como cromo, plomo y cadmio. Un gran número de estas industrias depositan sus residuos en terrenos baldíos y basureros municipales. El 49% de los residuos municipales se tiran a cielo abierto, 35% en lotes baldíos y carreteras y 16% se trata o confina en rellenos sanitarios y plantas de recuperación e industrialización de materiales. Se estima que se producen alrededor de 693 g/hab/día de residuos compuestos principalmente por papel, plástico y vidrio.

El plomo no se degrada biológica ni químicamente en la naturaleza. De allí que la presencia de este metal en el organismo humano, plantas o animales, en niveles que rebasen los índices normales de absorción y concentración estipulados como tolerables, son motivo de preocupación a nivel mundial. El plomo interviene en procesos industriales diversos (pigmentos para pinturas, combustibles para motores, soldadura de latas para envasar jugos, chiles y otros, fabricación de lápices, etcétera). Las poblaciones urbanas y las que habitan zonas periféricas a las industrias, presentan concentraciones elevadas de plomo en la sangre, debido a la inhalación de humos y a la ingestión de partículas contenidas en el agua y en los alimentos. Otro motivo de preocupación en cuanto a riesgos para la salud ocasionados por los procesos industriales es la contaminación por asbesto que presentan las ciudades fronterizas de Mexicali, Ciudad Juárez, Chihuahua, Hermosillo y Piedras Negras en las que se utilizan tanques de este material para almacenar agua. Los agroquímicos representan otra fuente de contaminación ambiental. Los fertilizantes se constituyen por nitratos y fosfatos en los sistemas de agua dulce, favoreciendo una intensa actividad biológica que genera la acumulación de plantas acuáticas en lagos y embalses, eutroficación y afectación de la vida acuática.

Con el objeto de incrementar la producción y la protección contra las plagas, el uso de insecticidas, herbicidas y fungicidas es común en las zonas agrícolas del país. La utilización de químicos para el control de plagas causa impactos al ambiente, a la salud, e incluso desfavorece el proceso productivo del sector agropecuario. Algunos insecticidas matan sin distinción a todos los organismos del suelo y a aquellos que tienen relaciones simbióticas con las plantas. La acumulación de ciertos insecticidas en tejidos de plantas y animales ha sido probada. El camino seguido por el veneno es: el insecticida aspersado sobre el follaje del cultivo es disuelto por la lluvia y cayó al suelo; es absorbido por los gusanos de la tierra; estos lo almacenaron en su organismo; los pájaros se alimentan con estos gusanos mueren envenenados. Los insecticidas disueltos por las lluvias se escurren hacia los arroyos, lagos y estanques utilizados en acuicultura, acumulándose en el plancton, teniendo una influencia directa sobre ellos. Los salmónidos (salmones, truchas) son sensibles a estos tóxicos. Por efecto sinérgico (multiplicador) se ha observado que: cuando una vaca come hierba que ha sido tratada con DDT, esta sustancia se acumula en la grasa y reaparecen en la leche. Se han realizado investigaciones sobre malestares digestivos detectados en lactantes debidos a la presencia de DDT en la leche materna. Se han encontrado rastros de DDT acumulados en la grasa de fauna lejana de los sitios donde se realizó su aplicación. Por lo que es conveniente promover el control integral de plagas, que incluye el uso de

plaguicidas en mínimas cantidades, dando énfasis a los métodos biológicos de control, manejo del hábitat y ciclos de vida de las plagas.

Otra actividad productiva que causa de destrucción de los ecosistemas, es la petrolera. La exploración de las reservas, la extracción de petróleo, su transformación y los accidentes y fallas, perturban el agua, el suelo y la atmósfera de ecosistemas terrestres y acuáticos, lo cual afecta actividades humanas como la pesca, la agricultura y la ganadería. El trópico húmedo es la región más alterada. En ella se encuentran las mayores reservas de petróleo y la industria petroquímica. Es conocida la destrucción de la flora y la fauna del río Coatzacoalcos debido a su contaminación por los desechos de la petroquímica La Cangrejera, Pajaritos y Minatitlán-Cosoleacaque. Los efectos no solo recaen en la flora y fauna locales, sino en especies de aves migratorias. Otros ríos afectados son el Usumacinta-Grijalva por la presencia de Ciudad Pemex, Cactus y La Venta; el Papaloapan, por Matopiche, y el Pánuco, por Ciudad Madero. Diversas lagunas se han afectado, por ejemplo, Tamiahua en Tamaulipas, Términos en Campeche, El Ostión en la desembocadura del Coatzacoalcos y Superior en Oaxaca. Los motivos de la contaminación en estos casos son diferentes. En algunas lagunas, la exploración ha producido derrames, en otras, la petroquímica vierte sus desechos a las aguas; en otras, las obras de construcción y la instalación de ductos han destruido selvas, manglares, palmares, pastizales y campos de cultivo.

Los efectos se manifiestan en la destrucción de ecosistemas y en la pérdida de tierras y aguas productivas. Los campesinos de Tabasco han perdido sus tierras, cultivos y animales; han visto desaparecer especies de peces de los lagos y lagunas; y deteriorarse sus artes de pesca por la presencia de aceite, grasa y chapopote. La industria petrolera, en sus procesos de refinación y petroquímica, genera anualmente 1.7 millones de toneladas de residuos. De éstos, corresponde a desperdicios semisólidos 90.15%; a líquidos, 9.6% y a sólidos 0.25%. Se consideran peligrosos 13% del total. Los residuos que se reciclan representan el 0.1%, siendo susceptibles de ser reutilizados 11%. Desde la explotación hasta la transformación y distribución de productos se ha llegado a afectar terrenos, por derrames accidentales de hidrocarburos y por las aguas residuales que se generan en los diferentes procesos. La actividad petrolera y portuaria industrial en el Golfo de México han producido beneficios al país. No obstante, la concentración de actividades inherentes a la explotación de hidrocarburos ha impactado a la región. Por igual se puede mencionar el corredor industrial del Bajío y la zona de Tula-Vito-Apasco. En esta última, la explotación y aprovechamiento de minerales, junto con la industria petroquímica y la generación de energía eléctrica, han superado la capacidad de asimilación del medio, con una emisión de contaminantes del orden de 350 mil toneladas anuales.

Una causa de la contaminación atmosférica es el uso creciente del automóvil: 95% se emplean para usos privados, transportan 19% de los viajes-persona-día, ocupan 70% de la vialidad y consumen 15 veces más combustible por persona que el sistema colectivo. En 1980 automóviles particulares y taxis consumieron 4 903 millones de litros de gasolina (13.4 millones diarios) y los autobuses y camiones 1, 102 millones de litros de diesel (3 millones diarios). En 1988 la demanda había crecido a 16.2 millones de litros de gasolina al día (un litro por habitante). y más de 5 millones de diesel. El

balance energético de México permiten afirmar que el transporte es una gran consumidor de energía. El ruido es otra forma de contaminación del aire, originado por actividades terciarias. El uso constante y creciente de vehículos automotores es una de las principales fuentes de contaminación sónica. En los últimos años, la tecnología y las aglomeraciones han determinado su incremento en las ciudades. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera como límite recomendable para no afectar el oído 85 decibeles (dB). Desde los años sesenta, en el primer cuadro de la Ciudad de México y en algunas de sus arterias principales existían niveles superiores a los 95 dB. La cabecera de aterrizaje del aeropuerto, la colonia Industrial Vallejo y las delegaciones Atzacapotzalco, Cuauhtémoc y Gustavo A. Madero, son zonas de la ciudad con graves problemas al respecto. Las 25 ciudades del país con mayor problema de ruido son:

- | | | | | |
|----------------|---------------|----------------|------------------|------------------|
| 1. Celaya | 6. Guanajuato | 11. Manzanillo | 16. Pachuca | 21. Saltillo |
| 2. Colima | 7. Hermosillo | 12. Mazatlán | 17. Puebla | 22. Tepic |
| 3. Chetumal | 8. Irapuato | 13. Mérida | 18. Querétaro | 23. Tijuana |
| 4. Durango | 9. C. Juárez | 14. C. México | 19. Salamanca | 24. T. Gutiérrez |
| 5. Guadalajara | 10. León | 15. Monterrey | 20. S. L. Potosí | 25. Zacatecas |

El deterioro ambiental ocasionado por las actividades terciarias tiene efectos en la ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. Del total de los 110 millones de habitantes que viven en la República Mexicana, 28% se concentran en estas tres ciudades, dando lugar a problemas derivados de la necesidad de abastecimiento (agua, alimentos), servicios municipales y vivienda, así como suministro de energéticos. El 33% de la población total se halla dispersa en pequeños poblados rurales con menos de 2 500 habitantes, y 39% en localidades de más de 2 500 y menos de un millón. Esta distribución demográfica se asocia con los problemas ambientales y coincide con la conflictiva social y económica que supone el desarrollo urbano en México, observándose una relación entre el nivel de contaminación, el tamaño del asentamiento y el nivel de crecimiento económico.

En los últimos 50 años la presión ejercida por el crecimiento demográfico e industrial y la deficiente planeación del uso del suelo y sus recursos han motivado un desarrollo desequilibrado. Los usos del suelo se derivan de la interacción urbano-industrial, minimizando la posibilidad de un desarrollo armónico y maximizando los costos ambientales. La causa de estos desajustes de crecimiento tiene sus antecedentes en el modelo de desarrollo adoptado, que se centró en el proceso industrial. Ello propició el rezago del sector agropecuario, el cual fue considerado como abastecedor de materias primas, alimentos y mano de obra baratos. Aunque la producción industrial en México aumentó cincuenta veces, superando el crecimiento de la tasa demográfica en 3.5% anual promedio, los rezagos no han permitido dotar a la población mexicana del bienestar deseable. Las altas tasas de crecimiento demográfico y su inadecuada distribución, han ido aparejadas a una creciente migración de los habitantes de comunidades rurales hacia las ciudades. Con el aumento descontrolado de las poblaciones urbanas, aparecen mayores índices de contaminación de aire, agua y suelo, así como la pérdida constante de áreas naturales, o su afectación. Los grandes polos de desarrollo demandan cantidades cada vez mayores de agua y aportan mayores volúmenes de contaminantes. El suministro de agua a los centros urbanos

representa erogaciones, ya que provienen de regiones situadas por encima de los 500 msnm, la mayoría de las cuencas susceptibles de servir como fuentes de abastecimiento se localizan por debajo de esa cota. Estas condiciones han obligado a construir sistemas de captación y conducción con inversiones costosas.

No se ponen en duda los beneficios económicos que los polos de desarrollo producen al país. Sus ventajas no compensan los daños al medio ambiente y a la salud, ni los costos sociales implicados. El deterioro ambiental restringe las posibilidades de un desarrollo sustentable de largo plazo, por lo que los procesos de urbanización e industrialización deben verse con perspectivas distintas a las que han dominado hasta hoy. Esto conduce a analizar de manera crítica las ciudades fronterizas como Tijuana, Ciudad Juárez, Reynosa, Matamoros y Piedras Negras y puertos industriales y centros turísticos como Acapulco, Coatzacoalcos, Ensenada, Salina Cruz, Lázaro Cárdenas y Villahermosa que han visto mermadas sus posibilidades de desarrollo y la calidad de vida de la población, a consecuencia de los problemas ambientales que padecen.

1.2.4 Consecuencias del crecimiento rápido.

En la (Figura 1.6), destaca que el crecimiento demográfico, la pobreza y la degradación del medio no son cuestiones independientes, sino que están muy relacionadas.

Consecuencias de la explosión demográfica en los países en desarrollo

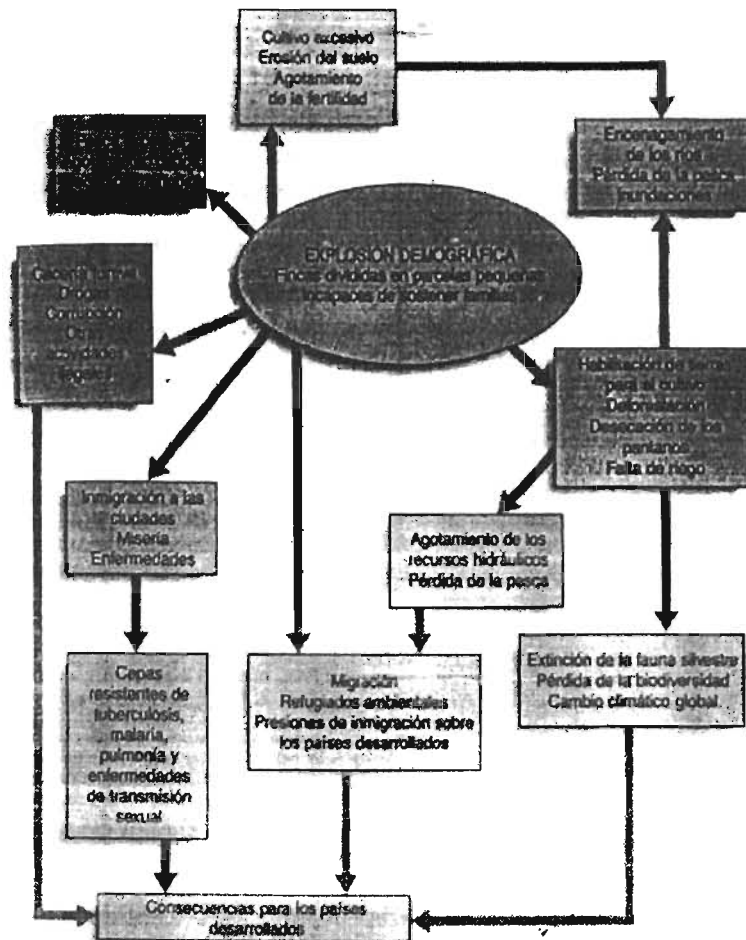


Figura 1.6. El diagrama muestra las numerosas relaciones entre el crecimiento demográfico inmoderado y los problemas sociales y ambientales.

1.2.5 Soluciones al problema de la población.

Desde muy pronto han surgido dos corrientes de opinión en cuanto al crecimiento demográfico: (a) necesitamos concentrarnos en el control de la población; y (b) si nos enfocamos en el desarrollo se resolverá la situación y suscitará “automáticamente” un equilibrio. Ambas corrientes se manifestaron en las dos anteriores conferencias sobre la población de las Naciones Unidas, la primera en Bucarest en 1974, y la segunda en la ciudad de México 10 años después (la conferencia de El Cairo de 1994 fue la tercera).

Vemos que los factores que fomentan las familias numerosas son comunes en las sociedades agrarias preindustriales, en tanto que aquellos que conducen a establecer familias reducidas (o sin hijos) aparecen casi siempre con la industrialización y el desarrollo. Las tasas de fertilidad en los países en desarrollo se mantienen elevadas no porque sus habitantes se comporten de manera irracional, sino a causa de su medio sociocultural propicia esas cifras y, a menudo, no disponen de anticonceptivos.

Además, tenemos que entender que la pobreza, la degradación ambiental y las tasas de fertilidad altas se siguen una a la otra en un círculo vicioso (Figura 1.7).

Todas estas consideraciones apuntan al hecho de que no es el desarrollo económico en si mismo lo que disminuye las tasas de fertilidad, sino que ocurre en la medida en que el desarrollo brinde (1) seguridad en la vejez aparte de las contribuciones de los hijos; (2) cifras menores de mortalidad infantil; (3) educación obligatoria para los niños; (4) oportunidades de educación superior y empleo a las mujeres; y (5) acceso irrestricto a los anticonceptivos.

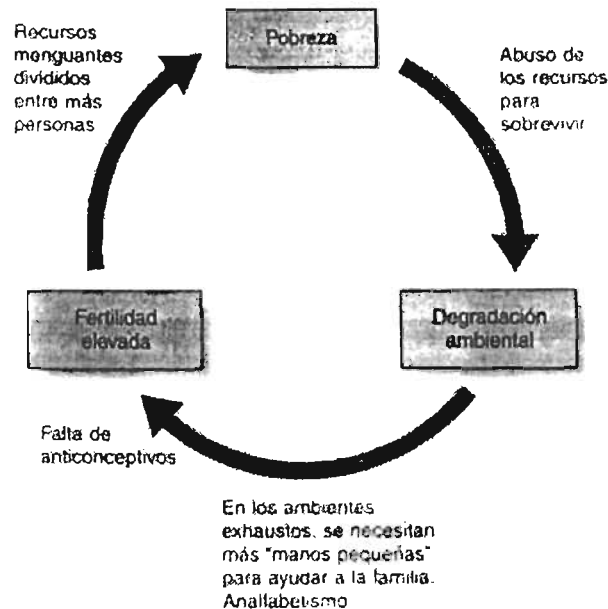


Figura 1.7. Pobreza, degradación ambiental y tasas elevadas de fertilidad se anudan en un círculo vicioso que se perpetúa.

Una nueva dirección para el desarrollo

Para romper el ciclo de pobreza, elevada fertilidad y degradación ambiental, hay que esforzarse a favor de los pobres con énfasis particular en lo siguiente:

1. Educación. En particular, aumentar la alfabetización e instruir a las niñas y mujeres al igual que a los niños y los hombres.
2. Mejoramiento de la salud. Sobre todo, disminuir la mortalidad infantil.
3. Disponibilidad de anticonceptivos.
4. Aumento de los ingresos.
5. Mejorar la administración de los recursos (revertir la degradación ambiental).

Los cinco componentes que acabamos de describir dependen y se respaldan unos a otros. Por ejemplo, mejorar la salud y la nutrición aumenta la productividad económica, aumentar la productividad económica permite obtener una mejor educación y ésta, a su vez, conduce a retrasar el matrimonio y a desear menos hijos. La disponibilidad de los servicios de planificación familiar es esencial para hacer realidad el deseo de los padres

de tener menos hijos. En suma, todos los componentes operan juntos y en armonía para aliviar las condiciones de pobreza, revertir la degradación ambiental y estabilizar la población (Figura 1.8). En cambio, la falta de alguno de ellos —en especial los servicios de planificación familiar— minará la capacidad de alcanzar los otros.

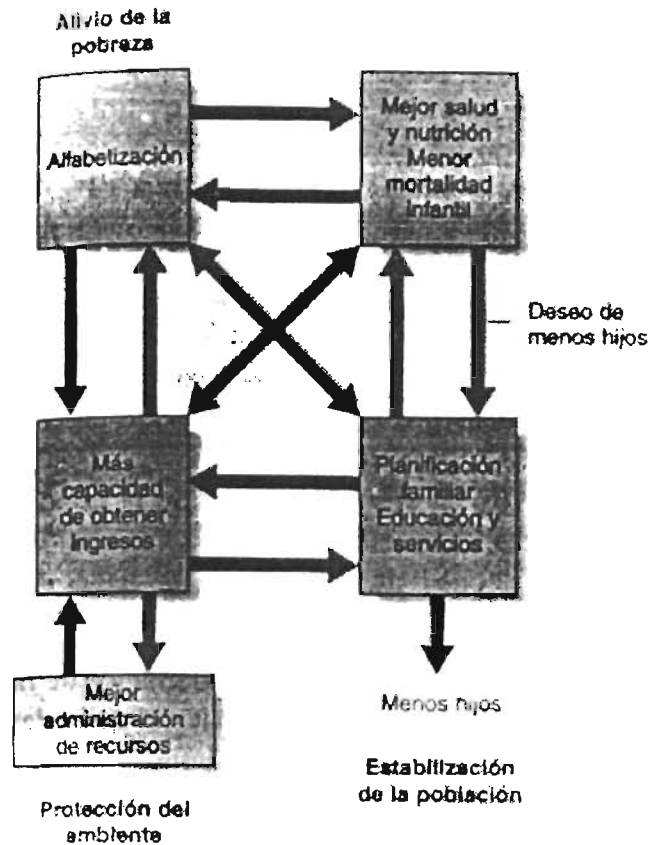


Figura 1.8. Los cinco aspectos principales del aumento de asistencia social de los pobres se apoyan mutuamente y dependen uno del otro como se ilustra. Si falta cualquiera, se mina el éxito de los demás. Juntos, crean un "paquete" integrado que no sólo mejora las posibilidades de vida de la población, sino que también disminuye la fertilidad y protege el entorno. Todo el sistema contribuye a la sustentación.

CAPITULO II

La ingeniería y su medio

2. LA INGENIERIA Y SU MEDIO

2.1 Influencia de las obras de ingeniería en el ambiente.

La ingeniería que realiza el hombre para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales en la satisfacción de sus necesidades y en la solución de problemas produce efectos adversos al ambiente. Por ejemplo, la generación de energía eléctrica mediante termoeléctricas, el abastecimiento de agua, el desalojo de aguas residuales, la irrigación, el drenaje y el alcantarillado, tienen como objetivo fundamental utilizar y manejar el agua para protección del hombre y el sostenimiento de sus actividades. Aunque dichas obras son proyectadas para beneficio de la sociedad, se generan impactos negativos al ambiente como la deforestación, el cambio del régimen hidráulico de las corrientes, áreas no restituidas utilizadas como banco de materiales durante la construcción, disposición inadecuada de desechos, modificación en el flujo de las aguas subterráneas, desaparición de ecosistemas, cambios en la estructura social, etcétera. Junto a la construcción de asentamientos el hombre desarrolla sistemas de transporte adecuados a la reorganización de los ecosistemas: caminos, carreteras, ferrocarril, aeropuertos, puertos, entre otros. Las obras para la navegación marítima y fluvial influyen en la calidad del agua. En la etapa de construcción de una obra fluvial destinada a la navegación, como muelles, muros de contención y las obras destinadas al acondicionamiento de los cauces para la navegación, las perturbaciones del régimen de los ríos y la remoción de material de las márgenes y el fondo de los cauces, produce el desprendimiento de partículas que pasan a formar parte de la corriente en forma de sólidos suspendidos o disueltos.

Las obras de edificación comprenden las construcciones destinadas a habitaciones, establecimientos comerciales, fábricas, escuelas, lugares de reunión, bodegas, etc. Las obras mencionadas son complejas e involucran a todos los campos de la actividad de la ingeniería civil. Dependiendo de la magnitud de la edificación y del fin al que se destine, pueden presentarse magnitudes de efectos directos e indirectos de la obra con el ambiente. Por ejemplo, construir una casa habitación en una ciudad no tiene el mismo efecto que construir un enorme edificio. Si se construye una casa en un bosque los efectos son más significativos que en la ciudad, aunque quizá los efectos sigan siendo muy leves. La situación cambia cuando se trata de un conjunto habitacional. Este aspecto no debe olvidarse si se desea evaluar objetivamente el impacto de una obra en particular. Por lo que se puede hablar que existe un impacto ambiental conocido que generan las obras de ingeniería civil, a saber:

a) Construcción de una presa. Se disminuye la aportación de agua a las zonas bajas y se favorece la pérdida sustancial del recurso por evaporación e infiltración, lo que tiene repercusiones en el clima y niveles freáticos de la zona. En el área de inundación desaparece el ecosistema terrestre y el ecosistema acuático se puede eutroficar debido a la descomposición de materia orgánica presente a causa de no desmontar el área a inundar o por la entrada de agua con exceso de materia orgánica y nutrientes. Durante su construcción puede favorecerse la pérdida de tierras productivas, se alteran los

patrones culturales y económicos de los pobladores al tener que ser reubicados en sitios diferentes al que pertenecen.

b) Obras de abastecimiento de agua. Se puede presentar la inadecuada explotación del agua, lo que conduce a problemas de afectación de cuencas, abatimiento de los niveles freáticos e intrusión salina. Debido al deficiente o nulo tratamiento de las aguas residuales así como a su disposición inadecuada se afecta la calidad de los cuerpos receptores, y por ende de las comunidades acuáticas y terrestres que de él dependen.

c) Obras de irrigación y drenaje. Durante la operación de obras de irrigación y drenaje de terrenos puede también degradarse la calidad de los cuerpos receptores, debido a que las aguas de retorno agrícola son vertidas con elevadas concentraciones de sales y agroquímicos.

d) Construcción de un relleno sanitario. Los impactos ambientales que sufre el medio a través del desarrollo de las tres etapas de un relleno sanitario son de diferentes características y, tal vez, lo más relevante y que trasciende mayormente son aquellas que se producen en la etapa de operación y construcción del relleno. Los efectos de los variados impactos pueden verse incrementado o disminuidos por las condiciones climáticas del lugar y por el tamaño de la obra. Durante la etapa de habilitación se pueden presentar los siguientes impactos:

- Movimiento de la capa superficial del suelo.
- Intercepción y desviación de escurrimientos superficiales de agua de lluvia.
- Interferencia al tránsito.
- Alteración de la permeabilidad del terreno.
- Alteración del paisaje.
- Actividades propias de una obra civil: ruido, polvo, tránsito y movimiento de maquinaria pesada.

Durante la etapa de operación y construcción del relleno se presenta lo siguiente:

- Incremento del tránsito vehicular.
- Contaminación atmosférica por olores, ruidos, partículas y biogás.
- Contaminación del agua por la percolación de lixiviados.
- Contaminación y alteración del suelo por la acumulación de residuos sólidos y por la extracción de material de cobertura.
- Impacto paisajístico por el cambio de la topografía del terreno y la modificación de la actividad del área.
- Impacto social por la creación de empleos.

Durante la etapa de clausura se causa:

- Impacto paisajístico por la recuperación de vegetación y fauna
- Impacto social por la integración del área a la comunidad y la extinción de empleos.

e) Construcción de una carretera. Se presentan modificaciones durante la construcción y operación de una carretera que afectan el equilibrio natural en la zona. Los proyectos de carreteras tienen efectos sobre el ambiente físico (hidrología, edafología y microclima), biológico (vegetación y fauna) y socioeconómico.

f) Construcción de un aeropuerto. Los impactos en la calidad del agua son causados por el escurrimiento superficial en las áreas pavimentadas debido a las pistas, plataforma de operaciones, edificio terminal y estacionamiento. Adicionalmente, los proyectos de aeropuertos generan requerimientos de agua potable y de descarga de aguas residuales. Los cambios de topografía, cobertura y composición del suelo en la vecindad del sitio aeroportuario, pueden causar efectos en las corrientes y disminución de la recarga de acuíferos. La población con vecindad a las terminales aéreas reciente molestias y exposición severa y prolongada a elevados niveles de ruido.

g) Construcción de un puerto. Los materiales y desechos de construcción pueden alterar la calidad de las aguas marítimas en el sitio de la construcción. Fallas en el diseño o construcción de alguna de las obras portuarias pueden propiciar erosión en las costas e incremento de la turbiedad del agua. La construcción y operación de los puertos marítimos incide de manera directa en las zonas litorales. Su localización afecta los componentes del ecosistema acuático. Las descargas de aguas residuales y las emisiones atmosféricas pueden ocasionar la alteración del uso del suelo en las zonas aledañas.

h) Construcción de una obra de edificación. Además del desmonte, el proyecto puede requerir de excavaciones y rellenos o terraplenes. La configuración superficial cambia notablemente y los patrones hidrológicos y geohidrológicos son alterados. Son necesarios servicios como accesos carreteros, abastecimiento de agua potable, alcantarillado, electrificación, entre otros. La fauna salvaje emigra y si no son buenas las condiciones sanitarias se establecerá en el lugar fauna nociva. En los últimos años la mayor destrucción de bosques en las montañas que rodean a las ciudades no han sido por el uso del recurso forestal o forrajero, sino por la ocupación urbana de sus laderas.

2.2 Fenómenos demográficos y tendencias de crecimiento

En los últimos cuarenta años se han gestado algunos de los más grandes y acelerados cambios en la historia de la humanidad. La población mundial pasó de 2 515 a 5 292 millones; un promedio de casi 70 millones anuales (Worldwatch, 1990). Poco más del 90% de este crecimiento ocurre en los países en desarrollo. En palabras del PNUMA-ORPALC (1990) esto significa que la población que se sumó al planeta en este periodo, es equivalente al total de personas que lo habían habitado desde la aparición del *homo sapiens*. Este crecimiento demográfico estuvo asociado a una expansión de la producción de bienes y servicios. En sólo una generación la producción económica mundial aumentó en más de 400% (PNUMA-ORPALC). Resultados de otros estudios (CMMAD, 1987) indican que en 1950 se fabricaba sólo una séptima parte de los bienes

y se extraía apenas un tercio de los minerales que se producen en la actualidad. La producción industrial creció rápidamente entre 1950 y 1973, pues registró un incremento de 7% anual en la manufactura y de 5% en la minería. Aunque en épocas recientes esta tendencia disminuye en estos dos rubros, en comparación con otros sectores de la economía.

Estas colosales transformaciones ocurrieron a costa de un consumo enorme de energía y de la correspondiente extracción de recursos naturales en el sur. De ahí que la magnitud de los cambios haya implicado un costo mucho más alto para los países de esta región, puesto que son ellos los poseedores de la mayor parte de los recursos existentes. Se estima que 40 000 infantes mueren a diario en el tercer mundo como resultado de severas deficiencias nutricionales y enfermedades infecciosas (Worldwatch, 1990). Por su parte un estudio de la FAO reporta que en 1980 cerca de 500 millones de habitantes de los países en desarrollo 16.7% estaban gravemente desnutridos (FAO, 1984). Una tercera parte de la población de estos países (1 200 millones de personas) viven por debajo del mínimo de 370 dólares per cápita. Esto es con menos de un dólar por día (PNUMA, 1991).

Los problemas ambientales son distintos en los países desarrollados y en los subdesarrollados. Mientras que en los primeros, la degradación del medio es consecuencia de un conjunto de problemas vinculados con el exceso de consumo y el derroche, en los segundos es un resultado de las condiciones de escasez (CEPAL, 1991). En América Latina la pobreza es causa y efecto del deterioro del medio ambiente local; pero el progreso de los países industrializados se ha basado en la deforestación y en la explotación depredadora de los recursos naturales del sur (Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina y el Caribe, 1991). Esta Comisión, en su reporte titulado Nuestro futuro común (Informe Brundtland) señala en sus puntos 17 y 18 que: En los últimos decenios las preocupaciones por los factores ambientales que amenazan la vida han surgido en los países en desarrollo. Los campos sufren la presión de un número cada vez mayor de agricultores y de gente sin tierra. Las ciudades se llenan de gente, automóviles y fábricas; por lo que estos países deben evolucionar en un mundo donde la diferencia de recursos entre los países en desarrollo y los países industriales aumenta. Esta desigualdad es el principal problema ambiental del planeta y su principal problema de desarrollo.

Las relaciones económicas internacionales plantean un problema especial a la gestión del ambiente en países en desarrollo. La agricultura, la silvicultura, la producción de energía y la minería generan por lo menos la mitad del producto interno bruto de los países en desarrollo y representan una proporción aún mayor del sustento y el empleo. La exportación de recursos naturales sigue siendo un factor importante de sus economías, especialmente en los países menos desarrollados. La mayoría de estos países se enfrentan a presiones nacionales e internacionales que los llevan a explotar en exceso los recursos del medio. Los bajos precios internacionales de las materias primas, las barreras comerciales, las catástrofes naturales, la adopción de patrones tecnológicos inapropiados; así como los efectos de la deuda externa y el rezago acumulado provocan que se exploten irracionalmente los recursos para satisfacer obligaciones financieras internacionales. Por lo que el tercer mundo se ha convertido

en un exportador neto de capitales. La ayuda de las naciones donantes ha sido inadecuada en escala y ha reflejado que las prioridades de las naciones que brindan ayuda y no son las necesidades de los países receptores (CMMAD, 1987).

Strahm y Oswald (1990). Mencionan que el ecosistema original de la Tierra se encuentra al borde del colapso debido a la destrucción de grandes extensiones de bosques tropicales húmedos, en porcentajes que varían de 72% en África del Oeste y del Este, hasta 37% en América Central y del Sur. Esta situación ha sido ocasionada por la demanda de los países industrializados de maderas preciosas. Cerca del 40% de los recursos naturales del mundo son utilizados por los países en vías de desarrollo para autoconsumo. El 23% de la contaminación global proviene del uso de tecnologías obsoletas e inadecuadas que compran y utilizan estos países, el 77% restante por los procesos industriales de los seis países más desarrollados (Inglaterra, Estados Unidos, Japón y Canadá; de la Garza, 1991). Las estimaciones sobre el número de especies vivas sobre la Tierra oscilan entre 5 y 80 millones, de las que sólo 1.4 millones han sido descritas. Aunque no se conoce con precisión el número de especies desaparecidas, los expertos afirman que aproximadamente 25% de la diversidad biológica del planeta está en peligro de extinción (PNUMA, 1991).

Lo anterior representa el asimétrico marco donde se expresan los problemas ambientales globales. Un marco que no puede reducirse a consideraciones de carácter ecológico. Los problemas del medio biofísico se encuentran de manera inexorable conectados con las condiciones políticas, económicas sociales y culturales y con sus determinaciones históricas. Comprender esta intrincada red de relaciones constituye un requisito indispensable cuando existe el propósito de intervenir en ella desde la visión del sur. De otro modo no puede explicarse la resistencia y respuestas que presentan los países industrializados ante problemas de magnitud planetaria, tales como la destrucción de la capa estratosférica de ozono, el cambio climático, la lluvia ácida, la modificación de la química atmosférica, la contaminación oceánica, la pérdida de la biodiversidad y la desertificación, pretendiendo evadir su mayor responsabilidad.

El hombre en países desarrollados consume al año la energía equivalente a la generada por 1.5 ton de carbón en promedio, y en países en desarrollo el equivalente a 0.75 ton. Estas son las proporciones de la desigualdad entre dos mundos que derivan en una correspondiente calidad de vida. Se cuenta con sistemas para medir el adelanto económico pero no para medir el agotamiento de los recursos o capital natural. Desde la década de los cincuenta, el mundo ha perdido cerca del 20% de sus tierras de cultivo, 20% de sus selvas tropicales y decenas de miles de especies animales y vegetales (Worldwatch, 1990). Cada año 6 millones de ha de tierra productiva se convierten en desierto y se destruyen más de 11 millones de hectáreas de bosques, cuya superficie se convierte en tierra para cultivo de calidad inferior, incapaz de alimentar a los agricultores que las cultivan. El empobrecimiento de los recursos locales puede arruinar regiones más allá de las fronteras nacionales. Estas pérdidas se localizan en los países en desarrollo con consecuencias de dimensión planetaria. El consumo de alimentos por persona en África y en América Latina ha disminuido, lo que confirma la existencia de un círculo vicioso entre la degradación del ambiente y la intensificación de la pobreza (Worldwatch 1990: 5-9).

América Latina ha sido una de las regiones más afectadas, donde se generan profundas transformaciones de diversa índole. Algunos países cambiaron en los últimos cuarenta años su condición de eminentemente rurales a urbanos hasta aquellos que revirtieron de manera sustancial las tendencias observadas en la primera mitad del siglo XX, resultado de: golpes militares, conflictos armados y la agudización de los problemas económicos. La Oficina Regional para América Latina y el Caribe (ORPALC) del PNUMA (1990) indica que el crecimiento acelerado de la población y de la economía han ocasionado: i) la concentración urbana de la población, ii) el desarrollo de una agricultura intensiva, iii) el progreso de la salud pública, iv) el adelanto de los sistemas de comunicación y transporte, v) la integración económica, vi) el crecimiento exponencial de la industria, vii) la incorporación al ambiente de nuevos compuestos químicos para aplicaciones agrícolas, industriales y domésticas (muchos de ellos prohibidos en los países industrializados), y viii) la generación de desperdicios a escala masiva. La población de la región se ha triplicado entre 1950 y 1989, creciendo de 125 a 380 millones de habitantes. Durante ese mismo lapso, el PNB se elevó de 100 a 700 mil millones de dólares y el consumo total de energía de 50 a 250 millones de toneladas equivalentes de petróleo. Se logró un progreso que se reflejó en los indicadores de salud, educación, esperanza de vida e ingreso per cápita que fue tan desigual que se puede hablar de dos extremos. Las clases alta y media de carácter urbano con elevados niveles de consumo, y las masas en las áreas rurales empobrecidas que generaron movimientos migratorios hacia las ciudades provocando un proceso de urbanización precipitado y caótico. La depauperación de amplios segmentos sociales y de pueblos enteros se ha trasladado a la naturaleza.

Vastas extensiones de antiguamente tierras ricas se han visto sometidas a un creciente empobrecimiento, resultado de la acelerada extracción de los recursos naturales. Esta situación genera un proceso de subdesarrollo sostenido. La contradicción irresoluble entre la racionalidad de la economía de mercado y un uso ecológicamente adecuado de los recursos naturales y del ambiente, es una tarea de las futuras generaciones. La desigual distribución de la riqueza generada por la transformación de los recursos naturales se conjuga con el empleo irracional de estos. Son los casos de la cantidad enorme de energía y materiales dedicada al desarrollo y mantenimiento de un sistema de transporte basado en el automóvil, que beneficia a menos del 10% de la población regional; así como recursos naturales con gran valor potencial que se sacrifican para obtener beneficios a corto plazo mediante estrategias ineficientes debido a las condiciones del mercado o limitantes ecológicas, como la ganadería extensiva. A principios de los años ochenta, la superficie estimada de tierras en proceso moderado o grave de desertificación era de 2.08 millones de km², 10% de la superficie total de la región. Se calculaba que los ritmos de deforestación en Costa Rica y Paraguay eran del 4% anual; que en El Salvador, Nicaragua, Ecuador y Guatemala estaban entre el 2% y el 3% anual; en Colombia y México entre el 1% y el 2% en Panamá, Belice, Brasil, Perú, Venezuela, Bolivia y las Guyanas, cerca del 1% anual. Las dimensiones de estos porcentajes en Brasil significan 1 480 000 ha desforestadas por año; en Colombia 820 000 ha y en México 595 000 ha. Esta actividad tuvo consecuencias directas en la desaparición de la flora y la fauna de manera definitiva, afectando la posibilidad de regeneración de los ecosistemas.

El crecimiento económico de América Latina en la década de los setenta se facilitó por los préstamos externos. Los bancos comerciales con excedentes financieros concedían sin muchos requisitos empréstitos a los países de la región que fueran ricos en recursos naturales. Pero al cambiar las condiciones internacionales del dinero, aumentaron las tasas mundiales de los intereses a niveles, se restringió el acceso a los mercados de exportación, se dejaron de conceder préstamos y devino una fuga de capitales internos. Ello hizo insostenible el problema de la deuda. Se adoptaron políticas de austeridad para disminuir importaciones. La contracción económica resultante redujo el PIB per cápita en un promedio de 8% en los principales países latinoamericanos. Disminuyeron los salarios y aumentó el desempleo. Los ingresos por exportación sirvieron para pagar los intereses de la deuda externa. Fácilmente puede inferirse el impacto ambiental que esta crisis económica produjo, al tenerse que presionar excesivamente los ecosistemas para responder a las exigencias del agiotismo internacional (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1987). La paradoja es profunda: una región que no tiene limitaciones en sus sistemas naturales que le impidan la satisfacción de las necesidades de sus pobladores, que dispone de una base educativa, cultural y tecnológica incipiente, y que ha logrado avances democráticos, está involucrada en un proceso de deterioro social y ambiental (PNUMA-ECI-MOPU, 1990).

En el caso de México concurren un conjunto de fenómenos que otorgan una particularidad que no puede soslayarse con respecto a lo que ocurre en América Latina. Su vecindad con la economía más poderosa del planeta determina características que han acelerado procesos o les ha dado una cierta especificidad. Los problemas ambientales se concentran en las grandes zonas urbanas (ciudad de México, Guadalajara y Monterrey), en las conurbaciones con un alto grado de producción industrial (Naucalpan-Tlalnepantla, Coatzacoalcos-Minatitlán, etc.) y en los ecosistemas convergentes (cuencas: Pánuco-Lerma-Santiago, San Juan, Balsas, Blanco, Papaloapan, Coatzacoalcos, etc.). Existe otro punto de vista que afirma que los principales problemas ambientales del país se localizan en las áreas rurales y ya han comenzado a manifestar consecuencias de orden superior. En términos de migración, se conoce que más de tres millones de indocumentados que regularizaron su situación migratoria en Estados Unidos, entre 1987 y 1988, son originarios de México el 74.9% (OCDE, 1991).

Según datos reportados por PRONASOL en México existen 17 millones de personas que viven en la pobreza extrema; que en su mayoría son habitantes rurales de zonas áridas, semiáridas o comunidades indígenas, con condiciones de vida muy precarias. Se trata de familias compuestas por cinco o más miembros, analfabetas o con algunos años de primaria. Su esperanza de vida es menor que la del resto de la población y presentan una mortalidad infantil mayor; carecen de los servicios públicos elementales, su alimentación es muy deficiente y la desnutrición es permanente. A estos 17 millones se suman los 24 millones calificados como pobres, a los cuales se les conceptualiza como aquellos que apenas pueden cubrir sus necesidades elementales y destinan la mayor parte de sus ingresos a la alimentación. La gran parte de los municipios con mayor marginación se encuentra en siete estados: Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Hidalgo, Zacatecas, Puebla y Veracruz. (Gaceta UNAM, 1991).

Durante la primera década del siglo XX, la ciudad de México creció a una tasa del 2.5 %, con 471,000 habitantes en 1910. La ciudad se expandió más allá de su núcleo colonial. Aunque en la capital vivía solamente el 3% de la población del país, en ella se encontraba una quinta parte de los médicos y abogados, una cuarta parte de sus publicaciones periódicas y casi la mitad de sus sociedades científicas y literarias. Hacia 1940 se consolida la tendencia de altas tasas de urbanización y de expansión de la Ciudad de México como principal centro urbano, y de Monterrey y Guadalajara como los dos centros regionales más importantes del país. Durante los años 80, las delegaciones y los municipios recién incorporados a la ciudad de México (Milpa Alta, Tláhuac, Cuajimalpa y Tlalpan, Los Reyes, Chalco e Iztapaluca) incrementaron su crecimiento demográfico, aunque la población del Distrito Federal decreció. Según el Programa Nacional de Población 1995-2000, entre 1985 y 1990 arribaron al Distrito Federal cerca de 335 mil personas de otros estados mientras que la abandonaron más de un millón de capitalinos. Hoy es la ciudad más densamente poblada del mundo, sus límites demográficos ya no corresponden a las demarcaciones políticas. Cada día más pobladores invaden terrenos ejidales y parques nacionales (Sierra de Guadalupe, Desierto de los leones). Los altos precios de los predios promisoriamente residenciales incitan al fraccionamiento urbano. A mayor población mayor demanda de servicios, mayores oportunidades de negocio y empleo subterráneo. Hay una tendencia a regularizar esos asentamientos, lo que se convierte en una invitación a ampliar sus fronteras.

Se piensa que los problemas ambientales no radican en las ciudades, ya que por ambiente se concibe a las áreas naturales y que los problemas radican en la pérdida de especies y contaminación de agua, suelo y aire. Se olvida la dimensión social y que la sociedad se está volviendo urbana, por lo que las áreas verdes son bienes de la naturaleza. El ambiente incluye aspectos naturales, tecnológicos, sociales, económicos, políticos, morales, culturales, históricos y estéticos que se manifiestan en las ciudades. El proceso de urbanización implica modificación del paisaje, nuevas relaciones culturales, económicas, sociales, cambio en los hábitos alimenticios, higiénicos y de consumo.

La urbanización y el desarrollo se relacionan por factores demográficos, económicos y culturales, que dan por resultado una multiplicación de los centros de concentración y aumento de la población urbana. El mayor dinamismo económico ha coincidido en el tiempo y en el espacio con los procesos más intensos de urbanización. La sustitución de importaciones conduce a la concentración de la industria en la cercanía de sus mercados, las áreas metropolitanas. El proceso de concentración económica y de aglomeración demográfica se refuerza bajo condiciones de un mercado cerrado. En una economía cerrada, la minimización de costos de transporte promueve que las actividades productivas tiendan a ubicarse en el sitio de consumo.

La corriente migratoria y las presiones demográficas del crecimiento de las ciudades desembocan en una expansión desordenada de las ciudades, mediante el proceso: invasión, regularización y dotación de servicios. En el que intervienen procesos políticos clientelares y se generan impactos ambientales que afectan zonas ecológicas sensibles (zonas de alto valor ecológico y zonas de recarga de acuíferos). Las

ciudades ven limitada su capacidad de influencia por su proceso de crecimiento; éste se da en tierras de núcleos agrarios sobre los que pesa una dinámica política y jurídica ajena a la institucionalidad urbana. A la par de la urbanización irregular, el proceso formal de urbanización se orienta a formar espacios urbanos unifuncionales y segregados de baja densidad. Existe un abandono de las áreas consolidadas y una expansión de las zonas metropolitanas. Pierden población y densidad los centros históricos y se transforman los usos del suelo; se experimenta así una degradación urbana que estimula el crecimiento de la periferia. Como resultado se expanden las actividades urbanas, aumenta la demanda de transporte y el consumo de combustibles. Además, se subutiliza la infraestructura urbana construida y se amplían las redes de servicios.

En la ciudad, la definición de lo ambiental se vuelve compleja y polémica ya que los elementos considerados como ambientales (aire, vegetación, fauna, áreas verdes, recarga hidrológica, desechos, etcétera), sólo pueden entenderse dentro de los elementos y procesos metropolitanos (transporte, servicios públicos, usos del suelo, vivienda, distribución de alimentos, política fiscal, patrimonio histórico, infraestructura, etcétera). Las prioridades, preferencias y dimensiones relativas de cada elemento ambiental cambian continuamente, correlacionándose con la estructura de ingresos de la población y de costos de oportunidad.

Uno de los mayores problemas que tiene el mundo es la sobrepoblación, lo que provoca que cada día se acreciente el desequilibrio ecológico, entre el hombre y las demás especies que habitan en nuestro planeta. El aumento de la población humana, ha provocado numerosos problemas como: i) Crecimiento desmedido de las ciudades, causando la destrucción de bosques y de campos agrícolas y ganaderos; y ii) El agotamiento de recursos naturales, debido a la sobre explotación, sobre todo los energéticos como el petróleo, el gas natural y el carbón mineral. Las principales causas del incremento demográfico actual son: i) Los avances científicos y tecnológicos han influido en el descenso de la tasa de mortalidad. ii) Los factores socioeconómicos han favorecido al aumento de la población. La humanidad ha conquistado mejores niveles de vida en todos los órdenes. iii) Los factores socioculturales han determinado la explosión demográfica. El desarrollo de los medios masivos de comunicación (radio, cine y televisión) han propiciado la difusión de la cultura.

Actualmente las personas practican el control de la natalidad. Los gobiernos invierten dinero, tiempo y esfuerzo para establecer campañas de control de la natalidad. Los habitantes del mundo sufren desequilibrio social y tensiones debido al problema que presenta la explosión demográfica, ya que hay verdaderas crisis por falta de alimento, energía y todos los servicios. Por ejemplo, en México, el aumento de la población ha ocasionado: i) falta de cupo en las escuelas; ii) desempleo, el cual se incrementa; iii) la población se emplea como obreros mal pagados y vive en zonas de miseria; iv) la insuficiencia de servicios públicos; y v) la disminución de recursos no renovables y de espacio disponible por habitante. El problema se agudiza cuando la producción y consumo satisfactorios se relacionan con el la meta de elevar el nivel de vida de la población, pues todo incremento en la producción y distribución de bienes de consumo resulta insuficiente. Por lo que aunque una obra se proyecta a futuro, al poco tiempo de

concluirse, resulta insuficiente su capacidad de servicio. La explosión demográfica es "un pozo sin fondo", por lo que para resolverlo es necesaria la colaboración de todos los sectores de la población.

Para conocer las características de la población de una región se realiza un censo. Permiten conocer el número de habitantes, aportan datos como: sexo, edad, ocupación, estudios, porcentaje de nacionales y extranjeros, población económicamente activa, población analfabeta, sueldos, edad, como se distribuye la ocupación de la población de acuerdo con las actividades productivas. En México, las entidades federativas que registran el mayor monto poblacional son:

Estado de México	10.7 millones de habitantes.
Distrito Federal	8.3 millones de habitantes.
Veracruz	6.4 millones de habitantes.
Jalisco	5.7 millones de habitantes.

Estas entidades dan residencia a 36.3 % de población total del país. Las entidades federativas que registran menor monto poblacional son:

Quintana Roo	577 mil habitantes.
Campeche	569 mil habitantes.
Colima	459 mil habitantes.
Baja California Sur	352 mil habitantes.

En estas entidades federativas reside únicamente el 2.3% de la población total del país. La población económicamente activa es del 51.2%; de la cual son hombres el 75.8% y mujeres el 28.4% del país.

Debido a que para elevar el nivel de vida hay que invertir valores, ingresos, trabajo, esfuerzo y mano de obra, una parte de la población debe dedicarse a la producción de alimentos, otra a la edificación de viviendas y otra a la construcción de centrales eléctricas, fábricas, escuelas, centros culturales y recreativos y sistemas de transporte. Estas personas pueden elevar su nivel de vida, pero algunos otros no tienen la oportunidad de mejorar, ya sea por su condición social o educación. Los países en desarrollo tienen dos posibilidades para evitar el dolor humano que representa el hambre, la ignorancia, miseria, el desasosiego, etc., y puede producir una lucha por la subsistencia; esas dos posibilidades son: i) Aumentar rápidamente la producción de alimentos, empleando métodos modernos de agricultura, ganadería y pesca mediante la inversión de capitales para la conservación y transformación de industrias y la reeducación de campesinos y obreros para que abandonen las prácticas de antaño y adopten dichos métodos; y ii) Limitar el número de hijos para equilibrar el crecimiento demográfico y elevar la calidad de vida mejorando las condiciones de vida. De esta manera se equilibrará la población, el abasto de alimentos y los servicios públicos.

2.3 Políticas de desarrollo. Urbanización. Industrialización. integración regional.

Todos los seres humanos compartimos una serie de necesidades como la alimentación, el vestido y la habitación; como los hombres somos diferentes y vivimos ambientes distintos, difieren también las formas de satisfacer sus necesidades. Los hombres buscan satisfacer sus necesidades, pero no siempre le es fácil hacerlo. El hombre emplea herramientas, utensilios o máquinas para conseguir sus satisfactores; esto se debe a que cada colectividad inventa instrumentos que le facilitan el trabajo. Así, las colectividades crean técnicas que les realizan su trabajo de acuerdo con los recursos de su localidad y según el medio en que viven. Cuando un grupo humano necesita de un mayor número de satisfactores; y si los recursos naturales escasean, el hombre busca la forma de producir dichos satisfactores en grandes cantidades. Ante la imposibilidad de subsistir aislados, se han desarrollado maneras de convivencia, que han dado lugar a relaciones sociales y han creado instituciones que satisfacen estas necesidades. El hombre ha modificado su ambiente construyendo ciudades que con el tiempo se han transformado.

FACTORES DEL MEDIO		
FISICOS	SOCIALES	CULTURALES
suelo	ciudades	escuelas
montañas	construcciones	universidades
ríos	comunicaciones	bibliotecas
clima	vías férreas	cines
flora	presas	iglesias
fauna	industrias	teatros
situación	carreteras	museos
longitud	hospitales	monumentos
latitud		arqueológicos
altitud		

Las diferentes escalas en que pueden ser abordados los problemas del desarrollo urbano, se han establecido de acuerdo a su alcance y complejidad tecnológica, pueden relacionarse con diferentes sistemas y con diferentes niveles gubernamentales. El sistema regional se define como un conjunto de actividades interrelacionadas, ejecutadas dentro de los límites físicos de una región, en que el nivel de esas actividades está determinado. Las siguientes son categorías de actividades, cada una de las cuales corresponden a un sistema específico: local, regional, nacional e internacional: i) Actividades locales que parten de un sistema local (gobierno municipal, transportes domésticos, habitación, etc.); ii) Actividades regionales que son parte de un sistema regional (gobierno estatal, ciertos servicios hospitalarios especializados, transportes intraregionales; la producción de ciertos productos, etc.); iii) Actividades nacionales que son parte de un sistema nacional (secretarías de estado, servicios sociales nacionales, transportes interregionales, industrias pesadas, etc.); y iv) Actividades internacionales que son parte de un sistema internacional (producción de bienes exportables y de productos de importación de esos productos).

Los programas gubernamentales afectan directa o indirectamente el crecimiento urbano, tanto en el presente como en el futuro. Los recursos financieros principales se

pueden utilizar en los proyectos de dependencias gubernamentales para que establezcan sus respectivos programas. De esta manera, los proyectos de desarrollo urbano cubren un amplio campo de las actividades ejecutivas del gobierno. Pueden referirse a modificación y mejora de sistemas urbanos existentes o a nuevos sistemas. Pueden ser desde un simple proyecto de pavimentación de vías públicas, hasta complejos sistemas urbanos o interurbanos de transporte colectivo. Las inversiones públicas en bienes y servicios públicos pueden responder a dos escalas de preocupaciones: i) Elevar el nivel de vida de la población, mejorando la estructura y funcionamiento de los principales equipamientos urbanos de uso social o colectivo; y ii) Acelerar el proceso de desarrollo urbano, creando las condiciones necesarias para detonar todo un proceso de inversiones privadas en actividades de producción, comercio, construcciones, etc. De tal forma que la ciudad sea más eficiente desde el punto de vista de las opciones que ofrecen a sus habitantes y del apoyo que ofrecen a las actividades que se desarrollan, en el área. En este caso, los proyectos esfuerzos para la creación de infraestructuras diversas, capaces de polarizar o de atraer las inversiones.

Los servicios públicos urbanos o municipales pueden clasificarse en: i) Servicios de infraestructura básica (trazo y apertura de vías públicas, pavimentación y conservación; alcantarillado, instalación y manutención de redes de iluminación pública, etc.); ii) Servicios de utilidad pública (agua, teléfono, energía eléctrica, transporte colectivo, gas y abastecimiento alimenticio); y iii) Servicios sociales (educación, cultura, recreación, salud, seguridad pública, etc.). Los sistemas urbanos pueden interpretarse como un conjunto homogéneo de equipamientos urbanos: comercial, industrial, de servicios, etc. En una escala más limitada pueden interpretarse como conjuntos homogéneos de equipamientos públicos, equipamientos cuya creación y mantenimiento corresponden al nivel de gobierno responsable de ellos. Estos pueden ser: i) Sistema vial, ii) Sistema de abastecimiento de agua, iii) Sistema de alcantarillado; iv) Sistema de recreación; v) Sistema de alumbrado público, vi) Sistema de limpia; vii) Sistema de panteón, viii) Sistema de conservación del ambiente, ix) Sistema de abastecimiento alimenticio, x) Sistema de estacionamiento y xi) Sistema de transporte.

El desarrollo urbano comprende los siguiente puntos: i) expansión progresiva de la capacidad de transporte y comunicaciones hacia zonas más grandes, ii) aumento en el número de interconexiones dentro del sistema, iii) reducción del costo de las unidades de transporte y comunicación, iv) aumento del ingresos per capita; y v) aumento en la velocidad y eficiencia de los sistemas de transporte y comunicaciones. Por ejemplo, el proceso de planeación del transporte de una nueva población comprende en general los siguientes pasos: i) Definir metas y objetivos, ii) Estudiar el sitio y la región, iii) Recopilar datos y hacer encuestas. Los aspectos físico a considerar son: la adaptabilidad del terreno, las limitaciones del suelo, la disponibilidad de materiales de construcción y el proyecto de usos del terreno. Los aspectos económicos y sociales a tomar en cuenta son: el comportamiento de los habitantes con respecto al transporte, las tendencias de ingreso, los mercados locales, regionales y nacionales, y la planeación.

Con la industrialización de los años veinte, se propició el aprovechamiento de los recursos biológicos como respuesta al incremento de las demandas de industrialización masiva y por la colectivización de la agricultura, que a su vez promovió el empleo de la ciencia como medio de transformación de la naturaleza en función de las necesidades humanas. La industria tiene gran importancia para los países en vías de desarrollo. En nuestro país han sido los núcleos de urbanización el sector prestador de servicios, consolidando las poblaciones medianas y grandes. El nuevo contexto internacional plantea retos de productividad y protección al ambiente. Esta simbiosis exige rediseñar el módulo de crecimiento en los países industrializados. La sociedad en su conjunto merece elevar su calidad de vida en términos de indicadores de sustentabilidad o ecoeficiencia, que implican el aire y agua limpios, clima benéfico, alimentos no contaminados, posibilidad de disfrutar de la naturaleza, entre otros.

De 1950 a 1970, el consumo de gas aumento 33 veces, el de diesel 8.2, el de lubricantes 40, el de gasolina 4 y el de electricidad casi 7 veces, al tiempo que la cantidad de vehículos automotores de circulación se sextuplicó en ese mismo periodo. Puede afirmarse que los precios bajos de energía y transporte, el sistema de protección externa y de subsidios, la promoción de auto transporte de carga y pasajeros en detrimento del transporte ferroviario, la concentración industrial, y la falta de una política ambiental, incrementaron los índices de contaminación. El periodo de mayor dinamismo industrializador y de la economía mexicana fue en los años sesenta. El crecimiento industrial fue de 8.7 % anual promedio, mayor al 6.9% alcanzado en los años cuarenta. La mayor expansión se dio en los productos metálicos y eléctricos, vehículos y sus accesorios, química, refinación de metales y materiales no metálicos. La estabilidad del tipo de cambio propició el aumento de las importaciones y no incentivó las exportaciones, con lo que fue acumulándose el déficit comercial.

Desde principios de los años setenta se crearon proyectos para desconcentrar la industria. Esta dinámica influyó en el deterioro del ambiente. Hasta 1970 no se aplicó ningún criterio ambiental para el desarrollo de la industria, aunque había indicios de impactos en términos de contaminación atmosférica y generación de desechos. Se estima que entre 1950 y 1960 estos efectos se incrementaron conforme la industria fue recomponiéndose, aumentando la presencia de actividades y tecnologías contaminantes. Las afectaciones ambientales derivadas de la industria eran asumidas como efectos locales. En cuanto al uso de recursos naturales, predominaba la idea de su explotación como fuente inagotable.

Aunque se han señalado algunos de los problemas derivados de la expansión urbana descontrolada que el país ha sufrido en los últimos años, es necesario precisar algunos datos referidos a las tres ciudades más grandes: México, Guadalajara y Monterrey, mismas que por sí solas concentran la tercera parte de la población nacional; producen 40% de los contaminantes emitidos a la atmósfera y generan 34% del total de aguas residuales. El crecimiento demográfico de la zona metropolitana de Guadalajara en los últimos años ha sido tal que cuenta en la actualidad con 3 millones de habitantes, lo que se ha traducido en un incremento en la demanda de energéticos y de transporte. Se estima que la cantidad de vehículos automotores asciende a 700 mil unidades; se reportan más de 23 mil establecimientos industriales, comerciales y de servicios

(industria química, fundición, generación de energía eléctrica y cementera). Los vehículos y los establecimientos comerciales generan 600 mil toneladas anuales de contaminantes; 65% provienen de fuentes móviles y 35% de las fijas.

La ciudad de Guadalajara y sus municipios conurbados han contribuido a la degradación de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, al descargar en ella sus aguas residuales municipales e industriales, así como por las aguas de retorno agrícola. Como una esta fuente adicional de contaminación de dicha cuenca, debe considerarse el corredor industrial Ocotlán-Tequila, con industria de bebidas, ingenios azucareros, alimentos, metalmecánica, papel, textil y hulera. Además de los contaminantes directamente aportados por Guadalajara contribuyen al deterioro ambiental de este sistema hidrológico, la desecación y sobreexplotación del recurso agua en esa cuenca, lo que ha provocado la disminución de los niveles del lago de Chapala. En cuanto a recolección, traslado y disposición final de los residuos sólidos, esta área no cuenta con sistemas adecuados para ello. En la misma situación se hallan las localidades de Ameca, Ocotlán, Puerto Vallarta, Ciudad Guzmán y Lagos de Moreno. Con relación a los residuos peligrosos debe señalarse que gran parte de la entidad carece de confinamientos controlados, contribuyendo a la degradación del suelo (CONADE 1992).

La ciudad de Monterrey pasó de 0.2 a 2.8 millones de habitantes en el período 1940-1989. Circulan en ella más de 450 mil vehículos automotores y la actividad industrial está representada por más de 7 mil instalaciones industriales, entre las cuales destacan: la rama metalmecánica, de maquinaria y equipo; química, hule y plásticos; madera y muebles; alimentos, bebidas y tabacos, y vidrio, cerámica y material para la construcción. Estas industrias generan más de 1 000 toneladas diarias de emisiones a la atmósfera. Como las condiciones meteorológicas son desfavorables para la dispersión de contaminantes, con una actividad industrial de 7 650 empresas, Monterrey está clasificada como zona crítica. Anualmente se producen 800 mil toneladas de contaminantes, de los cuales 51% corresponde a la industria y el 49% al parque vehicular. Dando como resultado una concentración promedio diaria de partículas suspendidas en un rango de 190 a 305 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La cuenca más importante es la del río San Juan que recoge las descargas de aguas residuales municipales e industriales que provienen del área metropolitana de Monterrey y sus municipios conurbados (Apodaca, Guadalupe, Garza García, San Nicolás de los Garza, Escobedo, Santa Catarina, San Pedro, Ciudad Juárez y la localidad de García). En Monterrey se generan aproximadamente 8.2 m^3/seg de aguas residuales, las cuales se emplean, sin tratamiento, para riego agrícola con el consecuente problema de salud pública. Las plantas de tratamiento de aguas residuales abastecen al sector industrial; sin embargo, los lodos biológicos producto de dicho tratamiento son descargados al sistema de alcantarillado, disminuyendo más la calidad final de las aguas residuales. El problema de contaminación por residuos sólidos de la entidad, se agudiza en los nueve municipios conurbados que integran la zona metropolitana de la ciudad de Monterrey. Se estima una generación de 2 120 toneladas diarias de residuos sólidos municipales y 4 500 toneladas diarias de residuos industriales (CONADE, 1992).

La zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM) es un ejemplo de los conflictos que existen entre ambiente y desarrollo urbano, por ser la megalópolis más poblada del mundo con todos los problemas inherentes como la contaminación atmosférica, acumulación de residuos sólidos (municipales e industriales), sobreexplotación del agua y deterioro de su calidad, desabasto de alimentos y energéticos, e insuficiencia de vivienda. El problema de la ciudad de México no son sólo sus dimensiones actuales, sino su crecimiento, toda vez que contaba con 1'642,000 habitantes en 1940 y para 1985, el área metropolitana se calculó en 15'656,000. Los datos permitan estimar: el crecimiento demográfico (4.8%); la expansión de la mancha urbana (5.2%) y el incremento del parque automotor (6%). Lo cual complica la dotación de servicios y el mantenimiento de la calidad del ambiente. Debido a que el crecimiento de la mancha urbana ocurre a costa de suelos de vocación agrícola de la cuenca endorreica del Valle de México se ha degradado la capacidad productiva agropecuaria de la región. La contaminación atmosférica es consecuencia de la concentración urbano-industrial, así como de sus condiciones geográficas y meteorológicas. En ella se localiza 20% del total de establecimientos industriales de la república; 40% de la inversión del sector secundario y 42% de la población económicamente activa. Uno de sus principales problemas es la emisión de contaminantes, 5 millones de toneladas anuales. De estas, 4 millones son causadas por fuentes móviles; 570 mil provienen de la industria y el resto corresponden a fenómenos naturales (SEDUE-PNPMA, 1990-1994).

En la zona metropolitana circulan 3 millones de vehículos que contribuyen con el 80% del total de la contaminación. Emiten monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, hidrocarburos no quemados y partículas contaminantes. Las fuentes fijas (30 mil) se localizan al norte y noroeste de la zona. Las emisiones provienen de las industrias: química, fundición del hierro y acero, textil, de minerales no metálicos, huletera, papelera, alimentos, vidriera, de plásticos, metal-mecánica, asfalto, grasas, y aceites y cementera. La Refinería 18 de Marzo y las termoeléctricas aportaban 37% del total de contaminantes provenientes de fuentes fijas. La evaluación de la contaminación producida por hidrocarburos de origen industrial es difícil, puesto que las emisiones originadas reaccionan con la atmósfera en presencia de luz solar, produciendo ozono. Dichas emisiones provienen de las instalaciones de almacenamiento de combustibles, fabricación y empleo de pinturas, tintas y adhesivos, entre otros. El ozono es el principal contaminante atmosférico en la ciudad de México; se produce por reacciones fotoquímicas a partir de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno. Su concentración rebasa en ciertas zonas y en algunas épocas del año los niveles permisibles que fija la norma de calidad del aire. Las concentraciones más altas de ozono se registran en la zona suroeste de la ciudad.

El nivel de contaminación del aire en la ZMCM varía ostensiblemente; se agudiza durante el invierno, acentúa sus efectos bajo condiciones geográficas y meteorológicas particulares de la región, que dificultan la dispersión de elementos por ausencia de corrientes de aire y por la inversión térmica. El Departamento del Distrito Federal en el Programa General de Reforestación del Valle de México y su Área de Influencia Ecológica (1990-1994) estimó que la calidad del aire de la ZMCM se afecta por altas concentraciones de ozono y partículas suspendidas totales, las cuales rebasan las normas el 72 y 60% de los días al año, respectivamente. La Fundación Universo

Veintiuno (FEV-FES, 1990) considera que las normas de la calidad del aire se rebasan 90% de los días del año. El DDF reconoció en mayo de 1991 que entre 1980 y 1990, el ozono mantuvo un porcentaje de días con excedencias en cualquier zona de la ciudad cercano al 80%, con máximos de más de 300 IMECA. Entre 1989 y 1990, las PST excedieron la norma en cerca de 90% de los días medidos.

De los 30 mil establecimientos industriales en la ZMCM alrededor de 200 industrias se consideran altamente peligrosas. Las cuales deben cumplir con las disposiciones de la legislación de riesgo industrial, que señala la obligatoriedad de delimitar una zona de salvaguardia o amortiguamiento a fin de proteger la población asentada en torno a las zonas industriales. Con respecto a los desechos sólidos los cálculos más confiables indican que diariamente cada hogar del Distrito Federal genera alrededor de 2.2 kg. de basura. El problema de recolección y disposición final es de más de 4 mil toneladas de basura, a la que se le agrega un volumen parecido generado en industrias, hospitales, mercados, vía pública, servicios, etcétera. El material comúnmente hallado en la basura doméstica son los desechos orgánicos. El sistema de abasto de la ciudad conlleva el desperdicio de grandes cantidades de basura, alguna tóxica y peligrosa, que contribuye a la contaminación del suelo y de los mantos acuíferos; así como a deteriorar la calidad del aire. La disposición de los residuos sólidos de la ciudad de México representa 12 mil toneladas de basura por día, una parte no es eliminada a través del sistema de recolección domiciliaria y se tira en sitios clandestinos o en la vía pública, lo cual deriva en la proliferación de fauna nociva.

En cuanto al agua potable, la ciudad cuenta con una compleja red de distribución de más de 13 000 km de tuberías, cuyo problema consiste en las pérdidas de líquido por fugas y por el desperdicio de los consumidores; se calcula en 20% del total del agua que se pierde, suficiente para abastecer a una población de 4 millones de habitantes. Los 19 millones de habitantes de la ciudad de México tienen una demanda de agua potable que se estima entre 66 a 75 m³/seg, la cual supera la disponibilidad de las fuentes locales. Se ha recurrido al aprovisionamiento de agua de fuentes externas, del río Lerma y del Cutzamala, provocando diversos impactos ambientales en las cuencas donde se extrae el líquido. La ciudad cuenta con 13 000 km de alcantarillado sanitario que desalojan el agua residual junto con el agua de lluvia. Esta red saca 40 m³/seg de agua, a través del Tajo de Nochistongo y del Drenaje Profundo. Estas aguas son empleadas para el riego de cultivos en el Estado de Hidalgo, puesto que las 10 plantas de tratamiento existentes reciclan 2m³/seg de agua, los cuales se destinan al riego de prados y jardines. Del agua disponible por la precipitación en la cuenca del Valle de México, 80% (178 m³/seg) se evapora, 11.3% (25 m³/seg) se filtra al subsuelo, 8.7% (19 m³/seg) escurre superficialmente, 3 m³/seg se regulan para su aprovechamiento y el resto se desaloja para evitar inundaciones. Las redes de agua potable y alcantarillado no son suficientes para atender las demandas sanitarias de la población. Esto se manifiesta más álgidamente en los llamados cinturones de miseria, que cuentan apenas con una letrina común para varias familias y, en ocasiones carecen de este servicio. El fecalismo a cielo abierto es otro de los problemas de la ciudad, debido a la gran cantidad de perros callejeros y otros animales domésticos.

La magnitud del área urbana y la intensa vida económica y social de la ciudad, obliga a sus pobladores a transitar enormes distancias para cumplir con sus actividades cotidianas. Se estima que diariamente se realizan 29.5 millones de viajes. En traslados que emplean 2.4 millones de automóviles privados, 57 mil taxis, 69 mil combis y microbuses y 10 500 autobuses, además de la transportación a cargo del Metro, el tren ligero y 450 trolebuses (sólo en el D.F.). A excepción de los últimos tres medios de transporte, su operación produce emisiones contaminantes que se estiman en 76 a 80% del total de partículas y gases en la ciudad. En la zona metropolitana circulan 196 000 camiones movidos por gasolina y otros 60 000 por diesel. Dado que uno de los principales problemas de la ZMCM radica en los altos niveles de contaminación atmosférica (por monóxido de carbono, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, ozono y partículas suspendidas). Se han tomado medidas para corregirlo, las cuales son: i) Programa de verificación obligatoria de emisiones de automóviles, ii) Adición de éter-metil-terbutílico (MTBE) al 5% en la gasolina para mejorar la combustión, iii) Programa Hoy no circula, iv) Sustitución del 80% de combustóleo por gas natural en las centrales termoeléctricas Jorge Luque y Valle de México. Las medidas aplicadas empiezan a dar resultados alentadores, pues la emisión de contaminantes estimada en el año 1988 fue de 4 864 397 y para el año de 1990 fue de 4 356 391; lo que significó una reducción de 500 mil toneladas, una diferencia del 10%. Con base en lo anterior y considerando que durante el periodo 1988-1990 el parque vehicular se incrementó en 250 000 unidades, con lo cual el potencial contaminante de los automotores fue mayor, la disminución de emisiones fue significativa.

Los problemas ambientales mundiales, regionales y nacionales no pueden comprenderse al margen de un conjunto de situaciones multideterminadas y en un determinado marco histórico. El deterioro ecológico y su concomitante deterioro social son resultado de causas complejas, que se mezclan con factores de orden cultural, económico y político, a partir de lo cual se adquieren posibilidades de comprensión. Reducir los problemas a expresiones simplificadas, restringe el alcance y trascendencia de sus soluciones, así como la posibilidad de construir proyectos educativos. Esto ha sido reconocido en distintos foros por el Gobierno mexicano, es claro que el trasfondo de la cuestión ecológica, subyacen decisiones e intereses políticos y económicos que deben ser regulados conforme a derecho. Este es también nuestro punto de partida para proyectar propuestas de educación ambiental.

CAPITULO III

Problemas de la contaminación ambiental

CAPÍTULO 3 PROBLEMAS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

3.1 Definiciones.

Contaminación, a pesar de que se trata de un concepto sujeto a la revisión permanente, los autores coinciden en señalar a ésta como "la situación creada por la presencia en el ambiente de sustancias o formas de energía, en tal cantidad y con una duración tal, que son susceptibles de provocar efectos perjudiciales o de causar molestias". La *Royal Commission of Environmental Pollution* de Inglaterra la define como "la introducción por el hombre en el entorno de sustancias o energías propensas a causar riesgos a la salud humana, daño a los recursos vivos y a los sistemas ecológicos, perjuicio a los bienes e infraestructuras y paisajes, o a interferir con los legítimos usos del entorno". Según la OCDE, "la contaminación del medio por el hombre, directa o indirectamente, tiene lugar por la introducción de sustancias o energías en el entorno, produciendo efectos nocivos en la Naturaleza así como poniendo en peligro la salud humana, dañando a los recursos vivos o interfiriendo su disfrute u otros usos legítimos del entorno". Contaminante es toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

A medida que aumenta el poder del hombre sobre la naturaleza y aparecen nuevas necesidades como consecuencia de la vida en sociedad, el ambiente que lo rodea se deteriora cada vez más. El comportamiento social del hombre le permitió diferenciarse de los demás seres vivos; mientras ellos se adaptan al medio para sobrevivir, el hombre lo adapta y modifica según sus necesidades. El progreso tecnológico y el acelerado crecimiento demográfico producen la alteración de medio, llegando a atentar contra el equilibrio biológico de la Tierra. No es que exista una incompatibilidad absoluta entre el desarrollo tecnológico, el avance de la civilización y el mantenimiento del equilibrio ecológico, pero es importante armonizarlos. Para ello es necesario que protejan los recursos renovables y no renovables y que tome conciencia de que el saneamiento del ambiente es fundamental para la vida sobre el planeta. La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan al mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de sustancias al ambiente, en tal cantidad, que causa efectos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis mayores a los niveles aceptables en la naturaleza.

La contaminación puede surgir a partir de manifestaciones de la naturaleza (fuentes naturales) o debido a los procesos productivos del hombre (fuentes antropogénicas) que conforman las actividades de la vida diaria. Las causas de la contaminación están ligadas al hombre, podemos afirmar que no existe actividad humana que no origine algún desecho sólido, líquido o gaseoso que afecte el ambiente y la vida del planeta. La fuente de emisión es el origen físico o geográfico donde se produce la liberación de un contaminante al ambiente (al aire, agua o suelo). El ambiente se ha dividido para su estudio e interpretación en tres componentes (aire, agua y suelo); sin embargo, esta división es teórica, ya que los contaminantes interactúan con más de un elemento del ambiente. Las fuentes que generan contaminación de origen antropogénico son: industriales (refrigeradores, rastros y curtidurías, actividad minera y petrolera),

comerciales (envolturas y empaques), agrícolas (agroquímicos), domiciliarias (envases, pañales, restos de jardinería) y fuentes móviles (gases de combustión de vehículos). La contaminación se clasifica en tres tipos, contaminación del aire, agua y suelo; también existen otros tipos de contaminación como son la radioactiva, acústica y visual.

Contaminación del aire:

Como componente ambiental, se considera al aire como la capa de la atmósfera donde los organismos desarrollan sus procesos biológicos. Se denomina aire puro a la atmósfera que presenta la siguiente composición química: 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, 0.03% de dióxido de carbono, 0.07% de metano e hidrógeno y 0.90% de otros gases. Hasta la Revolución Industrial, la pureza del aire sólo era alterada por causas naturales (erupciones volcánicas). En la actualidad, la actividad del hombre es para la atmósfera como un enorme volcán que no cesa de introducir sustancias en el aire. Existe gran diferencia entre los gases de las erupciones y los de chimeneas; estos últimos contienen elementos que reaccionan entre sí y con los componentes naturales de la atmósfera, provocando en ésta alteraciones que afectan la salud humana, la estabilidad del clima y el desarrollo de los ecosistemas.

Contaminación del agua:

El agua constituye el 70% de nuestro planeta y se encuentra dispersa en los océanos, ríos, lagos, etc. y en forma sólida, en los casquetes polares. Del total de agua en el mundo, sólo podemos utilizar 0.35% para consumo humano. Las principales fuentes de agua utilizable son ríos, lagunas y el subsuelo. El agua es un recurso renovable en peligro a consecuencia de la actividad humana. En las zonas industrializadas el agua pura que procede de la lluvia recibe, antes de llegar al suelo, su primer carga contaminante que la convierte en lluvia ácida. Una vez en el suelo, el agua discurre por la superficie o se infiltra hacia las capas subterráneas. Es el agua de escorrentía, que en los campos y en las granjas se carga de plaguicidas y de fertilizantes y en las ciudades arrastra productos como aceites, metales pesados y detergentes. Los seres humanos estamos empeñados en creer que el océano es ilimitado y que soporta sin alterarse todo lo que arrojamos en él. El hombre está amenazando la función que realizan los océanos: la regulación del clima de la Tierra. El mayor peligro que se cierne sobre los océanos es la muerte del fitoplancton, que constituye el motor del mecanismo denominado bomba biológica encargado de regular en la atmósfera la presencia de oxígeno y dióxido de carbono y de incorporar a este último en las cadenas tróficas.

Contaminación del suelo:

Se define como suelo a toda la capa de tierra que se encuentra suelta, diferenciándola de la roca sólida y de la cual dependen plantas, microorganismos y seres vivos. El suelo está constituido por compuestos, los más importantes son los nutrientes. Además de ofrecer su riqueza mediante su explotación agrícola-ganadera, es un componente ambiental que sufre la contaminación. Principalmente por la acumulación de residuos domiciliarios e industriales, de insecticidas y plaguicidas y por la destrucción de las bacterias benéficas debido a la acción de las sustancias químicas no degradables. El material de la corteza terrestre que la minería remueve en un año equivale al doble de los sedimentos que arrastran todos los ríos del mundo. A los trabajos de extracción de los minerales metálicos y a su posterior fundición y purificación, hay que añadir los

procesos de fabricación en sus múltiples aplicaciones. Cada año el hombre vierte al ambiente cantidades de elementos metálicos mayores que los aportes que de estos elementos hace la naturaleza. Este desequilibrio provoca la incorporación de metales (puros o combinados) a las redes tróficas, afectando a vegetales y a animales. Al ingerir alimentos o respirar aire contaminado, el ser humano corre graves peligros. Los compuestos orgánicos que contienen algunos de estos elementos metálicos atraviesan con gran facilidad las membranas celulares. De este modo el organismo los absorbe a través de las paredes de las vías respiratorias y digestivas, e incluso a través de la piel. Una vez en el cuerpo, los metales se acumulan en órganos y tejidos, provocando efectos a corto, mediano y largo plazo en la salud del individuo.

Contaminación radioactiva:

La contaminación radioactiva se define como un aumento de la radiación natural por la utilización de sustancias radioactivas naturales o producidas artificialmente. Con el descubrimiento de la energía nuclear y desde la invención de la bomba atómica, se han esparcido por la tierra productos residuales de las pruebas nucleares. En los últimos años la descarga en la atmósfera de materias radioactivas ha aumentado, constituyendo un peligro para la salud pública. Existen dos fuentes de contaminación radioactiva: i) pruebas nucleares; y ii) manipulación de sustancias radioactivas.

Contaminación visual:

La contaminación visual es el cambio o desequilibrio del paisaje, ya sea natural o artificial, que afecta las condiciones de vida y las funciones vitales de los seres vivos. Las principales causas de la contaminación visual son: i) exceso de avisos publicitarios e informativos (luminosos o no) en forma de carteles, ii) nuevas edificaciones o distorsiones en paisajes naturales y iii) basureros o rellenos sanitarios. A veces reparamos en la contaminación del aire, suelo, agua, sin percatarnos que existen otras formas de perjudicar el medio y a nosotros mismos. Nuestro cerebro tiene una determinada capacidad de absorción de datos. Los sentidos son los encargados de transmitir al cerebro toda información que perciben del entorno. El sentido de la vista es uno de los más complejos y de los de mayor incidencia, tiene en la percepción global del entorno y en las reacciones psicofísicas del hombre. El ojo es una máquina óptica compleja. La retina retiene la imagen durante 1/10 de segundo, como si fuera el cuadro de una película. La información visual retenida en tan corto tiempo tiene una acción directa sobre nuestra capacidad de atención.

Contaminación acústica:

El ruido es una causa de preocupación entre la población de las ciudades, ya que incide en el nivel de calidad de vida y puede provocar efectos nocivos sobre la salud, el comportamiento y las actividades del hombre, y provoca efectos psicológicos y sociales. El incremento de los niveles de ruido ha crecido de forma desproporcionada. Según la OCDE (Organización para la Economía, Cooperación y Desarrollo) 130 millones de personas, se encuentran con nivel sonoro superior a 65 dB, el límite aceptado por la OMS y otros 300 millones residen en zonas de incomodidad acústica (entre 55 y 65 dB). Por debajo de 45 dB no se perciben molestias. Con sonidos de 55 dB, un 10% de la población se ve afectada y con 85 dB todos los seres humanos se sienten alterados. Las principales fuentes de contaminación acústica son los vehículos de motor, que se

calculan en casi un 80%; el 10% corresponde a las industrias, el 6% a ferrocarriles y el 4% a bares, locales públicos, talleres industriales, etcétera.

Los contaminantes se pueden clasificar según su estado físico, su tipo, y la rapidez con que se transforman en el medio y el lugar donde se depositan. Así, de acuerdo con su estado pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos; por su tipo, físicos, químicos, biológicos, psicológicos y sociales; según la rapidez con que se transforman en biodegradables y no biodegradables. Y finalmente considerando el lugar donde se desechan en contaminantes de la atmósfera, del suelo, del agua, y de los alimentos.

3.2 Problemas de salud debidos a la contaminación. Otros problemas.

Durante los últimos años el desarrollo industrial ha ocasionado que un gran número de sustancias se incorporen al ambiente, esta transformación del ambiente afecta la salud de la población. Se han demostrado el efecto tóxico de algunas de estas sustancias; por lo que se ha logrado cambiar la percepción que la sociedad tiene de la contaminación ambiental. En los estudios se asocia la presencia de la contaminación con el incremento de enfermedades. Es difícil precisar la magnitud del problema, pero gracias a los sistemas de información se están estudiando los efectos del fenómeno. La contaminación atmosférica está relacionada con el desarrollo económico, pero puede comprometer el bienestar presente y futuro de la humanidad. Para un mejor conocimiento de las acciones a tomar en contra de la contaminación se debe hacer hincapié en diversos como: i) entender los problemas ambientales y prevenirlos a futuro; ii) adoptar soluciones de acuerdo con las nuevas tecnologías y el estudio de los factores que modifican el comportamiento humano; iii) crear conocimiento para la toma de decisiones políticas en cuestiones públicas; y iv) generar información permita esclarecer el efecto de los contaminantes sobre la salud de la población, y de las medidas tomadas, y así establecer las acciones correctivas.

Para que existan efectos en la salud de las personas, éstas deben estar expuestas al contaminante y la exposición depende de tres factores: i) el tiempo que la persona pasa en microambientes (casa, oficina, escuela, automóvil, autobús); ii) la concentración de los contaminantes presentes en estos microambientes; y, iv) la capacidad ventilatoria, que se por el tipo de actividad que realiza (dormir, caminar, hacer ejercicio). En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se concentran 10 millones de personas. Cada día circulan 3 millones de automóviles y existen más de 30 mil fábricas, hoteles, baños públicos y hospitales. Consume $74 \text{ m}^3/\text{seg}$ de agua y genera 19 mil toneladas de residuos al día. Se han realizado estudios para conocer los daños ocasionados por la contaminación, la mayor parte se refiere a trabajos con exposiciones cortas y efectos agudos, el principal reto es realizar observaciones a largo plazo. Los pacientes asmáticos son uno de los grupos más afectados, por lo que se han realizado estudios para conocer el papel que juega la contaminación ambiental en su desarrollo, encontrando una relación entre síntomas y disminución de la capacidad respiratoria cuando se exceden los límites normales de contaminantes. El esfuerzo y la experiencia de los investigadores en el área de la salud y el medio ambiente es un primer paso para conocer los problemas ocasionados por los contaminantes, aunque se requiere la participación de grupos interinstitucionales y el apoyo gubernamental.

Principales contaminantes del aire y sus efectos para la salud del hombre

Monóxido de carbono. Es un gas incoloro, insípido e inodoro que se origina por la combustión incompleta de hidrocarburos. Es el contaminante más abundante de la atmósfera. El monóxido de carbono se combina con los glóbulos rojos de la sangre impidiendo el transporte de oxígeno al cuerpo. En consecuencia, las personas que respiran elevadas concentraciones de este gas, presentan problemas respiratorios, con posibilidades de cáncer, pérdida de la coordinación de los reflejos y riesgo de muerte por asfixia.

Óxidos de azufre. Son contaminantes frecuentes en la atmósfera sobre todo en las zonas donde operan industrias para la fundición de materiales. Provocan afecciones al aparato respiratorio, que van desde una respiración más acelerada hasta una irritación severa de la tráquea, bronquios y pulmones. Riesgo de muerte en caso de intensa contaminación.

Óxidos de nitrógeno. El más contaminante es el dióxido de nitrógeno. Este gas tiene un color amarillento y un olor penetrante. Sus fuentes principales son los vehículos de motor y las industrias. Afecta los bronquios, los pulmones, causa edemas pulmonares, enfisemas y bronquitis. Estas enfermedades respiratorias disminuyen la capacidad de acción del individuo y pueden ser mortales.

Carbón. Se manifiesta como humo y polvo negro que se origina por la combustión incompleta de gasolina y otros derivados del petróleo. Las partículas de carbón, no sólo se adhieren a la piel y los ojos de las personas causando irritación y alergias, sino que penetran los bronquios y pulmones, originando dificultades respiratorias.

Tetraetilo de plomo. Se encuentra mezclado con la gasolina y se utiliza para disminuir su capacidad explosiva. La cantidad de plomo que se mezcla al combustible es muy pequeña: 1 gramo en 30000 litros de gasolina. Al ser inhaladas por el ser humano, las partículas de plomo, con el tiempo, provocan daños en el sistema nervioso, al hígado, a los riñones y al corazón. Se cree, que el plomo causa algún tipo de cáncer.

Polvo. Proviene de las fábricas de cemento, de azúcar y otras empresas. Provoca daños respiratorios, alergias, asma y, en algunos casos, cáncer en las personas afectadas.

Ruido. Alcanza niveles críticos, afecta seriamente al ser humano ya que provoca dolores de cabeza, tensiones, mal humor, insomnio, trastornos nerviosos y defectos auditivos que pueden llegar hasta la sordera total. La intensidad del sonido se mide en decibeles (dB).

Principales contaminantes del agua y sus efectos para la salud del hombre

Los principales contaminantes de las aguas provienen de las actividades industriales, agropecuarias y del hogar. Entre los contaminantes del agua causantes de enfermedades al ser humano encontramos:

- a) Agentes patógenos: son un conjunto de microorganismos (bacterias y virus) causantes de trastornos al hombre. Éstos se encuentran en las materias fecales humanas y las de animales, como el cerdo. Entre los agentes patógenos y el agua existe una relación estrecha que se manifiesta en dos aspectos principales: i) el agua es un medio ideal para la reproducción de bacterias y virus en pocos días, pueden multiplicarse en centenares de millones de individuos microscópicos portadores de enfermedades; y ii) el agua transporta los agentes patógenos hacia regiones no contaminadas. Los agentes patógenos más frecuentes en las aguas contaminadas son:

Agente patógeno	Enfermedad	Características de la enfermedad
<i>Salmonella typosa</i> o Basilo de Eberth	Fiebre tifoidea	Fiebre, diarrea sanguinolenta, vómitos, dolores abdominales, hinchazón de hígado y del bazo.
<i>Shigella dysenteriae</i> y <i>Entamoeba dysenteriae</i>	Disentería	Dolores abdominales, fiebre, diarrea, deshidratación, debilitamiento general y reumatismo. Puede complicarse en hepatitis.
<i>Vibrio comma</i>	Cólera	Diarrea y vómitos abundantes. Deshidratación, daños al intestino, al hígado, los riñones y la médula ósea. El cólera es una enfermedad epidémica.
Virus de la poliomielitis	Poliomielitis	Fiebre, vómitos, disreia, dolor muscular y parálisis progresiva del cuerpo. Es conocida como parálisis infantil, porque afecta sobre todo a los niños.
<i>Schistosoma mansoni</i> o gusano de la Bilharzia	Bilharziasis	Fiebre y trastornos digestivos, intestinales, sanguíneos, del hígado y el corazón.

- b) Residuos químico tóxicos: las aguas reciben cantidades apreciables de residuos químicos provenientes de las actividades industriales. Principales tipos de contaminantes y sus consecuencias al ser humano:

Residuo químico	Fuente de contaminación	Efectos para la salud del ser humano
Mercurio	Industria de papel	Produce afecciones como el cáncer, incapacidad física y limitaciones auditivas y olfativas. En casos graves de contaminación origina la muerte.
Cadmio	Industria del hierro, el acero y el zinc.	Tiende a acumularse en las vísceras de los seres humanos que beben aguas contaminadas. Origina trastornos que pueden originar la muerte.
Ácidos diversos	Industria del plástico, del azúcar y los metales	Los humanos que utilizan aguas contaminadas con ácidos pueden sufrir de cáncer, mutaciones genéticas letales, esterilidad, lesiones en el hígado, en el sistema nervioso y enfermedades de la piel.
Policlobifenilos	Plantas hidroeléctricas e industrias del plástico y del papel	Son compuestos que poseen la característica de acumularse y permanecer activos durante mucho tiempo dentro del organismo. Puede originar cáncer, trastornos inmunológicos, esterilidad y problemas intestinales.
Cromo	Industrias de la pintura, textiles, tintas de imprenta e industrias del acero	Da origen a trastornos como intoxicaciones y lesiones diversas.
Plomo	Industrias eléctricas, industria petrolera y fábricas de tuberías	Provoca daños al sistema nervioso, al hígado, a los riñones, y el corazón.

Principales contaminantes del suelo y sus efectos para la salud del hombre

La basura es el contaminante más abundante de los suelos y una de las causas más frecuentes de enfermedades para el ser humano. Se compone por alimentos en descomposición (restos de frutas, verduras, carnes, huesos, granos, etc.) que

favorecen el desarrollo de microorganismos patógenos. Proporciona un hábitat adecuado para la reproducción de moscas, cucarachas, insectos y ratas. Estos animales se caracterizan por transportar los agentes patógenos de la basura hasta los hogares. En la basura se encuentran latas, hierros oxidados, vidrios y otros objetos que pueden ocasionar cortaduras y transmitir enfermedades. Principales enfermedades causadas por los agentes patógenos que se encuentran en la basura:

Agente patógeno	Enfermedad	Características de la enfermedad
<i>Salmonella thyposa</i>	Fiebre tifoidea	Fiebre, vómitos, diarrea, dolores abdominales, hinchazón del hígado y bazo
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amibiasis	Fiebre, diarrea, anemia, dolores abdominales. Puede afectar al hígado, bazo y cerebro
Bacilo de Koch	Tuberculosis	Afecta principalmente a los pulmones. Sin embargo puede atacar los huesos, los riñones, la piel, el sistema nervioso y el corazón.
<i>Clostridium tetani</i>	Tétano	Actúa sobre los músculos, provocando fiebre, taquicardia y parálisis. Si no se suministra la vacuna, la asfixia o paro cardíaco.
Varios virus y bacterias	Gastroenteritis	Fiebre, diarrea, dolores abdominales, debilitamiento general.

Principales efectos en la salud del hombre que produce la contaminación radioactiva

- a) Genético: produce mutaciones genéticas, lo que aumenta la posibilidad de cánceres, enfermedades de tiroides, leucemias.
- b) Ambiental: el suelo y el agua suelen estar contaminados por radiactividad, por lo que se come o bebe irradia nuestro cuerpo, son zonas contaminadas por el simple hecho de estar allí. La radiación permanece en la zona por largos periodos de tiempo.

Principales efectos en la salud del hombre que produce la contaminación visual

Estrés y dolor de cabeza, cuando una imagen supera el máximo de información que el cerebro puede asimilar, se produce un estrés visual, el panorama perceptual se vuelve caótico y la lectura ordenada del paisaje se hace imposible.

Principales efectos en la salud del hombre que produce la contaminación acústica

Es similar al asociado al miedo y la tensión, con el aumento de pulsaciones, modificación del ritmo respiratorio, tensión muscular, presión arterial, resistencia de la piel, agudeza de visión y vasoconstricción periférica. Estos efectos no son permanentes, desaparecen al cesar el ruido, aunque pueden presentar estados de nerviosismo asociados y no hay constancia de que pueden afectar a la salud mental. La pérdida de audición inducida por el ruido es irreversible por la incapacidad de regeneración de las células filiares de la audición. La sordera puede aparecer en casos de niveles superiores a 90 dB y de forma continua. Puede causar efectos sobre el sistema cardiovascular, con alteraciones del ritmo cardíaco, riesgo coronario, hipertensión arterial y excitabilidad vascular por efectos de carácter neurovegetativo. Sobre las glándulas endocrinas, con alteraciones hipofisarias y aumento de la secreción de adrenalina. En el aparato digestivo puede generar un incremento de la enfermedad gastroduodenal por dificultar el descanso. Puede ser negativo para otras afecciones, por incremento inductor de estrés, aumento de alteraciones mentales,

tendencia a actitudes agresivas, dificultades de observación, concentración, rendimiento y facilita los accidentes. La mejor solución contra esta contaminación es incorporar un estudio de niveles acústicos a la planificación urbanística, con el fin de crear "islas sonoras" o insonorizar los edificios próximos a los "puntos negros" de ruido. Es más eficaz adoptar medidas preventivas, económica y socialmente más rentables.

Los problemas que nos trae la contaminación son diversos, algunos aun son imperceptibles, notamos sus consecuencias a largo plazo. Uno de estos estudios sirvió para encontrar un declive en la calidad del semen humano en los hombres de algunas partes de Europa debido a factores externos del ambiente. Algunos especialistas sospechan que la presencia de sustancias imitadoras de estrógenos y de otras que bloquean los andrógenos pueden causar esta disminución en la función reproductiva del ser humano. Se estimó que si no se toma ninguna medida para evitar la destrucción de la capa de ozono, el riesgo de cáncer de piel de la población se multiplicaría en el año 2100. En 1996, Science publicó un trabajo en el que se combinaron datos obtenidos de fuentes como la microbiología, la oceanografía, la ecología, la medicina y las imágenes obtenidas por satélite para concluir que los cambios climáticos del planeta a causa del calentamiento pueden provocar epidemias de cólera que siempre han estado sujetas a cambios de temperatura. En el mismo año, científicos de Nueva Zelanda descubrieron que el estallido de la fiebre Dengue en las islas de Pacífico estaba relacionado con cambios climáticos en la región. Esto desató el temor de que el calentamiento global puede provocar enfermedades tropicales en nuevas zonas del planeta.

Según un estudio realizado por la asociación World Wild Found (WWF) un mundo invadido por ratas, mosquitos y cucarachas podría ser el resultado del aumento de la temperatura en el planeta y de la acción destructiva del hombre sobre el planeta. El cambio climático, cuyos posibles efectos son catástrofes como la desaparición de California, Japón y zonas altamente pobladas, otros efectos serían la toma del poder de estas especies, las más aptas para adaptarse a los cambios. José Sarukhán Kermez, expresó que la actividad humana ha generado la extinción más severa en la historia del planeta. Somos más de 14 millones de especies en el planeta, que somos producto de la evolución y que somos una especie que tiene que funcionar como tal, como especie, no como un país, un individuo o una población. En los últimos 150 años, el planeta ha cambiado la estructura natural de su atmósfera e hidrosfera más que en millones de años que tiene de existencia. Por esta razón, la adecuada protección y conservación del ambiente representa uno de los retos a los que se enfrenta la humanidad. Se necesitan cambios drásticos y normas estrictas si queremos conservar la calidad de vida en el planeta. Como miembros de la sociedad debemos participar en forma activa en la creación de leyes y reglamentos que tengan un impacto al ambiente, nuestra salud y la economía. Las soluciones del problema de la contaminación están más cerca de lo que uno cree, ya que es posible contribuir con actividades sencillas a mejorar nuestro entorno. Debemos pensar globalmente, pero actuar localmente.

3.3 Acciones de la Ingeniería Ambiental.

El ambiente se ha convertido en prioridad en la definición de proyectos educativos, industriales, económicos, sociales y personales. El desarrollo sustentable concibe al

ambiente como un paquete de recursos de posesión global en el que se debe incidir mediante nuevas formas de organización política y social. El proceso de urbanización del país plantea retos importantes para la sociedad y el gobierno. Entre ellos destacan problemas ambientales como la contaminación atmosférica y la del agua, y la proliferación de residuos sólidos y peligrosos, así como la invasión y el deterioro de áreas de conservación antropológica y de recarga de acuíferos, problemas que tienen mayor importancia en las ciudades medias del país, las grandes ciudades y zonas metropolitanas. Para enfrentarlos es necesario repensar y renovar el marco conceptual que sostiene a las políticas públicas correspondientes. El cuidado del medio en la industria no está reñido con la competitividad. Naciones con una estricta política ambiental mantienen e incrementan su capacidad de competir y de ampliar sus mercados. Los países que permiten una externalización indiscriminada de costos ambientales, en realidad están subsidiando a los consumidores de naciones ricas a expensas de su propia población, recursos naturales y economía.

La deforestación, erosión de suelos, sobreexplotación de acuíferos, pérdida de la capacidad de autosustentación, excesiva migración rural-urbana, se presentaron también en el periodo teotihuacano. Hoy disponemos de más tecnología, mayor conocimiento del entorno, nuestro mejor recurso para enfrentar nuestros problemas, es el humano. La formación de recursos humanos en cuestiones ambientales es una necesidad del país que no se limita al campo de la ingeniería, la ingeniería ambiental es un eslabón de una cadena de especialistas (ingenieros, ecólogos, biólogos, químicos, biotecnólogos, economistas, sociólogos, abogados, administradores públicos, entre otros) que deben construir empleando su conocimiento y herramientas que permitan prevenir y controlar la contaminación y los problemas derivados de ella; así como para aprovechar esos esfuerzos en beneficio de la sociedad. En 1972, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, realizada en Estocolmo, Suecia, surgieron 109 necesidades que una sociedad con problemas de contaminación requería solucionar; para afrontarlas, se debían crear programas de educación sobre el medio ambiente con carácter interdisciplinario abarquen todos los niveles de enseñanza.

La capacitación profesional es un requisito indispensable para el desarrollo de cuadros y de instituciones para el manejo de residuos. Es preciso incorporar en el currículo universitario programas de diseño ambiental desde el nivel licenciatura con alcances multidisciplinarios, buscando su proyección y especialización hasta niveles de posgrado, en especial en las disciplinas de ingeniería. El trabajo de capacitación debe ir más allá de inserciones curriculares y del establecimiento de vínculos entre la industria y la academia, para apoyar y retroalimentar la investigación. A nivel profesional no se trata de conformar un nuevo currículo transmita conocimientos novedosos, sino que es indispensable formar individuos con una nueva mentalidad: capaces de laborar interdisciplinariamente y en equipo, para analizar y resolver problemas. La Ingeniería Ambiental se ha definido como la profesión que reúne el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para diseñar y construir sistemas y procesos para la producción de bienes y servicios que contribuyan a la racionalización y eficientización de las relaciones de intercambio de materia y energía que suceden entre la sociedad y

la naturaleza. Es posible señalar soluciones a la problemática ambiental del país en las cuales el Ingeniero Ambiental participe entre las cuales destacan:

1. - Protección ambiental en las zonas costeras. El mar es el depósito final de productos derivados de las actividades terrestres. La economía de las zonas costeras es compleja, exige tratados internacionales sobre derechos y obligaciones sobre la protección, uso, aprovechamiento del medio marino, costero y sus recursos. En México, los recursos son muy variados, van desde extracción del petróleo, actividades pesqueras, turismo y recreación. La gestión ambiental en las zonas costeras debe centrarse en conocer la magnitud del problema de la contaminación (exceso de nutrientes, petróleo, metales pesados, plaguicidas, residuos sólidos, sustancias radiactivas, pérdida de la biodiversidad, cambio climático regional). También debe monitorear estos cambios e intensificar la colaboración internacional.

2. - Modernización de la regulación ambiental. La regulación ambiental debe ofrecer certidumbre a largo plazo para la inversión, abrir nuevos cauces de desarrollo tecnológico y fomentar nuevos mercados y actividades en un marco de eficiencia y sustentabilidad. Es evidente el avance en materia normativa, sin embargo, aún falta explorar nuevos horizontes y realizar rectificaciones. Las normas deben reflejar priorización y racionalidad costo/efectividad, evitando que se formulen y expidan como resultado de presiones y demandas de las empresas y ramas de la actividad económica. Para lograr la modernización de la regulación ambiental se propone:

- Nuevo sistema normativo para aguas residuales.
- Desarrollo de la normatividad de emisiones a la atmósfera.
- Promoción de normas voluntarias.
- Desarrollo de sistemas de certificación ambiental.
- Reestructuración de prestadores de servicio de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Finalización del rezago de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Revisión metodológica del sistema de seguimiento de condicionantes y aplicación de medidas compensatorias en Evaluación de Impacto Ambiental.
- Programa de protección ambiental y competitividad industrial.

3. - Promoción de desarrollo urbano sustentable. A pesar de la importancia de las ciudades poco se conoce sobre la interacción entre el hombre y el ambiente urbano. La ciudad es el lugar donde más se nota el impacto del hombre sobre la naturaleza. Las ciudades alteran el entorno natural de tal forma que crean uno nuevo y distinto. Hacer sustentables las ciudades es un reto que exige aportes de ingeniería para mejorar el transporte, la política y la educación ambiental. Las acciones preventivas deben centrarse en políticas de protección de áreas naturales aledañas a las ciudades. Incentivos fiscales para la migración a provincia, mejores oportunidades culturales, educativas y de salud en el interior del país. Eliminar el subsidio a los alimentos, y transporte en las grandes ciudades, y orientarlo a las zonas rurales y suburbanas.

4. - Reducción y manejo seguro de residuos peligrosos. Las prácticas de manejo de los residuos peligrosos deben orientarse de tal forma que se privilegien las acciones de minimización y tratamiento de los residuos, sobre las orientadas a confinarlos. La

solución más conveniente en términos de costos sociales es evitar la generación de residuos mediante la aplicación de tecnologías limpias, que posibilitan la corrección del problema en su origen. El volumen de residuos peligrosos queda acotado en la clasificación preestablecida en la normatividad. Los criterios y condiciones limitantes que dictan la operación de sistemas de tratamiento, reciclaje, combustión y confinamiento, determinan las tecnologías que denominan el mercado. Para fortalecer y ampliar la capacidad instalada de manejo de residuos peligrosos es necesario conocer el estado de las instalaciones y servicios relacionados con:

- Almacenamiento in situ.
- Recolección y transporte.
- Estaciones de transferencia.
- Sistemas de separación, recuperación y reciclaje.
- Tratamiento.
- Confinamiento y/o disposición final.
- Importación y/o exportación.

En cuanto a la promoción de infraestructura y servicios integrales: i) crear centros para el tratamiento y confinamiento de residuos peligrosos con el objeto de controlar los residuos peligrosos generados en el país y ii) crear la infraestructura y servicios para el control de residuos peligrosos biológico-infecciosos. Se generan 800 ton/día de este tipo de residuos en el país, es indispensable minimizar su generación y equipar la infraestructura para el manejo, tratamiento y disposición final de estos residuos.

5. - Cumplir el ordenamiento ecológico del territorio y atender la evolución de impacto ambiental. En la medida con que se cuente con planes de ordenamiento formulados, aprobados y operados, que establezcan los usos del suelo y que definan la dotación de infraestructura, equipamientos y servicios, se favorece el cumplimiento de la normatividad ambiental. Esto implica:

- Cumplir el Ordenamiento Ecológico General del Territorio del País y de los programas de ordenamiento ecológico de regiones prioritarias, con promoción ante las autoridades federales o locales competentes, de la limitación o suspensión de instalaciones o funcionamiento de actividades productivas que no sean congruentes con los usos del suelo establecidos y los criterios ambientales.
- Reforzar la vigilancia del cumplimiento de los términos y condiciones establecidos en las resoluciones de impacto ambiental.
- Vigilar que la dotación de infraestructura, equipamiento y servicios indispensables (plantas de tratamiento de aguas y redes de drenaje, rellenos sanitarios, área de confinamiento de residuos peligrosos) cumplan con las leyes y normas ambientales.

6. - Educación, capacitación e investigación. En coordinación con las instituciones de educación técnica y superior y de investigación científica se busca impulsar proyectos académicos en áreas ambientales críticas y prioritarias para México como:

- La conservación de la diversidad biológica y la comprensión de sus procesos históricos, sociales, económicos y culturales.
- La problemática del crecimiento industrial y urbano.

- La restauración de los sitios afectados por el inadecuado manejo de los residuos peligrosos y saneamiento de cuencas hidrológicas.
- El aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y el mejoramiento de los procesos productivos.

Proyectos y acciones prioritarias:

- Educación ambiental en museos, planetarios, acuarios, jardines botánicos, parques zoológicos, viveros y espacios recreativos.
- Educación para la conservación y la protección de las especies amenazadas y en peligro de extinción.
- Educación para la protección civil.
- Capacitación de personal técnico en organizaciones de productores y comunidades.
- Capacitación en los procesos de desconcentración y descentralización del SEMARNAP.
- Formulación de criterios para la publicidad comercial sobre hábitos de consumo.
- Fortalecimiento de procesos de profesionalización en educación ambiental.
- Capacitación del personal de las dependencias y organismos del sector ambiental.

7. - Estímulo y vigilancia del cumplimiento de la normatividad ambiental. El éxito de cualquier regla consiste en que las acciones que obligan sean la excepción, en un contexto en el que la sociedad cumple con la ley. Para ello es necesario ampliar los espacios de participación de la sociedad en la gestión ambiental, lo cual constituye un objetivo de la autoridad encargada de la aplicación de la ley. Para lograrlo, se vislumbran tres vertientes de actuación: i) ampliar la responsabilidad del poder público en relación con la sociedad, ii) crear espacios donde las autoridades locales, los ciudadanos y las organizaciones sociales concurren con la autoridad federal en funciones de vigilancia de los recursos naturales. y iii) impulsar el desarrollo de formas voluntarias de cumplimiento de la ley.

8. - Laboratorios de monitoreo ambiental. Consolidar los trabajos para el establecimiento y operación de un Laboratorio Central en se realicen análisis relacionados con la verificación normativa y con el desarrollo de normas oficiales mexicanas.

9. - Auditoria a redes de monitoreo. Consolidar los sistemas de monitoreo de la calidad del aire en la zonas urbanas e industriales. Algunas cuencas atmosféricas deben ser dotadas de capacidad para medir continuamente la calidad del aire, lo que permite la regulación y la vigilancia para atender problemas. Atención de emergencias y contingencias ambientales:

- Evaluación y restauración de sitios contaminados por contingencias o negligencia en el manejo de materiales y residuos peligrosos, que se depositan o son vertidos sobre los predios urbanos y rurales, drenajes, causes de ríos, lagos y el mar.
- Orientación para la prevención y atención de contingencias y emergencias ambientales, dirigida a la creación de un Centro Nacional de Atención de Contingencias y Emergencias Ambientales, que auxilie e instruya sobre el qué hacer y cómo, en casos de un accidente o emergencia ambiental.

- Atención a situaciones de contingencia y desastres en los recursos naturales, considerando la identificación y dictaminación de potenciales contingencias que afecten los recursos naturales a través de investigación, determinación, conciliación y corrección de las causas humanas o naturales que vulneren su estabilidad o permanencia.
- Control de manejo y disposición final de materiales, residuos y sustancias peligrosas, que se orienta a las ciudades grandes y medias del país y a las zonas industriales.

10. - Desarrollo del sistema nacional de información ambiental. Existe la necesidad de desarrollar un sistema de información ambiental que contribuya a valorar de manera integrada y coherente las políticas adoptadas, así como a registrar el desenvolvimiento de la economía y los niveles del bienestar asociados a la conservación y al manejo de ecosistemas y recursos. Debe promover su propio contexto, que pueda ser aprovechado por individuos, empresa y otras instancias gubernamentales para tomar decisiones. El Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) debe contar con la capacidad para difundir resultados a todos los usuarios en un mínimo de tiempo y costo; y habrá integrarse como:

- Sistema de Indicadores Ambientales.
- Cuentas Ambientales complementarias al Sistema de Cuentas Nacionales (SCN).
- Sistema de Información Geográfica para el Ordenamiento ecológico.
- Sistema de Información para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sistema de Información de las Áreas Naturales Protegidas.
- Sistema de información sobre sustancias Tóxicas y Residuos Peligrosos.
- Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.
- Sistema de Información sobre la Cooperación Ambiental Internacional.
- Sistema de información sobre Regulación Ambiental.
- Sistema de Información sobre el Cumplimiento de la Normatividad Ambiental y de Recursos Naturales.
- Laboratorios y monitoreo ambiental.
- Mecanismos de difusión de la información.

11. - Sistema de Información sobre el Cumplimiento de la Normatividad Ambiental y de Recursos Naturales. Este sistema estará orientado a diseñar y operar los diferentes sistemas de información tendiente a ampliar el conocimiento sobre el cumplimiento de la normatividad ambiental, así como a facilitar la determinación de metas y la programación de las acciones de inspección y vigilancia.

12. - Presencia activa y desempeño eficaz en el contexto internacional. Reforzar el impulso al libre comercio y su articulación a los objetivos del desarrollo sustentable, y fortalecer la participación de México en las instancias internacionales a través de:

- El Programa Ambiental de México, suscrito con el Banco Mundial.
- La Comisión de Desarrollo Sustentable de la ONU.
- Los programas de PNUMA y del Hábitat de la Organización de las Naciones Unidas.
- El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

CAPITULO IV

Contaminación del aire

4. CONTAMINACIÓN DEL AIRE

4.1 Elementos naturales del aire. Contaminantes.

Durante toda la vida del hombre sobre la tierra se consideró que el aire era infinito y se convirtió en el vertedero aéreo en donde se depositaban los desechos gaseosos. A medida que aumentó la población y se desarrolló la industrialización de las ciudades, se incrementó la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más graves en todas las ciudades y es resultado de las actividades que conducen al desarrollo de un país. Se define como: i) la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes, en tales cantidades o de tal duración que resulten perjudiciales para el hombre, los animales, las plantas o el curso normal de las actividades humanas; y ii) la adición de cualquier sustancia dentro de la atmósfera, la cual no puede ser eliminada rápidamente y resulta perjudicial a los seres vivos.

La contaminación de aire se ha convertido en una amenaza para la salud debido al aumento de las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Diariamente el transporte, la industria, los servicios y el hogar, emiten monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, hidrocarburos y partículas a la atmósfera; y en el mismo periodo cada adulto respira 13.5 Kg de aire, por lo que no es difícil entender la necesidad de respirar aire puro. La atmósfera contiene una delgada capa de ozono que evita la entrada excesiva de rayos ultravioleta a la superficie terrestre, los cuales son nocivos para los organismos, mantiene el calor del planeta, lo distribuye por todo el globo y controla presión y la humedad del ambiente. Los contaminantes naturales o artificiales que se vierten a la atmósfera son muchos y variados, su efecto sobre el ambiente y los seres vivos son diversos y no conocidos a largo plazo.

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la tierra, constituida por una mezcla de gases y formada por las capas: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera, Mesopausa, Ionosfera y Exosfera. La troposfera se localiza encima de la corteza terrestre; su extensión a partir de la superficie del suelo es de 12 a 17 Km. Es la capa más importante, en términos de clima (vientos, lluvia, nubes, temperatura), ciclos biogeoquímicos y seres vivos. En esta capa la temperatura disminuye 1 °C por cada 200 m de altura. Entre la troposfera y la estratosfera se encuentra una capa conocida como Tropopausa. La estratosfera se extiende de 17 a 80 Km de altura. En esta capa se localiza la capa de ozono, su máxima concentración se ubica a 20 Km de altura. Esta capa absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta procedente del sol, nos protege de dichas radiaciones, que de llegar en su totalidad a la superficie terrestre serían fatales a corto plazo para los seres vivos. Los rayos ultravioleta producen mutaciones en el ADN y pueden causar quemaduras en la piel, arrugas, cáncer de células basales, melonadas, cataratas, urticaria, etc. Las otras capas son de menor importancia para los fines de la ecología. La capa atmosférica, además de proporcionar gases fundamentales para la vida, funciona como regulador térmico, ya que sin ella la temperatura terrestre alcanzaría los 75 °C durante el día y -130°C por la noche. La atmósfera protege la vida que existe en la tierra, de la misma manera que las plumas protegen el cuerpo de las aves. La energía solar llega a nuestro planeta en cinco tipos

de radiaciones: las ondas de radio, los rayos infrarrojos, la luz visible, los rayos ultravioleta y los rayos x.

La atmósfera contiene dos tipos de componentes: los permanentes y los accidentales. Los componentes permanentes se encuentran en la atmósfera en proporciones constantes, hasta una altitud de 5 Km y son: nitrógeno (78.084 %), oxígeno (20.946 %), argón (0.943 %), dióxido de carbono (0.033 %), neón (0.00182 %), helio (0.00052 %) y otros gases (0.00066 %). En las capas bajas de la atmósfera, el ozono, vapor de agua y el dióxido de carbono son variables. Los componentes accidentales de la troposfera son polvos, humos, cenizas volcánicas, granos de polen, esporas de hongos, bacteria y partículas suspendidas, todos ellos en concentraciones diferentes, por efecto de las actividades (productivas, transformación, servicios, transporte, etc.) de los seres humanos. Una persona adulta tiene un intercambio de gases de alrededor de 16 Kg/día, 6 veces más que el peso de los alimentos y el agua que consume. Durante toda su vida intercambia varios millones de metros cúbicos de aire, de ahí que la calidad del aire sea de vital importancia. Un ser humano puede vivir varias semanas sin comer, varios días sin beber agua, pero sin respirar oxígeno, solo unos cuantos minutos. Los principales contaminantes son aquellos que se producen en mayor cantidad y tienen efectos sobre la salud. Se han clasificado en tres tipos: biológicos, físicos y químicos.

- a) Contaminantes biológicos. La contaminación por agentes biológicos se da por bacterias, virus, protozoarios, granos de polen, etc.; los cuales se encuentran suspendidos en la atmósfera por el fecalismo a ras del suelo. El materia fecal, al secarse, es arrastrado por el viento hacia las capas superiores de la atmósfera y se distribuye alrededor de la tierra.
- b) Contaminantes físicos. La contaminación física de la atmósfera está determinada por el ruido, la temperatura y la radiactividad. Estos contaminantes pueden tener efecto a un largo plazo sobre la salud humana.

Ruido. Consiste en un sonido indeseable o basura sonora. El ruido o sonido se expresa en decibeles (un decibel es la décima parte de un Bel), el cual se define como la energía necesaria para elevar la presión del aire de 0.0002 μ Bar a 0.000243 μ Bar. Cuando las frecuencias acústicas son muy altas y rebasan los 90 decibeles (dB), empieza el umbral del dolor y el daño auditivo, el ruido peligroso no siempre se percibe como tal, el producido por una banda de rock llega hasta 110 dB. Otros muy ruidosos son un avión al despegar que produce 150 dB; un trueno 120; el claxon de un automóvil a una distancia de un metro 120, una licuadora y una motocicleta producen 90. La principal fuente de ruido urbano es el tráfico automovilístico, que crece en proporción al parque vehicular.

Temperatura. El mundo se ha calentando en los últimos 100 años y quizás se genere más calor en el futuro en una proporción impredecible, como el resultado de la producción industrial, destrucción forestal y agrícola, e incremento de automotores. El resultado de las actividades humanas es la producción y la acumulación de gases, los cuales favorecen al efecto invernadero. Dentro de estos gases se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x), metano, ozono, fluorocarbonos y

otros. Estos compuestos junto con el vapor de agua, son transparentes a la luz solar pero absorben la radiación infrarroja. Su presencia en la atmósfera reduce la pérdida de calor de la superficie de la tierra hacia el espacio exterior, lo que calienta a la tierra.

Radiactividad. La mayor parte de la radiación a la que está expuesta el ser humano proviene de las fuentes naturales (sol), otra cantidad de radiación es emitida por fuentes artificiales. La mayoría de ésta proviene de rayos X que se usan en medicina, odontología y otras actividades como pruebas nucleares, radioisótopos (plutonio 239, estroncio 90, yodo 131) y accidentes nucleares.

Contaminantes químicos. se han clasificado en primarios y secundarios.

I. *Contaminantes primarios:* son producidos y vertidos por el hombre en el ambiente; se llaman así porque se presentan como fueron emitidos. Dentro de este grupo se encuentran gases, partículas sólidas suspendidas y compuestos orgánicos volátiles.

- Gases:

Dióxido de Carbono (CO₂). Es un componente natural del aire que se encuentra en pequeñas cantidades (0.033 %), pero se produce en grandes cantidades al quemar combustibles fósiles, carbón, gas natural y una pequeña cantidad por la respiración de los seres vivos. La mayor concentración de CO₂ en el aire no se debe a la respiración, sino a la emisión vehicular e industrial. 1 litro de gasolina compuesta de 110 g de hidrógeno y 630 g de carbono se quema y se combina con 17 Kg de aire, de los cuales 3.6 Kg son de oxígeno y 13.4 Kg de nitrógeno; el resultado de la combustión es 1 Kg de vapor de agua, 2.3 Kg de ácido carbónico (CO y CO₂) y 13.4 Kg de nitrógeno. Se calcula que la velocidad actual de aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera es de 0.7 ppm al año. Las moléculas de CO₂ tienen la propiedad de absorber la radiación infrarroja del sol; así, mientras más CO₂ hay en la atmósfera, se absorbe más calor e incrementa su temperatura. El CO₂, el vapor de agua y otros gases como el metano determinan el clima de la tierra.

Monóxido de Carbono (CO). Es un gas incoloro, inodoro, altamente tóxico; forma el 52 % de los contaminantes atmosféricos. Se produce por una combustión incompleta de hidrocarburos y su fuente se encuentra en los vehículos de combustión interna. Este gas tiene efectos nocivos a concentraciones mayores a 13 ppm, cuando se está expuesto a él por varias horas. Estos niveles de concentración pueden ocurrir en los cruces importantes a la hora de mayor tránsito vehicular. Su toxicidad radica en que tiene una mayor afinidad a la molécula de hemoglobina que el O₂ e impide el transporte de oxígeno a las células.

Dióxido de azufre (SO₂). Gas incoloro, pesado, soluble en agua, con sabor picante y olor irritante. Es producido por la combustión de derivados del petróleo. Los combustibles varían en su contenido de azufre; pueden tener de 5 a 1% o trazas de azufre. El SO₂ es un tóxico por sí mismo, pero puede reaccionar con el oxígeno, hidrógeno, peróxido, vapor de agua y otras sustancias en la atmósfera, para formar ácido sulfúrico (H₂SO₄). Es un gas que irrita la parte alta de las vías respiratorias a concentraciones de varias ppm.

Óxidos de nitrógeno. Son gases de color rojizo y olor picante; se forman cuando la combustión tiene lugar a altas temperaturas, como en un automóvil. El oxígeno y el nitrógeno, presentes en el aire, como O_2 y N_2 , se combinan para formar monóxido de nitrógeno ($N_2 + O_2 \rightarrow NO$). Se piensa que no es peligroso al no disolverse bien en agua o en los tejidos. A través de la acción del sol puede combinarse con el O_2 para formar dióxido de nitrógeno ($2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$). El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas tóxico de color café rojizo, que impacta el ambiente.

- **Partículas suspendidas totales (PST):** agravan los efectos de los contaminantes gaseosos, ya que disminuyen la visibilidad al dispersar la luz. Se encuentran suspendidas partículas sólidas como: partículas de polvo, agua, carbón, cenizas, silicatos, asbestos, plomo, arsénico, cadmio, nitratos, etcétera pueden tener mayor tamaño que el de una molécula ($0.2 \mu m$) y menos de $500 \mu m$ de diámetro. El tiempo que permanecen en suspensión varía de segundos a meses, dependiendo de su tamaño. Sus fuentes pueden ser naturales como las erupciones volcánicas y las tolvaneras, el 60% tienen este origen. Entre las fuentes artificiales se encuentran los procesos de combustión del carbón, refinamiento y combustión de petróleo y sus derivados, fundición de metales y el humo del tabaco. Las partículas menores a $10 \mu m$ son la fracción respirable que por su tamaño pueden depositarse en los alvéolos pulmonares.

Plomo (Pb). Es un metal pesado, no ferroso, que se encuentra en la atmósfera; su fuente principal es el tetraetilo de plomo, que se agrega a las gasolinas como antidetonante. En la industria se utiliza en la manufactura de baterías, tanques, cisternas, esmaltes, pinturas, cerámicas, vidrio, plástico, insecticidas, soldaduras, etc. Cuando hay una exposición por grandes periodos produce saturnismo. En el aire urbano tiene una concentración promedio 50 veces mayor que en aire rural y 300 veces más que las que se encuentran en áreas remotas.

Mercurio (Hg). Al año se producen en el mundo entre 25 000 y 125 000 ton de mercurio; los equipos de producción geotérmica contienen cantidades significativas de mercurio, las cuales escapan hacia la atmósfera. Las emisiones de mercurio de las plantas geotérmicas son comparables a la emisión de mercurio de las plantas que usan carbón combustible (el mercurio es un contaminante en el carbón). El mercurio se usa en la industria: química, de papel, manufactura de pinturas, plaguicidas y fungicidas. Es uno de los contaminantes más tóxicos que afectan aire, suelo, agua y alimentos.

- **Hidrocarburos (HC) o compuestos orgánicos volátiles.** Anualmente se vierten en la atmósfera, millones de toneladas de hidrocarburos como el metano (CH_4), benceno (C_6H_6), clorofluorocarbonos (CFC₅), etc. Algunos de estos contaminantes en bajas concentraciones no son dañinos; al reaccionar con el NO_2 , y forman contaminantes fotoquímicos. La propiedad de los hidrocarburos varía en un amplio espectro de reactividad química, ciertos hidrocarburos policíclicos pueden tener efecto directo sobre la salud humana ya que pueden causar cáncer; otros como los CFC, afectan la capa de ozono.

II. *Contaminantes secundarios:*

Smog fotoquímico. Se compone de ozono, ácido nítrico, peroxiacil-nitrato (PAN), formaldehído

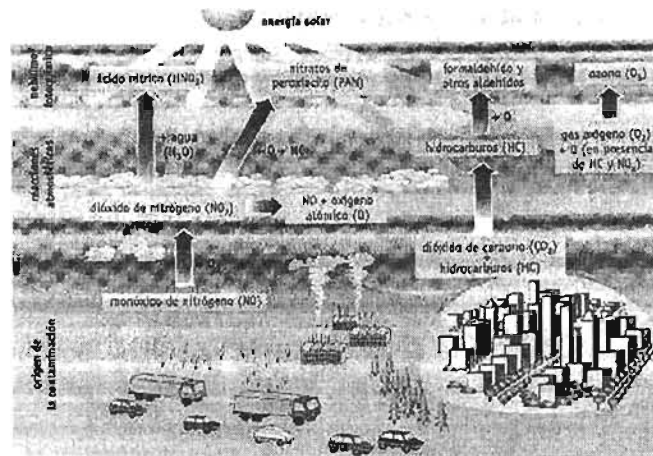


Figura 4.1. Formación del smog fotoquímico.

En muchas ciudades el principal problema de contaminación es el llamado smog fotoquímico. Este nombre se refiere a una mezcla de contaminantes de origen primario (NO_x e hidrocarburos volátiles) con otros secundarios (ozono, peroxiacilo, radicales hidroxilo, etc.) que se forman por reacciones producidas por la luz solar al incidir sobre los primeros. Esta mezcla oscurece la atmósfera dejando un aire teñido de color marrón rojizo cargado de componentes dañinos para los seres vivos y los materiales. Aunque en todas las ciudades del mundo hay problemas con este tipo de contaminación, es importante en las que están en lugares con clima seco, cálido y soleado, y tienen muchos vehículos. El verano es la peor estación para este tipo de contaminación y algunos fenómenos climatológicos (inversiones térmicas) agravan este problema en determinadas épocas ya que dificultan la renovación del aire y la eliminación de los contaminantes.

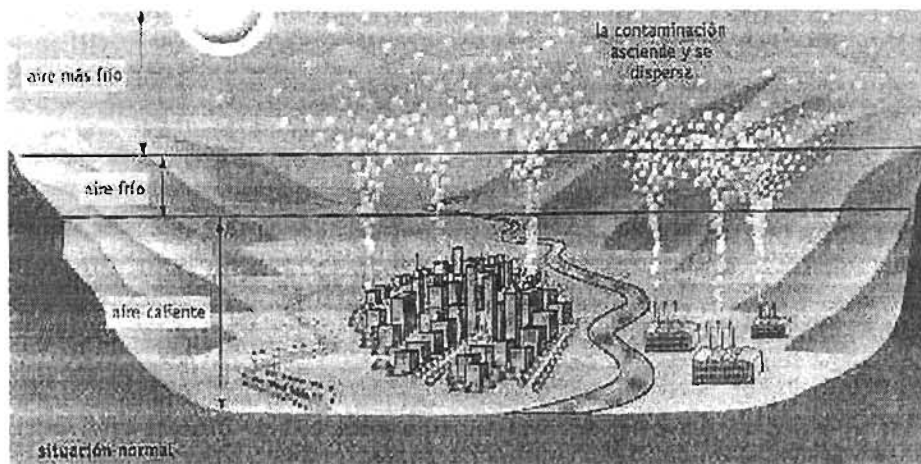


Figura 4.2. La contaminación en una ciudad.

En la situación habitual de la atmósfera la temperatura desciende con la altitud lo que favorece que suba el aire más caliente y arrastre a los contaminantes hacia arriba.

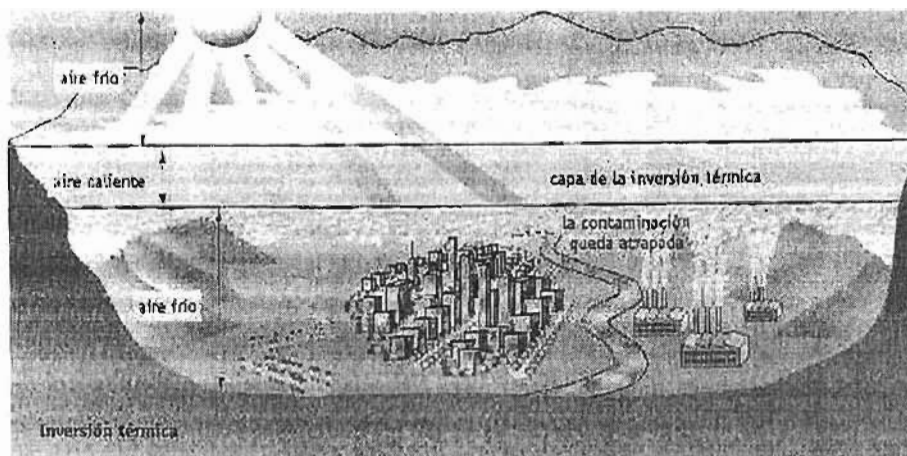
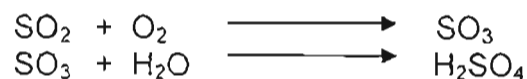


Figura 4.3. La inversión térmica.

En una situación de inversión térmica una capa de aire cálido se sitúa sobre el aire superficial frío e impide la ascensión de este último (más denso), por lo que la contaminación queda encerrada y va aumentando. Las reacciones fotoquímicas que originan este fenómeno suceden cuando la mezcla de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos volátiles emitida por los automóviles y el oxígeno atmosférico reaccionan, inducidos por la luz solar, en un sistema de reacciones que forma ozono. El ozono es una molécula reactiva que reacciona con otros contaminantes presentes en el aire y forma varias sustancias distintas como nitratos de peroxiacilo (PAN), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), radicales hidroxilo (OH), formaldehído, etc. Estas sustancias pueden producir daños en las plantas, irritación ocular, problemas respiratorios, etc

Ozono. Cuando varios gases orgánicos se combinan en presencia de luz solar, con óxidos de nitrógeno, se produce una reacción compleja, cuyo producto final es el ozono. Este es el gas que caracteriza al smog fotoquímico. El ozono se forma por la fotodisociación del bióxido de nitrógeno (NO_2) el cual es más eficiente para absorber la radiación ultravioleta. Mientras mayor es la temperatura del aire y más intensa la radiación solar la generación de ozono aumenta.

Smog de Londres. Está formado de humo y niebla, el cual contiene compuestos como el azufre, del tipo del bióxido de azufre (SO_2) y ácido sulfúrico (H_2SO_4); este smog se produce por la combinación de la niebla (H_2O) y grandes cantidades de SO_2 , los cuales reaccionan como sigue:



El ácido sulfúrico, es el ácido más corrosivo y ha producido efectos a la salud.

4.2 Fuentes naturales y antropogénicas de la contaminación:

Se considera como fuente de contaminación atmosférica, a dos grupos que son: las fuentes naturales y las fuentes artificiales o antropogénicas. **Fuentes naturales** de contaminación son;

- Una erupción volcánica emite partículas y contaminantes gaseosos, como bióxido de azufre, ácido sulfhídrico y metano. Los daños de estas emisiones al ambiente pueden ser de gran magnitud y alcanzar grandes distancias. Las nubes de partículas y gases originadas por los volcanes permanecen en la atmósfera por largos periodos.
- Los incendios forestales se clasifican como fuentes naturales, aunque pueden ser originados por actividades humanas. Se generan contaminantes en forma de humo como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y cenizas.
- Las tolvaneras contienen partículas y son una fuente natural de contaminación atmosférica. La reducción de visibilidad durante las tolvaneras es causa de accidentes de tránsito y pueden afectar al tránsito aéreo.
- Los océanos emiten de manera continua a la atmósfera aerosoles en forma de partículas de sal, las cuales son corrosivas para los metales y pinturas. La acción de las olas reduce el material rocoso a arena, la cual puede pasar eventualmente a la atmósfera.
- Las playas verdes constituyen la mayor fuente de hidrocarburos.
- Las partículas de polen pueden transmitir afecciones respiratorias y alergias en los seres humanos.

Fuentes artificiales o antropogénicas. Estas se dividen en tres tipos:

- a) **Fuentes fijas**, como fábricas, talleres, plantas nucleoelectricas, termoeléctricas, refinerías de petróleo, plantas cementeras, fábricas de fertilizantes, fundidoras de hierro y acero, baños públicos. Dentro de estas fuentes fijas de contaminación se encuentran las fuentes de contaminación en interiores. Entre las principales fuentes internas de contaminación no industrial, se encuentran:
- **Procesos de combustión.** Las principales fuentes de combustión en las casas son los equipos de gas que no se ventilan al exterior, por lo cual elevan las concentraciones interiores de CO_2 , NO , NO_2 y HCHO . Las estufas que utilizan leña presentan una combustión menos completa en comparación con las que utilizan petróleo o gas, por lo que sus emisiones son mayores.
 - **Hábito de fumar.** El humo del tabaco contiene gran variedad de materiales peligrosos, por lo que es una fuente de contaminación en interiores.
 - **Máquinas de oficina y limpiadores electroestáticos de aire**, tanto domésticos como industriales, constituyen fuentes emisoras de ozono en interiores.
 - **Otras fuentes.** Las emisiones procedentes de sustancias amoniacales para limpiar y de germicidas liberan diferentes compuestos orgánicos. El mobiliario, los adhesivos y las pinturas son fuentes de emisión de productos orgánicos. Otras actividades pueden producir vapores metálicos y partículas respirables, como los trabajos con soldadura y metales.
- b) **Fuentes móviles**, los vehículos de combustión interna como automóviles, aviones, motocicletas, locomotoras, barcos, etc.

- c) **Otras fuentes**, la quema a cielo abierto de basura, llantas, residuos peligrosos; quema de fuegos pirotécnicos (cohetes, luces de bengala, castillos, etc.); uso de explosivos u otro tipo de combustión que pueda producir contaminación.

De los contaminantes que recibe la atmósfera en la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM), el 5% son polvos que provienen de las áreas erosionadas o carentes de cubierta vegetal, como el ex-vaso de Texcoco; la industria contribuye con el 12.6% anual de los contaminantes atmosféricos. Aproximadamente 600 industrias asentadas en la ciudad son altamente contaminantes, de las cuales solo un 25 % cuenta con equipo anticontaminante insuficiente e inoperante, a pesar de que la industria tiene menor emisión de contaminantes la toxicidad es mayor a las fuentes móviles.

En todo sonido distinguimos dos características: tono y volumen. Estas características corresponden a dos aspectos de las ondas: frecuencia y altura. Se llama tono a lo agudo o grave de un sonido. Se distingue entre el zumbido agudo de un mosquito y el sonido grave del mugir de una vaca. El volumen es la intensidad con que se produce el sonido. Es débil el sonido que emite un pájaro al cantar, mientras que es fuerte el producido por el claxon de un coche y todavía mas fuerte el de la batería de un conjunto musical. Tanto la frecuencia como la intensidad se miden físicamente. La unidad de medida de la frecuencia es el hertzio (Hz). La unidad de medida de la intensidad es el decibel (dB). Para medir el volumen o intensidad del sonido se ha tomado como punto de partida el umbral a partir del cual el oído humano puede escuchar la vibración sonora. La escala decibelométrica conforme a la cual se mide la intensidad es logarítmica, esto es: un sonido de 50 dB es 10 veces más fuerte que uno de 40 dB, 100 más fuerte que uno de 30, mil veces más fuerte que uno de 20; y 10 mil veces mas fuerte que uno de 10 dB. Hay un máximo de percepción en el cual el sonido no es dañino para el oído. En la tabla 1 se presentan los niveles máximos de exposición aceptables al ruido. En discotecas se ha registrado niveles de intensidad del sonido arriba de los 125 dB.

Tabla 4.1. Niveles máximos de ruido aceptables.

Duración (día)	Límite (dB)
1.5 min o menos	120
3 min	110
7 min	103
15 min	97
30 min	93
1 hr	90
2 hr	87
4 hr	85
8 hr	85

Cambio Climático Global

Los contaminantes son los óxidos de carbono, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y las partículas sólidas suspendidas, los cuales provocan cambios en la composición de aire que favorecen que se produzcan: inversión térmica, efecto invernadero, lluvia ácida y la destrucción de la capa de ozono. El problema de la contaminación ambiental tiene diferentes escalas espaciales, cada una relacionada con

diferentes contaminantes. Se pueden distinguir tres patrones de distribución de contaminantes: locales, regionales y globales. A escala global existe preocupación por el incremento de bióxido de carbono en la atmósfera del planeta. Este fenómeno se observa desde mediados del siglo XIX y está asociado al consumo de energía. La preocupación proviene del posible incremento de la temperatura media del planeta a causa del efecto invernadero. Otro fenómeno global lo constituye la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera, por el uso indiscriminado de compuestos clorofluorocarbonados en los productos que requieren de aspersión de aire para su aplicación en forma de aerosol.

4.2.1 Inversión térmica

Con frecuencia los habitantes de la ciudad padecen inversiones térmicas causadas por la contaminación. Las inversiones térmicas ocurren en muchas partes del mundo, tanto en las ciudades como en el campo. El problema en la cuenca de México son los niveles de contaminación ambiental que se alcanzan durante eventos de inversión térmica, dañinos para la salud humana. El riesgo no es la inversión, sino que ocurra en áreas donde las concentraciones de contaminantes son elevadas. Bajo condiciones normales en la atmósfera, las capas de aire más frío se encuentran arriba y las capas de aire caliente abajo. En una inversión térmica es al revés; las capas de aire frío se encuentran abajo y las de aire caliente arriba; es decir, la capa de aire caliente descansa sobre otra de aire más frío. Las inversiones térmicas se producen en la noche, cuando la temperatura desciende; esto provoca que las masas de aire pesado contaminado no puedan subir. La inversión térmica se rompe o disipa durante el día, cuando la radiación solar calienta el suelo y el aire contaminado comienza a subir. Las inversiones térmicas se presentan en cualquier época del año, pero son de mayor duración durante el invierno. La topografía de la Ciudad de México favorece que se presente este fenómeno debido a que esta rodeada por cerros y montañas lo que forma una cuenca, impidiendo la dispersión de los contaminantes. Para que se presente una inversión térmica se requiere de: alta concentración de contaminantes, baja temperatura, topografía elevada y falta de vientos.

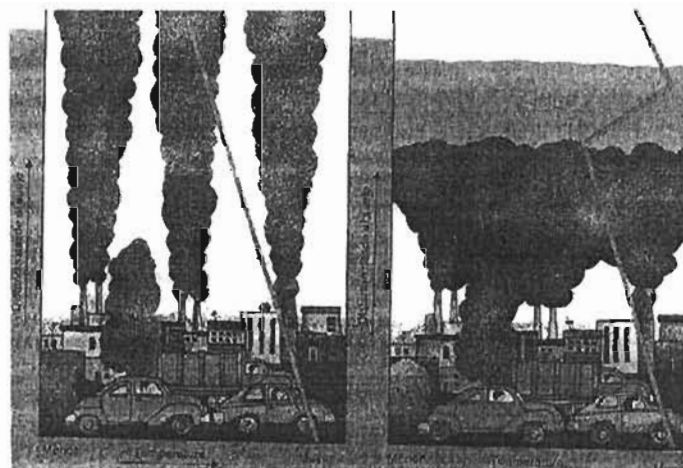


Figura 4.4. La inversión térmica.

4.2.2 Efecto invernadero.

Se llama invernadero al lugar destinado a la reproducción de plantas. Se trata de un lugar con bastante humedad, cubierto de tal forma que pasa la luz solar necesaria para el proceso de fotosíntesis al tiempo que se conserva la temperatura ideal para el desarrollo de las plantas. Nuestra atmósfera desempeña el papel de un invernadero, pues es una cubierta que impide cambios bruscos de temperatura. Sin ella, la superficie de la tierra estaría caliente durante el día y muy fría durante la noche y los seres vivos no podríamos soportar estos cambios. El efecto invernadero se debe a:

- a) Parte de la radiación solar de onda corta, luz visible, pasa a través de la atmósfera y llega a la superficie de la tierra.
- b) Al llegar los rayos solares a la superficie del planeta, los continentes y el mar absorben parte de esta energía y se calientan.
- c) Las superficies irradian la energía en longitudes de onda largas, infrarrojas.
- d) Los rayos infrarrojos se absorben en el vapor de agua y el dióxido de carbono de la atmósfera.
- e) Parte del calor absorbido se vuelve a irradiar a la tierra a manera de un espejo que refleja la luz sobre la superficie.

Al reflejo de este calor se le llama efecto invernadero. Debido al efecto invernadero, en la tierra se dan las condiciones de temperatura ambiental que permiten la existencia de la vida; no así en otros planetas vecinos: Venus y Marte. Gracias al efecto invernadero, la Tierra ha conservado una temperatura ideal para el desarrollo de la vida. Si aumenta la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera, ésta retiene más calor y podría aumentar la temperatura ambiental.

4.2.3 Enfermedades del hombre producidas por contaminantes atmosféricos.

La siguiente es una de las clasificaciones de enfermedades relacionadas a la población expuesta a aire contaminado.

1. Irritación pulmonar y daño agudo de la función pulmonar
2. Toxicidad sistémica (envenenamiento por plomo)
3. Supresión de los mecanismos de defensa del huésped, permitiendo un incremento en la susceptibilidad a la infección
4. Otros tipos: oxigenación reducida de los tejidos (asfixia por monóxido de carbono)
5. Cáncer

Los efectos a la salud era la consideración dominante en los primeros episodios de la contaminación del aire. Aunque con frecuencia no se podía identificar el contaminante que generaba los efectos, se disponía de información suficiente para implicar a ciertos contaminantes como contribuyentes. Las investigaciones iniciales encaminadas a correlacionar las concentraciones y los efectos se enfocaron en los contaminantes que se podían identificar con claridad. Cada contaminante afecta al cuerpo humano de forma diferente, y se han reunido registros de efectos que correlacionan la intensidad con el periodo de exposición para diversos contaminantes. La siguiente descripción de los efectos en la salud causados por la exposición a los principales contaminantes es resumen del reporte EPA Report 450-R-92-001.

- **Materia particulada** (sólidos y líquidos). Los efectos a la salud son al sistema respiratorio como: agravamiento de afecciones respiratorias y cardiovasculares ya

existentes, alteración de los sistemas de defensa del organismo contra materiales extraños, daños al tejido pulmonar, carcinogénesis y mortalidad prematura. Las personas con afecciones pulmonares o cardiovasculares crónicas, asma, ancianos y niños son las más sensibles.

- **Dióxido de azufre** (gas incoloro, umbral de sabor 0.3 ppm, umbral de olor 0.5 ppm). Los efectos a la salud son: afecciones respiratorias, debilitamiento de las defensas pulmonares, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares ya existentes, y muerte. Entre las personas sensibles están los asmáticos, quienes padecen enfermedades pulmonares crónicas o afecciones cardiovasculares, ancianos y niños.
- **Monóxido de carbono** (gas incoloro, insípido e inodoro a concentraciones atmosféricas). La amenaza para la salud que representa el monóxido de carbono es mayor para quienes padecen afecciones cardiovasculares porque reduce el aporte de oxígeno a órganos y tejidos. A concentraciones altas menoscaba la percepción visual, la destreza manual y la capacidad mental.
- **Óxidos de nitrógeno**. El NO es un gas reactivo de color pardo rojizo (umbral de olor de alrededor de 0.2 ppm) que desempeña un papel importante en la formación de ozono en la troposfera. El dióxido de nitrógeno (NO₂) irrita los pulmones, causa bronquitis y neumonía y reduce la resistencia a las infecciones respiratorias.
- **Ozono**. Este gas incoloro (umbral de olor de alrededor de 0.03 ppm) afecta a niños y adultos sanos y personas con problemas en el sistema respiratorio. El ozono reduce la función pulmonar. Las concentraciones altas de ozono se asocian con irritación ocular.
- **Plomo**. La incorporación de plomo por inhalación o ingestión puede proceder de alimentos, agua, suelos o polvo. La exposición a concentraciones altas puede causar ataques, retardo mental y trastornos del comportamiento. Los fetos, los bebés y los niños son susceptibles a las dosis bajas, las cuales causan trastornos al sistema nervioso central. La incorporación de plomo puede contribuir a los problemas de hipertensión arterial y afecciones cardíacas.

Ciertas partículas son especialmente dañinas porque absorben o adsorben gases que causan irritación local intensa. El sistema respiratorio superior humano (nasofaríngeo) es eficiente para filtrar las partículas grandes del aire que respiramos. No obstante, las partículas menores de 5µm penetran hasta los pulmones y se depositan en los alvéolos. Las partículas de humo de los cigarrillos miden menos de 1 µm, y entran y se depositan en los alvéolos. Los gases penetran en los huecos más profundos de los pulmones. Tanto las partículas como los gases que entran al cuerpo por el sistema respiratorio pueden afectar el sistema gastrointestinal. Ciertas sustancias químicas, como el plomo, entran en el torrente sanguíneo desde el sistema digestivo o atravesando las membranas pulmonares. El aire transporta tritio, plaguicidas o herbicidas sistémicos, y sustancias pueden entrar al torrente sanguíneo por la piel.

4.2.4 Soluciones a la contaminación atmosférica.

La modelación de la calidad del aire se usa para predecir su calidad y colaborar en la toma de decisiones respecto a la gestión y desarrollo de infraestructuras e industria. La calidad del aire como análisis de sistemas se representa en la Fig. 5. La ciencia de la

modelación de la calidad del aire y sus componentes específicos es sofisticada cuando se disponen de datos de entrada adecuados sobre sus componentes químicos, topográficos y meteorológicos.

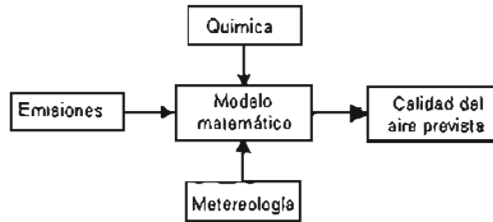


Fig. 4.5. Análisis del sistema de calidad del aire

La modelación del índice de contaminación del aire se basa en una función α , donde α se le adscribe un número que indica una calidad buena, satisfactoria, insalubre o peligrosa. Este índice se usa en Estados Unidos como un nivel fácil de entender y que se llama el PSI (Índice Estándar de Contaminación). La función α se puede relacionar con un parámetro como el CO, el SO₂ o cualquier parámetro incluido en la lista de Estándares de Calidad del Aire, o bien relacionarse con un grupo de parámetros. Este método de modelación toma valores ponderados de los parámetros de contaminación individuales, medidos en puntos especiales y luego compara el número simple de los Estándares de Calidad del Aire. El α adimensional se puede obtener a partir de:

$$\alpha = \alpha_i + \frac{\alpha_{i+1} + \alpha_i}{C_{i+1} + C_i} (C - C_i)$$

donde: α = Índice de Estándares de Contaminantes.
 C = concentración del contaminante correspondiente.
 α_i = punto de inflexión PSI de una calidad a otra.

El deterioro de la calidad del aire en la ciudad de México ha motivado a que la población esté atenta y preocupada. La ciudadanía quiere estar informada acerca de los niveles de peligrosidad a los que se enfrenta, sobre todo durante el invierno cuando la atmósfera se estabiliza sobre la ciudad. El índice de calidad del aire es la medida que se usa en la ciudad de México para informar a la población, acerca de los niveles de contaminación atmosférica conocida como IMECA (Índice Metropolitano de la Calidad del Aire). El IMECA mide la calidad del aire respecto a: partículas sólidas suspendidas totales (PST), bióxido de azufre, ozono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y un término que mide la acción sinérgica del bióxido de azufre con las partículas sólidas en suspensión.

Tabla 4.2. Comparación entre la descripción del IMECA, la del Índice de Ott y Thon y la norma NAAQS, para distintos niveles de contaminantes del aire (continúa).

Índice	Descripción del IMECA	Ott y Thom*	NAAQS**
0-50	Situación favorable para actividades físicas	Bueno	Bajo la norma
51-100	Situación favorable para toda actividad	Satisfactorio	Bajo la norma
101-200	Situación de molestia en personas sensibles	Malo para salud	Sobre la norma

Tabla 4.2. Comparación entre la descripción del IMECA, la del Índice de Ott y Thon y la norma NAAQS, para distintos niveles de contaminantes del aire (continuación).

Índice	Descripción del IMECA	Ott y Thom*	NAAQS**
201-300	Aumento de molestias e intolerancia al ejercicio en personas con padecimientos respiratorios y cardiovasculares, aparición de molestias.	Peligroso	Alerta
301-400	Aparición de síntomas e intolerancia al ejercicio en la población sana.	Muy Peligroso	Aviso
401-500	Aparición de síntomas e intolerancia al ejercicio en la población sana.	Extremadamente Peligroso	Emergencia
501 o más	No se describe	Daño significativo a la salud humana	

*Ott y TOM, 1975-Air pollution Indices

**NAAQS = Norma Federal de calidad del aire de Estados Unidos de América

El Programa de contingencia ambiental contempla una serie de medidas en caso de rebasar ciertos niveles de contaminación, y las condiciones meteorológicas no permitan su dispersión.

Tabla 4.3. Medidas preventivas según el nivel de contaminación.

Fase	Niveles de contaminación	Medidas preventivas
1	Más de 250 IMECAS	Reducción del 30 al 40% en la actividad industrial Dispositivo para agilizar el tránsito en la zona metropolitana Reducción de la circulación de vehículos oficiales Suspensión de asfaltado, pintura y reparación de calles
2	Más de 350 IMECAS	Extensión del programa hoy no circula (2 días) Suspensión de escuelas de preescolar, primaria y secundaria Mayor reducción de las actividades industriales
3	Más de 450 IMECAS	Suspensión total de actividades

Existen varios dispositivos para controlar y remover partículas transportadas por gases, antes de que sean emitidos a la atmósfera. Entre estos dispositivos se tienen: ciclones, precipitadores electrostáticos, filtros de bolsa y lavadores.

- a) **Ciclón.** Está diseñado para remover partículas provocando un vórtice a la corriente gaseosa. La fuerza centrífuga actuante en las partículas más grandes las arroja hacia la pared del ciclón donde chocan, para después caer al fondo (figura 4.6).



Figura 4.6. Ciclón.

- b) **Precipitador electrostático.** Remueve partículas de una corriente gaseosa al generar una carga de voltaje entre electrodos. Conforme el gas con partículas pasa entre los electrodos, las moléculas del gas son ionizadas, los iones se fijan a las partículas y éstas adquieren una carga. Las partículas cargadas son atraídas y colectadas sobre las placas opuestamente cargadas mientras que el aire limpio fluye a través del dispositivo. Mientras se opera el dispositivo, las placas son golpeadas y el aire limpio fluye a través del dispositivo. El polvo se colecta y dispone (Figura 4.7).

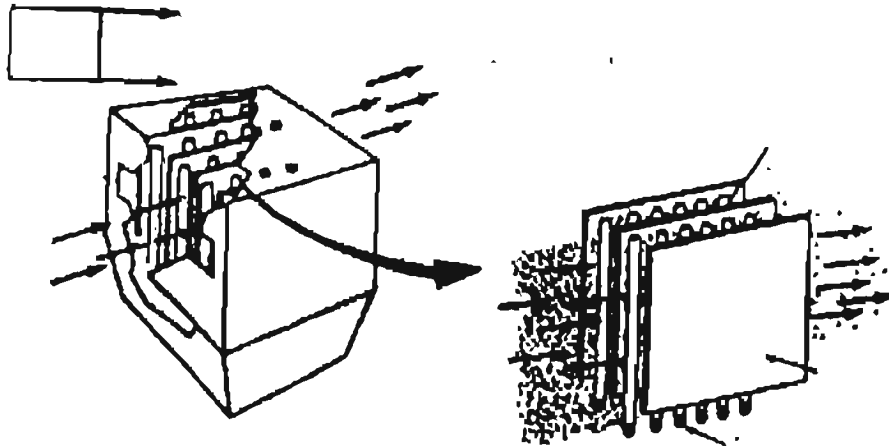


Figura 4.7. Precipitador electrostático.

- c) **Filtros de bolsa;** son como una aspiradora de bolsas múltiples. El gas pasa a través de bolsas de filtro de tela que retienen las partículas, y los gases son expulsados a la atmósfera. Las bolsas se hacen vibrar periódicamente para hacer caer el polvo retenido, recuperarlo del fondo y disponerlo. También puede pasar la corriente de aire en sentido inverso a la dirección del gas para limpiar la tela (figura 4.8)

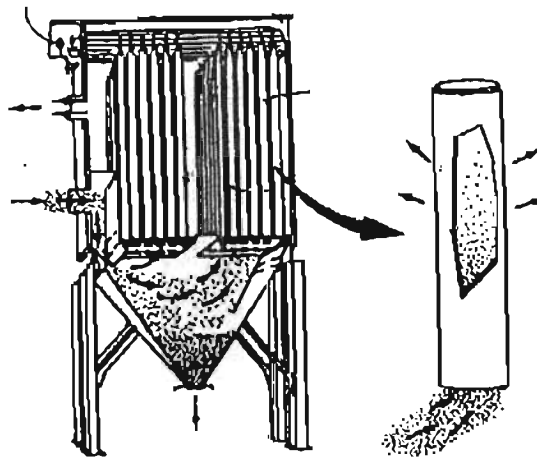


Figura 4.8. Filtros de bolsa.

- d) **Lavadores.** Operan según el principio de colisión entre una partícula y una gota de agua. Las partículas son colectadas por gotas de agua más grandes y pesadas que las primeras. Las gotas de agua caen a través del flujo ascendente de gases, chocando y removiendo las partículas, las cuales se acumulan en el fondo del

lavador. Puede tratarse el agua usada para quitarle las partículas. En algunos casos las gotas de agua pueden disolver algunos de los gases presentes en la corriente gaseosa (figura 4.9). Los ciclones remueven moderadamente las partículas, pero son los dispositivos más baratos. Los otros dispositivos descritos son eficientes y costosos. La eficiencia de colección se define como:

$$\eta = (\text{masa de partículas colectadas} / \text{masa de partículas entrantes}) \cdot 100$$

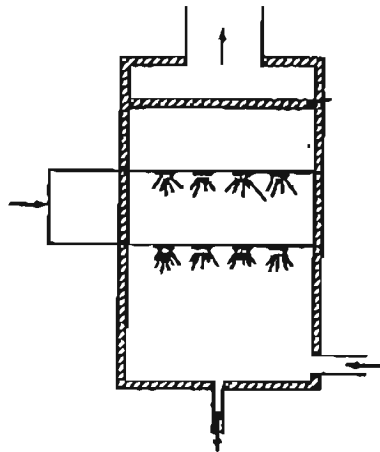


Figura 4.9. Lavador.

La figura 4.10 muestra una comparación de las eficiencias de los dispositivos descritos en función del diámetro de las partículas que pueden remover. Es conveniente hacer dos observaciones importantes: i) conforme decrece el diámetro de una partícula la eficiencia decrece; y ii) los filtros de bolsa son los dispositivos más eficientes sobre un intervalo de diámetros de partículas, el precipitador electrostático es el segundo y el lavador es el tercero. Con excepción de los ciclones, las eficiencias de los dispositivos son altas.

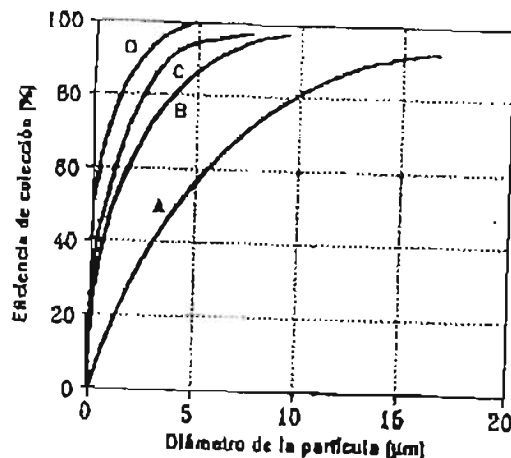


Figura 4.10. Eficiencias de remoción de partículas según los dispositivos de control. A) ciclones, B) lavador, C) precipitador electrostático, D) filtro de bolsa.

Para combatir la contaminación atmosférica las potencias industriales desarrollan tecnologías físicas, químicas y biológicas de tratamiento de efluentes gaseosos. La depuración biológica de gas funciona según un esquema semejante al de las

tecnologías de depuración biológica de agua y suelo. Aprovecha la capacidad que tienen los microorganismos para degradar los contaminantes y transformarlos en productos no o menos contaminantes, principalmente agua y CO₂. La primera aplicación fue registrada en los años 20 pero no fue sino hasta los años 70 que la depuración biológica de gas alcanzó un nivel significativo de desarrollo. Actualmente esta tecnología es aplicada con éxito para el tratamiento de una amplia gama de contaminantes en flujos de hasta 400,000 m³/h. Existen tres tecnologías de tratamiento biológico de gases: los biolavadores, las columnas empacadas (filtros percoladores), y los biofiltros. Estas tecnologías difieren i) por la presencia o ausencia de un soporte, ii) la naturaleza del soporte utilizado (orgánico o sintético), iii) la presencia o ausencia de una fase líquida móvil y iv) por sus capacidades de tratar diferentes contaminantes.

El biolavado es una tecnología de tratamiento en dos etapas. En la primera etapa, el gas contaminado entra en contacto con una fase líquida que absorbe los contaminantes. Después de haber absorbido los contaminantes, el líquido es tratado mediante un proceso biológico tradicional (proceso de lodos activados). Esta tecnología se distingue por su sencillez pero al mismo tiempo por su incapacidad de tratar compuestos poco solubles en agua. Su uso es limitado. Los filtros percoladores, tecnología bien conocida en el ámbito físico-químico, realizan la absorción y degradación de los contaminantes en una sola etapa. Con este propósito, el gas contaminado y un medio de cultivo líquido circulan (a contracorriente) a través de una columna que contiene un soporte inorgánico (anillos de Rashig). La presencia de los contaminantes y del líquido nutritivo lleva al crecimiento de microorganismos, en forma de biopelícula sobre el soporte, asegurando que el filtro sea biológicamente activo y capaz de depurar el gas contaminado. Esta tecnología se distingue por su capacidad para tratar contaminantes medianamente solubles en agua, por su sensibilidad y difícil control.

La biofiltración es la tecnología de tratamiento biológico de gas más utilizada. Está caracterizada por el uso de un soporte orgánico (aserrín, turba, composta, etc.) que provee los nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos, transformando el soporte orgánico en un filtro biológicamente activo. Al pasar el aire contaminado a través del lecho, los microorganismos presentes en la superficie del soporte degradan los contaminantes. La biofiltración fue utilizada para la eliminación de los olores y los primeros biofiltros aparecieron en las plantas de tratamiento de aguas residuales, en mataderos, en unidades de composteo y en la industria alimenticia. Los biofiltros han sido utilizados para el tratamiento de una gama cada vez más amplia de contaminantes. La lista de compuestos tratados con éxito por biofiltros incluyen casi 200 compuestos diferentes, tanto minerales como orgánicos, alifáticos como aromáticos, halogenados o no.

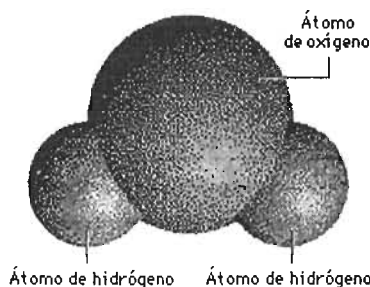
CAPITULO V

Contaminación del agua

CAPITULO 5. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

5.1 Elementos naturales del agua

El agua es un componente de la naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3,000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. Se compone de tres átomos, dos de oxígeno (H_2O). La forma en que estas moléculas se unen entre sí determina la forma en que encontramos el agua en nuestro entorno; como líquidos, en lluvias, ríos, océanos, etc., como sólidos en témpanos y nieves o como gas en las nubes. Alrededor del 98% del agua del planeta es agua salada que se encuentra en mares y océanos; del agua dulce: el 69% está atrapada en glaciares y nieves eternas, el 30% se encuentra en las aguas subterráneas y el 0.7% se encuentra en forma de ríos y lagos.



El agua es el elemento dador de vida y la sustancia que hace posible la vida sobre el planeta. Es un elemento renovable y finito. El agua cumple una serie de funciones donde es posible su sustitución; no obstante, es un elemento frágil. Con el avance de las culturas se desarrollaron tecnologías para el transporte del agua a grandes distancias y su uso y reuso adecuados. Esto fue favorable al aumento de la población humana. Esto implica el abastecimiento de agua a bienes y servicios, que en su producción utilizan y contaminan grandes cantidades de agua. Los problemas de contaminación del agua y la degradación de su calidad son la causa del 80% de las enfermedades. La palabra contaminar es sinónimo de ensuciar o envenenar, para la química la palabra significa que una sustancia está mezclada con otra de modo que ninguna es pura.

El agua contaminada es agua con sustancias deseables o indeseables que pueden estar suspendidas o disueltas. Algunos gases y minerales disueltos dan al agua sabor. Otras sustancias disueltas o suspendidas en el agua provocan olor o sabor y daños a la salud. Contaminación del agua es la adición de sustancias, las cuales se diluyen o filtran produciéndole un cambio que impide su uso como recurso. Es indispensable para la producción de alimentos producto de la agricultura y la ganadería. Se requieren 3 L de agua para producir 1 Ton de verduras, 100 L para producir 1 kg de papel, 4500 L para producir 1 Ton de cemento, 4.3 Ton para producir 1 Ton de acero. El ser humano necesita beber 1 L de agua al día para sobrevivir; para desarrollar una dieta adecuada. El ciclo natural del agua tiene capacidad de purificación. Su facilidad de regeneración y

aparente abundancia hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamamos los residuos producidos por nuestras actividades. Plaguicidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran al analizar agua de los más remotos lugares del mundo. Una parte está tan contaminada que las hace peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida. A partir del siglo XX se ha extendido este problema a ríos y mares de todo el mundo, con la industrialización y el desarrollo económico este problema se trasladó a los países en vías de desarrollo. Los contaminantes del agua pueden ser de varios tipos: biológicos, físicos, químicos.

Contaminantes biológicos. Es conocida la relación que existe entre las enfermedades gastrointestinales y la calidad del agua. El cólera es una enfermedad producida por la bacteria *Vibrio cholerae*, la cual puede estar viable en el agua de 10 a 12 días, y producir epidemias al contaminar la red de abastecimiento de agua potable. Otras enfermedades infecciosas relacionadas con la contaminación biológica del agua, son la fiebre tifoidea causada por *Salmonella typha* y la disentería bacilar ocasionada por *Shigella dysenteriae*. Dentro de las infecciones virales transmitidas por agua contaminada están: la hepatitis tipo A y la poliomielitis. Los protozoarios como *Giardia lamblia* pueden contaminar el agua y producir enfermedades si el agua no es filtrada y purificada. Los quistes de las amibas (*Entamoeba histolytica*) de los desechos humanos, contaminan algunos vegetales ya que en nuestro país es común que se rieguen con aguas negras. Otros agentes infecciosos son:

Tabla 5.1 Agentes infecciosos causantes de enfermedades en el hombre por agua contaminada.

Tipo de organismo	Agente	Enfermedad
Bacterias	<i>Vibrio cholerae</i> <i>Salmonella typhi</i> Otras salmonelas <i>Escherichia coli</i> <i>Shigella dysenteriae</i>	Cólera Fiebre tifoidea Enteritis Enteritis Disentería
Virus	Virus de la Hepatitis tipo A <i>Poliovirus</i>	Hepatitis Poliomielitis
Protozoarios	<i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i>	Amibiasis o disentería amibiana Giardiasis
Helminfos (gusanos)	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis

Contaminantes físicos. Son los siguientes:

- **Calor.** El agua tiene capacidad de absorber calor, haciéndola un medio ideal para el enfriamiento, por esta razón las plantas industriales se establecen cerca de los ríos para verter las aguas de enfriamiento con una temperatura mayor a la de los ecosistemas acuáticos. Las modificaciones en la temperatura producen cambios en la composición de especies. El efecto del calor sobre los organismos es la aceleración de las reacciones metabólicas; también afecta la cantidad de oxígeno y otros gases disueltos en el agua.
- **Sustancias radiactivas.** Las sustancias radiactivas vertidas provienen de: laboratorios de investigación donde se usan radioisótopos, hospitales que usan isótopos radiactivos en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades y agua liberada de plantas nucleares.

Contaminantes químicos. Se dividen en:

- **Sustancias químicas que enriquecen al agua.** La adición de ciertas sustancias químicas en exceso a los cuerpos de agua puede producir eutroficación. Las sustancias químicas adicionadas pueden ser de dos tipos: orgánicas, que sirven de alimento a los organismos descomponedores, y las sustancias inorgánicas como fosfatos y nitratos, que favorecen el crecimiento de las plantas bentónicas y el fitoplancton. Al incrementarse la materia orgánica muerta se favorece el crecimiento de los organismos descomponedores que utilizan el oxígeno para la oxidación de la materia inorgánica, ocasionando su disminución. Los nitratos y fosfatos procedentes de la agricultura y algunos detergentes favorecen el crecimiento de las plantas residentes de los ecosistemas acuáticos. Estas plantas cubren los cuerpos de agua y al morir son desintegradas por los organismos descomponedores, ocasionando que disminuya la concentración de oxígeno disponible, lo que produce la muerte de peces y otros organismos del ecosistema. Los organismos anaerobios proliferan bajo esas condiciones, produciendo gases como metano (CH_4), ácido sulfhídrico (H_2S) y amoníaco (NH_3). En las aguas contaminadas proliferan los protozoarios, como *Tubifex sp.*; cuando es encontrado en las aguas indica que el agua está contaminada.
- **Químicos tóxicos.** Muchos de los tóxicos encontrados en la atmósfera o en el suelo también se encuentran en el agua. Entre los se pueden encontrar están los metales pesados como el arsénico, cadmio, cromatos, mercurio, cianuro, selenio, cobre, zinc, plomo. Todos estos elementos son tóxicos para los peces y otros organismos acuáticos, así como para el hombre, ya que interfieren con la acción de las enzimas y otros procesos bioquímicos. Los metales pesados y los plaguicidas están relacionados con la magnificación biológica, ya que estas sustancias se van acumulando a medida que avanzan en la cadena trófica.

Es conocido el caso de la contaminación por mercurio de una fábrica de Minamoto, Japón, la cual emitía vapores de mercurio que fueron arrastrados por el viento hasta una bahía; al caer la lluvia arrastró este contaminante hasta la bahía, el cual contaminó a los peces de ese ecosistema. Cuando fueron ingeridos, produjeron la muerte a los pescadores. Otros compuestos pueden ser sustancias orgánicas como los plaguicidas (DDT y clordano), el benceno (cancerígeno) y los fenoles. La familia de los bifenilos policlorados (BPC), son compuestos clorados similares al DDT en su estabilidad, que son tóxicos y muy usados en diversos procesos industriales como el vidrio, cerámica, vestido, pinturas, barnices, equipo eléctrico, y también sirven para el tratamiento químico del agua. El nivel máximo permisible de BPC en peces para consumo humano es de 2 ppm, ya que concentración mayor causa la muerte, a causa de alteraciones fisiológicas. Otros contaminantes son los hidrocarburos clorados que contaminan las aguas subterráneas.

Tabla 5.2. Alteraciones físicas del agua

Alteraciones	Características y contaminación que indica
Color	El agua no contaminada tiene ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido a los compuestos húmicos, férricos o pigmentos verdes que contienen las algas. Las aguas contaminadas pueden tener diversos colores pero no se puede establecer relación entre el color y el tipo de contaminación.
Olor y sabor	Compuestos químicos presentes en el agua como fenoles, hidrocarburos, cloro, materia orgánica en descomposición o compuestos liberados por diferentes algas u hongos pueden dar olor y sabor al agua, aún en concentraciones pequeñas. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin olor.
Temperatura	El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases y aumenta la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C.
Materiales en suspensión	Partículas como arcillas y limos, aún sin estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable; o en suspensión que dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las partículas coloides sólo precipitan después de haber sufrido coagulación o floculación.
Radiactividad	Las aguas naturales tienen radiactividad debido a isótopos del K. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.
Espumas	Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua; disminuyen la autodepuración de las corrientes al dificultar la actividad bacteriana; e interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las plantas de tratamiento.
Conductividad	El agua pura tiene una conductividad eléctrica baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por eso, se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos.

Tabla 5.3. Alteraciones químicas del agua (Continúa)

Alteraciones	Contaminación que indica
pH	Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO ₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de minerales, o por ácidos húmicos disueltos. La sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO ₂ formando un sistema carbonato/bicarbonato. Las aguas contaminadas con vertidos industriales pueden tener pH ácido. El pH influye en los procesos químicos que tienen lugar en el agua.
Oxígeno Disuelto	Las aguas superficiales limpias están saturadas de oxígeno. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Indica la presencia de materia orgánica en el agua y permite comprobar la eficiencia de la planta de tratamiento.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico. Se determina en tres horas y tiene buena correlación con la DBO ₅ . No distingue la materia biodegradable.
Nitrógeno total	Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso causa eutroficación. El nitrógeno se presenta en diferentes formas químicas en el agua. En los análisis se determina el NTK (nitrógeno total Kjeldhal) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se determina por separado.

Tabla 5.3. Alteraciones químicas del agua (Continuación)

Alteraciones	Contaminación que indica
Fósforo total	Es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutroficación. El fósforo total incluye compuestos como ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. Su determinación se hace convirtiendo todo en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.
Aniones: cloruros nitratos nitritos fosfatos sulfuros cianuros fluoruros	indican salinidad. indican contaminación agrícola. indican actividad bacteriológica. indican detergentes y fertilizantes. indican acción bacteriológica anaerobia. indican contaminación de origen industrial. en algunos casos se añaden al agua para la prevención de caries.
Cationes: sodio calcio, magnesio amonio metales pesados	indica salinidad están relacionados con la dureza del agua contaminación con fertilizantes y heces efectos nocivos; se bioacumulan en la cadena trófica.
Compuestos orgánicos	Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales son difíciles de metabolizar, forman películas en el agua que dañan a los seres vivos. Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que dan al agua mal olor y sabor.

Tabla 5.4. Alteraciones biológicas del agua

Alteraciones biológicas	Contaminación que indican	
Bacterias coliformes	Desechos fecales.	
Virus	Desechos fecales y restos orgánicos.	
Animales, plantas y algas	Eutrofización.	
Bacterias	Cólera	Diarreas y vómitos intensos. Deshidratación. Es mortal si no se trata adecuadamente.
Bacterias	Tifus	Fiebres. Diarreas y vómitos. Inflamación del bazo y del intestino.
Bacterias	Disentería	Diarrea. Raramente es mortal en adultos, pero produce la muerte de muchos niños en países poco desarrollados.

5.1.2. Características físicas del agua

Color. Las aguas superficiales se colorean cuando han tenido contacto con desperdicios orgánicos en estado de descomposición. El mayor aporte de color a las aguas superficiales se debe a los taninos y a los ácidos húmicos provenientes de la descomposición de la lignina. También puede provenir de la presencia de metales como el hierro y el manganeso o de desechos industriales de color intenso. Existen dos clases de color: el orgánico y el inorgánico. Esta característica puede estar presente en dos formas conocidas como color aparente y color verdadero. Aunque no existe ninguna correlación entre el color y la contaminación, el usuario asocia su presencia con ella. La determinación del color se hace por medios colorimétricos, utilizando soluciones estándar elaboradas a partir de cloroplatinato de potasio (K_2PtCl_6) teñidas con cloruro de cobalto, las cuales producen colores similares a los colores naturales que se encuentran en las aguas. La unidad de color (UC) es la que se obtiene

agregando 1 mg de platino como cloroplatinato de potasio a 1 L de agua destilada. Para la determinación del color se preparan diferentes patrones de color para compararlos con el color de la muestra a ser analizada. La aplicación de cloro en presencia de color orgánico da origen a la formación de trihalometanos, compuestos que tienen efecto cancerígeno en animales. El cloroformo, el más común de estos compuestos.

Color aparente. Es causado por materia en suspensión. Las partículas que lo causan están cargadas negativamente y su remoción se efectúa por medio de coagulación.

Color verdadero. Es causado por sustancias disueltas de origen orgánico. Su remoción es muy compleja.

Turbiedad. Se debe a la presencia de sustancias en suspensión en estado coloidal y de organismos microscópicos. Es una característica propia de las aguas corrientes, siendo baja en las aguas en reposo. Para medir la turbiedad de las aguas se ha adoptado una unidad estándar la cual relaciona la turbiedad causada por 1 mg SiO₂/L con una unidad de turbiedad (UT). Su medición puede hacerse por métodos visuales o instrumentales. El método visual relaciona la turbiedad con la interferencia causada por las partículas al paso de la luz. El método instrumental hace uso de la nefelometría para medir la intensidad de la luz dispersa por las partículas que causan la turbiedad. El método instrumental se expresa en Unidades de Turbiedad Nefelométrica (UTN) y el método visual en UT.

Sabor y olor. Las características de sabor y olor se consideran en conjunto, pues son una sensación que proviene del gusto y el olor; son características que provocan sensaciones subjetivas en los órganos del olfato y el paladar, causadas por la existencia de sustancias. Las aguas subterráneas rara vez poseen sabor y olor perceptibles a menos que tengan sales disueltas en exceso. Los gustos son cuatro: dulce, amargo, ácido y salado. De la combinación de éstos con los tipos de olor, resultan los sabores. Por razones estéticas, el agua de consumo humano debe estar exenta de olor y sabor. La eliminación de los olores puede realizarse con procesos como la aireación y adición de carbono activado.

Temperatura. Esta característica varía continuamente, solo en casos extremos se prevén medidas para su control, es necesario el uso de torres de enfriamiento. Es un factor que actúa como elemento que retarda o acelera la actividad biológica, la absorción del oxígeno y los procesos de tratamiento. La temperatura alta intensifica el desarrollo de microorganismos y aumenta los problemas de sabor, olor, color y corrosión. Las bajas temperaturas en el agua influyen en los procesos normales de tratamiento, pudiendo afectar la calidad del agua potable.

5.1.3. Características químicas

Considerando el agua como el solvente universal, se puede afirmar que cualquiera de los elementos de la tabla periódica podría estar presente en el agua. Las características químicas se deben a la presencia de sustancias disueltas cuantificables sólo por métodos analíticos. Son de gran importancia sus consecuencias sobre los organismos de los consumidores. Las características químicas de las aguas son determinadas por

medio de análisis químicos, siguiendo métodos normalizados para cada sustancia. Las principales características, elementos o sustancias que puedan estar presentes en el agua considerando sus posibles efectos en la salud, o el impacto que causen en los procesos de tratamiento o las implicaciones de tipo económico son:

Salinidad. El conjunto de sales disueltas en el agua está formado por bicarbonatos, cloruros, sulfatos y otras sales, las cuales le confieren un sabor salino y propiedades laxantes. El contenido de cloruros puede indicar contaminación, aunque pueden estar presentes en aguas que han tenido contacto con terrenos salinos o acuíferos. La salinidad excesiva es más propia de aguas profundas que de las superficiales.

Dureza. Es una característica conferida al agua por la presencia de sales de calcio y magnesio y metales en menor proporción. Cuando las sales son bicarbonatos (de calcio y de magnesio) la dureza se denomina temporal, pues puede ser eliminada hirviendo el agua. Cuando se debe a otras sales se denomina permanente. La denominación que ha sido adoptada es la de dureza carbonatada y dureza no carbonatada. Las aguas duras presentan algunos inconvenientes: dificultad para la cocción de las legumbres, consumo excesivo de jabón, incrustaciones en las calderas de vapor, etc. La dureza del agua puede tener influencia sobre la salud. Existen indicios de que los índices de mortalidad por enfermedades cardiovasculares se relacionan con la dureza del agua. Se ha encontrado que el viajero que cambia de agua blanda a agua dura o viceversa, puede sufrir temporalmente de trastornos gastrointestinales simples. La dureza se expresa en mg/L de CaCO_3 . La clasificación de las aguas según el grado de dureza es como se muestra en la tabla siguiente:

Dureza	Denominación
< 50 mg/lit	Muy blanda
50 – 100 mg/lit	Blanda
100 – 200 mg/lit	Medianamente dura
200 – 300 mg/lit	Dura
> 300 mg/lit	Muy dura

pH. Puede considerarse como una medida de la acidez del agua. Tiene efectos sobre los procesos de tratamiento. No tiene efectos sobre la salud, pero afecta la desinfección con cloro y se relaciona a fenómenos de corrosión e incrustación de las redes de distribución. Las aguas naturales presentan un pH por debajo de 7; esto facilita que, mediante la adición de un álcali primario (cal), el pH se lleve hasta el límite esperado para conseguir los niveles óptimos que faciliten los procesos de tratamiento del agua.

Oxígeno disuelto. Proviene de la absorción del oxígeno que contiene el aire. Es un elemento necesario para oxidar otros elementos y contribuir a su eliminación posterior. Su ausencia o niveles bajos en el agua, puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica y una actividad bacteriana intensa. Es deseable contar con una agua que contenga oxígeno en un punto cercano al de saturación.

Alcalinidad. Es una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos. La

alcalinidad está en función del pH, la composición mineral, la temperatura y la fuerza iónica. La alcalinidad de las aguas naturales se debe a la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, siendo los compuestos más comunes: hidróxidos de calcio o de magnesio y bicarbonatos de sodio o de potasio. El agua con valores de pH inferiores a 7 presenta alcalinidad, pues contienen bicarbonatos. Un agua puede tener baja alcalinidad y un pH alto o viceversa, por lo cual su sola medida no tiene importancia como factor de calidad. La determinación de la alcalinidad y la verificación de su forma (hidróxido, carbonato o bicarbonato) se hace con el uso de indicadores: fenolftaleína y anaranjado de metilo. Es importante en el tratamiento porque reacciona con coagulantes hidrolizables (sales de hierro y aluminio) para dar origen al proceso de floculación. La alcalinidad natural presente en el agua cruda es suficiente para producir este proceso, si ésta es baja debe recurrirse a la adición de un alcalinizante primario (hidróxido de calcio) para incrementarla. Tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante del agua y si se presenta en cantidades altas tiene efectos sobre el sabor.

Grasas y aceites. Si están presentes en el agua producen problemas de olor, sabor, deterioran la calidad estética y son un riesgo para la salud, deben estar ausentes del agua de consumo, más por razones estéticas que por su incidencia sobre los sistemas de tratamiento o sobre la salud.

Hierro y manganeso. La presencia de hierro en las aguas no tiene efectos directos sobre la salud, pero afecta su sabor ya que le confiere al agua una sensación astringente. Produce una coloración rojiza, resultado de su precipitación. Las aguas ferrosas manchan los artefactos sanitarios y la ropa. Se deposita en las tuberías produciendo obstrucciones y alteraciones en la turbiedad y el color del agua. El manganeso es semejante en sus efectos al hierro, pero es menos común. Las manchas de manganeso en los utensilios de porcelana son negras, mientras que las de hierro tienen un tinte color café oscuro. Pueden formarse depósitos de óxido de manganeso.

Impurezas orgánicas y nitratos. El término impurezas orgánicas es aplicable a constituyentes de origen animal o vegetal que indican contaminación reciente o remota. Se incluye la materia orgánica y el nitrógeno en sus diversas formas, la presencia del nitrógeno es importante por ser indicio de contaminación bacteriana. Los nitratos resultan tóxicos cuando se presentan en cantidades excesivas en el agua potable, en algunos casos causa metahemoglobinemia en lactantes alimentados con biberón. Ciertas formas de cáncer pueden asociarse con concentraciones elevadas de nitratos.

Características benéficas. La dieta humana exige una cierta concentración mineral en el agua de consumo. Se estima que para el hombre diariamente son necesarios 2 mg de cobre y de 6 a 15 mg de hierro. Los contenidos de yodo y flúor son importantes, pues una deficiencia de yodo en el agua de consumo puede causar problemas de bocio; la presencia de flúor es un factor de reducción en las caries dentales.

Cobre. Este elemento puede encontrarse en forma natural en las aguas, pero en concentraciones menores a 1 mg/lit. Se considera un elemento benéfico para el metabolismo, habiéndose asociado su deficiencia con la anemia nutricional de los niños. En la dosis señalada no tiene efectos nocivos y en algunos sistemas se aplica el

sulfato de cobre en dosis controladas como mecanismo para el control de algas, sin embargo, favorece la corrosión del aluminio y el zinc, y origina problemas de sabor.

Flúor. El contenido natural de flúor, dentro de ciertos límites, resulta benéfico para los niños que están desarrollando el esmalte dental, pues la incorporación de este ion le confiere propiedades de resistente a los ácidos y protege la dentadura de la caries. Si el contenido se excede los límites la protección prevalece, pero el esmalte adquiere manchas permanentes. Si el contenido es elevado y la ingestión es permanente se presenta la fluorosis (dientes manchados) y fenómenos indeseables en las estructuras óseas. Cuando el contenido es elevado éste se rebaja con el proceso de ablandamiento con cal o mediante intercambio iónico. En algunos países se han adoptado programas de adición de flúor en las aguas de consumo para prevenir la caries dental.

Zinc. Este elemento es esencial y benéfico para el metabolismo humano pues incrementa la actividad de la insulina. La solubilidad del zinc es variable y depende del pH y de la alcalinidad; en el agua proviene del contacto con accesorios y estructuras galvanizadas o de bronce. No tiene efectos sobre la salud a concentraciones de 40 mg/L, pero tiene un efecto sobre el sabor.

Boro. Existen pocos estudios de sus efectos de este elemento en aguas de consumo humano, aunque hay estudios sobre sus efectos en el crecimiento de las plantas. Se alcanza buena eficiencia de eliminación con el proceso de ablandamiento y en menor grado con el proceso de coagulación con sulfato férrico.

Toxicidad potencial. Ciertos elementos o compuestos tóxicos pueden estar presentes naturalmente en el agua. Son el producto de vertidos industriales o de actividades humanas. Los elementos o compuestos tóxicos, los más importantes son:

Plomo. Puede producir en el hombre intoxicaciones agudas o crónicas y por el avance de la tecnología se está más expuesto a su contaminación por los alimentos, el aire o el agua. Los niños presentan una sensibilidad mayor. Las cantidades que pueden encontrarse en fuentes naturales varían desde trazas hasta cantidades que superan los límites establecidos. El contacto prolongado de aguas ácidas y suaves con tuberías o accesorios de plomo puede contribuir a incrementar su contenido. La remoción de este elemento es efectiva pues los hidróxidos y carbonatos son insolubles y se pueden formar durante los procesos convencionales de floculación o ablandamiento; los porcentajes de remoción pueden llegar al 98%.

Plata. Es uno de los elementos más escasos en las aguas naturales. Este elemento puede tener efectos estéticos en las personas debido al decoloramiento permanente e irreversible de la piel, los ojos y las membranas mucosas. No existe un límite definido de dichos efectos en la salud humana. Cuando este elemento se encuentre por encima de los límites permitidos, su eliminación se lleva a cabo con el proceso de floculación con sulfato férrico o sulfato de aluminio o de ablandamiento con cal.

Arsénico. Es un metaloide que está en la naturaleza y es tóxico para el hombre. Se encuentra en forma trivalente o pentavalente tanto en compuestos inorgánicos como

orgánicos. No se conoce la forma en que el arsénico está presente en el agua, se asume que la oxidación biológica lo hace estar en forma pentavalente y las reacciones que favorecen la reducción lo hacen variar a su forma trivalente. Las dosificaciones agudas letales de arsénico para el ser humano son de 1 a 2 mg/kg de peso corporal. La absorción continua de cantidades bajas ocasiona intoxicaciones crónicas y la aparición de cáncer, sobre todo de piel. La concentración de arsénico en el agua subterránea no sobrepasa 0.01 mg/lit. En zonas con condiciones geológicas especiales puede aumentar, es necesario controlar el agua cruda que proviene de regiones con rocas de origen volcánico. Los métodos para remover arsénico se basan en la oxidación a la forma pentavalente para luego seguir con coagulación, con sulfato férrico o con alumbre o ablandamiento. Con estos métodos, la remoción de arsénico puede ser mayor al 90%. Existe relación entre la eliminación de dureza y la del arsénico y se puede obtener buena remoción cuando se hace un proceso doble para la reducción de la dureza.

Bario. Es un elemento altamente tóxico para el hombre y causa trastornos cardiacos, vasculares y nerviosos, fatal a dosis de 0.8 a 0.9 gr de cloruro de bario (550 a 600 mg de Ba). Los casos fatales se deben a envenenamiento por productos que utilizan el bario como componente. El contenido de 0.5 mg/m³ de bario en el aire equivale a 2 mg/L en el agua, cantidad que es dañina para la salud y que se puede tomar como un criterio de calidad.

Cadmio. Desde el punto de vista biológico este elemento no es esencial ni benéfico. Cuando se detecta en aguas se asocia a descarga o filtración de plantas electrolíticas, de galvanizado o de aguas residuales industriales. Es tóxico y su ingestión tiene efectos acumulativos en el tejido del hígado y los riñones. Se puede acumular en la cadena alimenticia y en el cuerpo humano; una contaminación continua con cadmio puede causar daños a los pulmones y los riñones y llevar a transformaciones óseas.

Cromo. Es un elemento raro de encontrar en aguas naturales, su presencia indica contaminación por desechos o filtraciones de establecimientos de cromado electrolítico, desperfectos en torres de enfriamiento o en equipos de recirculación de aguas en los que el cromo se utiliza como enlucido y para control de la corrosión. El cromo en estado hexavalente provoca tumores pulmonares cuando es inhalado, mientras que la forma trivalente no tiene efectos nocivos. La eliminación del cromo trivalente es efectiva usando coagulación y ablandamiento. En este último método se alcanzan remociones de 98%.

Cianuro. El cianuro es un elemento tóxico para el hombre. Una dosis de 0.57 mg/kg de peso corporal puede ser fatal, si es de 0.10 mg/kg de peso corporal o menor, no es tan tóxica, ya que el cuerpo lo convierte en tiocianatos, cuya forma es menos agresiva. Las sales del ácido cianhídrico pueden entrar al agua por descargas de aguas residuales provenientes de fábricas de carbón, talleres de templado, lixiviación de oro, empresas galvánicas y químicas, y a través de plaguicidas. La cloración llevada hasta obtener cloro residual, a pH neutro o ligeramente básico, reduce los niveles de cianuro. No es común encontrar cianuro en el agua natural.

Mercurio. Debido al desarrollo de la industria y las ciencias agrícolas, el contenido de

mercurio se ha incrementado con el uso de combustibles fósiles, que se consideran una fuente adicional de contaminación para el agua, el aire y el suelo. También puede estar presente en el ambiente por eventos naturales como la actividad volcánica. La presencia de mercurio en el agua es preocupante pues se acumula en los peces. Se han encontrado elevadas concentraciones de mercurio en peces de agua dulce de zonas contaminadas con mercurio, no siendo estos peces aptos para el consumo. Es tóxico para el hombre y no cumple ninguna función fisiológica en el hombre. Las sales mercuriosas son menos solubles y tóxicas en el tracto intestinal que las mercúricas. Su dosis fatal es de 20 a 30 mg en su forma mercúrica. Las afecciones crónicas por compuestos orgánicos mercuriales se asocian con emisiones industriales. Se caracterizan por inflamación de la boca y encías, hinchazón de las glándulas salivares, salivación excesiva, flojedad de los dientes, calambres, temblores, espasmos, cambios de personalidad, irritabilidad y nerviosismo. Las intoxicaciones agudas se caracterizan por náuseas, dolores abdominales, diarreas con sangre, lesiones renales y muerte en aproximadamente 10 días. Su ingestión diaria durante un periodo prolongado de 0.2 mg de mercurio causa trastornos neurológicos y puede causar cambios embrionarios. La remoción del mercurio del agua depende del pH y de la turbiedad del agua. Su remoción mediante intercambio iónico alcanza eficiencias de hasta 98%.

Selenio. Los efectos del selenio son similares a los del arsénico, pueden llegar a ser fatales. El contenido de selenio en aguas subterráneas y residuales está por debajo de $1\mu\text{g}/\text{lt}$, en algunas regiones este valor puede aumentar debido a su origen geológico. Las actividades humanas que emiten selenio al medio ambiente son la combustión de carbón y la calcinación de minerales. Es un elemento esencial para el ser humano, cuando aumenta su absorción se presentan intoxicaciones crónicas con síntomas como pérdida de apetito, cambios en las uñas y los dientes e irritaciones de la piel. El intercambio iónico o la ósmosis inversa pueden llegar a remociones superiores al 90%.

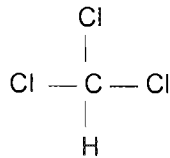
Antimonio. La aplicación industrial del antimonio es de componente de aleaciones, así como en la fabricación de baterías, pigmentos y productos cerámicos. Mientras que en aguas superficiales no contaminadas la concentración de antimonio está por debajo de $0.1 - 0.2 \mu\text{g}/\text{lt}$, en algunos ríos de Alemania se han medido concentraciones hasta 10 veces mayores a las ocasionadas por efluentes industriales. La presencia de antimonio como sustancia dañina para el medio ambiente ha sido limitada y su toxicología no ha sido investigada a fondo. En el ser humano se han observado síntomas agudos y crónicos similares a la intoxicación con arsénico.

Níquel. Está presente en aguas subterráneas y superficiales de origen geológico, o en aguas residuales. En estudios epidemiológicos en ambiente laboral con alta contaminación de polvos que contienen níquel existe un aumento de cáncer en las vías respiratorias bajo esas condiciones. Mediante los resultados de ensayos hechos con animales se espera que para una persona de 70 kg de peso, los primeros efectos de toxicidad aparecen después de una absorción de 250 mg de níquel al día a través de la alimentación. Puede causar reacciones alérgicas en personas sensibles.

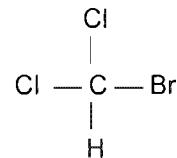
Trihalometanos. Fueron identificados en agua de beber y su presencia fue ligada a la

práctica de cloración de agua. La agencia de protección al ambiente de Estados Unidos (USEPA) condujo un sondeo y encontró que los siguientes trihalometanos en aguas de bebidas cloradas:

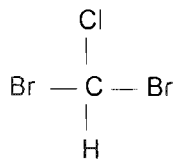
Cloroformo



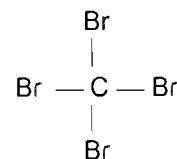
Bromodiclorometano



Dibromo Clorometano



Bromoformo



La formación de especies brominadas es atribuida a la presencia de bromuros en el agua cruda y a la acción del ácido hipocloroso que puede oxidar el ion bromuro a ácido hipobromoso. Los ácidos hipobromoso e hipocloroso pueden adicionarse y sustituir reacciones con compuestos orgánicos para producir material organohalogenado (THMs). Las sustancias húmicas que provienen de la descomposición de material vegetal son los precursores de los trihalometanos en el agua de beber. A partir del descubrimiento de los THMs y su relación con el agua de beber se han identificando otros subproductos formados durante el proceso de desinfección. Se ha correlacionado el cáncer con cloroformo CHCl_3 a un máximo nivel contaminante (MCL) de $100 \mu\text{g}/\text{lt}$ para el total de THMs en agua de beber. Es escaso el conocimiento del efecto sobre la salud humana de los productos químicos que se forman en el proceso de desinfección. Datos epidemiológicos sugieren que los subproductos de la cloración pueden incrementar la incidencia de ciertos tipos de cáncer en la población humana. Algunos datos indican que subproductos del cloro y otros desinfectantes son carcinogénicos en animales de experimentación a dosis de varios órdenes de magnitud mayores a las que se encuentran en el agua de beber. Otros efectos toxicológicos han sido asociados con altas dosis de varios subproductos en experimentos con animales y humanos.

Plaguicidas. Bajo este nombre se agrupan los compuestos que se usan para: control de plagas, matamalezas, herbicidas, etc. Los más comunes son: hidrocarburos clorados, carbamatos, organofosforados y clorofenolados. Aunque se usan con un sano propósito, han llegado a generar problemas mayores en el medio. Su efecto sobre la salud humana difiere dependiendo de su naturaleza química, unos se acumulan en los tejidos y otros son metabolizados. Pueden contaminar el agua superficial en las labores de rociado, en la preparación de las soluciones o mediante la escorrentía en épocas de lluvia. Se ha trabajado en procedimientos para la remoción de plaguicidas de las aguas. La aplicación de carbón activado puede reducir su contenido. La detección de estos compuestos requiere equipos de análisis y personal calificado.

Fenoles y detergentes. El progreso industrial ha incorporado los compuestos fenólicos y los detergentes a los compuestos encontrados en solución en las aguas. El problema mayor lo causan sobre las aguas a reutilizar. Cuando el agua debe ser sometida a tratamiento con cloro, los fenoles se combinan con éste provocando características desagradables. Los detergentes son indestructibles naturalmente. El inconveniente visible es la formación de espuma cuando el agua es agitada; concentraciones mayores tienen consecuencias fisiológicas.

Agresividad. La tendencia del agua a corroer los metales se debe a la presencia de ácidos minerales o por lo existencia en solución de oxígeno, gas carbónico y gas sulfhídrico (H₂S). El oxígeno es factor de corrosión de los materiales ferrosos, el gas sulfhídrico de los no ferrosos y el gas carbónico de los materiales a base de cemento.

Radiactividad. El desarrollo de la industria nuclear trae problemas de radiactividad ambiental, influyendo sobre las aguas. No existe preocupación en las entidades encargadas de controlar la calidad de las aguas. En países con industria nuclear desarrollada uno de los aspectos que es necesario tener en cuenta son los accidentes en plantas nucleares. La contaminación de las aguas ha sido uno de los factores que ha contribuido a sentir sus efectos.

5.1.4. Características microbiológicas

La microbiología es la ciencia que estudia los microorganismos y sus actividades, a través del conocimiento de su forma, estructura, reproducción, fisiología, metabolismo e identificación. Se conoce que ciertos tipos de aguas causan enfermedades al hombre, así como la relación de estas con la presencia de ciertos microorganismos en el agua ingerida. Ha sido constante la preocupación para el hombre obtener agua de la mejor calidad posible y proteger aquellos reservorios catalogados como tales por sus características. Después del desarrollo de la microscopía como técnica de análisis microbiológico, se pudo constatar la presencia en el agua de seres microscópicos relacionados con enfermedades del hombre. La característica fundamental que distingue a los seres vivos de los seres del reino mineral es la relación íntima y obligatoria que mantienen con el medio que los rodea. Existe una dependencia entre el organismo y las características del medio, de tal manera que la composición de la población varía con la composición del medio. Las características del agua que afectan las cualidades de la población pueden ser de naturaleza física o química.

En microbiología se estudian ciertos organismos que presentan características vegetales, otros que se asemejan a los animales, y algunos que poseen propiedades comunes tanto a unos como a otros. Existen elementos (virus) que se clasifican como seres vivos o inertes o inanimados. Existen dificultades para clasificar microorganismos ya que éstos carecen de características morfológicas definidas y de mecanismos sexuales de reproducción que son utilizados para su clasificación por las ciencias botánicas y zoológicas. Se propuso en 1896 el reino de los protistas, en el cual se incluyen a las bacterias, las algas, los hongos y los protozoos. Los protistas inferiores tienen como unidad la célula procariótica que tiene un solo cromosoma, su citoplasma es simple y su estructura no está definida en lo que respecta a respiración, producción

de enzimas, transporte de subproductos metabólicos y pigmentación fotosintética. Son de este grupo las bacterias y las algas verde-azules. Los protistas superiores tienen como unidad la célula eucariótica base de la estructura en plantas, animales, protozoos, hongos y algunos grupos de algas.

Los microorganismos presentes en las aguas no siempre causan problemas en los abastecimientos públicos, pero muchos afectan su potabilidad. Entre los principales factores que hacen el agua inadecuada, se cuentan los microorganismos parásitos, las sustancias tóxicas derivadas de la actividad biológica de bacterias y algas, gusto y sabor desagradables, color, turbiedad, elementos corrosivos, incrustaciones, etc. Varias enfermedades de origen entérico se han asociado con abastecimiento de aguas que han estado en contacto con desechos domésticos, portadoras de organismos patógenos. Entre los organismos que han sido considerados como causantes de enfermedades relacionadas con la vía hídrica están las bacterias entéricas, la más común es la *Salmonella*. La infección bacteriana del hombre es la fiebre paratifoidea y los agentes que causan esta infección son: *Salmonella paratyphi* A, B, C. La fiebre tifoidea es una infección sistémica con una tasa de mortalidad del 10%; su agente infeccioso es *Salmonella typhi*, bacilo tífico, patógeno que se encuentra en el hombre y distribuido en el mundo. Las fuentes de infección son las heces y la orina de las personas infectadas. Son vehículos de esta enfermedad son la leche, las frutas, verduras crudas y productos lácteos.

Tabla 5.5. Organismos patógenos relacionados con el agua

Organismos	Enfermedades
Bacterias (<i>Salmonella</i> , <i>Shigella</i> , <i>Escherichia coli</i>)	Fiebre paratifoidea, tifoides, disentería
Virus entéricos (<i>Enterovirus</i> , <i>Rotavirus</i> , <i>Reovirus</i> , <i>Adenovirus</i>)	Anomalías al corazón, gastroenteritis.
Protozoarios (<i>Balantidium coli</i> , <i>Entamoeba histolytica</i> , <i>Giardia</i>)	Balantidiasis, Amebiasis, Giardiasis
Helminetos (<i>Ascaris lumbricoides</i> , <i>Ancylostoma duodenale</i> , <i>Necator Americanus</i> ; <i>Cestodes</i> ; <i>Taenia Saginata</i> , <i>Taenia Solium</i>)	Ascariasis, Ancylostomiasis, Necatoriasis, Enterobiasis, Taeniasis, etc.

Entre los compuestos tóxicos que se pueden encontrar en las aguas de abastecimiento, están los elaborados por la actividad biológica de las algas, bacterias y plantas superiores. Las verde-azuladas, cuando hay aumento de temperatura, se reproducen con gran intensidad formando floraciones y provocando muerte rápida del ganado que bebe el agua. La mayoría de las algas tóxicas pertenecen al grupo de algas verde-azules, tales como *Microcystis flos-aquae* y *M. aeruginosa*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Coelasmaerium*, *Gloerotruchia*, *Nodularia* y *Nostoc*. Los casos de envenenamiento de animales se han registrado en Canadá, en el lago Great Salt. Los síntomas que presentan los animales son: disnea, convulsiones, parálisis de los miembros posteriores, pérdida de equilibrio, espasmos respiratorios y muerte. Las algas son uno de los factores causantes de sabor y olor en las aguas de abastecimiento. Los ácidos grasos contenidos en las células son los causantes de este fenómeno. Las algas más viejas tienden a producir sabor y olor más pronunciado. Muchas algas dan un sabor intensificado cuando se aplica cloro al agua, debido a la formación clorofenoles. Entre las algas producen sabor y olor están: *Anabaena*, *Actinastrom*, *Chorella*, *Nostoc* y *Oscillatoria*. El olor a pescado se presenta cuando las algas están en concentraciones elevadas. Olor séptico es característico de las algas verdes del género *Hydrodictyon* y

Cladophora. Algunas algas producen un sabor amargo como *Ceratium*, *Nitella*, *Synura*, o sabor como *Microcystis*, *Chlamydomonas*, *Cryptomonas* y *Euglena clophosphoeria* (Tabla 5.6).

Tabla 5.6. Enfermedades causadas por patógenos contaminantes del agua.

Microorganismo	Enfermedad	Síntomas
Bacterias	Cólera	Diarreas y vómitos intensos. Deshidratación. Es mortal si no se trata adecuadamente.
Bacterias	Tifus	Fiebres. Diarreas y vómitos. Inflamación del bazo y del intestino.
Bacterias	Disenteria	Diarrea. No es mortal en adultos, pero si para niños.
Bacterias	Gastroenteritis	Náuseas, vómitos, dolor. Sin riesgo de muerte.
Virus	Hepatitis	Inflamación del hígado. Causa daños al hígado.
Virus	Poliomelitis	Dolores musculares intensos, debilidad, temblores y parálisis. Puede ser mortal
Protozoos	Disenteria amebiana	Diarrea, escalofríos y fiebre. Puede ser grave si no se trata
Gusanos	Esquistosomiasis	Anemia y fatiga continuas

La presencia de microorganismos en el agua puede producir color y turbiedad; debido a su presencia como partículas en suspensión o como productores de segmentos solubles, y por medio de interferencia que causan en los procesos de tratamiento. Ya sea por alteración del pH, aumento de lodos sedimentados u obstrucción de filtros. El agua puede poner en peligro la salud y la vida. Los gérmenes patógenos que se propagan por vía acuática son los que causan infecciones intestinales. Estos microorganismos se encuentran en las heces y en la orina de las personas infectadas, y cuando se eliminan pueden llegar a contaminar fuentes de abastecimiento. El agua puede ser clara y no presentar ninguna cualidad apreciable de olor o sabor y estar contaminada. Por esta razón es necesario determinar la existencia de contaminación de origen fecal, lo cual se logra empleando técnicas bacteriológicas específicas. El objetivo de los análisis bacteriológicos no es el de aislar organismos patógenos, esto debido a que i) es más probable que los gérmenes patógenos lleguen al agua esporádicamente o no sobrevivan en ella largo tiempo; ii) si existen en pequeño número, no es fácil detectarlas; y iii) el tiempo requerido para el análisis de una muestra es de 24 horas.

Los patógenos llegan al agua a través de las deyecciones intestinales, pero ciertas especies bacterianas, en particular *Escherichia coli* y los organismos coliformes, como los estreptococos fecales, son huéspedes normales del intestino del hombre y de algunos animales, y se encuentran en las heces fecales. La presencia de estos microbios en el agua revela contaminación fecal de procedencia humana o animal, y es señal de que existe una vía de acceso que pueden seguir los gérmenes intestinales patógenos que son eliminados en las deyecciones de enfermos infecciosos. Por lo que los análisis bacteriológicos se dirigen a detectar las especies bacterianas de origen fecal, en especial del grupo coliforme, lo que ofrece las siguientes ventajas: i) los coliformes (*Escherichia coli*) existen en gran número en el intestino humano (2×10^{11} células coliformes/habitante/, de 1/5 a 1/3 del peso de las heces de un individuo; ii)

estos microorganismos viven en el agua más tiempo que los patógenos; y iii) la presencia de bacterias coliformes en el agua, se considera como un aviso de que está expuesta a una posible contaminación (Tabla 5.6). Los métodos bacteriológicos utilizados para detectar la presencia en el agua del grupo coliforme son: cuenta en placa, técnicas que revelan la existencia de bacterias coliformes (se efectúan tres pruebas sucesivas: prueba presuntiva, prueba confirmativa y prueba complementaria), y la técnica de filtración por membrana, con la que los resultados se obtienen rápidamente.

5.1.5. Índice de calidad del agua

El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura. El agua contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100%. El ICA fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas: La primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua. La segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada parámetro de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación. Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon los modelos matemáticos para cada parámetro, los cuales convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro (I_i). Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, este hecho se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación (W_i) según su orden de importancia respectivo. Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua. La fórmula empleada es:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

donde el subíndice i identifica a cada uno de los 18 parámetros antes presentados, por lo que i = 1, 2, ..., n, y n = 18. Cada parámetro tiene la importancia relativa según la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Importancia relativa de los parámetros empleados en el cálculo del ICA.

Parámetro	Peso (W _i)	Parámetro	Peso (W _i)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	5.0	Nitrógeno en nitratos (NO ₃ ⁻¹)	2.0
Oxígeno disuelto	5.0	Alcalinidad	1.0
Coliformes fecales	4.0	Color	1.0
Coliformes totales	3.0	Dureza total	1.0
Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes)	3.0	Potencial de Hidrógeno (pH)	1.0
Conductividad eléctrica	2.0	Sólidos suspendidos	1.0
Fosfatos totales (PO ₄ ⁻³)	2.0	Cloruros (Cl ⁻¹)	0.5
Grasas y aceites	2.0	Sólidos disueltos	0.5
Nitrógeno amoniacal (NH ₃)	2.0	Turbiedad	0.5

Así, los valores obtenidos se comparan con la escala presentada en la figura 5.1.

ICA	Uso Público	Recreo	Pesca y vida acuática	Industria Agrícola	Navegación	Transporte de desechos tratados
100	Aceptable No requiere de purificación			Aceptable No requiere de purificación		
90	Requiere una ligera purificación	Aceptable para todo tipo de deportes acuáticos	Aceptable para todo tipo de organismos	Requiere una ligera purificación		
80						
70	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo de transporte de desechos tratados
60			Dudoso para especies sensibles			
50	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo para organismos muy resistentes	Con tratamiento para la mayor parte de la industria		
40	Inaceptable	Sin contacto con el agua				
30		Muestras obvias de contaminación	Inaceptable	Uso muy restringido	Contaminado	
20		Inaceptable		Inaceptable	Inaceptable	
10						Inaceptable
0						

Figura 5.1. Escala de calidad del agua según el ICA.

5.2 Fuentes naturales y antropogénicas de contaminación

El agua disuelve lo soluble, diluye lo tóxico, desplaza aquello que flota y disimula lo que se hunde, por ello se emplea para eliminar cuanto molesta en el hogar, en la industria, en comercios, oficinas, etc., transformándose en agua residual. La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. Las fuentes de contaminación natural son dispersas y no provocan concentraciones altas de contaminación, excepto en lugares concretos. La contaminación de origen humano se concentra en zonas concretas y es más peligrosa que la natural. El desarrollo y la industrialización requieren mayor uso de agua, generación de residuos y el uso de medios de transporte fluviales y marítimos. Existen cuatro focos principales de contaminación antropogénica:

Industria. Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. En los países desarrollados las industrias poseen eficaces sistemas de tratamiento de aguas, incluso para los contaminantes más peligrosos. En países en vías de desarrollo la contaminación del agua por residuos industriales es muy importante (Tabla 5.8).

Vertidos urbanos. La actividad doméstica produce residuos orgánicos, pero el alcantarillado conduce todo tipo de sustancias. Aunque la normatividad mexicana pide tratar las aguas residuales antes de ser vertidas a cuerpos de agua o al alcantarillado. No se ha llevado a cabo esta práctica.

Navegación. Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente hidrocarburos que provocan daños ecológicos.

Tabla 5.8. Principales sustancias contaminantes según el sector industrial.

Sector industrial	Substancias contaminantes principales
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textil y piel	Cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión.
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sodas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y otros compuestos.
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, cancerígenos y los que afectan el balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

Agricultura y ganadería. Los trabajos agrícolas producen vertidos de plaguicidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de forma difusa pero notable (Tabla 5.8). Los volúmenes que son arrastrados por el agua hacia arroyos, ríos y mar, causando la salinización, el azolve de presas y la eutroficación.

Tabla 5.9. Equivalentes de población (contaminantes expresados en DBO).

Fuente de desechos	Equivalentes población	Fuente de desechos	Equivalentes población
Hombre	1	Vaca	16.4
Plaza de guardería	0.5	Caballo	11.3
Plaza de escuela	0.6	Gallina	0.014
Plaza de camping	0.7	Oveja	2.45
Plaza de hotel	2.1	Cerdo	3
Plaza de hospital	4.0		

Nota: El equivalente de población es el volumen de agua residual o la carga contaminante producida por una persona en una vivienda normal.

La contaminación del agua se agrupa en cuatro tipos:

Contaminación térmica. Es la adición de calor debido a la descarga de agua caliente de las plantas industriales que utilizan agua para el enfriamiento de sus procesos. El calor transferido al agua durante el enfriamiento puede incrementar su temperatura entre 4 y 9 °C, lo que constituye una amenaza para todo tipo de vida.

Sedimentación cultural. Es la descarga de materiales sólidos que no son biodegradables, como envolturas de bebidas, llantas, chatarra, bolsas de plástico, pañales desechables, cubetas de plástico, etc..

Tóxicos. Son sustancias químicas que son arrastradas hasta las fuentes de agua, en donde contaminan los organismos de un ecosistema. Las sustancias químicas se

transforman en contaminantes cuando las concentraciones son altas para que el sistema pueda diluirlos y dispersarlos.

Eutroficación. Es la adición de nutrientes como nitratos y fosfatos procedentes de la agricultura, lo que favorece el crecimiento de la vegetación residente (plantas bentónicas y fitoplancton), las cuales generan el proceso de disminución de oxígeno disponible para los peces y otros organismos. La adición de sustancias orgánicas favorece el crecimiento de los organismos desintegradores, los cuales agotan el oxígeno disponible en el proceso de oxigenación. Esto favorece el crecimiento de los microorganismos anaerobios, produciendo agua putrefacta, con la emisión de metano, ácido sulfhídrico y amoníaco, y la muerte de los organismos residentes.

El proceso de eutroficación resulta de la utilización de fosfatos y nitratos como fertilizantes en los cultivos agrícolas, de la materia orgánica de la basura, de los detergentes hechos a base de fosfatos, que son arrastrados o arrojados a los ríos y lagos son un problema muy grave para las aguas estancadas cerca de los centros urbanos o agrícolas. Durante las épocas cálidas la sobrecarga de estos productos químicos, que sirven de nutrientes, generan el crecimiento acelerado de vegetales como algas, cianobacterias, lirios acuáticos y lenteja de agua, las cuales al morir y ser descompuestas por las bacterias aeróbicas provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno, en las aguas de los lagos y ríos. Lago eutrófico es aquel de poca profundidad y poco contenido de oxígeno disuelto pero rico en materias nutritivas y materia orgánica.

5.2.1 Lluvia ácida, lixiviación.

El pH del agua pura es de 7. El funcionamiento de los organismos depende del pH de los líquidos del organismo y del ambiente. Los suelos tienen un pH que va de 5.5 a 7.5; las plantas no pueden sobrevivir fuera de los límites. El agua de lluvia es poco ácida, tiene un pH de 5.6, debido a la presencia de bióxido de carbono en el aire. La presencia en la atmósfera de ácidos sulfúrico y nítrico, resultado de la contaminación que generan los motores que usan como combustible derivados del petróleo, produce lluvias ácidas (precipitaciones de agua de lluvia, rocío o nieve) con pH menor de 5.5. Las lluvias ácidas aumentan la acidez de suelos y aguas superficiales, cambiando las condiciones ambientales adecuadas para plantas y peces. Estas lluvias retardan el crecimiento de las plantas nuevas y provocan que los árboles antiguos se sequen. Este fenómeno se da en las regiones industrializadas, es frecuente que por el movimiento del aire las lluvias ácidas caigan en lugares alejados de dichas regiones. Tiene efectos nocivos sobre la vegetación, edificaciones (los más antiguas) y los ecosistemas acuáticos.

La lixiviación es un proceso de lavado que realiza el agua que se infiltra en el suelo. La disolución, movilización y precipitación de las moléculas e iones del suelo dependen del pH y la temperatura. El responsable del tipo de lixiviación y del tipo de suelo formado, es el clima. El horizonte de un suelo se denomina nivel de lixiviación (eluviación o lavado) porque es el que resulta empobrecido durante este proceso. Se denomina horizonte B al nivel de lixiviación (acumulación) porque en él se produce el depósito de las sales procedentes del lavado del nivel superior. Se acumulan carbonatos, nitratos y sulfatos de hierro, calcio o aluminio. La lixiviación puede provocar la contaminación de

los suelos subyacentes o de las aguas subterráneas. Para evitar estos problemas al instalar un relleno sanitario o un embalse de decantación de instalaciones mineras o industriales se debe impermeabilizar su base.

5.2.3 Efectos en la salud a causa de la contaminación del agua

Cuadro de enfermedades por patógenos contaminantes de las aguas

Microorganismo	Enfermedad	Síntomas
Bacterias	Cólera	Diarreas y vómitos intensos. Deshidratación. Es mortal si no se trata adecuadamente
Bacterias	Tifus	Fiebres. Diarreas y vómitos. Inflamación del bazo y del intestino.
Bacterias	Disentería	Diarrea. No es mortal en adultos, pero si para niños en países subdesarrollados
Bacterias	Gastroenteritis	Náuseas y vómitos. Dolor en el digestivo. Poco riesgo de muerte
Virus	Hepatitis	Inflamación del hígado e ictericia. Puede causar daños permanentes en el hígado
Virus	Poliomelitis	Dolores musculares intensos. Debilidad. Temblores. Parálisis. Puede ser mortal
Protozoos	Disentería amebiana	Diarrea severa, escalofríos y fiebre. Puede ser grave si no se trata
Gusanos	Esquistosomiasis	Anemia y fatiga continuas

5.2.4 Control de la contaminación (soluciones alternativas)

Las aguas residuales del mundo no son tratadas; se descargan al río, mar o lago más cercano y se deja que los sistemas naturales degraden los desechos de forma natural. Las aguas residuales llevan elementos contaminantes y su tratamiento consiste en retirar de alguna forma los contaminantes. Los objetivos que se pretenden en la depuración de las aguas son: i) reducir al máximo la contaminación y sus efectos, ii) asegurar la protección del medio ambiente y de los seres vivos que en él viven y iii) prever el desarrollo urbano e industrial. Para poder conseguir estos objetivos, el hombre ha desarrollado distintas tecnologías, que, de forma individual o combinada, consiguen retirar total o parcialmente los contaminantes dependiendo de los contaminantes contenidos en el agua y su reuso. Es tradicional hablar de tratamiento primario, secundario, etcétera, (Figura 5.2). Así se pueden distinguir:

- a) **Pretratamiento.** Es un proceso en el que usando rejillas y cribas se separan residuos voluminosos.
- b) **Tratamiento primario.** Se sedimenta el material suspendido usando tratamientos físicos o físico-químicos; dejando las aguas residuales un tiempo en tanques o añadiendo al agua sustancias químicas que coadyuvan la sedimentación. Las

operaciones incluidas son desengrasado, sedimentación primaria, filtración, neutralización y desorción.

- c) **Tratamiento secundario.** Elimina las partículas coloidales; incluye procesos biológicos y químicos. El proceso secundario habitual es un proceso biológico en el que se facilita que bacterias aerobias digieran la materia orgánica contenida en las aguas. Este proceso lleva el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activados. Estos tanques tienen sistemas de agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de los microorganismos. Se conduce este líquido a tanques cilíndricos en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua sale tratada.
- d) **Tratamiento avanzado.** Consiste en procesos físicos y químicos con los que se elimina del agua contaminantes como: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus y compuestos orgánicos. Es un tratamiento caro que se usa en casos especiales en los que los vertidos deben ser bajos en nitrógeno y fósforo.

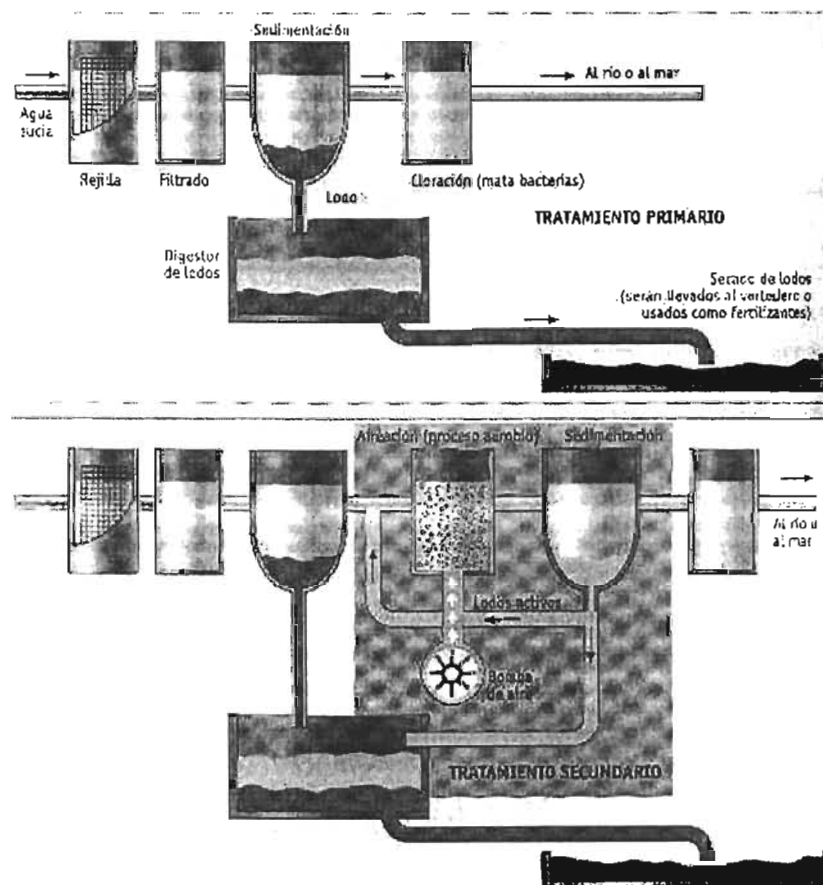


Figura 5.2. Tratamiento primario y tratamiento secundario.

En el funcionamiento de una planta de tratamiento de agua se tiene dos líneas:

- a) Línea de agua, que es el conjunto de los procesos que tratan el agua. Comienza con el agua entrando a la planta de tratamiento y termina vertiéndola.

- b) Línea de lodos. Es el conjunto de procesos a los que se somete a los lodos que se producen en la línea de agua. Estos lodos son degradados en un digestor anaerobio, para ser incinerados, usados como abono o confinados.

Existen distintos tipos de tratamiento de aguas residuales para retirar contaminantes, se pueden usar procesos físicos, químicos, biológicos o térmicos. Los más usuales son:

- a) *Físicos*: sedimentación, flotación, filtración, evaporación, adsorción, desorción y extracción.
- b) *Químicos*: coagulación-floculación, precipitación química, oxidación-reducción, reducción electrolítica, intercambio iónico y ósmosis inversa.
- c) *Biológicos*: lodos activados, biofiltros, biodiscos, lagunas aireadas y degradación anaerobia.

Cuando las aguas que salen de una planta de tratamiento de aguas residuales se vierten a un cuerpo de agua en peligro de eutroficación es necesario eliminar los nutrientes (P y N) que estas aguas llevan. Para eliminar fósforo se usa un reactor anaerobio que facilita la mayor asimilación de ese elemento por las bacterias, llegando a eliminar el 60 - 70% del fósforo. Se puede complementar con precipitación química forzada con sulfato de alúmina o cloruro férrico. La eliminación de nitrógeno se hace en varias fases, durante el tratamiento biológico la mayor parte de los compuestos orgánicos de nitrógeno se convierten en amoníaco, a continuación el amoníaco se debe convertir a nitratos por la acción de bacterias aerobias nitrificantes. El proceso de nitrificación necesita de reactores de mayor volumen (1 a 6 veces) que los necesarios para eliminar carbono orgánico. La eliminación de los nitratos se realiza con bacterias en condiciones anaerobias que reaccionan con el nitrato y parte del carbono, de la reacción se forma CO_2 y N_2 que se desprenden a la atmósfera.

Las tecnologías existentes para la depuración del agua residual son muy diversas y se pueden clasificar también según i) la naturaleza del tratamiento y ii) el tamaño del contaminante eliminado. Basándose en las características y propiedades físicas de los contaminantes, se consigue su eliminación total o parcial. Los tratamientos físicos típicos son:

Sedimentación. se basa en la separación de los contaminantes sólidos, cuya densidad es mayor que la del líquido, por acción de la gravedad.

Flotación. se basa en la separación por diferencia de densidad de los contaminantes sólidos, cuya densidad es menor que la del líquido. Esta flotación puede ser natural o provocada, como ocurre en el caso de introducción de aire a presión.

Filtración. Se fundamenta en la retención de sólidos provocada por la interposición de un medio poroso. Los sólidos quedan retenidos en la superficie o en el interior del medio poroso. Como medios porosos se utilizan materiales como arenas, carbón activado, o membranas sintéticas. La filtración puede realizarse a presión o sin ella.

Adsorción. Por medio de la fijación (física o química) sobre un sólido el contaminante se retira de una solución. Como medios de adsorción se emplean, entre otros, carbón activado y zeolitas.

Desorción. Se provoca una desorción cuando una masa líquida se pone en contacto con una corriente de aire a la cual se transfiere el contaminante. Este proceso se emplea para eliminar amoniaco en aguas industriales con altas concentraciones.

Tabla 5.10. Tratamientos Físicos.

Tratamiento	Ventajas	Inconvenientes
Sedimentación	Uso amplio	Formación de lodos, Superficie amplia
Flotación	Uso amplio	Formación de lodos Activados
Filtración	Elimina contaminantes disueltos y partículas	Requiere lavado, Consumo energético
Adsorción	Elimina contaminantes disueltos	Regeneración de absorbente
Desorción	Elimina contaminantes disueltos	Atascamientos, Gasto energético

Los tratamientos químicos se basan en modificar las propiedades químicas de los contaminantes de modo que resulten destruidos o que se conviertan en otros productos fácilmente separables o no tóxicos. Los tratamientos típicos son:

Coagulación-floculación. Los sólidos pequeños, mediante el uso de reactivos químicos, se agregan en sólidos mayores sedimentables (Figura 5.3). Son tratamientos que van seguidos de algún medio de separación física. Mediante este tratamiento se eliminan partículas de tamaño coloidal con velocidades de sedimentación bajas.

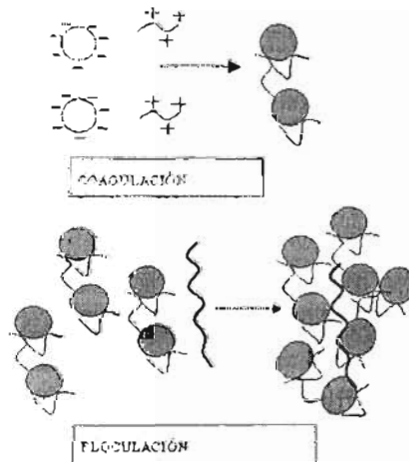


Figura 5.3. Coagulación y floculación

Los coloides son partículas pequeñas cargadas eléctricamente. Una de sus propiedades es su gran estabilidad, que impide que se agreguen, pudiéndose mantener en suspensión de forma indefinida en el líquido que lo contiene. Esta estabilidad se

debe a que las fuerzas que agregan las partículas (energía cinética debido a su movimiento y fuerzas de Van der Waals) son menores que la repulsión electrostática debida a su carga superficial (Tabla 5.11).

Tabla 5.11. Partículas y tiempo de sedimentación.

Partícula	Diámetro (mm)	Tiempo de sedimentación
Grava	10	1 segundo
Arena fina	0.1	2 minutos
Arcillas	0.01	2 horas
Bacterias	0.001	8 días
Partículas coloidales	0.0001-0.00001	2-20 años

La coagulación es el proceso de desestabilización química por adición de reactivos coagulantes, que hace que las partículas se desestabilicen. La floculación es el proceso de adhesión entre las partículas ya desestabilizadas, favorecido por la adición de un polímero floculante.

Precipitación química. Este tratamiento consigue, mediante la adición de reactivos, que contaminantes solubles se transformen en formas insolubles o de menor solubilidad

Oxidación-reducción química. Consiste en hacer reaccionar los contaminantes con reactivos que provocan la pérdida de electrones (oxidación) o la ganancia de electrones (reducción) de los contaminantes.

Reducción electrolítica. Este tratamiento incluye reacciones de oxidación - reducción sobre la superficie de electrodos (generalmente del cátodo) Es un procedimiento de recuperación.

Intercambio iónico. Consiste en poner en contacto un líquido con un sólido que presente facilidad para intercambiar iones. Normalmente estos sólidos son resinas de intercambio iónico.

Los tratamientos térmicos utilizan altas temperaturas para descomponer los contaminantes. Presentan como inconvenientes los altos gastos energéticos y la formación de contaminantes residuales. Los tratamientos típicos son:

Oxidación húmeda. En este proceso se pone en contacto la fase líquida con aire a temperaturas de 150-325° C y presiones de 2000-20000 kPa.

Oxidación supercrítica. En este proceso se explotan las propiedades del agua a temperaturas y presión críticas: 374° C y 25.3 MPa. En estas condiciones las sustancias orgánicas son completamente miscibles y las sales insolubles.

Incineración. Es un proceso de destrucción térmica en presencia de oxígeno. Opera en el rango de temperaturas entre 1000-1700° C.

Los tratamientos biológicos emplean mecanismos biológicos o bioquímicos para llevar a cabo un cambio químico en las propiedades del contaminante. Estos tratamientos se basan en la utilización como alimento de compuestos orgánicos por parte de los microorganismos. Dependiendo del medio en el que se desarrollen los microorganismos se distinguen en dos tipos de tratamientos biológicos: i) tratamientos aerobios en los que los microorganismos se desarrollan en presencia de aire; y ii) tratamientos anaerobios en los que los microorganismos se desarrollan en condiciones de ausencia de aire. Dentro de los distintos tipos de tratamientos biológicos se han desarrollado diversas tecnologías que aprovechan algún aspecto característico de estos tratamientos. Si se definen los niveles de depuración en función del tamaño de la partícula eliminada nos encontramos con los siguientes niveles:

- **Pre tratamiento.** Elimina las partículas que arrastra el agua residual. Normalmente está constituido por sistemas de eliminación física.
- **Tratamiento primario:** elimina las partículas en suspensión. Consta de procedimientos físicos, a veces combinados con químicos.
- **Tratamiento secundario:** Consigue la eliminación de partículas coloidales y subcoloidales. Está constituido por operaciones químicas y/o biológicas.
- **Tratamiento terciario:** consigue la eliminación de partículas disueltas.

El objetivo principal del tratamiento biológico de aguas residuales consiste en estabilizar la materia orgánica, coagular y remover los sólidos coloidales que no sedimentan. Lo cual depende de las circunstancias locales como la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo), así como, de trazas de compuestos orgánicos. Un tratamiento orgánico comprende: i) conversión de la materia orgánica carbonácea disuelta y en estado coloidal en diferentes tejidos celulares; ii) formación de conglomerados biológicos compuestos de materia celular y de los coloides orgánicos presentes; y iii) remoción de los conglomerados por medio de sedimentación. Si el tejido celular producido no se retira por precipitación, éste ejerce una DBO en el agua residual y el tratamiento se considera incompleto. Las aplicaciones del tratamiento biológico son:

- Remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Remoción de demanda química de oxígeno (DQO)
- Remoción de carbono orgánico total (COT)
- Nitrificación
- Desnitrificación
- Remoción de fósforo
- Estabilización de desechos

Los procesos de tratamiento biológico para el tratamiento de aguas residuales son:

Tabla 5.12. Procesos biológicos empleados en el tratamiento de aguas residuales (Continúa).

Tipo	Nombre común	Uso*
<i>Procesos aerobios</i>		
Crecimiento en suspensión	Procesos de lodos activados.	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación.
	Lagunas aireadas.	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación.

	Digestión aerobia.	Estabilización, remoción de la DBO carbonácea.
Película bacteriana adherida	Filtros percoladores.	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación.
	Sistemas biológicos de contacto rotatorio.	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación.
	Reactor de película adherida.	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación.
Híbrido (crecimiento en suspensión y en película)	Filtros percoladores / lodo activado. Humedales artificiales.	Remoción de la DBO carbonácea, (nitrificación) Remoción de la DBO carbonácea, (nitrificación)
<i>Procesos anóxicos</i>		
Crecimiento en suspensión.	Desnitrificación por crecimiento en suspensión.	Desnitrificación.
Película bacteriana adherida.	Denitrificación por película fija.	Desnitrificación.
<i>Procesos anaerobios</i>		
Crecimiento en suspensión	Procesos de contacto anaerobio	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación
	Digestión anaerobia	Estabilización, remoción de la DBO carbonácea
Película bacteriana adherida	Lecho anaerobio fijo	Remoción de la DBO carbonácea, estabilización de desechos, (denitrificación)
Híbrido	Proceso anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente	Remoción de la DBO carbonácea, altas concentraciones.
	Reactor de manto de lodos/ reactor del lecho fijo	Remoción de la DBO carbonácea,
<i>Procesos aerobios anóxicos y anaerobios combinados</i>		
Crecimiento en suspensión	Procesos simples o de múltiples etapas, diferentes procesos propios	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación, denitrificación y remoción de fósforo
Crecimiento combinado en suspensión y película bacteriana adherida	Procesos simples o de múltiples etapas	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación, denitrificación y remoción de fósforo
<i>Procesos en lagunas</i>		
Lagunas aerobias	Lagunas aerobias	Remoción de la DBO carbonácea
Lagunas de maduración (terciarias)	Lagunas de maduración (terciarias)	Remoción de la DBO carbonácea
Lagunas facultativas	Lagunas facultativas	Remoción de la DBO carbonácea
Lagunas anaerobias	Lagunas anaerobias	Remoción de la DBO carbonácea

* Los usos principales aparecen primero, los demás se muestran en paréntesis.

CAPITULO VI

Contaminación del suelo

CAPITULO 6. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

6.1 Usos del suelo.

Suelo es la cubierta superficial de la superficie continental de la Tierra. Es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica. Los suelos cambian de un lugar a otro. Su composición química y la estructura física del suelo están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales debido a las actividades humanas (Figura 6.1). Las variaciones del suelo en la naturaleza son graduales, excepto las derivadas de desastres naturales. El cultivo de la tierra priva al suelo de su cubierta vegetal y de su protección contra la erosión, por lo que estos cambios pueden ser más rápidos. Los agricultores han tenido que desarrollar métodos para prevenir la alteración del suelo debida al cultivo excesivo y para reconstruir suelos que ya han sido alterados gravemente. El conocimiento básico de la textura del suelo es importante para los ingenieros, los agricultores se interesan por sus componentes minerales y orgánicos, así por la estructura de los suelos. Las características apropiadas para cada actividad humana no sólo son inherentes al suelo; algunas de ellas pueden ser creadas por su acondicionamiento.

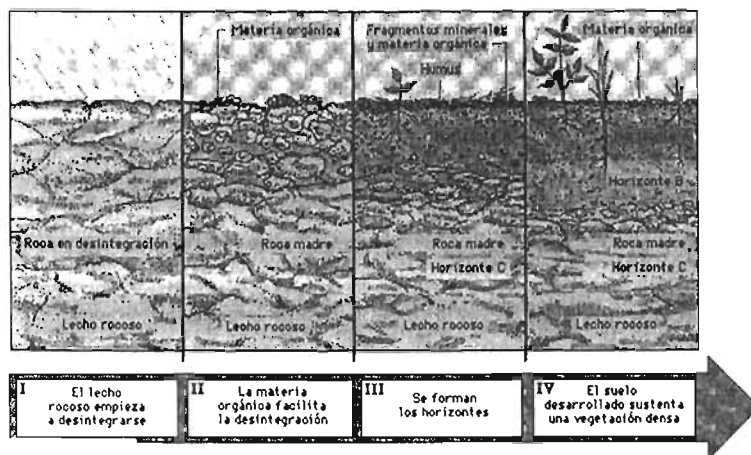


Figura 6.1. Formación del suelo.

Los componentes primarios del suelo son: i) compuestos inorgánicos, no disueltos, producidos por la meteorización y la descomposición de las rocas superficiales; ii) nutrientes solubles utilizados por las plantas; iii) materia orgánica, viva o muerta y; iv) gases y agua requeridos por las plantas y por los organismos subterráneos. La naturaleza física del suelo está determinada por la proporción de tamaño de partículas. Las partículas inorgánicas tienen tamaños que varían entre el de los trozos distinguibles

de piedra y grava hasta los de menos de $1/40000$ cm. Las grandes partículas del suelo (arena y grava) son químicamente inactivas; pero las pequeñas partículas inorgánicas (componentes principales de las arcillas) sirven como depósitos de los que las raíces de las plantas extraen nutrientes. El tamaño y la naturaleza de estas partículas inorgánicas diminutas determinan en la capacidad del suelo para almacenar agua. La parte orgánica del suelo está formada por restos vegetales y animales, y por materia orgánica amorfa (humus). La fracción orgánica representa entre el 2 y el 5% del suelo superficial en las regiones húmedas, pero puede ser menos del 0.5% en suelos áridos o más del 95% en suelos de turba.

El componente líquido de los suelos (solución del suelo) es agua con sustancias minerales en disolución, oxígeno y dióxido de carbono disueltos. La solución del suelo es compleja y tiene importancia por ser el medio por el que los nutrientes son absorbidos por las raíces de las plantas. Cuando la solución del suelo carece de los elementos requeridos para el crecimiento de las plantas, el suelo es estéril. Los gases contenidos en el suelo son el oxígeno, el nitrógeno y el dióxido de carbono. El primero de estos gases es importante para el metabolismo de las plantas porque su presencia es necesaria para el crecimiento de bacterias y de otros organismos responsables de la descomposición de la materia orgánica. La presencia de oxígeno es vital para el crecimiento de las plantas ya que su absorción por las raíces es necesaria para sus procesos metabólicos.

La importancia de la degradación se deduce de la importancia del objeto que deteriora. La FAO-UNESCO-PNUMA han expresado la gravedad de este problema como resultado de la 1ª Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desertificación, celebrada en Nairobi en 1977, donde se elaboró la CARTA MUNDIAL DE LOS SUELOS. Se menciona que el suelo es un componente esencial del medio ambiente en el que se desarrolla la vida. El suelo es frágil, de difícil y larga recuperación y de extensión limitada, por lo que es un recurso no renovable. Un uso inadecuado puede provocar su pérdida irreparable en unos años. Se usa para: agricultura, ganadería, pastos y montes, extracción de minerales y de materiales para la construcción, soporte para las construcciones, eliminación de residuos, para actividades de recreo. Hace años el problema no era acuciante debido a la densidad de población y a que las civilizaciones primitivas se establecían en las llanuras próximas a los ríos (suelos fértiles, con abundante agua y fáciles comunicaciones). La explosión demográfica ha provocado la ruptura de tierras en relieves con pendientes fuertes, fuertemente degradables.

El proyecto internacional "Global Assessment of Soil Degradation" ha puesto de manifiesto el estado de degradación en que se encuentran los suelos en todo el mundo. Los resultados referentes a los distintos tipos de degradaciones provocadas por el hombre se reproducen en la tabla 6.1. En esta tabla destaca la erosión del suelo como el proceso que afecta al mayor número de ha, representando el 83,6% de toda la degradación (1.642 millones de ha). Dentro de este proceso es la erosión hídrica el fenómeno más importante (55.7%). Se debe resaltar que la contaminación del suelo afecta 21.8 millones de ha. Los datos de esta tabla se refieren a la contaminación local del suelo y no a la contaminación difusa, como es la producida por la agricultura.

Tabla 6.1. Degradación del suelo provocada por el hombre.

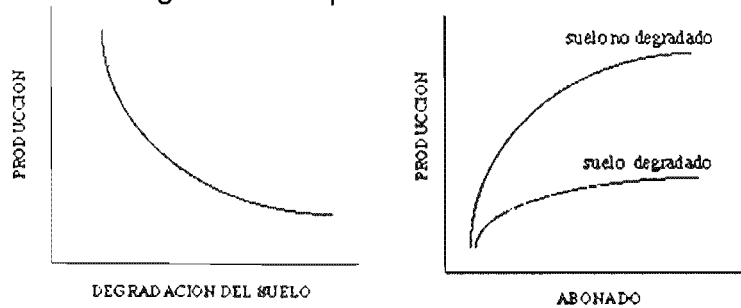
HUMAN-INDUCED SOIL DEGRADATION FOR THE WORLD						
Type	Light (Mha)	Moderate (Mha)	Strong (Mha)	Extreme (Mha)	Total (Mha)	Total (%)
Loss of topsoil	301.2	454.5	161.2	3.8	920.3	
Terrain deformation	42.0	72.2	56.0	2.8	173.3	
TOTAL WATER	343.2	526.7	217.2	6.6	1093.7	55.7
Loss of topsoil	230.5	213.5	9.4	0.9	454.2	
Terrain deformation	36.1	30.0	14.4	-	82.5	
Overblowing	-	10.1	0.5	1.0	11.6	
TOTAL WIND	266.6	253.6	24.3	1.9	548.3	27.9
Loss of nutrients	52.4	63.1	19.8	-	135.3	
Salinisation	34.8	20.4	20.3	0.8	76.3	
Pollution	4.1	17.1	0.5	-	21.8	
Acidification	1.7	2.7	1.3	-	5.7	
TOTAL CHEMICAL	93.0	103.3	41.9	0.8	239.1	12.2
Compaction	34.8	22.1	11.3	-	68.2	
Waterlogging	6.0	3.7	0.8	-	10.5	
Subsidence of organic soils	5.4	1.0	0.2	-	6.6	
TOTAL PHYSICAL	44.2	26.8	12.3	-	63.3	4.2
Total (Mha)	749.0	910.5	295.7	9.3	1964.4	
Total (percent)	38.1	46.1	15.1	0.5		100

Total cultivated land of the world 1701Mha (millones de hectáreas)

El suelo es un ente de la naturaleza, cuyas características son resultado de su evolución hasta alcanzar un equilibrio con las condiciones naturales; en esas condiciones ambientales no está incluida la acción humana. El suelo es un componente del medio y como tal debe considerarse como un suelo virgen, no explotado. Su continua y abusiva utilización por parte del hombre ha truncado su evolución y ha condicionado sus propiedades. Como resultado el suelo se deteriora. Se considera como degradación del suelo a toda modificación que conduzca al deterioro del suelo. Según la FAO-UNESCO la degradación es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios. La degradación del suelo es la consecuencia de la utilización del suelo por el hombre. Como resultado de actuaciones directas, como la agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, etc. Existe una tendencia que clama una utilización racional del suelo. Sus principios se agrupan en la Conservación de Suelos. Las teorías conservacionistas persiguen obtener máximos rendimientos pero con mínima degradación. El cuidado del suelo es esencial para la supervivencia de la raza humana. El suelo produce la mayor parte de los alimentos necesarios, fibras y madera. Dentro del concepto de degradación se distinguen una serie de degradaciones diferentes:

Degradación de la fertilidad. Es la disminución de la capacidad del suelo para soportar vida. Se producen modificaciones en sus propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que conllevan a su deterioro. Al degradarse el suelo pierde capacidad de producción y cada vez hay que añadirle mayor cantidad de abono para producir cosechas inferiores a las que produciría el suelo si no estuviese degradado.

Puede tratarse de una degradación química, que se debe a: pérdida de nutrientes, acidificación, salinización, sodificación, aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos. El deterioro del suelo es consecuencia de una degradación física, por: pérdida de estructura, aumento de la densidad aparente, disminución de la permeabilidad, disminución de la capacidad de retención de agua. Se habla de degradación biológica cuando se produce una disminución de la materia orgánica incorporada.



Erosión. La erosión es la pérdida selectiva de materiales del suelo; por la acción del agua o del viento los materiales de las capas superficiales van siendo arrastrados. Si el agente es el agua se habla de erosión hídrica y para el caso del viento se denomina erosión eólica. El concepto de erosión del suelo se refiere a la erosión antrópica (de desarrollo rápido). Frente a ella está la erosión natural o geológica, de evolución muy lenta. La erosión geológica se ha desarrollado siempre en la Tierra, es la responsable del modelado de los continentes y sus efectos se compensan en el suelo, ya que actúan con lentitud para que sus consecuencias sean contrarrestadas por la velocidad de formación del suelo. En los suelos de las superficies estables se reproduce el suelo, como mínimo, a la misma velocidad con que se erosiona. La erosión natural es un fenómeno beneficioso para la fertilidad de los suelos.

Todas las propiedades del suelo son consecuencia de una combinación de factores formadores. Aparece un suelo cuya profundidad es resultado de un clima concreto sometido a la actividad de organismos, en un relieve que actúan sobre la clase de roca durante un tiempo. Si no actuase la erosión natural, el material edafizado se alteraría progresivamente conforme el suelo se fuese volviendo viejo y llegaría un momento que los minerales originales se habrían transformado totalmente, ya no aportarían ningún nutriente nuevo al suelo y este quedaría constituido por un residuo infértil. Toda la Tierra estaría recubierta de una capa inerte, sin posibilidad de soportar vida alguna. Este panorama aterrador no se presenta debido a la erosión geológica. Esta lenta erosión va decapitando las capas superiores de los suelos con lo que disminuye su espesor y se va profundizando hacia capas más internas donde se encuentra el material original sin transformar. De esta manera se incorporan continuamente nuevos materiales al suelo (materiales frescos, no alterados, con abundantes minerales que al alterarse aportan nutrientes a los suelos). El tipo de suelo es siempre el mismo (mientras no se produzca un cambio en las condiciones ambientales).

Contaminación. El suelo se puede degradar al acumularse en él sustancias a niveles que repercuten negativamente en el comportamiento de los suelos. La FAO define la

contaminación como una forma de degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo. El diccionario de la Real Academia define la contaminación como la alteración de la pureza de alguna cosa, como los alimentos, el agua, el aire, etc. La acumulación de sustancias tóxicas para los organismos suele producirse de una manera artificial, como consecuencia de las actividades humanas, pero también puede ocurrir de manera natural, la edafización libera sustancias contenidas en las rocas (heredadas o neoformadas) que se concentran en el suelo alcanzando niveles tóxicos. Mucho tiempo el hombre pensó que los residuos generados podían eliminarse por sí solos, o que la naturaleza se encargaría de limpiar el ambiente. Mientras las cantidades de basura fueron pequeñas y de naturaleza orgánica el ambiente se pudo restituir, pero a medida que fueron cambiando los desechos y al aumentar la cantidad y complejidad, esta capacidad empezó a agotarse y en algunos sitios desapareció. La contaminación del suelo puede ser un proceso irreversible, que causa contaminación en el entorno y facilita la introducción de tóxicos en la cadena alimenticia y daño al ser humano.

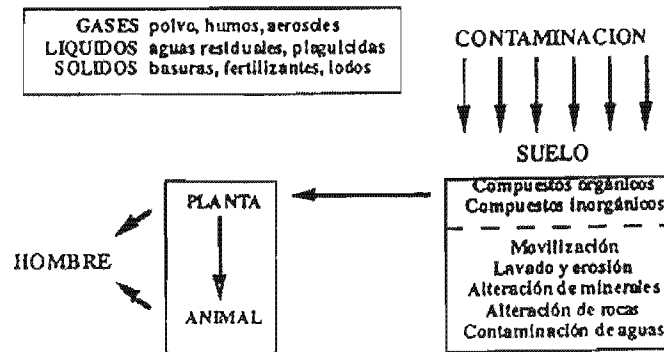
6.2 Fuentes de contaminación.

Hemos de distinguir entre contaminación natural, y contaminación antropogénica.

Contaminación natural. Un ejemplo de contaminación natural es el proceso de concentración y toxicidad que muestran determinados elementos metálicos, presentes en los minerales originales de algunas rocas a medida que el suelo evoluciona. Otro ejemplo de aparición natural de una de alta concentración de una forma tóxica se produce en la evolución acidificante de los suelos por la acción conjunta de la hidrólisis, lavado de cationes, presión de CO_2 y ácidos orgánicos que conducen a una mayor concentración de Al disuelto y a un predominio de especies nocivas como Al^{+3} o las formas $\text{Al}^{-\text{OH}}$ poco polimerizadas. Los fenómenos naturales pueden ser causa de contaminación del suelo. Un volcán activo puede aportar mayores cantidades de sustancias externas y contaminantes, como cenizas, metales pesados, H^+ y SO_4^- , que varias centrales térmicas de carbón.

Contaminación antropogénica. Las causas de contaminación son debidas a la actuación del ser humano, que al desarrollarse sin planificación producen un cambio en las propiedades del suelo. Los metales pesados en pequeñas dosis pueden beneficiar a los organismos vivos, son utilizados como micronutrientes, pasando un umbral se convierten en elementos nocivos para la salud. Las emisiones atmosféricas ácidas proceden de la industria, del tráfico rodado, abonos nitrogenados que sufren el proceso de desnitrificación. Como consecuencia de esta contaminación se disminuye el pH del suelo con lo que se puede superar la capacidad tampón y liberar elementos de las estructuras cristalinas que a ese pH pueden solubilizarse y son tóxicos para animales y plantas. El mal uso del agua de riego provoca la salinización y la sodificación del suelo. En el primer caso se produce una acumulación de sales más solubles que el yeso que interfieren en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y plantas no especializadas. En el segundo caso se produce una acumulación de sodio intercambiable que tiene una acción dispersante sobre las arcillas y de solubilización de la materia orgánica, que afecta las propiedades físicas del suelo, por lo que es menos apto para el crecimiento de los cultivos. Dentro de los compuestos fitosanitarios se agrupan los plaguicidas y los

fertilizantes. Son productos químicos de síntesis y sus efectos dependen de las características de las moléculas orgánicas y de las características del suelo. Los fertilizantes además de contener metales pesados, producen contaminación por fosfatos y nitratos (Figura 6.3).



Mas y Azcue, 1993

Figura 6.3. Ruta de incorporación de contaminantes.

6.3 Clasificación de los residuos sólidos.

Se entiende por residuo sólido cualquier material desechado que pueda o no tener utilidad. El término residuo no corresponde con la acepción de la palabra desecho, pues ésta trae implícita la no utilidad de la materia. En la ley General del equilibrio ecológico y protección al ambiente (LGEEPA), en el artículo tercero (frac. XXXI) se define residuo como cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó. El residuo se puede clasificar de varias formas, tanto por estado, origen o característica.

Clasificación por estado. Un residuo es definido por estado según el estado físico en que se encuentre. Existe tres tipos de residuos desde este punto de vista sólidos, líquidos y gaseosos, el alcance de esta clasificación puede fijarse en términos descriptivos o según la forma de manejo asociado. Un tambor con aceite usado que es considerado residuo, es un líquido, pero su manejo es como un sólido pues es transportado en camiones y no por un sistema de conducción hidráulica. Un residuo también puede ser caracterizado por sus características de composición y generación.

Clasificación por origen. Se puede definir el residuo por la actividad que lo origine, es una clasificación sectorial. Esta definición no tiene en la práctica límites en cuanto al nivel de detalle en que se puede llegar en ella. Los tipos de residuos más importantes:

Residuos municipales: la generación de residuos municipales varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida. El creciente desarrollo de la economía chilena ha traído un aumento en la generación de estos residuos. En la década de los 60, la generación de residuos domiciliarios era de 0.2 a 0.5 Kg/habitante/día; hoy esta cifra es de 0.8 a 1.4 Kg/habitante/día. Los sectores de mayor ingreso generan mayores

volúmenes per cápita de los residuos, y estos residuos tienen un mayor valor incorporado que los provenientes de sectores más pobres de la población.

Residuos industriales: la cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso.

Residuos mineros: incluyen los materiales que son removidos para ganar acceso a los minerales y todos los residuos provenientes de los procesos mineros. La industria del cobre se encuentra implementando un manejo apropiado de estos residuos.

Residuos hospitalarios: el manejo de los residuos hospitalarios no es apropiado, al no existir un reglamento claro al respecto. El manejo de estos residuos es realizado a nivel de generador y no bajo un sistema descentralizado. A nivel de hospital los residuos son esterilizados. La composición de los residuos hospitalarios varía desde el residuo tipo residencial y comercial a residuos de tipo médico con sustancias peligrosas. Se entiende por residuo médico aquel que está compuesto por residuos generados como resultado de: i) tratamiento, diagnóstico o inmunización de humanos o animales; y ii) investigación conducente a la producción o prueba de preparaciones médicas hechas de organismos vivos y sus productos

Clasificación por tipo de manejo. Se puede clasificar un residuo por presentar algunas características asociadas al manejo que debe ser realizado. Desde este punto de vista se pueden definir tres grandes grupos: i) Residuo peligroso: por su naturaleza son peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o son peligrosos para la salud o el ambiente cuando son manejados en forma inapropiada; ii) Residuo inerte: residuo estable en el tiempo que no produce efectos ambientales apreciables al interactuar en él; iii) Residuo no peligroso: ninguno de los anteriores.

Básicamente el sistema de manejo de los residuos se compone de cuatro subsistemas: **Generación:** cualquier persona u organización cuya acción cause la transformación de un material en un residuo. Una organización se vuelve generadora cuando su proceso genera un residuo, o lo derrama o no utiliza más un material. La producción de residuos en la Zona metropolitana de la Ciudad de México ha cambiado en las últimas cinco décadas, en 1950 cada persona producía 0.37 kilogramos de basura al día, en la actualidad se estima que genera diariamente 1 kilo.

Transporte: es aquel que lleva el residuo. El transportista puede transformarse en generador si el vehículo que transporta derrama su carga, o si cruza los límites internacionales o si acumula lodos u otros residuos del material transportado.

Tratamiento y disposición: el tratamiento incluye la selección y aplicación de tecnologías apropiadas para el control y tratamiento de los residuos peligrosos o de sus constituyentes. Respecto a la disposición la alternativa más utilizada es el relleno sanitario.

Control y supervisión: Este subsistema se relaciona con el control efectivo de los otros tres subsistemas.

El riesgo asociado al manejo de los residuos sólidos se puede clasificar como:

Gestión negativa: i) enfermedades provocadas por vectores sanitarios; ii) contaminación de agua superficial y subterránea, además de contaminar la población que habita en estos medios; iii) contaminación atmosférica por material particulado, ruido y olor; iv) contaminación de suelos; v) problemas paisajísticos y riesgo; y vi) salud mental.

Gestión positiva: i) conservación de recursos; ii) reciclaje; y iii) recuperación de áreas.

6.3.1 Residuos sólidos biodegradables y no degradables

La biodegradabilidad es la propiedad que tienen los materiales para ser degradados por microorganismos para formar productos finales sencillos. Estos productos se dan de manera natural en el medio ambiente y también se producen de forma artificial. Es importante para determinar el comportamiento de estos compuestos químicos en el medio. Dentro del ecosistema biológico, los microorganismos acumulan un amplio espectro de enzimas para degradar productos naturales; estas enzimas se utilizan en la industria y en el tratamiento de efluentes. Debido al crecimiento industrial que ha tenido lugar en los últimos 30 años, la contaminación del ambiente se ha intensificado, pues los microorganismos no pueden descomponer algunos de los productos residuales de la industria química. Una proporción considerable de la contaminación del agua se debe a la liberación regular de vertidos industriales en el agua de los ríos. Estos vertidos incluyen residuos agrícolas, domésticos e industriales, que contienen una gran variedad de compuestos biodegradables y no biodegradables. Por tanto, cada vez es más importante identificar los compuestos presentes en tales vertidos para lograr una biodegradación eficaz.

Las sustancias no biodegradables o refractarias resisten los ataques microbianos; pertenecen a esta categoría los fenoles y los compuestos orgánicos clorados. Las sustancias refractarias persisten en el medio durante mucho tiempo (días) mientras que los compuestos biodegradables pueden desaparecer en el curso de minutos u horas. La biodegradabilidad de un compuesto depende de las condiciones biológicas en las que se degrade y de su estructura química. Ésta influye en la biodegradabilidad de algunos compuestos orgánicos; la naturaleza química de muchos detergentes, plásticos, materiales de embalaje y residuos médicos los hace resistentes a la degradación microbiana. Grupos funcionales enlazados a un anillo bencénico en una molécula orgánica dificultan el ataque microbiano. La sociedad debe ser consciente de la importancia a largo plazo de los materiales biodegradables. La investigación ha demostrado que los métodos rápidos de selección deben aplicarse a mayor escala para determinar el potencial de degradación de los componentes de las aguas residuales y los compuestos orgánicos puros. Estas pruebas rápidas y sencillas han permitido identificar compuestos refractarios y potencialmente peligrosos en un amplio espectro de flujos de residuos. El tipo de basura ha cambiado con el paso de los años. Antes, en la ZMCM casi toda la basura era orgánica y compacta; ahora es voluminosa y parcialmente no degradable. Esto quiere decir que el contenedor de basura que antes estaba repleto de restos de comida, vidrio y cartón, ahora contiene una variedad de plásticos, altas, empaques y todo tipo de objetos de difícil degradación.

6.3.2 Clasificación CRETIB

Un residuo peligroso es cualquier desecho o combinación de ellos que representa una amenaza sustancial, presente o futura, para el hombre o para el medio ambiente y, por tanto, debe ser manejado o dispuesto con precauciones especiales. El frac. XXXII de la LGEEPA los define como: todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente. En México, se define a un residuo peligroso por presentar características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables y/o biológico-infecciosas (código CRETIB). A continuación se muestran las definiciones del código CRETIB de cada término:

Corrosividad. En estado líquido o en solución acuosa el residuo presenta un pH menor o igual a 2.0 o igual a 12.5. En estado líquido o en solución acuosa y a una temperatura de 55°C el residuo es capaz de corroer acero al carbón (SAE 1020) a una velocidad superior de 6.35 mm por año.

Reactividad. Bajo condiciones normales (25°C y 1 atm) se combina o polimeriza violentamente sin detonación. En condiciones normales (25°C y 1 atm) reacciona violentamente formando gases, vapores o humos cuando se pone en contacto con agua en relación (residuo-agua) de 5:1, 5:3 o 5:5. Bajo condiciones normales cuando se pone en contacto con soluciones de pH ácido (HCl 1N) o básico (NaOH 1N) en relación (residuos-solución) de 5:1, 5:3 o 5:5, reacciona violentamente formando gases, vapores o humos. Posee en su constitución cianuro o sulfuros que cuando se exponen a condiciones de pH entre 2 y 12.5 pueden generar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades mayores a 250 mg de HCN/kg de residuo o 500 mg de H₂S/kg de residuo. Es capaz de producir radicales libres.

Explosividad. Tiene una constante de explosividad de igual a mayor a la del denitrobenceno. Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y a 1.03 kg/cm² de presión.

Toxicidad. Un residuo se considera peligroso por su toxicidad cuando al someterse a la prueba de extracción para toxicidad conforme a la NOM-053-ECOL-1993, el lixiviado de la muestra contiene cualquiera de los constituyentes listados en las tablas 5, 6 y 7 de toxicidad de la NOM-052-ECOL-1993, en concentraciones mayores a los límites señalados en dichas tablas.

Inflamabilidad. En solución acuosa contiene más de 2.4% de alcohol en volumen. Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60°C. No es un líquido pero es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos (a 25°C y a 1.03 kg/cm²). Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes que estimulan la combustión.

Características biológico-infecciosas. Cuando el residuo contiene bacterias, virus u otros microorganismos patógenos. Contiene toxinas producidas por microorganismos que causen efectos nocivos a seres vivos.

Algunos de los principales residuos peligrosos son: ácidos y álcalis, asbesto, cianuros, fenoles, plaguicidas, bifenilos policlorados (BPC), metales pesados, residuos de pinturas, residuos de gases combustibles, residuos de petróleo, solventes orgánicos, entre otros. En la tabla 6.2 se muestra la clasificación de ellos de acuerdo con sus propiedades CRETIB.

Tabla 6.2. Clasificación de residuos según el código CRETIB.

CORROSIVOS	REACTIVOS	EXPLOSIVOS	TÓXICOS	INFLAMABLES	BIOLOGICOS
Ácidos fuertes	Nitratos	Peróxidos	Cianuros	Hidrocarburos alifáticos	Sangre humana
Bases fuertes	Metales alcalinos	Permanganato de potasio	Arsénico y sales	Hidrocarburos aromáticos	Especímenes patológicos y quirúrgicos
Fenol	Fosgeno	Percloratos	Plomo	Alcoholes	Desechos de pacientes
Bromo	Metil isocianato	Ácido pícrico	Polifenoles	Éteres	Infecciosos
Hidrazina	Magnesio	Cloratos	Fenol	Aldehidos	Agentes infecciosos
	Cloruro de acetilo	Trinitrobenceno	Anilina	Cetonas	
	Hidruros metálicos	Trinitrotolueno	Nitrobenceno	Fósforo	

6.4.1 Disposición final.

Después que el residuo ha sido tratado este se encuentra listo para su disposición. La forma y tipo del residuo determina en gran parte donde la disposición será permitida. Un limitado grupo de residuos puede ser dispuesto por inyección a pozos profundos y en descargas submarinas a océanos, muchos residuos gaseosos y particulados son dispuestos en la atmósfera. Los residuos sólidos comúnmente son depositados en: i) basureros, ii) tiraderos, iii) tiraderos controlados, iv) vertederos, v) rellenos sanitarios, y vi) sitios de confinamiento controlado.

Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población. La obra de ingeniería consiste en preparar un terreno, colocar los residuos extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra. Un relleno sanitario planificado ofrece, una vez terminada su vida útil, perspectivas de revalorar el sitio debido a su utilización en usos distintos al relleno sanitario. Es un sistema de tratamiento y, a la vez disposición final de residuos sólidos en donde se establecen condiciones para que la actividad microbiana sea de tipo anaeróbico (ausencia de oxígeno). Este tipo de método es el más recomendable para realizar la disposición final en países como el nuestro, pues se adapta a la composición y cantidad de residuos sólidos producidos. Un relleno sanitario es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo, para cubrir los residuos depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada. Requerimientos generales de los rellenos sanitarios:

- El sitio debe tener espacio necesario para almacenar los residuos generados por el área en el plazo definido por el diseño.

- El sitio es diseñado, localizado y propuesto para ser operado de forma que la salud, las condiciones ambientales y el bienestar sea garantizado.
- El sitio es localizado de manera de minimizar la incompatibilidad con las características de los alrededores y de minimizar el efecto en los avalúos de estos terrenos.
- El plan de operación del sitio se diseña para minimizar el riesgo de fuego, derrames y otros accidentes operacionales en los alrededores.
- El diseño del plan de acceso al sitio se debe hacer de forma de minimizar el impacto en los flujos.

El parámetro básico de diseño de un relleno es el volumen. Este depende del área cubierta, la profundidad a la cual los residuos son depositados, y el radio de material de cobertura y residuo. Debido a que la tasa de generación de residuos es definida en unidades másicas un parámetro que influye la capacidad del relleno es la densidad *in situ* de la basura y el material de cobertura. Todo diseño de un relleno incluye obras comunes. Zonas buffer y pantallas perimetrales son necesarias para aislar el relleno de los vecinos y el sitio. Son necesarios cercos perimetrales para evitar el acceso no autorizado al sitio, se requiere un mantenimiento del frente de trabajo. En tiempos inclementes es necesario contar con tractores para asistir a los camiones. El barro y suciedad que se adhieren al camión por su operación en el sitio debe retirarse del mismo antes que abandone el recinto del relleno. Existen varios métodos de diseño y operación de rellenos sanitarios entre los cuales destacan:

Método de trinchera. Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos a tres metros de profundidad. Se han excavado trincheras de hasta 7 m de profundidad para relleno sanitario. La tierra que se extrae se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con tierra. La excavación de zanjas exige condiciones favorables con respecto al nivel freático y al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

Método de área. En áreas relativamente planas, donde no es posible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, estas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel unos metros. El material de cobertura debe importarse de otros sitios o extraerse de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras celdas se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el terreno. Se adapta para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava en las laderas del terreno, o lo más cerca posible para evitar el encarecimiento de los costos de transporte. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba.

Los rellenos sanitarios se clasifican según clase de residuo depositado en:

- Tradicional con residuos sólidos urbanos seleccionados: No acepta ningún tipo de residuo de origen industrial, ni tampoco lodos.
- Tradicional con residuos sólidos urbanos no seleccionados: Acepta residuos urbanos, industriales no peligrosos y lodos previamente acondicionados.
- Rellenos para residuos triturados: Recibe exclusivamente residuos triturados, aumenta vida útil del relleno y disminuye el material de cobertura.
- Rellenos de seguridad: Recibe residuos que por sus características deben ser confinados con estrictas medidas de seguridad.
- Relleno para residuos específicos: Son rellenos que se construyen para recibir residuos específicos (cenizas, escoria, borras, etc.).
- Rellenos para residuos de construcción: Son rellenos que se hacen con materiales inertes y que son residuos de la industria de la construcción.

Los rellenos sanitarios se clasifican según las características del terreno utilizado en:

- En áreas planas o llanuras: Más que relleno es una depósito en una superficie. Las celdas no tienen una pared o una ladera donde apoyarse, es conveniente construir pendientes adecuadas utilizando pretilas de apoyo para evitar deslizamientos. No es conveniente hacer este tipo de relleno en zonas con alto riesgo de inundación.
- En quebrada: Se debe acondicionar el terreno estableciendo niveles aterrizados, de manera de brindar una base adecuada que sustente las celdas. Se deben realizar las obras necesarias para captar las aguas que escurren por la quebrada y entregarlas a su cauce aguas abajo del relleno.
- En depresiones: Se debe cuidar el ingreso de aguas a la depresión, tanto provenientes de la superficie o de las paredes por agua infiltrada. La forma de construir el relleno depende del manejo que se da al biogás o a los líquidos percolados.
- En laderas de cerros: Se hacen partiendo de la base del cerro y se va ganando altura apoyándose en las laderas del cerro. Es similar al relleno de quebrada. Se deben aterrizar las laderas del cerro aprovechando la tierra sacada para la cobertura y tener cuidado de captar aguas lluvias para que no ingresen al relleno.
- En ciénagas, pantanos: Método poco usado por lo difícil de llevar a cabo la operación sin generar condiciones insalubres. Es necesario aislar un sector, drenar el agua y una vez seco proceder a rellenar. Se requiere equipamiento y mano de obra especializados.

Los problemas sanitarios causados por la disposición de los residuos sólidos en el suelo se deben a la reacción de las basuras con el agua y a la producción de gases, riesgo de incendios y explosiones. Los residuos sólidos están compuestos por un 40 a 50% de agua, vegetales, animales, plásticos, desechos combustibles, vidrios, etc.; los cuales se componen por sustancias orgánicas, compuestos minerales y residuos sólidos peligrosos. Las sustancias líquidas y los sólidos disueltos y suspendidos se percolan por la masa de residuos sólidos y el suelo. Este está constituido por materia sólida, aire y agua. A partir de determinada profundidad se encuentra el nivel freático donde el agua se mueve a baja velocidad a presión horizontal y vertical por efecto de la gravedad, por capilaridad del suelo. Los contaminantes del lixiviado que percolan el

suelo adquieren velocidad al llegar al nivel freático, contaminan el agua subterránea y afectan la calidad del suelo.

La percolación de los contaminantes depende de la permeabilidad del suelo y esta dada por el coeficiente K que en arenas es de 10^{-1} a 10^{-3} cm/s y en suelos arcillosos es de 10^{-8} cm/s. El terreno ideal tiene un K de 10^{-7} cm/s y un nivel freático de más de 3 m (Tabla 6.3). Lo cual lleva a tener en cuenta el microclima (la lluvia) que influye en los fenómenos biológicos y químicos, con el transporte de contaminantes, problemas en vías de acceso y del trabajo en el relleno sanitario, por lo que el relleno debe ser drenado superficialmente por la periferia y el fondo del relleno. El viento también lleva olores y polvo a las vecindades.

Tabla 6.3. Factores involucrados en la selección de sitios para rellenos sanitarios:

Criterios	Detalle
Factibilidad técnica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Volumen y morfología sitio adecuada 2. Distancia a centro generador 3. Fuera de zonas de exclusión
Riesgo ambiental	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contaminación de aguas subterráneas 2. Calidad del aire 3. Transporte de materiales
Aspectos económicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efectos en aspectos de propiedades 2. Costos de construcción y operación 3. Impacto en la industria local 4. Planes de compensación
Aspectos sociales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Equidad en la selección del sitio 2. Efecto en la imagen de la comunidad 3. Paisaje y estética 4. Alteración de actuales y futuros usos de suelos
Aspectos políticos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elecciones locales 2. Intereses de inversión de grupos locales 3. Responsabilidades de manejo del sitio 4. Control local

Se entiende por zona de exclusión cualquier zona que por alguna característica (humana, social, ecológica, política o económica) no pueda ser considerada para la habilitación de un relleno sanitario. Los casos más típicos son:

- La distancia mínima del sitio de disposición a la residencia más cercana, pozo de suministro de agua, fuente de agua potable, hotel, restaurante, procesador de alimentos, colegios, iglesias o parques públicos debe ser de 300 m.
- La distancia entre el aeropuerto comercial y el punto seleccionado es importante si en el relleno sanitario recibe residuos de alimentos (domiciliarios y de algún proceso industrial) pues estos pueden atraer pájaros en un radio de varios km. Si la operación del residuo es apropiada el problema se aminora. Se recomiendan distancias de 8 km, este valor puede ser reducido si se justifica.
- La distancia entre la carga de los residuos y el curso de agua superficial más cercano debe ser a lo mínimo de 100 m. Este parámetro depende de las condiciones hidrogeológicas del sitio.
- El sitio seleccionado debe estar a un mínimo de 100 m de áreas inestables (área de derrumbes) para asegurar la estabilidad estructural del sitio.
- El sitio de localizarse fuera de los límites de cualquiera área de exclusión delimitada por la autoridad correspondiente.

La actividad biológica dentro de un relleno sanitario se presenta en dos etapas bien definidas: i) Fase aeróbica: al inicio, parte del material orgánico presente en las basuras es metabolizado aeróbicamente, produciéndose un aumento de la temperatura; los productos que caracterizan esta etapa son el dióxido de carbono, agua, nitritos y nitratos; y ii) Fase anaeróbica: a medida que el oxígeno se agota, los organismos facultativos y anaeróbicos empiezan a predominar y proceden con la descomposición de la materia orgánica más lentamente que en la primera etapa; los productos que caracterizan esta etapa son el dióxido de carbono, ácidos orgánicos, nitrógeno, amoníaco, hidrógeno, metano, compuestos sulfurados, manganeso e hidrógeno. Algunos de estos productos producen reacciones químicas dentro y fuera del relleno. En consecuencia, otras reacciones similares se llevan a cabo como resultado de la interacción de algunos subproductos de descomposición, entre ellos mismos o con el material con el que entran en contactos. Muchos de estos productos, si emergen libremente del relleno como gases o líquidos, puede provocar trastornos ambientales.

Los residuos orgánicos, al ser compactados liberan agua y líquidos orgánicos contenidos en su interior, lo cual escurre hacia la base de la celda. La basura recupera parte de estos líquidos al cesar la presión, pero parte permanece en la base de la celda. La descomposición anaeróbica comienza actuar en un relleno sanitario, produciendo cambios en la materia orgánica, primero de sólidos a líquido y luego de líquido a gas, la fase de licuefacción ayuda a incrementar el contenido de líquido en el relleno y su potencial contaminante. En ese momento la basura está saturada y cualquier agua (subterránea o superficial) que se infiltre en el relleno, lixiviará a través de los desechos arrastrando sólidos en suspensión y compuestos orgánicos en solución. Esta mezcla heterogénea, de elevado potencial contaminante, es lo que se denomina lixiviados o líquidos percolados (Tabla 6.4).

Tabla 6.4. Composición de líquidos percolados de un relleno sanitario con residuos domésticos.

Componentes	Rango (ug/l)
Cloruros	100 - 400
Cobre	0 - 9
Hierro	50 - 600
Flúor	0 - 1
Cadmio	0 - 17
Cromo (VI)	2
Plomo	2
Sodio	200 - 2000
Sulfatos	100 - 1500
Nitratos	5 - 40
Dureza (CaCO ₃)	300 - 10000
DBO	2000 - 30000
DQO	3000 - 45000
pH	5.3 - 8.5

6.4.2 Materiales reciclables.

El mundo entero moderno se enfrenta al problema de como deshacerse de los residuos que genera. La mayoría de los residuos terminan convirtiéndose en basura cuyo destino final es el vertedero o los rellenos sanitarios. Los vertederos y rellenos sanitarios son cada vez más escasos y plantean una serie de desventajas y problemas.

En ello el reciclaje se convierte en una buena alternativa, ya que reduce los residuos, ahorra energía y protege el medio ambiente. La meta de cualquier proceso de reciclaje es el uso o reuso de materiales provenientes de residuos; el procedimiento comienza con una separación. El incremento de la eficiencia del rendimiento de estos sistemas se favorece haciendo una separación en el origen. Existen tres actividades principales en el proceso del reciclaje: i) recolección, se juntan cantidades considerables de materiales reciclables para separar elementos contaminantes o no reciclables y clasificar los materiales de acuerdo a su tipo específico; ii) manufactura, los materiales clasificados se utilizan como nuevos productos o como materias primas para algún proceso; y iii) consumo, los materiales de desperdicio son consumidos. Los compradores deben demandar productos con el mayor porcentaje de materiales reciclados en ellos. Sin demanda, el proceso de reciclaje se detiene.

La fracción orgánica puede ser reciclada mediante el compostaje. El compostaje es un abono y una excelente herramienta orgánica del suelo, útil en la agricultura, jardinería y obra pública porque: i) mejora las propiedades químicas y biológicas de los suelos; ii) hace más porosos los terrenos compactados y enmienda los arenosos; iii) hace que el suelo retenga más agua. El consumo de papel y de cartón (envases y embalajes) ha crecido exponencialmente por el incremento de la población en todo el mundo. Cada uno de nosotros tira al año a aproximadamente 120 kg/año de papel. Beneficios ambientales del reciclaje de papel: i) disminución de la necesidad de fibras vegetales y vírgenes; ii) disminución del volumen de residuos municipales (25% está compuesto de papel y cartón); iii) disminución de la contaminación atmosférica y de la contaminación del agua; y iv) disminución de las exportaciones de madera y de la importación de papel, representadas en miles de toneladas al año. El papel reciclable se elabora sin utilizar cloro en el proceso de blanqueo de la pasta. Puede obtenerse papel ecológico a partir de papel reciclado, garantizando la mínima utilización de productos químicos y la depuración de las aguas residuales; a partir de papel usado o residual. Se considera que cumple las condiciones de papel reciclado para la impresión y escritura el que contiene, como mínimo, 90% en peso de fibras de recuperación. El papel reciclable no se debe mezclar con papel sucio, pañuelos desechables, papel de aluminio, papel de fax, papel engomado, plastificado, encerado, etc. La separación de la tinta se lleva a cabo mediante la adición de un jabón biodegradable y la inyección de aire, para crear burbujas a las que se adhiere la tinta. La tinta se concentra y se transporta a un centro de tratamiento. El rendimiento del papel viejo es alto (90%) frente al 50% del rendimiento celulósico de la madera.

Tanto en los residuos totales como en los de precedencia urbana, las poliofelinas son el componente mayoritario. Le siguen de cerca en importancia el policloruro de vinilo y el poliestireno, en orden diferente según su origen el poliestireno reftalato. Dentro de los residuos urbanos los plásticos representan aproximadamente el 10% en peso. La vida de un plástico no es infinita. Por mucho que se alargue su existencia mediante el reciclado, su destino final es la incineración o el relleno sanitario. En algunos casos, el reciclado químico permite una pseudoinmortalidad, en aquellos en los que es aplicable la depolimerización con generación de los monómeros. El tipo de tratamiento que se da a los residuos plásticos se determina por factores de distinta naturaleza, en pocos casos tecnológicos, y entre los que destacan la disponibilidad de terrenos aptos para su

uso como rellenos sanitarios, legislación ambiental apoyos y subvenciones de autoridades gubernamentales. Mientras en América y Europa la mayor parte de los residuos municipales son enterrados, en Japón se favorece su incineración. El reciclado químico, casi inexistente, se desarrollará. Las unidades de incineración de residuos con generación de calor o electricidad son un medio de explotar el contenido energético de los plásticos, con poder calorífico intermedio entre el petróleo y el carbón.

Tabla 6.5. Reciclaje de plásticos.

Plásticos	Residuos totales	(%)	municipalidades	(%)
Poliolefinas	5937	51.9	5417	65
PVC	2397	21	833	10
PS y EPS	1697	14.9	1250	15
PCT	288	2.5	417	5
otros	1114	9.7	417	5
total	11433	100	8334	100

Cada persona produce 37 kg de vidrio al año. Los beneficios ambientales del reciclaje de vidrios se traduce en una disminución de los residuos municipales, disminución de la contaminación del medio ambiente, y un ahorro de los recursos naturales. Cada kg de vidrio recogido sustituye 1.2 kg de materia virgen. Existen envases de vidrio retornable que, después de un proceso de lavado, pueden ser utilizados con el mismo fin. Una botella de vidrio puede ser reutilizada entre 40 y 60 veces, con un gasto energético del 5% respecto al reciclaje. Esta es la mejor opción. El vidrio es 100% reciclable y mantiene el 100% de sus cualidades: 1 kg de vidrio usado produce 1 kg de vidrio reciclado. El reciclaje consiste en fundir vidrio para hacer vidrio nuevo. La energía que ahorra el reciclaje de una botella mantiene encendido un foco de 100 watt durante 4 h. En la fabricación del vidrio se utiliza: silicio que da resistencia al vidrio y carbonato de calcio que le proporciona durabilidad. En el reciclaje del vidrio se utiliza como materia prima la calcina o vidrio desecho. Su fusión se consigue a temperaturas mucho más reducidas que las de fusión de minerales, por tanto, se ahorra energía.

Diariamente, utilizamos una cantidad considerable de envases de los llamados ligeros: i) envases de plásticos (poliestireno blanco, de color, PET, PVC, otros); ii) latas de hierro y aluminio; y iii) brics. Los envases de plásticos se pueden reciclar para la fabricación de bolsas de plástico, mobiliario urbano, señalización, o para la obtención de nuevos envases de uso no alimentario. Los brics se pueden reciclar aprovechando sus componentes (fabricación de aglomerados), o con el aprovechamiento separado de cada material (reciclable del papel y valorización energética del poliestireno y el aluminio).

Las pilas usadas son un residuo especial, tóxico y peligroso. Existen dos tipos: i) Pilas Botón: se utilizan en relojes, calculadoras, sensores remotos, etc.; a pesar de su tamaño son las más contaminantes; ii) Pilas grandes: Pilas cilíndricas o de pequeñas baterías, que contienen menos metales pesados, pero se producen más. Cuando se tiran las pilas con los restos de los desechos, estas van a parar a algún vertedero o al incinerador. Entonces el mercurio y otros metales pesados tóxicos pueden llegar al

medio y perjudicar a los seres vivos. Siguiendo la cadena alimentaria, el mercurio puede afectar al hombre.

- Previo a la recolección o almacenamiento de pilas se debe tener presente, si existen plantas que traten este tipo de residuo, ya que las no tienen un destio y pueden provocar daño al ecosistema al tirarlas juntas.
- Con el reciclaje de las pilas, se recupera el mercurio y valoramos el plástico, el vidrio y los otros metales pesados contenidos en las pilas.
- Las pilas botón pueden introducirse en un destilador sin necesidad de triturarlas. La condensación posterior permite la obtención de un mercurio con un grado de pureza superior al 96%.
- Las pilas normales pueden ser almacenadas en previsión de poner en marcha de forma inmediata un sistema por el cual serán trituradas mecánicamente, y de la que se obtendría escoria férrica y no férrica, papel, plástico y polvo de pila. Las tres primeras fracciones que se valoran directamente
- El polvo de pila sigue diferentes procesos para recuperar los metales que contiene.

Eliminar aceites usados sin ningún control contamina el medio ambiente. Si se vierten al suelo, estamos contaminando y las aguas (ríos y acuíferos). Si se vierten al alcantarillado, contaminamos los ríos y dificultamos el buen funcionamiento de las plantas de tratamiento. Si se queman en forma inadecuada, contaminan la atmósfera. Una alternativa de reciclaje es que los aceites usados de los talleres de reparación de automóviles, estaciones de servicio e industrias se transporten a una planta de tratamiento. A partir de un proceso secuencial de destilación, se recupera separadamente agua que se aprovecha en el mismo proceso, gasóleo que se utiliza como combustible y aceite regenerado que se puede comercializar; a partir de 3 litros de aceite usado, se obtienen 2 litros de aceite regenerado

Los refrigeradores utilizan clorofluorocarburos, tanto en el sistema de refrigeración como en las espumas aislantes, unas sustancias con un elevado riesgo ambiental por sus efectos nocivos para la capa de ozono. Por ello se necesita una gestión adecuada de estos electrodomésticos cuando dejen de ser útiles. Los residuos especiales son aquellos que requieren de un tratamiento específico, de manera que no se debe mezclar con los residuos ordinarios porque afectan al medio. Los clorofluorocarburos (CFC) son los responsables de que los refrigeradores y otros aparatos de refrigeración que también los contienen se consideren residuos especiales. Si los CFC se liberan a la atmósfera, favorecen la destrucción de la capa de ozono, esta capa filtra la radiación solar, de manera de que una parte importante de los rayos ultra violetas son absorbidos y no llegan a la superficie terrestre. Cuando el grueso de la capa de ozono disminuye, se produce un aumento de la radiación ultra violeta que la atraviesa. Los efectos de este fenómeno son negativos para la humanidad porque la radiación ultravioleta es nociva para los seres vivos y por que contribuye a la alteración del clima. Todos los refrigeradores y aparatos de refrigeración producidos antes de 1995 contienen CFC y los contienen de la siguiente manera:

- El CFC R-12 se encuentra en el sistema de refrigeración

- El CFC R-11 está presente en las espumas aislantes de poliuretano, donde actúan como agentes expansores.
- El contenido de un refrigerador promedio es de 1kg de CFC.

6.5 Plagas y enfermedades provocadas por los residuos sólidos.

Los objetivos que se buscan mediante el manejo de los residuos sólidos son los siguientes: i) controlar la diseminación de enfermedades; ii) evitar problemas de contaminación del suelo, agua y aire; iii) optimizar el uso de recursos mediante el reciclado; iv) mejorar la imagen de las ciudades; y v) organizar y controlar la "pepena" de los residuos sólidos. De los anteriores, una parte importante la ocupa el control de las enfermedades (Tabla 6.6) cuya propagación se efectúa por medio de vectores (transmisores de enfermedades) como son las moscas y las cucarachas.

Tabla 6.6. Vectores de enfermedades por exposición a residuos sólidos.

VECTOR	ENFERMEDAD
Mosca común	Fiebre tifoidea, salmonelosis, shigelosis, disentería, diarrea infantil
Cucaracha	Cólera, fiebre tifoidea, lepra, intoxicación alimenticia, disentería, infecciones intestinales, gastroenteritis.
Mosquitos	Paludismo, dengue, tripanosomiasis, encefalitis viral, fiebre amarilla
Ratas	Peste bubónica, rabia, rickettsiosis vesiculosa, disentería, leptospirosis, enfermedades diarreicas, fiebre de Harverhi

6.6 Alternativas de solución.

1. La basura se puede separar en contenedores con colores que distingan su contenido: papel y cartón; PATRA (plásticos, vidrio y metal); y residuos orgánicos.
 - a) Desperdicios de comida y jardín se usa para formar composta (fertilizante).
 - b) El papel y cartón, se deben acomodar para que no produzcan mucho volumen. Enjuagar y aplastar los recipientes.
 - c) Los plásticos se limpian y acomodan en un solo sitio, son reciclables.
 - d) El vidrio puede enjuagarse.
 - e) Los metales se lavan y aplastan.
 - f) El material sanitario se debe entregar al camión recolector.
 - g) Zapatos, madera, acero, hule, pilas, ropa, aerosoles, se agrupan por separado.
2. Evitar comprar productos desechables que no son necesarios.
3. Comprar productos no perecederos a granel o en la presentación más grande. Cualquier producto en tamaño familiar representa menor cantidad de basura.
4. Evitar el uso de pañales desechables; tardan más de 500 años en descomponerse.
5. Reutilizar las veces que sea posible, las bolsas y empaques de plástico, botellas, y recipientes retornables.
6. Sustituir los productos químicos limpiadores por materiales naturales.
7. Evitar el uso de insecticidas y plaguicidas; es mejor utilizar insecticidas naturales.
8. Promover centros de acopio de basura para reciclar materiales.
9. No quemar basura, porque produce gases tóxicos que contaminan el aire.
10. Enterrar la basura en lugares no destinados a tiraderos produce contaminación del subsuelo y de los mantos acuíferos.
11. No tirar basura en la calle, la escuela o terrenos baldíos.

El problema que representa la contaminación de los suelos es un aspecto que recientemente se ha reconocido. Antes de la década de los 70 se hablaba de la contaminación del aire y del agua, pero al suelo se le consideraba con una capacidad de autodepuración infinita. En el 4^a Programa de Acción Ambiental de la Comunidad Europea (1987-1992) se reconoce de manera oficial la necesidad de una reglamentación referente a la protección del suelo y se insta a los gobiernos de los países miembros a elaborar una normativa de protección bajo las directrices recogidas en las "Bases Científicas para la Protección del Suelo en la Comunidad Europea". En esta normativa se propone "salvaguardar las propiedades y condiciones que aseguren el cumplimiento de las funciones del suelo". Considerándose como funciones: el crecimiento vegetal, la producción de alimentos, la filtración del agua, y la participación del suelo de forma activa en los ciclos geoquímicos de los elementos.

La disyuntiva que se presenta frente a un suelo contaminado es recuperarlo o destruirlo. En un principio ha prevalecido la última opción, mientras que en los últimos años se ha prestado atención a las técnicas de recuperación que posibilitan su reutilización. La problemática de la descontaminación de los suelos se trata bajo dos perspectivas: técnicas de aislamiento de la contaminación y técnicas de descontaminación.

Técnicas de aislamiento. Para evitar que la contaminación se propague desde los suelos contaminados estos pueden ser almacenados en vertederos apropiados o sellados *in situ* o destruidos. La técnica del sellado trata al suelo con un agente que lo encapsula y lo aísla. El suelo es excavado, la zona se sella con un impermeabilizante y se redeposita el suelo. Para desarrollar las barreras de aislamiento se ha utilizado cemento, cal, plásticos, arcilla, etc. El procedimiento tiene el inconveniente que se pueden producir grietas por las que los contaminantes pueden fugarse. Sometiendo al suelo a altas temperaturas (1600-2300°C) se consigue su vitrificación con lo que se llegan a fundir los materiales del suelo, produciéndose una masa vítrea similar a la obsidiana. Durante el proceso hay que controlar la volatilización de numerosos compuestos. La filosofía de estas técnicas (la eliminación del suelo) las hace recomendables en situaciones extremas. En otras ocasiones se realiza el aislamiento directamente sobre los niveles de aguas freáticas. Mediante bombeos exhaustivos se consigue deprimir los niveles freáticos para alejarlos del suelo y subsuelo contaminados. El agua bombeada es tratada para eliminar su contaminación.

Técnicas de descontaminación. Se utilizan cinco métodos para la recuperación de los suelos contaminados: i) extracción; ii) tratamiento químico; iii) tratamiento electroquímico; iv) tratamiento térmico; y v) tratamiento biológico. En función de como se apliquen las técnicas depuradoras se habla de: i) tratamientos *in situ*, ii) tratamientos *on site*; y iii) tratamientos *ex situ*. El procedimiento *in situ* es el que requiere menos manejo, pero su aplicación es difícil de llevar a la práctica, dada la dificultad que representa el poner en contacto los agentes limpiadores con la masa del suelo. En el tratamiento *on site* el suelo se excava y se trata en el propio terreno. El método *ex site* requiere las etapas de excavación, transporte, tratamiento, devolución y entierro. Este proceso exige mayor inversión pero es más rápido y se consigue mayor recuperación. Son métodos desarrollados *in situ*.

Extracción por fluidos. Consiste en separar los contaminantes mediante la acción de un fluido, aire (arrastre) o agua (lavado). Una vez arrastrado el contaminante, se trata el efluente. Son procedimientos sencillos pero para que sean efectivos requieren que los suelos sean permeables y que las sustancias contaminantes tengan suficiente movilidad. No son métodos válidos cuando el suelo presenta una alta capacidad de adsorción.

Aireación. Se considera un método de volatilización pasiva para contaminantes volátiles. El suelo se excava y se vierte una capa fina (20 cm) sobre una superficie impermeable. Para favorecer la volatilización se procede a la remoción periódica arado. El riego favorece el proceso ya que el agua disuelve los contaminantes y produce su desorción y al evaporarse los arrastra hacia la superficie; la humedad acelera la actividad de los microorganismos. Al extender el suelo se aumenta su temperatura y se expone a la acción de los vientos, con lo que aumenta la volatilización. Es un proceso lento y tiene el inconveniente de que los contaminantes son devueltos directamente a la atmósfera sin sufrir ninguna depuración. Estos compuestos devueltos a la atmósfera tienden a degradarse rápidamente. Los hidrocarburos reaccionan fácilmente con los radicales hidroxilo atmosféricos, degradándose en un plazo de un día (dodecano) a 9 días (benceno). Los disolventes industriales clorados se descomponen fotolíticamente con gran rapidez por acción de las radiaciones ultravioletas. La contaminación atmosférica se puede evitar si el suelo es colocado en naves en las se pueden recoger los gases para su tratamiento. Su principal ventaja es su bajo costo.

Arrastre. Consiste en inyectar un gas para arrastrar a los contaminantes (aire y vapor de agua). El aire penetra desde la superficie del terreno y se fuerza su circulación al succionarlo a través de pozos. En otras ocasiones el aire o un gas se inyecta sobre la superficie del suelo o a través de pozos (se recomienda sellar la superficie del terreno). Se mejoran los rendimientos utilizando aire caliente (Figura 6.4). El aire con los contaminantes se puede depurar utilizando filtros de carbón activado. Es un procedimiento válido para extraer contaminantes volátiles (mínimo con una presión de vapor de mercurio de 0,5mm) y de bajo peso molecular (xileno, benceno, tolueno, tetracloruro de carbono, tricloroetano, cloruro de metilo, etc.). La rapidez y eficacia depende de la permeabilidad del suelo. Al disminuir esta se alargan los tiempos del tratamiento, con lo que aumentan los costos. También influye el estado de humedad del suelo. Así cuanto más seco se encuentre más fácilmente será atravesado por el flujo extrayente. Es un método muy sencillo, que usa una tecnología estándar y fácil de adquirir. Posibilita tratar grandes volúmenes de suelo a un costo razonable, produciendo una alteración mínima en el terreno. Se ha utilizado una técnica muy empleada para mejorar la producción de los pozos de petróleo. Consiste en inyectar a presión una disolución acuosa espesada, o gelificada, junto a un material granulado (arenas). Al inyectar a gran presión el fluido se producen fracturas que el material rellena y de esta manera se evita que se puedan volver a cerrar. El fluido se extrae por bombeo y el material granulado constituye una vía para su fácil circulación.

Lavado. Consiste en inyectar agua en el suelo. El agua moviliza a los contaminantes y luego se extrae y se trata. El método es válido para contaminantes solubles en agua

(solubilidad mayor de 1000 mg/L). El agua se introduce mediante zanjas y pozos y se recoge en drenes (tuberías horizontales) y se extrae de los pozos mediante bombas de succión. En ocasiones se utiliza agua con disolventes para facilitar la extracción. También se emplean detergentes para extraer contaminantes con comportamiento hidrofóbicos. Otra variante consiste en utilizar soluciones acidificantes. La extracción ácida ofrece buenos resultados para el caso de los metales pesados.

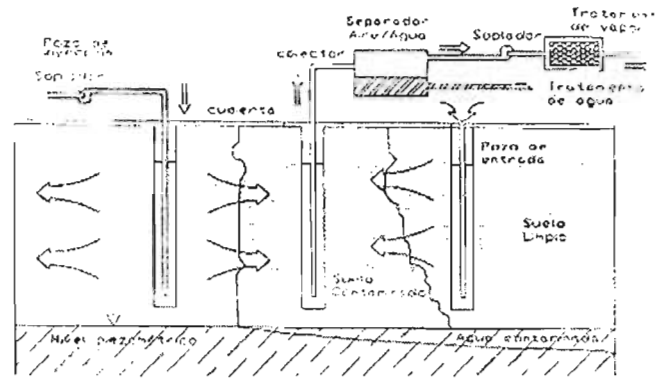


Figura 6.4. Proceso de extracción de vapores *in situ*.

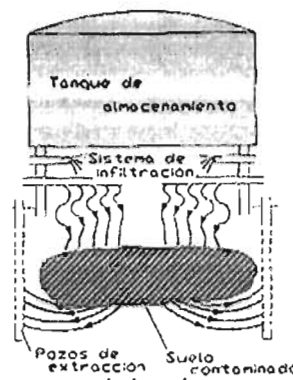


Figura 6.5. Lavado con agua *in situ*.

Este tratamiento también puede llevarse a cabo como técnica *ex situ*. El suelo excavado es tratado con una solución acuosa en un tanque. Se tamiza para separar las fracciones más gruesas (superiores a los 20 mm de diámetro). Los materiales finos se mezclan con un fluido lavador y son clarificados. Después se separan las arenas, que tienen capacidad baja para retener contaminantes. Las arcillas y los limos continúan en el proceso de depuración y los materiales que conservan un alto contenido de contaminantes son separados para su aislamiento en vertederos controlados. Esta técnica es útil para una amplia gama de compuestos contaminantes como los metales pesados, cianuros metálicos, disolventes nitrogenados, hidrocarburos aromáticos, gasolinas, aceites minerales, PCB. Los fluidos utilizados dependen del tipo de contaminante: agua, disoluciones acuosas, disolventes orgánicos, compuestos quelantes, productos tensoactivos, ácidos y bases.

Tratamiento químico. Se trata de depurar el suelo mediante la degradación de los contaminantes por reacciones químicas. Se trata de reacciones de oxidación de los

compuestos orgánicos. Como agente oxidante se emplea el oxígeno y el agua oxigenada. Es un método útil para: aldehídos, ácidos orgánicos, fenoles, cianuros y plaguicidas organoclorados. Este tratamiento se utiliza *in situ*, inyectando el agente depurador a zonas profundas mediante barrenas huecas o mediante la labranza del terreno. Otro procedimiento químico es la descloración. Esta técnica se utilizó para la estabilización de productos del petróleo. En suelos se ha empleado para la descloración de PBC. Consiste en la inyección de CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o NaOH . El suelo al reaccionar se calienta y al aumentar el pH hasta valores de 9 a 11 se produce la descloración de los PBC.

Tratamiento electroquímico. El desplazamiento de los contaminantes se logra mediante la creación de campos eléctricos. Es un procedimiento a realizar *in situ*. Consiste en introducir, a suficiente profundidad, unos electrodos en el suelo. Los contaminantes fluyen desde un electrodo a otro siguiendo las líneas del campo eléctrico. Para favorecer el movimiento se puede añadir una fase acuosa. La movilización de los contaminantes es debida a fenómenos de: migración, electroósmosis y electroforesis.

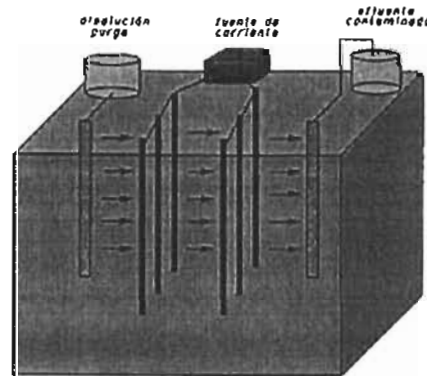


Figura 6.6. Electroremediación *in situ*.

Migración. Se trata de una movilización en forma iónica de los contaminantes a través del campo eléctrico. Representa el movimiento de las partículas en disolución con comportamiento iónico.

Electroósmosis. Movimiento del líquido con relación a las superficies sólidas del campo eléctrico. Se produce la movilización del líquido en masa como consecuencia de la interacción con las paredes de los poros. En las superficies desequilibradas de las partículas del suelo predominan las cargas negativas y atraen al líquido hacia el cátodo que se comporta como si fuese un gran catión.

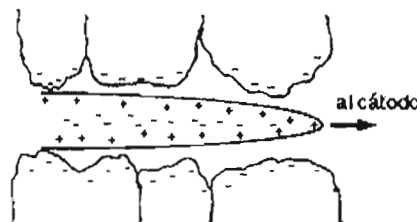


Figura 6.7. Electroósmosis.

Electroforesis. Representa el desplazamiento de una partícula coloidal cargada en suspensión en un líquido. Es el que tiene menor efecto en el desplazamiento de los contaminantes. El conjunto de estos mecanismos provoca que los contaminantes se desplacen en el campo eléctrico. Los cationes van hacia el cátodo mientras que los aniones lo hacen hacia el ánodo, ambos son extraídos. Este procedimiento tiene la ventaja de que apenas si influye en la depuración la textura ni la permeabilidad (parámetros limitantes de los otros tratamientos). Se trata de un transporte masivo a través de los poros grandes y pequeños, a diferencia de lo que ocurre con los métodos de lavado y arrastre que apenas actúan sobre los microporos. Este método proporciona buenos resultados para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados, como el Cu, Zn, Pb y As. Igualmente válido para compuestos orgánicos.

Tratamiento térmico. Busca la destrucción de los contaminantes mediante el suministro de calor. Se trata de un tratamiento *ex situ*. En la incineración la combustión de los contaminantes se consigue sometiendo al suelo a altas temperaturas (1000°C). El tratamiento se desarrolla en dos fases. En una primera se oxidan la mayor parte de los contaminantes. El proceso se completa en la segunda fase en la que se mantiene al suelo a altas temperaturas durante el tiempo necesario para conseguir la destrucción completa de los contaminantes y se eliminan todos los gases. Para depurar los gases residuales se incorpora un sistema de tratamiento. Es un método muy útil para eliminar la contaminación producida por hidrocarburos poliaromáticos, PBC (policlorobifenilos) y clorofenoles. La desorción térmica es otro proceso térmico en el que se somete al suelo a temperaturas más bajas (250-550°C) para conseguir la desorción en vez de la destrucción de los contaminantes. Con esta técnica se puede tratar la contaminación producida por compuestos orgánicos volátiles (con peso molecular no muy elevado, lubricantes, aceites minerales, gasolinas, etc) y determinados metales pesados volátiles, como el mercurio. Con esta técnica hay que controlar el paso de los contaminantes a la fase gaseosa, se pueden eliminar en una cámara de combustión o fijarlos sobre carbono activado. Estos métodos presentan el inconveniente de que el suelo queda completamente transformado, sin materia orgánica, ni microorganismos, ni disoluciones.

Tratamiento microbiológico. Consiste en potenciar el desarrollo de microorganismos con capacidad de degradación de contaminantes (bioremediación). Se puede favorecer la actividad de los microorganismos presentes o introducir nuevas especies. Para favorecer las acciones bióticas se mejoran determinadas condiciones edáficas, añadiendo nutrientes, agua, oxígeno y modificando el pH. La mayoría de los contaminantes orgánicos se degradan bajo condiciones aerobias. Los alifáticos clorados resisten en condiciones aerobias pero son fácilmente degradados en las anaerobias. Los BPC, se degradan primero en condiciones anaerobias, produciéndose la descloración de manera rápida, y luego la degradación prosigue bajo condiciones aerobias. La velocidad de descomposición por los organismos depende de su concentración, de las características del suelo (disponibilidad de oxígeno y nutrientes, pH, humedad y temperatura) y de la estabilidad del contaminante. Este tratamiento se puede desarrollar *in situ*, *on site* o *ex situ*. El tratamiento *in situ* se usa en suelos permeables cuando la contaminación afecta a los horizontes subsuperficiales (figura 6.8). Se perforan unos pozos por los que se inyectan agua con microorganismos y

nutrientes. Se bombea el agua contaminada hacia la superficie, se trata y se vuelve a iniciar el ciclo.

Para el tratamiento *on site* el suelo es excavado y depositado en fosas con fondo arenoso y revestidas de un material impermeable, con un sistema de drenaje. La superficie se riega con solución mineral, a la que se le añade microorganismos. Los mejores resultados se obtienen en los tratamientos *ex situ*. El suelo contaminado es llevado a fermentadores, que giran sobre su eje para agitar el suelo. Durante el tratamiento se añade oxígeno y nutrientes, en condiciones de temperatura controlada..

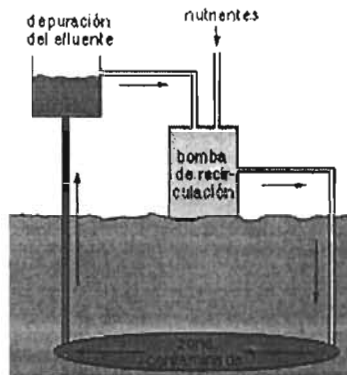


Figura 6.8. tratamiento microbiológico *in situ*.

Las técnicas de descontaminación son caras, superan el valor del suelo en el mercado. En varios países se ha comprendido que el suelo es un bien inapreciable, con un valor incalculable, no traducible en dinero, ya que necesita millones de años para formarse. Por lo que es un recurso no renovable e irreparable, que se debe conservar para las futuras generaciones, y su valor real es independiente de su precio, el cual se fija por la ley de la oferta y la demanda (varía con las tendencias de la economía), mientras que el valor del suelo es intemporal. Es por ello que la planificación de la descontaminación del suelo es de ámbito nacional, que requiere fuertes subvenciones y no puede ser acometidos por particulares. Ahora se descontamina el suelo para reutilizaciones concretas como recalificaciones de terrenos en los planes de urbanismo para construcción, parques, urbanizaciones, de alto valor por m².

Los recursos a emplear son limitados y se puede descontaminar todas las zonas sino que se debe desarrollar una política centralizada que planifique, tras estudios, las regiones preferentes por presentar más altos riesgos, zonas de alta prioridad tanto para realizar investigaciones evaluadoras como para planificar su descontaminación y regeneración. El problema de la descontaminación del suelo hay que enfocarlo como un problema multidisciplinar, que engloba aspectos y factores de difícil evaluación. Para elaborar un esquema de trabajo hay que considerar una serie de factores y darle a cada condición un coeficiente de importancia, para que mediante una matriz de aproximación se resuelva el problema, sin que algunos aspectos sean sobrevalorados. Los factores a tomar en cuenta son i) las características del sitio y ii) las de la contaminación:

- Situación con respecto a los objetos amenazados. Cada caso es diferente, por ejemplo: el caso de la localidad holandesa de Lekkerkerk con casas construidas sobre un vertedero de residuos químicos, o escapes de residuos de una planta de tratamiento de petróleo que amenaza a una cuenca hidrográfica con suministro para el consumo humano.
- Clase y propiedades de los suelos. Factor que influye en la evolución de la contaminación y condiciona la aplicación de las técnicas de descontaminación. La peligrosidad de la contaminación depende de parámetros del suelo, como son: poder tampón, poder de amortiguación, vulnerabilidad y cargas críticas. Características que dependerán de propiedades de los suelos: textura, permeabilidad, dinámica del agua, pH, capacidad de cambio iónico, potencial redox, carbonatos, sales, mineralogía de arcillas, materia orgánica, microorganismos, nutrientes, etc.
- Subsuelo. El grado de permeabilidad, existencia de capas, inclinación, existencia de niveles impermeables y restos de construcciones (galerías, conducciones, cimentaciones, etc) condicionan la dispersión de la contaminación y las posibilidades de descontaminación.
- Niveles freáticos. La proximidad de aguas freáticas es un factor de riesgo decisivo para la propagación de la contaminación y de sus efectos. Las oscilaciones del nivel freático son la causa de que se difunda la contaminación.
- Extensión de la contaminación. La magnitud del área afectada es un factor a evaluar.
- Espesor de la contaminación. La penetración de la contaminación dentro del suelo es otra medida para evaluar la magnitud de la contaminación.
- Naturaleza y concentración de los contaminantes. La clase de contaminantes y su intensidad es un parámetro a considerar. En las técnicas de tratamiento influyen las características de los contaminantes, como son:
 - i) Solubilidad, volatibilidad, densidad, coeficiente de reparto y adsorción
 - ii) Forma de presentarse en el suelo (disuelta, adsorbida, complejada, precipitada, ocluída) y especiación (elemental, iónica, compuesta, oxidada, reducida)
 - iii) Persistencia y transformaciones en el suelo (degradativas o a compuestos tóxicos)
 - iv) Toxicidad y bioacumulación
 - v) La presencia de una mezcla de sustancias contaminantes dificultará en gran medida su eliminación total.

Las técnicas para remediar suelos son:

Lavado de suelos. Interacción del suelo contaminado con detergentes, sulfatantes y agentes de quelato con el fin de solubilizar los productos petroleros. Es aplicable cuando se realiza en un biorreactor, y poco aplicable *in situ*. Sus limitantes de aplicación son: i) presencia de partículas finas, ii) excavación del suelo para el bioreactor, iii) requiere de muchos puntos de inyección, iv) costo elevado por uso de agentes tensoactivos.

Extracción por solventes. Interacción del suelo contaminado con solventes que permiten la solubilización de los productos petroleros. Se usa exitosamente cuando se realiza en un bioreactor, no lo es cuando es aplicado *in situ*. Sus limitantes son: i) la

excavación del suelo para el bioreactor, ii) manejo de solventes, iii) requiere de un sistema de recuperación muy eficiente para los solventes utilizados, iv) costo elevado de los solventes.

Biodegradación en biopila. Utiliza microorganismos para degradar los compuestos orgánicos presentes en el sitio. La adición de nutrientes y agentes sulfurosos facilitan su degradación en condiciones controladas. Se ha usado para tratar HAM, HAP, HHT y compuestos fenólicos hasta un nivel aceptable. Es una tecnología poco costosa. Sus limitantes son: i) requiere de excavación del suelo, ii) requiere de un control riguroso de los factores de crecimiento de los microorganismos, iii) posible inhibición por la presencia de metales pesados.

Confinamiento fuera del sitio. Los suelos contaminados son excavados y transportados a una celda de confinamiento fuera del sitio. Facilita la disposición del material excavado. Sin embargo requiere excavación del suelo y tiene un costo elevado.

Vitrificación. Se utilizan electrodos amarrados para inducir una corriente eléctrica, aumentando la temperatura del suelo (2000 °C). Cuando el suelo se enfría, este se vitrifica. Se aplica en sitios con HAM, HAP, compuestos fenólicos y metales pesados. Es una tecnología en fase de desarrollo. El área de tratamiento debe ser cubierta para recuperar los gases generados. Tiene un costo muy elevado.

Biodegradación por inyección de nutrientes. Se utilizan microorganismos para degradar los compuestos orgánicos presentes en el suelo. La adición de nutrientes y agentes surfactantes en condiciones controladas ayuda a la degradación. Esta se realiza a través de una red de pozos de inyección y extracción facilitando su degradación *in situ*. Se utiliza con éxito para tratar HAM, HAP, HHT y compuestos fenólicos hasta un nivel aceptable. Es una tecnología poco costosa. Necesita la presencia del manto freático. La heterogeneidad de la contaminación puede dificultar la descontaminación.

Recuperación de hidrocarburos volátiles *in situ*. :

Extracción de vapores de compuestos orgánicos volátiles. Se basa en la instalación de pozos de recuperación de vapores arriba del nivel de agua subterránea. Los vapores de hidrocarburos son tratados *ex situ* con un biofiltro o con carbón activado. Se aplica sólo para hidrocarburos ligeros a altas concentraciones, poca variabilidad del nivel de agua subterránea y alta permeabilidad del medio. No recupera hidrocarburos pesados ni emisiones a la atmósfera.

Sistemas de inyección de aire y extracción de vapores. Se basa en la instalación de pozos de inyección de aire en aguas subterráneas y extracción de los vapores a través de los pozos de recuperación. Se aplica sólo para hidrocarburos ligeros a altas concentraciones, poca variabilidad del nivel de agua subterránea y alta permeabilidad del medio. No recupera hidrocarburos pesados ni emisiones a la atmósfera.

Recuperación de la fase flotante de hidrocarburos y agua contaminada. Se trata de la instalación de barreras pasivas para aislar los sectores contaminados y la instalación de pozos de recuperación activos en el sector confinado. Se crea una barrera física aguas arriba del sector contaminado, la barrera puede consistir en el bombeo del agua subterránea o ser consumida con materiales impermeables. Se aplica cuando la contaminación del sitio (suelo y agua) se localiza cerca del nivel de agua subterránea y en escurrimientos del medio a gran velocidad. Sus principales limitantes son: i) accesibilidad a aguas arriba de la zona contaminada, ii) gran cantidad de maniobras, iii)

incertidumbre sobre el grado de impermeabilización, y iv) excavación mayor para instalar los materiales impermeables.

Instalación de numerosos pozos de recuperación. Se basa en la perforación de numerosos pozos de recuperación en la zona contaminada y del bombeo del agua más productos petroleros y tratamientos en una unidad *ex situ*. Se aplica en presencia de una gran cantidad de hidrocarburos en el agua subterránea y cuando existe la posibilidad de descarga del agua tratada. No necesita ningún control de las infiltraciones. Sólo requiere tratamiento físico el agua subterránea contaminada por un tiempo indeterminado.

Recuperación indiscriminada de la fase flotante de hidrocarburos y agua contaminada.

Instalación de pozos de recuperación e inyección con el fin de estimular la biodegradación in situ. Se trata de la perforación de pozos de recuperación en el sector aguas debajo de la zona contaminada y de pozos de inyección en el sector aguas arriba de la zona contaminada. El agua recuperada es tratada y reinyectada al suelo aguas arriba de la zona contaminada. El agua de inyección es oxigenada y contiene soluciones nutritivas. Se aplica en grandes áreas contaminadas. Permite recuperar productos petroleros en fase libre y disuelta. Se pueden controlar los factores de estimulación de la biodegradación. Se requiere que los productos contaminantes sean biodegradables. Requiere mayor de equipamiento, numerosas perforaciones, un tiempo de tratamiento incierto y la presencia de productos petroleros con coeficiente de adsorción elevado.

CAPITULO VII

Legislación Ambiental

CAPÍTULO 7 LEGISLACIÓN AMBIENTAL

Debería de haber pocas reglas, pero que se cumplan
Elena G. de White

7.1 Planes de gobierno. Leyes, Reglamentos, Normas.

No puede encontrarse un problema de mayor actualidad que el de la conservación del ambiente. Su importancia reside en que de no detenerse el proceso progresivo de destrucción de la biosfera, se puede provocar el desmoronamiento de las condiciones naturales de existencia de la humanidad. En México, el incontrolado e irracional aprovechamiento de los recursos naturales ha generado problemas que tienen carácter nacional, como la destrucción masiva de los bosques, aparición de áreas de tierras áridas, erosión, contaminación de acuíferos, agotamiento total de recursos naturales y disminución de especies vegetales y animales. El crecimiento incontrolado de algunas ciudades y la formación de megalópolis, han agravado los problemas relacionados con la vida urbana, tales como: contaminación de atmósfera y agua, acumulación de residuos sólidos y enfermedades motivadas por esta situación. De la solución al problema de la conservación del ambiente depende la posibilidad de desarrollo de la economía nacional, así como el bienestar y la vida de las generaciones actuales y futuras.

Ha existido preocupación por proteger elementos específicos del ambiente mediante la expedición de leyes, en marzo de 1971 que se inició la estructuración de un marco legal en materia de protección al ambiente al promulgarse la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, ordenamiento que fue derogado en febrero de 1982, cuando se puso en vigor la Ley Federal de Protección al Ambiente. Su propósito fue regular todos los ámbitos en que la contaminación podía tener lugar, así como sus efectos en el ambiente, atmósfera, agua, medio marino, suelo, energía térmica, ruido y vibraciones; por la otra, preservar y mejorar el ambiente. En la Ley Federal de Protección al Ambiente aparecen primera medidas orientadas a la protección integral del ambiente. Se incorporó evaluación del impacto ambiental de las obras públicas y privadas, con la finalidad de que se construyera en un instrumento básico de planeación de proyectos. No obstante estos avances, la Ley carecía del sustento necesario para enfrentar la problemática ambiental. Para fortalecer las bases constitucionales en materia ambiental, en agosto de 1987 se reformaron los artículos 27 y 63 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, elevando al más alto rango la preservación y restauración del equilibrio ecológico. La reforma consistió en descentralizar las atribuciones de la Ley en las instancias del gobierno Federal, Estatal y municipal para la protección de los recursos naturales.

El artículo 27 constitucional establece la necesidad de proteger los recursos naturales y faculta a la nación para imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público para regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, cuidando su conservación y logrando el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población urbana y rural. Del artículo 27 constitucional se deriva la Ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) del 28 de enero de 1988; derogando la Ley Federal de Protección al Ambiente en marzo de 1988, vigente, en donde se prevé el ordenamiento ecológico, definido como un proceso de planeación

dirigido a evaluar y programar el uso del suelo y manejo de los recursos naturales en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su jurisdicción y soberanía. Esta ley establece el ordenamiento ecológico local, encomendado a los Estados y Municipios de acuerdo a sus respectivas leyes. Que obliga a:

- Efectuar una planeación ecológica. Se incluyen disposiciones sobre el ordenamiento ecológico del territorio, la evaluación de impacto y riesgo ambiental de obras o actividades, normas mexicanas (NMX) y normas oficiales mexicanas.
- Prevenir y controlar la contaminación ambiental que comprende disposiciones en materia de disturbios por contaminación del agua, aire y suelo.
- Salvaguardar los recursos naturales (flora y fauna silvestre y acuática).
- Controlar actividades riesgosas.

La LGEEPA en su sección V trata sobre la Evaluación del Impacto Ambiental considerándola como un instrumento de planeación que permite predecir, evitar o atenuar el deterioro de los ecosistemas que conlleva la realización de obras o actividades de carácter público o privado. La ley establece en su artículo 28 que cuando las obras o actividades puedan causar el desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y normas emitidas por la federación para proteger el ambiente, deberán contar previamente a su realización con la autorización del Gobierno Federal, Estatal o Municipal. En el primer caso, el artículo 29 de la Ley establece el listado de materias cuya resolución quedará a cargo del Gobierno Federal, otorgándoles a las autoridades federativas y municipios la posibilidad de que en sus leyes locales determinen los casos de su intervención y los procedimientos respectivos. Con la LGEEPA se modificó el análisis de proyectos, que puede afectar significativamente al ambiente, no solamente durante la planeación, construcción, operación y mantenimiento, sino también con la ocurrencia de un evento extraordinario. Se incluyó el concepto de riesgo ambiental cuando la obra o actividad analizada esté asociada al manejo de sustancias peligrosas. En el caso de obras o actividades que impliquen un riesgo ambiental, los promotores del proyecto deberán presentar ante la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), o en su caso a las autoridades locales en materia de ecología, un estudio de riesgo, en el que se defina el daño potencial que la obra o actividad representaría para la población, sus bienes y el ambiente, durante todas las etapas de proyecto y en caso de accidente, así como las medidas de seguridad y operación convenientes para evitar, mitigar o controlar los efectos adversos.

También son instrumentos de planeación, según la Ley, las normas ecológicas, el ordenamiento ecológico y la evaluación de impacto ambiental, los cuales aseguran las condiciones necesarias para el bienestar de la población y para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger al ambiente. En la Ley se define a las normas ecológicas como el conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Federación, que establecen los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deben cumplirse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes, que puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente; además de que uniforman principios, criterios, políticas y estrategias en la materia, su aplicación y vigilancia corresponde a las autoridades federales, estatales o municipales, en el ámbito de sus jurisdicciones territoriales, así como en los términos que se establezcan en la legislación.

Las medidas de control, como la instalación de dispositivos anticontaminantes, empleo de materias primas y combustibles ambientalmente limpios así como las encaminadas a la protección y conservación de recursos naturales son también instrumentos de planeación ambiental. Para el control de la contaminación y el deterioro de los recursos naturales, se considera que los responsables de las fuentes tienen la obligación de mejorar los procesos e instalar equipos de control de emisiones y descargas a los niveles fijados en las normas ecológicas. Se prevé también en la Ley el establecimiento de áreas naturales protegidas y el aprovechamiento racional de los recursos para restaurar o conservar el equilibrio ecológico. A continuación se reproduce un extracto de la Ley, que comprende el artículo 1 de las Disposiciones Generales y el artículo 28 de la Sección V: Evaluación de Impacto Ambiental.

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988

TITULO PRIMERO. Disposiciones Generales

CAPITULO I. Normas preliminares

Artículo 1. La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

- I.- Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar;
- II.- Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación;
- III.- La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente;
- IV.- La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas;
- V.- El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas;
- VI.- La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo;
- VII.- Garantizar la participación corresponsable de las personas, en forma individual o colectiva, en la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente;
- VIII.- El ejercicio de las atribuciones que en materia ambiental corresponde a la Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX - G de la Constitución;
- IX.- El establecimiento de los mecanismos de coordinación, inducción y concertación entre autoridades, entre éstas y los sectores social y privado, así como con personas y grupos sociales, en materia ambiental, y
- X.- El establecimiento de medidas de control y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y de las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones administrativas y penales que correspondan.

En todo lo no previsto en la presente Ley, se aplicarán las disposiciones contenidas en otras leyes relacionadas con las materias que regula este ordenamiento.

SECCIÓN QUINTA. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Artículo 28. La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente. Para ello, en los casos que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría.

- I.- Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos, carbo ductos y poliductos;
- II.- Industria del petróleo, petroquímica, química, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y eléctrica;
- III.- Exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la Federación en los términos de las Leyes Minera y Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear;
- IV.- Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como residuos radiactivos;
- V.- Aprovechamientos forestales en selvas tropicales y especies de difícil regeneración;
- VI.- Se deroga;
- VII.- Cambios de uso del suelo de áreas forestales, así como en selvas y zonas áridas;
- VIII.- Parques industriales donde se prevea la realización de actividades altamente riesgosas;
- IX.- Desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros;

X - Obras y actividades en humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales;

XI.- Obras en áreas naturales protegidas de competencia de la Federación;

XII.- Actividades pesqueras, acuícolas o agropecuarias que puedan poner en peligro la preservación de una o más especies o causar daños a los ecosistemas, y

XIII.- Obras o actividades que correspondan a asuntos de competencia federal, que puedan causar desequilibrios ecológicos graves e irreparables, daños a la salud pública o a los ecosistemas, o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas relativas a la preservación del equilibrio ecológico y la protección del ambiente.

El Reglamento de la presente Ley determinará las obras o actividades a que se refiere este artículo, que por su ubicación, dimensiones, características o alcances no produzcan impactos ambientales significativos, no causen o puedan causar desequilibrios ecológicos, ni rebasen los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas referidas a la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, y que por lo tanto no deban sujetarse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental previsto en este ordenamiento.

Para los efectos a que se refiere la fracción XIII del presente artículo, la Secretaría notificará a los interesados su determinación para que sometan al procedimiento de evaluación de impacto ambiental la obra o actividad que corresponda, explicando las razones que lo justifiquen, con el propósito de que aquellos presenten los informes, dictámenes y consideraciones que juzguen convenientes, en un plazo no mayor a diez días. Una vez recibida la documentación de los interesados, la Secretaría, en un plazo no mayor a treinta días, les comunicará si procede o no la presentación de una manifestación de impacto ambiental, así como la modalidad y el plazo para hacerlo. Transcurrido el plazo señalado, sin que la Secretaría emita la comunicación correspondiente, se entenderá que no es necesaria la presentación de una manifestación de impacto ambiental.

Con el procedimiento de evaluación del impacto ambiental establecido en la LGEEPA y su Reglamento, se pretende prever los impactos ambientales de un proyecto, proporcionar los elementos para seleccionar la opción de un proyecto que represente el mínimo impacto, contabilizar las actividades productivas entre sí y armonizarlas con el ambiente. El procedimiento describe las etapas secuenciales para la preparación de la manifestación de impacto ambiental de proyectos o actividades, y la forma de supervisar la instrumentación de las medidas de mitigación, compensación, restauración o control que se establezcan para la autorización del proyecto. El proponente, que se define como el responsable de un proyecto, debe contratar los servicios de una empresa o persona física autorizada para que ésta elabore la manifestación de impacto ambiental autorizados. Una vez que el proponente ha prestado el documento se verifica que la información presentada sea objetiva, fidedigna, representativa y actual, y se procede a su evaluación y comunica al proponente el resultado, el cual puede ser alguno de los siguientes:

- Reelaboración total o parcial del documento.
- Aprobación condicionada del proyecto.
- Aprobación incondicionada del proyecto.
- Desaprobación del proyecto, tal como fue presentado.

El comunicado oficial que se expida tiene carácter de resolución legal; y la determinación que se derive del análisis y evaluación de la manifestación de impacto ambiental, contiene las bases de aprobación, modificación o rechazo del proyecto. Existen tres modalidades de la manifestación de impacto ambiental: general, intermedia y específica. En cualquiera de los tres casos los objetivos son los mismos, pero las exigencias de información para cada modalidad son diferentes. La entrega de una manifestación de impacto ambiental puede no ser la única condición para emitir una resolución. Si la Secretaría lo estima conveniente, podrá solicitar mayor información al proponente, ya sea para complementar la manifestación presentada, o para pedir que se elabore otra manifestación en alguna otra de las modalidades mencionadas. Así, después de haber sido presentada una manifestación general, puede ser solicitada la modalidad intermedia o bien específica. Las obras o actividades que deben contar con

la autorización de impacto ambiental, son las que se mencionan en el artículo 5 del reglamento de la LGEEPA en materia de impacto ambiental:

“ REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN
MATERIA DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL
CAPÍTULO II. DE LAS OBRAS O ACTIVIDADES QUE REQUIEREN AUTORIZACIÓN EN MATERIA DE IMPACTO
AMBIENTAL Y DE LAS EXCEPCIONES

Artículo 5o. - Quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental:

A) HIDRÁULICAS:

I. Presas de almacenamiento, derivadoras y de control de avenidas con capacidad mayor de 1 millón de metros cúbicos, jagüeyes y otras obras para la captación de aguas pluviales, canales y cárcamos de bombeo, con excepción de aquellas que se ubiquen fuera de ecosistemas frágiles, Áreas Naturales Protegidas y regiones consideradas prioritarias por su biodiversidad y no impliquen la inundación o remoción de vegetación arbórea o de asentamientos humanos, la afectación del hábitat de especies incluidas en alguna categoría de protección, el desabasto de agua a las comunidades aledañas, o la limitación al libre tránsito de poblaciones naturales, locales o migratorias;

II. Unidades hidroagrícolas o de temporal tecnificado mayores de 100 hectáreas;

III. Proyectos de construcción de muelles, canales, escolleras, espigones, bordos, dársenas, represas, rompeolas, malecones, diques, varaderos y muros de contención de aguas nacionales, con excepción de los bordos de represamiento del agua con fines de abrevadero para el ganado, autoconsumo y riego local que no rebasen 100 hectáreas;

IV. Obras de conducción para el abastecimiento de agua nacional que rebasen los 10 kilómetros de longitud, que tengan un gasto de más de quince litros por segundo y cuyo diámetro de conducción exceda de 15 centímetros;

V. Sistemas de abastecimiento múltiple de agua con diámetros de conducción de más de 25 centímetros y una longitud mayor a 100 kilómetros;

VI. Plantas para el tratamiento de aguas residuales que descarguen líquidos o lodos en cuerpos receptores que constituyan bienes nacionales;

VII. Depósito o relleno con materiales para ganar terreno al mar o a otros cuerpos de aguas nacionales;

VIII. Drenaje y desecación de cuerpos de aguas nacionales;

IX. Modificación o entubamiento de cauces de corrientes permanentes de aguas nacionales;

X. Obras de dragado de cuerpos de agua nacionales;

XI. Plantas potabilizadoras para el abasto de redes de suministro a comunidades, cuando esté prevista la realización de actividades altamente riesgosas;

XII. Plantas desaladoras;

XIII. Apertura de zonas de tiro en cuerpos de aguas nacionales para desechar producto de dragado o cualquier otro material, y

XIV. Apertura de bocas de intercomunicación lagunar marítimas.

B) VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN:

Construcción de carreteras, autopistas, puentes o túneles federales vehiculares o ferroviarios; puertos, vías férreas, aeropuertos, helipuertos, aeródromos e infraestructura mayor para telecomunicaciones que afecten áreas naturales protegidas o con vegetación forestal, selvas, vegetación de zonas áridas, ecosistemas costeros o de humedales y cuerpos de agua nacionales, con excepción de:

a) La instalación de hilos, cables o fibra óptica para la transmisión de señales electrónicas sobre la franja que corresponde al derecho de vía, siempre que se aproveche la infraestructura existente, y

b) Las obras de mantenimiento y rehabilitación cuando se realicen en la franja del derecho de vía correspondiente.

C) OLEODUCTOS, GASODUCTOS, CARBODUCTOS Y POLIDUCTOS: Construcción de oleoductos, gasoductos, carboductos o poliductos para la conducción o distribución de hidrocarburos o materiales o sustancias consideradas peligrosas conforme a la regulación correspondiente, excepto los que se realicen en derechos de vía existentes en zonas agrícolas, ganaderas o eriales.

D) INDUSTRIA PETROLERA:

I. Actividades de perforación de pozos para la exploración y producción petrolera, excepto:

a) Las que se realicen en zonas agrícolas, ganaderas o de eriales, siempre que éstas se localicen fuera de áreas naturales protegidas, y

b) Las actividades de limpieza de sitios contaminados que se lleven a cabo con equipos móviles encargados de la correcta disposición de los residuos peligrosos y que no impliquen la construcción de obra civil o hidráulica adicional a la existente;

II. Construcción e instalación de plataformas de producción petrolera en zona marina;

III. Construcción de refinerías petroleras, excepto la limpieza de sitios contaminados que se realice con equipos móviles encargados de la correcta disposición de los residuos peligrosos y que no implique la construcción de obra civil o hidráulica adicional a la existente;

IV. Construcción de centros de almacenamiento o distribución de hidrocarburos que prevean actividades altamente riesgosas;

V. Prospecciones sismológicas marinas distintas a las que utilizan pistones neumáticos, y

VI. Prospecciones sismológicas terrestres excepto las que utilicen vibrosismos.

- E) INDUSTRIA PETROQUÍMICA: Construcción y operación de plantas y complejos de producción petroquímica.
- F) INDUSTRIA QUÍMICA: Construcción de parques o plantas industriales para la fabricación de sustancias químicas básicas; de productos químicos orgánicos; de derivados del petróleo, carbón, hule y plásticos; de colorantes y pigmentos sintéticos; de gases industriales, de explosivos y fuegos artificiales; de materias primas para fabricar plaguicidas, así como de productos químicos inorgánicos que manejen materiales considerados peligrosos, con excepción de:
- a) Procesos para la obtención de oxígeno, nitrógeno y argón atmosféricos;
 - b) Producción de pinturas vinílicas y adhesivos de base agua;
 - c) Producción de perfumes, cosméticos y similares;
 - d) Producción de tintas para impresión;
 - e) Producción de artículos de plástico y hule en plantas que no estén integradas a las instalaciones de producción de las materias primas de dichos productos, y
 - f) Almacenamiento, distribución y envasado de productos químicos.
- G) INDUSTRIA SIDERÚRGICA: Plantas para la fabricación, fundición, aleación, laminado y desbaste de hierro y acero, excepto cuando el proceso de fundición no esté integrado al de siderúrgica básica.
- H) INDUSTRIA PAPELERA: Construcción de plantas para la fabricación de papel y otros productos a base de pasta de celulosa primaria o secundaria, con excepción de la fabricación de productos de papel, cartón y sus derivados cuando ésta no esté integrada a la producción de materias primas.
- I) INDUSTRIA AZUCARERA: Construcción de plantas para la producción de azúcares y productos residuales de la caña, con excepción de las plantas que no estén integradas al proceso de producción de la materia prima.
- J) INDUSTRIA DEL CEMENTO: Construcción de plantas para la fabricación de cemento, así como la producción de cal y yeso, cuando el proceso de producción esté integrado al de la fabricación de cemento.
- K) INDUSTRIA ELÉCTRICA:
- I. Construcción de plantas nucleoelectricas, hidroelectricas, carboelectricas, geotermoelectricas, eoloelectricas o termoelectricas, convencionales, de ciclo combinado o de unidad turbogás, con excepción de las plantas de generación con una capacidad menor o igual a medio MW, utilizadas para respaldo en residencias, oficinas y unidades habitacionales;
 - II. Construcción de estaciones o subestaciones eléctricas de potencia o distribución;
 - III. Obras de transmisión y subtransmisión eléctrica, y
 - IV. Plantas de cogeneración y autoabastecimiento de energía eléctrica mayores a 3 MW.
- Las obras a que se refieren las fracciones II a III anteriores no requerirán autorización en materia de impacto ambiental cuando pretendan ubicarse en áreas urbanas, suburbanas, de equipamiento urbano o de servicios, rurales, agropecuarias, industriales o turísticas.
- L) EXPLORACIÓN, EXPLOTACIÓN Y BENEFICIO DE MINERALES Y SUSTANCIAS RESERVADAS A LA FEDERACIÓN:
- I. Obras para la explotación de minerales y sustancias reservadas a la federación, así como su infraestructura de apoyo;
 - II. Obras de exploración, excluyendo las de prospección gravimétrica, geológica superficial, geoelectrica, magnetotelúrica, de susceptibilidad magnética y densidad, así como las obras de barrenación, de zanjeo y exposición de rocas, siempre que se realicen en zonas agrícolas, ganaderas o eriales y en zonas con climas secos o templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinares, ubicadas fuera de las áreas naturales protegidas, y
 - III. Beneficio de minerales y disposición final de sus residuos en presas de jales, excluyendo las plantas de beneficio que no utilicen sustancias consideradas como peligrosas y el relleno hidráulico de obras mineras subterráneas.
- M) INSTALACIONES DE TRATAMIENTO, CONFINAMIENTO O ELIMINACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS, ASÍ COMO RESIDUOS RADIOACTIVOS:
- I. Construcción y operación de plantas para el confinamiento y centros de disposición final de residuos peligrosos;
 - II. Construcción y operación de plantas para el tratamiento, reuso, reciclaje o eliminación de residuos peligrosos, con excepción de aquellas en las que la eliminación de dichos residuos se realice dentro de las instalaciones del generador, en las que las aguas residuales del proceso de separación se destinen a la planta de tratamiento del generador y en las que los lodos producto del tratamiento sean dispuestos de acuerdo con las normas jurídicas aplicables, y
 - III. Construcción y operación de plantas e instalaciones para el tratamiento o eliminación de residuos biológico infecciosos, con excepción de aquellas en las que la eliminación se realice en hospitales, clínicas, laboratorios o equipos móviles, a través de los métodos de desinfección o esterilización y sin que se generen emisiones a la atmósfera y aguas residuales que rebasen los límites establecidos en las disposiciones jurídicas respectivas.
- N) APROVECHAMIENTOS FORESTALES EN SELVAS TROPICALES Y ESPECIES DE DIFÍCIL REGENERACIÓN:
- I. Aprovechamiento de especies sujetas a protección;
 - II. Aprovechamiento de cualquier recurso forestal maderable y no maderable en selvas tropicales, con excepción del que realicen las comunidades asentadas en dichos ecosistemas, siempre que no se utilicen especies protegidas y tenga como propósito el autoconsumo familiar, y
 - III. Cualquier aprovechamiento persistente de especies de difícil regeneración, y
 - IV. Aprovechamientos forestales en áreas naturales protegidas, de conformidad con lo establecido en el artículo 12, fracción IV de la Ley Forestal.
- Ñ) PLANTACIONES FORESTALES:
- I. Plantaciones forestales con fines comerciales en predios cuya superficie sea mayor a 20 hectáreas, las de especies exóticas a un ecosistema determinado y las que tengan como objetivo la producción de celulosa, con

excepción de la forestación con fines comerciales con especies nativas del ecosistema de que se trate en terrenos preferentemente forestales, y

II. Reforestación o instalación de viveros con especies exóticas, híbridos o variedades transgénicas.

O) CAMBIOS DE USO DEL SUELO DE ÁREAS FORESTALES, ASÍ COMO EN SELVAS Y ZONAS ÁRIDAS:

I. Cambio de uso del suelo para actividades agropecuarias, acuícolas, de desarrollo inmobiliario, de infraestructura urbana, de vías generales de comunicación o para el establecimiento de instalaciones comerciales, industriales o de servicios en predios con vegetación forestal, con excepción de la construcción de vivienda unifamiliar y del establecimiento de instalaciones comerciales o de servicios en predios menores a 1000 metros cuadrados, cuando su construcción no implique el derribo de arbolado en una superficie mayor a 500 metros cuadrados, o la eliminación o fragmentación del hábitat de ejemplares de flora o fauna sujetos a un régimen de protección especial de conformidad con las normas oficiales mexicanas y otros instrumentos jurídicos aplicables;

II. Cambio de uso del suelo de áreas forestales a cualquier otro uso, con excepción de las actividades agropecuarias de autoconsumo familiar, que se realicen en predios con pendientes inferiores al cinco por ciento, cuando no impliquen la agregación ni el desmonte de más del veinte por ciento de la superficie total y ésta no rebase 2 hectáreas en zonas templadas y 5 en zonas áridas, y

III. Los demás cambios de uso del suelo, en terrenos o áreas con uso de suelo forestal, con excepción de la modificación de suelos agrícolas o pecuarios en forestales, agroforestales o silvopastoriles, mediante la utilización de especies nativas.

P) PARQUES INDUSTRIALES DONDE SE PREVEA LA REALIZACIÓN DE ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS: Construcción e instalación de Parques Industriales en los que se prevea la realización de actividades altamente riesgosas, de acuerdo con el listado o clasificación establecida en el reglamento o instrumento normativo correspondiente.

Q) DESARROLLOS INMOBILIARIOS QUE AFECTEN LOS ECOSISTEMAS COSTEROS: Construcción y operación de hoteles, condominios, villas, desarrollos habitacionales y urbanos, restaurantes, instalaciones de comercio y servicios en general, marinas, muelles, rompeolas, campos de golf, infraestructura turística o urbana, vías generales de comunicación, obras de restitución o recuperación de playas, o arrecifes artificiales, que afecte ecosistemas costeros, con excepción de:

a) Las que tengan como propósito la protección, embellecimiento y ornato, mediante la utilización de especies nativas;

b) Las actividades recreativas cuando no requieran de algún tipo de obra civil, y

c) La construcción de viviendas unifamiliares para las comunidades asentadas en los ecosistemas costeros.

R) OBRAS Y ACTIVIDADES EN HUMEDALES, MANGLARES, LAGUNAS, RÍOS, LAGOS Y ESTEROS CONECTADOS CON EL MAR, ASÍ COMO EN SUS LITORALES O ZONAS FEDERALES:

I. Cualquier tipo de obra civil, con excepción de la construcción de viviendas unifamiliares para las comunidades asentadas en estos ecosistemas, y

II. Cualquier actividad que tenga fines u objetivos comerciales, con excepción de las actividades pesqueras que no se encuentren previstas en la fracción XII del artículo 28 de la Ley y que de acuerdo con la Ley de Pesca y su reglamento no requieren de la presentación de una manifestación de impacto ambiental, así como de las de navegación, autoconsumo o subsistencia de las comunidades asentadas en estos ecosistemas.

S) OBRAS EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS: Cualquier tipo de obra o instalación dentro de las áreas naturales protegidas de competencia de la Federación, con excepción de:

a) Las actividades de autoconsumo y uso doméstico, así como las obras que no requieran autorización en materia de impacto ambiental en los términos del presente artículo, siempre que se lleven a cabo por las comunidades asentadas en el área y de conformidad con lo dispuesto en el reglamento, el decreto y el programa de manejo respectivos;

b) Las que sean indispensables para la conservación, el mantenimiento y la vigilancia de las áreas naturales protegidas, de conformidad con la normatividad correspondiente;

c) Las obras de infraestructura urbana y desarrollo habitacional en las zonas urbanizadas que se encuentren dentro de áreas naturales protegidas, siempre que no rebasen los límites urbanos establecidos en los Planes de Desarrollo Urbano respectivos y no se encuentren prohibidos por las disposiciones jurídicas aplicables, y

d) Construcciones para casa habitación en terrenos agrícolas, ganaderos o dentro de los límites de los centros de población existentes, cuando se ubiquen en comunidades rurales.

T) ACTIVIDADES PESQUERAS QUE PUEDAN PONER EN PELIGRO LA PRESERVACIÓN DE UNA O MÁS ESPECIES O CAUSAR DAÑOS A LOS ECOSISTEMAS:

I. Actividades pesqueras de altamar, ribereñas o estuarinas, con fines comerciales e industriales que utilicen artes de pesca fijas o que impliquen la captura, extracción o colecta de especies amenazadas o sujetas a protección especial, de conformidad con lo que establezcan las disposiciones jurídicas aplicables, y

II. Captura, extracción o colecta de especies que hayan sido declaradas por la Secretaría en peligro de extinción o en veda permanente.

U) ACTIVIDADES ACUÍCOLAS QUE PUEDAN PONER EN PELIGRO LA PRESERVACIÓN DE UNA O MÁS ESPECIES O CAUSAR DAÑOS A LOS ECOSISTEMAS:

I. Construcción y operación de granjas, estanques o parques de producción acuícola, con excepción de la rehabilitación de la infraestructura de apoyo cuando no implique la ampliación de la superficie productiva, el incremento de la demanda de insumos, la generación de residuos peligrosos, el relleno de cuerpos de agua o la remoción de manglar, popal y otra vegetación propia de humedales, así como la vegetación riparia o marginal;

- II. Producción de postlarvas, semilla o simientes, con excepción de la relativa a crías, semilla y postlarvas nativas al ecosistema en donde pretenda realizarse, cuando el abasto y descarga de aguas residuales se efectúe utilizando los servicios municipales;
- III. Siembra de especies exóticas, híbridas y variedades transgénicas en ecosistemas acuáticos, en unidades de producción instaladas en cuerpos de agua, o en infraestructura acuícola situada en tierra, y
- IV. Construcción o instalación de arrecifes artificiales u otros medios de modificación del hábitat para la atracción y proliferación de la vida acuática.
- V) ACTIVIDADES AGROPECUARIAS QUE PUEDAN PONER EN PELIGRO LA PRESERVACIÓN DE UNA O MÁS ESPECIES O CAUSAR DAÑOS A LOS ECOSISTEMAS: Actividades agropecuarias de cualquier tipo cuando éstas impliquen el cambio de uso del suelo de áreas forestales, con excepción de:
 - a) Las que tengan como finalidad el autoconsumo familiar, y
 - b) Las que impliquen la utilización de las técnicas y metodologías de la agricultura orgánica.

La LGEEPA se divide en seis títulos que regulan los siguientes aspectos: contaminación atmosférica, residuos peligrosos, calidad del agua, uso de suelos y su conservación, áreas naturales protegidas, participación social, el derecho a la información ambiental, uso de terrenos, evaluaciones de impacto ambiental. El Título I establece las disposiciones generales en cuanto a políticas, instrumentos y criterios ambientales; la distribución de las competencias y coordinación de los gobiernos estatales y federal; así como la evaluación de impacto ambiental (EIA), el ordenamiento ecológico del territorio y el marco jurídico de las Normas Oficiales Mexicanas en materia ambiental. El Título II, de la Biodiversidad, establece los procedimientos para el desarrollo y gestión de las áreas naturales protegidas y presenta las políticas generales que rigen la flora y la fauna silvestre. El Título III rige el uso sustentable de los elementos naturales y estipula las disposiciones ambientales de carácter general que regulan el aprovechamiento del agua, suelo y recursos no renovables. El Título IV, denominado Protección al Ambiente, establece las normas generales que rigen siete áreas específicas, que incluyen: la atmósfera, agua y ecosistemas acuáticos, suelo, actividades altamente riesgosas, materiales y residuos peligrosos, energía nuclear, ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, olores y contaminación visual. El Título V crea las políticas y disposiciones legales para promover la participación social y garantizar el derecho a la información ambiental. El Título VI establece los procedimientos, las medidas de control, la observancia de la ley, la aplicación de sanciones, el recurso de revisión, los delitos de orden federal y un sistema de denuncia popular.

Reglamentos de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente:

- En materia de impacto ambiental D.O.F. 30-V-2000
- En materia de ordenamiento ecológico D.O.F. 8-VIII-2003
- En materia de auditoría ambiental D.O.F. 29-XI-200
- En materia de áreas naturales protegidas D.O.F. 30-XI-2000
- En materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera D.O.F. 25-XI-1988
- Para la prevención y control de la contaminación generada por los vehículos automotores que circulan por el Distrito Federal y los municipios de la zona conurbada
- Para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias
- Para la protección del ambiente originada por la contaminación por ruido
- En materia de residuos peligrosos D.O.F. 25-XI-1988
- Para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos

Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera

Reglamento de la LGEEPA en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera (R-LGEEPA/PCCA) contiene disposiciones que regulan los aspectos: definiciones específicas en la materia de nuestro estudio; establece las obligaciones de los responsables de las diferentes fuentes fijas y móviles contaminantes; los requisitos para la expedición de la licencia de funcionamiento, presentación de la cédula de operación; procedimientos administrativos para la fijación de niveles máximos permisibles de emisión e inmisión de contaminantes a la atmósfera, operación de los centros de verificación vehicular y expedición de las constancias respectivas. Hace referencia a las NOMs que deben expedirse en la materia.

Reglamento de la LGEEPA para la Prevención y control de la contaminación generada por los vehículos automotores que circulan por el Distrito Federal y los municipios de su zona conurbada establece (Artículo 1) que este ordenamiento tiene por objeto reglamentar a la LGEEPA en: la regulación del sistema de verificación obligatoria de emisiones de gases, humos y partículas contaminantes de los vehículos automotores que circulen en el territorio del Distrito Federal y los municipios de su zona conurbada; (fracción I), el establecimiento de medidas de control para limitar la circulación de vehículos que transiten por el territorio del Distrito Federal y los municipios de su zona conurbada, con objeto de proteger el ambiente, en los casos previstos en este reglamento (fracción II); la regulación del sistema de verificación obligatoria de emisiones de ruido generadas por vehículos automotores que circulen en el Distrito Federal, así como el establecimiento de medidas de control para limitar la circulación de dichos vehículos en los casos previstos en el presente ordenamiento (fracción III); la determinación de las bases a que se sujetarán los gobiernos Federal y Local, para la celebración de los acuerdos de coordinación previstos en este reglamento (fracción IV); y el establecimiento de los procedimientos para inspeccionar, vigilar e imponer sanciones por parte de las autoridades en los ámbitos de sus respectivas competencias y sin perjuicio de lo que dispongan los ordenamientos legales aplicables (fracción V).

Es importante señalar que se han expedido diversas NOMs en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica. Estas determinan los niveles máximos por contaminante; los requisitos de operación de fuentes fijas; las especificaciones, características y requisitos para la instalación de los equipos anticontaminantes; las especificaciones que deben reunir los combustibles; y los métodos y parámetros de medición de contaminantes, de verificación y de certificación. En cuanto a las leyes secundarias relacionadas con la prevención y control de la contaminación atmosférica podemos citar varias. La Ley General de Salud, en su artículo 3 fracción XIII, establece que es materia de salubridad general: "*la prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en el hombre*". El artículo 116 establece que las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán las medidas y realizarán las actividades a que se refiere la ley tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente. El artículo 118 establece la facultad de la Secretaría de Salud de determinar los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente. El artículo 119 se relaciona con los artículos 110 y 111 fracción IX de la LGEEPA, y establece que corresponde a la SS y a los gobiernos de las entidades federativas, desarrollar investigación permanente y sistemática de los riesgos y daños que para la salud de la población origine la contaminación al ambiente.

La Ley del Impuesto sobre la Renta en su Capítulo II, artículo 44, fracción IX y el artículo 51 fracción I inciso h establece la deducción de impuestos para el caso del uso de tecnología que prevenga y controle la contaminación, así como el uso de gas natural, de conformidad con lo establecido en los artículos 21 a 22 bis, 111 fracción XIII, 114 y 116 de la LGEEPA, que plantean la necesidad de desarrollar instrumentos de carácter fiscal para lograr los objetivos de la política ambiental. La Ley Federal de Derechos (LFD) en su capítulo 9, sección 5ª, denominado "prevención y control de la contaminación" en los artículos 174-K a 174-P establecen el cobro por: el otorgamiento de la licencia de funcionamiento a las fuentes fijas de jurisdicción que emitan olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, estableciendo las cuotas para el pago del derecho de prevención y control de la contaminación; el otorgamiento del dictamen técnico para la obtención de estímulos fiscales o créditos de organismos financieros, en las actividades relacionadas con la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente; los servicios de verificación y certificación de equipos de medición de contaminantes de vehículos automotores; el servicio de certificación y verificación de emisiones contaminantes de vehículos automotores nuevos; el servicio de evaluación y verificación de la aplicación de métodos, procedimientos, partes, componentes y equipos que reduzcan las emisiones de contaminantes a la atmósfera generados por vehículos automotores, a través de la prueba estática de emisiones vehiculares, y el registro de empresas generadoras de residuos peligrosos. Otras leyes sectoriales regulan actividades que generan contaminantes a la atmósfera y contienen disposiciones que remiten a la aplicación de la LGEEPA como es el caso de la Ley Minera, la Ley de Obras Públicas; la Ley Reglamentaria del Artículo 27 en el Ramo del Petróleo; y la Ley de Vías Generales de Comunicación

En materia de prevención y control de la contaminación al agua y los ecosistemas acuáticos también resultan aplicables las siguientes leyes vinculadas con la LGEEPA:

La Constitución Política Mexicana en sus artículos 25, 26 y 27 establece los fundamentos constitucionales para regular el uso y aprovechamiento del agua cuidando su conservación y el ambiente, así como para preservar y restaurar el equilibrio ecológico. El artículo 73 fracciones XVII y XIX-G de la CPM prevé como facultades del Congreso de la Unión el dictar leyes en materia de uso y aprovechamiento de las aguas de jurisdicción federal y en materia de protección al ambiente y preservación y restauración del equilibrio ecológico. El artículo 155 fracción III de la CPM atribuye como función de los municipios la prestación del servicio público de agua potable, alcantarillado y drenaje.

Reglamento para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias. Artículo 1 el reglamento se aplica a los vertimientos deliberados de materias, sustancias o desechos en aguas marítimas jurisdiccionales mexicanas. Artículo 2 corresponde a la Secretaría de Marina, a través de la Armada de México la aplicación de este reglamento respecto del cumplimiento de sus disposiciones, aspectos técnicos y otorgamientos de los permisos. Artículo 5 ninguna persona física o moral puede efectuar vertimientos deliberados sin la previa autorización expedida por la Secretaría de Marina, quien la otorga la forma y términos que señala el reglamento. Artículo 6 los interesados en realizar un vertimiento deben solicitar por escrito a la Secretaría de Marina el permiso de vertimiento, en el que se especifica la materia, la forma, el envase y la fecha en que se propongan verterla.

Artículo 7 el permiso se otorga para verter los desechos y otras materias en la zona determinada por la Secretaría de Marina, desde barcos y aeronaves; las plataformas u otras estructuras. Lo anterior es independiente del permiso que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes otorgue para su transportación.

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su reglamento (R-LAN). El Título Séptimo de la LAN establece el régimen para la prevención y control de la contaminación de las aguas, considerando de interés público la promoción y ejecución de las medidas y acciones necesarias para proteger la calidad del agua (artículo 85). Señala que la Comisión Nacional del Agua (CNA) determina los parámetros que deben cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que estos pueden recibir, mediante la expedición de la declaratoria correspondiente (artículo 87). Entre los instrumentos previstos para prevenir y controlar la contaminación del agua la LAN prevé: Títulos de concesión o asignación (artículos 20 a 29, 44 y 78); permisos de descarga de aguas residuales (artículos 47 y 88 a 93); las NOMs (artículo 87); las cuotas, consideradas éstas como instrumentos económicos (artículo 112); y las medidas de fiscalización y sanción (artículos 92, 93, 95 y 120). Entre las sanciones derivadas del incumplimiento de las disposiciones de la LAN encontramos: la suspensión de las actividades que den origen a las aguas residuales de conformidad con el artículo 92; la revocación del permiso de descarga de aguas residuales de conformidad con las disposiciones del artículo 93; asimismo, el artículo 92 prevé la responsabilidad civil, penal o administrativa.

La Ley Federal de Derechos (LFD) establece que las personas físicas o morales, están obligadas al pago del derecho sobre agua por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales (artículos 222 y 231). Los derechos deben atender a criterios de conservación, atendiendo su abundancia o escasez y en función de ello, el cobro de los mismos se hace de manera diferenciada, para lo cual se establecen zonas y usos que definen los montos a pagar y los casos en los que su aprovechamiento es gratuito (artículos 223 al 224). La Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica. La Ley General de Salud (LGS) se relaciona con las disposiciones relativas a la prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos, toda vez que los efectos de las actividades en dicha materia inciden de manera directa sobre la salud. En su artículo 3, fracción XIII, establece que es materia de salubridad general: "*la prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en el hombre*". El artículo 116 establece que las autoridades sanitarias establecen las normas, toman las medidas y realizan las actividades a que se refiere la ley tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente. El artículo 118 establece la facultad de la SS para establecer criterios sanitarios que fijen las condiciones de descarga, tratamiento y uso de aguas residuales o para la elaboración de NOMs en la materia. El artículo 122 de la LGS establece la prohibición para descargar aguas residuales cuando no se haya realizado el tratamiento que cumpla con los criterios sanitarios impuestos por la SS; residuos peligrosos que conlleven riesgos a cuerpos de agua que se destinen para uso o consumo humano. El artículo 457 establece que se sancionará penalmente al que por cualquier medio contamine un cuerpo de agua, superficial o subterránea cuyas aguas se destinen para uso o consumo humano, con riesgo para la salud de las personas.

La Ley Minera (LM), en sus artículos 27 fracción IV y 39 obliga a los concesionarios a sujetarse a las disposiciones de la LGEEPA y la LAN en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente. En materia de prevención y control de la contaminación de medio marino y preservación y restauración de ecosistemas acuáticos también son aplicables la Ley Federal del Mar (LFM), la cual establece entre los ámbitos de aplicación de la Ley a la protección y preservación del medio marino, la prevención de su contaminación; y en el artículo 21 de la LFM, establece que esta ley es aplicable para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino; la Ley de Pesca (LP) y la Ley General de Vida Silvestre (LGVS).

La regulación de prevención y control de la contaminación del suelo tiene su fundamento constitucional en los artículos 25, 27, 115, 73 XXIG de la CPM.

Además la LGEEPA guarda relación con otras leyes sectoriales. La Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH) en su artículo 3º establece que el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y el desarrollo urbano de los centros de población, tenderá a mejorar el nivel y la calidad de vida de la población mediante la prevención; control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanas en los centros de población (fracción XII). En su artículo 9 señala que los municipios ejercerán sus atribuciones en materia de desarrollo urbano a través de los cabildos de los ayuntamientos o con el control y evaluación de éstos.

La Ley Federal de Sanidad Vegetal (LFSV) tiene por objeto regular y promover la sanidad vegetal, la cual consiste en promover y vigilar la observancia de las disposiciones fitosanitarias; diagnosticar y prevenir la diseminación e introducción de plagas de los vegetales, sus productos y subproductos; establecer medidas fitosanitarias; y regular la efectividad biológica, aplicación, uso y manejo de insumos, así como el desarrollo y prestación de actividades y servicios fitosanitarios. Establece medidas para controlar la importación y exportación, uso, manejo y efectividad biológica de plaguicidas agrícolas. El artículo 2 define a los plaguicidas como insumos fitosanitarios destinados a prevenir, repeler, combatir y destruir a los organismos biológicos nocivos a los vegetales, como insecticidas, fungicidas, herbicidas, acaricidas, molusquicidas, nematocidas y rodenticidas. Entre sus instrumentos de regulación prevé el certificado fitosanitario que constata el cumplimiento de las disposiciones fitosanitarias a que se sujetan la movilización, importación o exportación de vegetales, sus productos o subproductos; el certificado de plaguicidas e insumos de nutrición vegetal; el registro de los plaguicidas e insumos de nutrición vegetal; las NOMS (artículo 39). La Ley Federal de Sanidad Animal (LFSA) regula las actividades de aplicación de plaguicidas y de los productos biológicos, químicos, farmacéuticos y alimenticios para su uso en animales y consumo por estos y constituyan un riesgo zoonosario.

La Ley General de Salud (LGS) prevé en su artículo 3 que son materia de salubridad general la prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en la salud del hombre, en consecuencia la ley contiene disposiciones obligatorias para el manejo seguro de sustancias tóxicas que puedan causar efectos nocivos a la salud humana. El artículo 17 establece que corresponde al Consejo de Salubridad General dictar medidas contra la venta y producción de sustancias tóxicas (fracción II); y controlar el proceso, uso, importación, aplicación y disposición final de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas o peligrosas para la salud, así como de materiales que intervengan en su producción (fracción III). Entre los instrumentos de control sanitario

previstos por la ley figuran: el registro obligatorio de productos considerados como plaguicidas y fertilizantes; las licencias para establecimientos que manejen productos que requieren registro; los permisos para la importación y exportación de productos; y los certificados para productos y establecimientos que cumplan con las normas. El artículo 278 se define los conceptos de plaguicida y fertilizante. Se entiende por plaguicida cualquier sustancia o mezcla de sustancias utilizadas para prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier forma de vida que sea nociva para la salud, los bienes del hombre o el ambiente, excepto la que exista sobre o dentro del ser humano y los protozoarios, virus, bacterias, hongos y otros microorganismos similares sobre o dentro de los animales. Los fertilizantes son sustancias o mezclas de ellas que se destine a mejorar el crecimiento y productividad de las plantas, y sustancias tóxicas, aquellas que por constituir un riesgo para la salud determine la Secretaría de Salud en las listas que, para efectos de control sanitario, publique en el D.O.F.

El Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo (R-SHMAT) tiene por objeto establecer las medidas necesarias de prevención de los accidentes y enfermedades de trabajo, tendientes a lograr que la prestación del trabajo se desarrolle en condiciones de seguridad, higiene y medio ambiente adecuados para los trabajadores. Su Capítulo Sexto se refiere al manejo, transporte y almacenamiento de materiales en general, materiales y sustancias químicas peligrosas. Establece que el manejo, transporte y almacenamiento de dichos materiales debe realizarse en condiciones técnicas de seguridad para prevenir y evitar daños a la vida y salud de los trabajadores, así como al centro de trabajo. También establece que las instalaciones y áreas de trabajo en las que se manejen, transporten y almacenen materiales y sustancias químicas peligrosas, deben contar con las características necesarias para operar en condiciones de seguridad e higiene, siendo responsabilidad del patrón la realización de un estudio para analizar el riesgo potencial de dichos materiales y sustancias químicas a fin de establecer las medidas de control pertinentes, de acuerdo con las NOM correspondientes.

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) la cual en su artículo 86 prevé que la CNA tiene a su cargo formular programas integrales de protección de los recursos hidráulicos en cuencas hidrológicas y acuíferos, considerando las relaciones existentes ente los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua (fracción II); y establecer el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deban satisfacer las aguas residuales que se viertan en cualquier terreno, cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos; y en los demás casos previstos en la LGEEPA (fracción III). Los artículos 92 y 93 establecen supuestos para la suspensión de actividades y la revocación de permiso de descarga de aguas residuales. El artículo 119 fracción XIV considera como una infracción a la ley el arrojar o depositar, en contravención a la ley, basura, sustancias tóxicas peligrosas y lodos provenientes de los procesos de tratamiento de aguas residuales en cauces y/o infiltrar materiales y sustancias que contaminen las aguas del subsuelo. El artículo 96 en su último párrafo prevé que la CNA promueve las normas y disposiciones que se requieren para hacer compatible el uso de suelo con el de las aguas, con objeto de preservar la calidad de las mismas dentro de un ecosistema, cuenca o acuífero.

La Ley de Comercio Exterior (LCE) establece las medidas de regulación y restricción no arancelaria a la exportación, importación, circulación o tránsito de mercancías, tomando en consideración las situaciones que afecten la seguridad nacional, salud

pública, sanidad fitopecuaria y la ecología. La Ley Aduanera (LA) regula la entrada al territorio nacional y la salida del mismo de mercancías y de los medios en que se transportan o conducen, el despacho aduanero y los hechos o actos que deriven de éste o de dicha entrada de mercancías. El acuerdo que establece la clasificación y codificación de mercancías cuya importación está sujeta a regulación por parte de las dependencias que integran la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas, establece la clasificación y codificación de los residuos peligrosos y mercancías que causan desequilibrios ecológicos y al ambiente, cuya introducción al territorio nacional está sujeta a la autorización de importación expedida por el INE, comprendidos en las fracciones arancelarias de la tarifa de la Ley del Impuesto General de Importación.

El acuerdo que establece la clasificación y codificación de mercancías cuya importación y exportación está sujeta a regulación por parte de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca establece la clasificación y codificación de los residuos peligrosos y mercancías que causan desequilibrios ecológicos y al ambiente cuya introducción al territorio nacional está sujeta a la autorización de importación expedida por el INE, comprendidos en las fracciones arancelarias de la Tarifa de la Ley del Impuesto General de Importación. Las leyes locales en materia de desarrollo urbano en las cuales es posible encontrar los criterios y las normas básicas para planear la fundación, el desarrollo, mejoramiento, crecimiento y conservación de los centros de población; determinar los usos del suelo; clasificación y zonificación; establecer las normas y principios básicos mediante los cuales se lleva a cabo el desarrollo urbano.

Además las disposiciones de la LGEEPA en materia de actividades riesgosas y manejo de materiales y residuos peligrosos se relacionan con:

El Reglamento de la LGEEPA en materia de residuos peligrosos. (R-LGEEPA/RP) regula el manejo de dicho residuos, uso, recolección, almacenamiento, transporte, reuso, reciclaje, tratamiento, disposición final de éstos residuos, así como su importación y exportación. Entre sus instrumentos figuran: los listados de residuos peligrosos, las normas oficiales mexicanas, las autorizaciones, la evaluación de impacto ambiental, los instructivos, formatos y manuales necesarios para el cumplimiento del reglamento, el sistema de información sobre la generación de residuos peligrosos, el registro de residuos peligrosos, el registro de vehículos destinados al transporte de residuos peligrosos, la bitácora mensual de generación de residuos peligrosos, los informes semestrales sobre los movimientos y transportación de residuos peligrosos, el manifiesto de transporte de residuos peligrosos, y los avisos en casos de derrames, infiltraciones, descargas o vertidos de residuos peligrosos, además de los programas: de capacitación del personal responsable del manejo de residuos peligrosos y del equipo relacionado con éste; el programa de atención a contingencias; el programa de mantenimiento del equipo. El reglamento prevé los requisitos para el envasado de residuos peligrosos (artículo 14); para su almacenamiento (artículos 15 a 19); para su movimiento (artículo 21); para su recolección (artículo 22); para su transportación (artículos 23 a 29) y para su disposición final (artículo 31 a 37). Además de las disposiciones derivadas de la LGEEPA existen otras leyes y reglamentos que regulan el manejo adecuado de materiales y residuos peligrosos, a saber:

La Ley General de Salud (LGS) prevé en su artículo 3 que son materia de salubridad general la prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en

la salud del hombre, en consecuencia la ley contiene disposiciones obligatorias para el manejo seguro de sustancias tóxicas que puedan causar efectos nocivos a la salud humana. El Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo (R-SHMAT) tiene por objeto establecer las medidas necesarias de prevención de los accidentes y enfermedades de trabajo, tendientes a lograr que la prestación del trabajo se desarrolle en condiciones de seguridad, higiene y medio ambiente adecuados para los trabajadores. Su Capítulo Sexto se refiere al manejo, transporte y almacenamiento de materiales en general, e incluye los materiales y sustancias químicas peligrosas. Establece que el manejo, transporte y almacenamiento de dichos materiales debe realizarse en condiciones técnicas de seguridad para prevenir y evitar daños a la vida y salud de los trabajadores, así como al centro de trabajo; prevé que las instalaciones y áreas de trabajo en las que se manejen, transporten y almacenen materiales y sustancias químicas peligrosas, deben contar con las características necesarias para operar en condiciones de seguridad e higiene, siendo responsabilidad del patrón la realización de un estudio para analizar el riesgo potencial de dichos materiales y sustancias químicas a fin de establecer las medidas de control pertinentes, de acuerdo con las NOM correspondientes.

Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal (LCPAF) tiene por objeto regular los servicios de autotransporte federal que operen en vías generales de comunicación. El artículo 34 de la LCPAF señala que los servicios de autotransporte federal sólo pueden prestarse por parte de permisionarios de acuerdo a lo dispuesto en la ley y sus reglamentos, los tratados y acuerdos internacionales sobre la materia y las NOM. El artículo 50 establece que se requiere de permiso de autotransporte de carga para realizar el autotransporte de cualquier tipo de bienes en todos los caminos de jurisdicción federal; también establece que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) regula el autotransporte de materiales, residuos, remanentes y desechos peligrosos que circulen en vías generales de comunicación, sin perjuicio de las atribuciones que la ley otorga a otras dependencias del Ejecutivo Federal y que los términos y condiciones a que se sujetará este servicio, se precisarán en los reglamentos respectivos. El artículo 68 de la LCPAF establece el régimen de responsabilidad civil a que están sujetos los permisionarios de servicios de autotransporte de carga que transporte materiales, residuos, remanentes y desechos peligrosos y señala que estos deben garantizar los daños a terceros en su bienes y personas y cualquier otro daño que pueda generarse en caso de accidente, para lo cual dispone: *"Tratándose de materiales, residuos, remanentes y desechos peligrosos, el seguro debe amparar la carga desde el momento en que salga de las instalaciones del expedidor o generador, hasta que se reciba por el consignatario o destinatario en las instalaciones señaladas como destino final, incluyendo los riesgos que la carga o descarga resulten dentro o fuera de sus instalaciones. Salvo pacto en contrario, su carga y descarga quedan a cargo de los expedidores y consignatarios, por lo que éstos deben garantizar en los términos de éste artículo los daños que pudieran ocasionar en estas maniobras, así como el daño ocasionado por derrame de éstos productos en caso de accidente."*

El Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos (R-LVGC/TTMRP) prevé disposiciones obligatorias para los prestadores de servicios de transporte de materiales y residuos peligrosos. Entre los instrumentos contenidos en dicho reglamento encontramos: información de emergencia en transportación que indique las acciones a seguir en caso de suscitarse un accidente; el documento que

avale la inspección técnica de la unidad (artículo 49 y 50); autorizaciones para el transporte de materiales y residuos peligrosos, las cuales se expiden a favor del transportista y el expedidor de la carga que en el ámbito de su competencia emita la SEMARNAP y demás dependencias del ejecutivo Federal (artículo 50); documentos de embarque del material o residuo peligroso; el documento que avale la inspección técnica de la unidad; manifiesto de entrega, transporte y recepción para el caso de transporte de residuos peligrosos; autorización respectiva en caso de importación y exportación; manifiesto para casos de derrames de residuos peligrosos por accidente (artículo 52); el Sistema Nacional de Emergencia en la Transportación de Materiales y Residuos Peligrosos (artículo 54); y la licencia federal ferroviaria para el personal que intervenga en el transporte de materiales y residuos peligrosos (artículo segundo transitorio). Cabe destacar que el Sistema Nacional de Emergencia en la Transportación de Materiales y Residuos Peligrosos es establecido por la SEMARNAT en coordinación con la SEGOB y demás dependencias competentes, autoridades estatales y municipales, así como fabricantes e industriales que produzcan, generen y utilicen sustancias o residuos peligrosos y los transportistas de los mismos y su objeto es proporcionar información técnica y específica sobre las medidas y acciones que deben adoptarse en caso de algún accidente o incidente, durante el transporte de materiales y residuos peligrosos. Derivada de esta ley se han expedido varias NOM en materia de transporte de materiales y residuos peligrosos.

La Ley del Servicio Postal Mexicano (LSPM) tiene por objeto regular todo lo relativo a la prestación del servicio público de correos y de los otros servicios que expresamente se contemplan. Esta ley se relaciona con el tema en comento toda vez que el artículo 15 prohíbe la circulación por correo que contengan materias corrosivas, inflamables, explosivas o cualquiera otras que puedan causar daños. El artículo 16 establece que para el caso de que se advierta que la correspondencia o envío fuere de circulación prohibida, se pondrá a disposición de la autoridad competente. La Ley de Comercio Exterior (LCE), establece las medidas de regulación y restricción no arancelaria a la exportación, importación, circulación o tránsito de mercancías, tomando en consideración las situaciones que afecten la seguridad nacional, salud pública, sanidad fitopecuaria y la ecología. La Ley Aduanera (LA) regula la entrada al territorio nacional y la salida del mismo de mercancías y de los medios en que se transportan o conducen, el despacho aduanero y los hechos o actos que deriven de éste o de dicha entrada de mercancías. El Código Fiscal de la Federación se aplica supletoriamente a lo dispuesto en la Ley. En materia de importación y exportación de materiales y residuos peligrosos se destaca la existencia de los siguientes acuerdos y decretos:

El acuerdo que establece la clasificación y codificación de mercancías cuya importación y exportación está sujeta a regulación por parte de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, ya que causan desequilibrios ecológicos y al ambiente cuya introducción al territorio nacional está sujeta a la autorización de importación expedida por el INE, comprendidos en las fracciones arancelarias de la Tarifa de la Ley del Impuesto General de Importación. Decreto relativo a la importación o exportación de materiales o residuos peligrosos que por su naturaleza pueden causar daños al ambiente o a la propiedad o constituyen un riesgo a la salud o bienestar públicos. Establece disposiciones en materia ecológica a que se sujetan a la importación y la exportación de todo tipo de materiales o residuos peligrosos que por su naturaleza causan daños al ambiente o a la propiedad, o constituyan un riesgo a la salud y bienestar públicos. La importación y la exportación de tales materiales requiere de guía

ecológica de la SEMARNAP, la cual es el documento expedido por la Secretaría, en el que se autoriza la movilización de materiales o residuos peligrosos que se pretenda efectuar desde territorio nacional al extranjero, o proveniente del extranjero y con destino nacional.

El Decreto para el Fomento y Operación de la Industria Maquiladora de Exportación establece que los desperdicios que no constituyan residuos peligrosos en los términos de la LGEEPA, pueden ser retornados al país de origen o destruidos de conformidad con las disposiciones legales aplicables o en su caso donados a las instituciones de beneficencia o educativas, previo cumplimiento de dichas disposiciones. Asimismo, establece que cuando del proceso productivo se deriven desperdicios que constituyan residuos peligrosos, se procede de acuerdo con lo establecido en la LGEEPA; como requisito para los programas de importación y exportación de maquila el cumplimiento de los requerimientos que en materia de ecología y medio ambiente se encuentren vigentes. El acuerdo que establece la clasificación y codificación de mercancías cuya importación está sujeta a regulación por parte de las dependencias que integran la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas establece la clasificación y codificación de los residuos peligrosos y mercancías que causan desequilibrios ecológicos y daños al ambiente, cuya introducción al territorio nacional está sujeta a la autorización de importación expedida por el INE, comprendidos en las fracciones arancelarias de la Tarifa de la Ley del Impuesto General de Importación. Por último cabe mencionar que la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos (LFAFE) establece regulaciones a que sujetan las actividades industriales y operaciones comerciales que utilicen sustancias químicas

En primer lugar la regulación de la materia de energía nuclear tiene su fundamento constitucional en los artículos 4, 25, 27, 28, 73 fracciones X y XXIX-G de la CPM.

El artículo 27, además de ser fundamento para regular el aprovechamiento de los elementos naturales con objeto de cuidar su conservación, establece que corresponde a la Nación el aprovechamiento de los combustibles nucleares para la generación de energía nuclear y la regulación de sus aplicaciones en otros propósitos. El artículo 73, en su fracción X, establece que el Congreso de la Unión tiene facultad para legislar en toda la República sobre energía nuclear. En cuanto a las leyes secundarias y otras disposiciones que guardan relación con las actividades de exploración, explotación y beneficio de los minerales radioactivos, el aprovechamiento de combustibles nucleares, los usos de la energía nuclear y en general actividades relacionadas con este tipo de energía encontramos:

La Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear (LRCN), la cual en su artículo 1 establece como objeto de esta ley el regular la exploración, explotación y el beneficio de los minerales radiactivos, así como el aprovechamiento de los combustibles nucleares, los usos de la energía nuclear, la investigación de la ciencia y técnicas nucleares, la industria nuclear y todo lo relacionado con la misma.

Los artículos 3 y 20 de la LRCN establecen la definición de los conceptos: mineral radiactivo: *"aquel que contenga uranio, torio, combinaciones de ambos en una concentración igual o superior a 300 partes por millón, y los demás minerales susceptibles de ser utilizados para la fabricación de combustibles nucleares"*;

combustible nuclear: "el material constituido por uranio natural, enriquecido o uranio empobrecido hasta el grado fijado por la Secretaría de Energía"; material nuclear: "cualquier material básico o material fisiónable especial" y seguridad nuclear: "el conjunto de acciones y medidas encaminadas a evitar que los equipos, materiales e instalaciones nucleares y su funcionamiento constituyan riesgos para la salud del hombre y sus bienes, o detrimentos en la calidad del ambiente". Derivadas de la LRCN se han expedido varias NOM en materia de energía nuclear que establecen, entre otros aspectos, la clasificación de los desechos radioactivos; los límites para considerar a un residuo sólido como desecho radiactivo; los límites de contaminación superficial con material radiactivo; los requerimientos para las pruebas de lixiviación para especímenes de desechos radioactivos solidificados.

El Reglamento General de Seguridad Radiológica (R-SR/G) tiene por objeto proveer en la esfera administrativa la observancia de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear en lo relativo a seguridad radiológica. En él se establecen los supuestos en los cuales proceden las sanciones administrativas para el caso de incumplimiento de las disposiciones relacionadas con el manejo de la energía nuclear. Derivadas de la LRCN y del R-SR/G es posible expedir normas sobre seguridad nuclear, radiológica y física de las instalaciones nucleares o radioactivas por parte la Secretaría de Energía y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. La Ley de Responsabilidad Civil por Daños Nucleares (LRCDN), tiene por objeto regular la responsabilidad civil por daños que puedan causarse por el empleo de reactores nucleares y la utilización de sustancias y combustibles nucleares y desechos de estos. El daño nuclear es entendido como la "pérdida de vidas humanas, las lesiones corporales y los daños y perjuicios materiales que se produzcan como resultado directo o indirecto de las propiedades radioactivas, o de su combinación con las propiedades tóxicas, explosivas u otras propiedades peligrosas de los combustibles nucleares o de los productos o desechos radioactivos que se encuentren en una instalación nuclear, o de las sustancias nucleares peligrosas que se produzcan en ella, emanen de ella, o sean consignadas a ella" (artículo 3).

En cuanto al concepto de responsabilidad este se encuentra relacionado con el artículo 1913 del Código Civil del D.F. establece la responsabilidad objetiva según la cual las personas que causen un daño por el uso de mecanismos, instrumentos, aparatos o sustancias peligrosas están obligados a responder de éste. En materia nuclear la LRCDN tipifica tres tipos de responsabilidad: responsabilidad por accidentes o sustancias nucleares en una instalación; por remesas de sustancias nucleares; y responsabilidad concurrente. Establece los supuestos para ser considerado como responsable por la generación de daños nucleares, lo que representa un avance dentro de la legislación nacional. La Ley General de Salud (LGS) se relaciona con las disposiciones relativas a la energía nuclear, toda vez que las actividades en dicha materia inciden de manera directa sobre la salud. En su artículo 3, fracción XIII, establece que es materia de salubridad general: "la prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en el hombre. "; el artículo 116 señala que las autoridades sanitarias establecen las normas, toman las medidas y realizan las actividades a que se refiere la ley tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente. El artículo 118 de la LGS establece la facultad de la Secretaría de Salud de ejercer actividades tales como determinar valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente; establecer criterios sanitarios en situaciones que causen

o puedan causar riesgos o daños a las personas. Los artículos 124 a 127 establecen la obligación de los responsables de las fuentes de radiación de uso médico de contar con la autorización sanitaria correspondiente, dicha autorización debe expedirse en coordinación con la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. En el caso de manejo de materiales y residuos radioactivos aplican también las disposiciones que se indican en los comentarios relativos a la materia de materiales y residuos peligrosos.

La prevención y control de la contaminación generada por ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, olores y contaminación visual tiene su fundamento en los siguientes artículos constitucionales: 4, 73 fracciones XVI, XXIX-C, XXIX-G, 115 fracciones II, III y V y 122.

En esta materia son aplicables deferentes leyes sectoriales, entre las cuales están:

Reglamento para la protección del ambiente contra la contaminación originada por la emisión del ruido. Artículo 1. El Reglamento es de observancia general en todo el Territorio Nacional y tiene por objeto proveer, en la esfera administrativa, al cumplimiento de la Ley Federal de Protección al Ambiente, en lo que se refiere a emisión contaminante de ruido, proveniente de fuentes artificiales. Artículo 8 Los responsables de las fuentes emisoras de ruido, deben proporcionar a las autoridades competentes la información que se les requiera, respecto a la emisión de ruido contaminante, de acuerdo con las disposiciones de este reglamento. Artículo 9. Para determinar si se rebasan los niveles máximos permitidos de emisión de ruido establecidos en este reglamento la SSA y las autoridades auxiliares competentes realizarán mediciones según los procedimientos que se señalan en el propio reglamento y en las normas oficiales aplicables.

La Ley General de Salud establece en su artículo 3, fracción XIII, que es materia de salubridad general la prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en el hombre. El artículo 116 señala que las autoridades sanitarias establecen las normas, toman las medidas y realizan las actividades a que se refiere la ley tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente. El artículo 118 establece la facultad genérica de la Secretaría de Salud de ejercer actividades como determinar valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente; establecer criterios sanitarios en situaciones que causen o puedan causar riesgos o daños a las personas. La Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH) y las diversas leyes estatales en materia de desarrollo Urbano. La Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal. La Ley de Aguas Nacionales (LAN).

La participación social en la planeación, ejecución, evaluación y vigilancia de la política ambiental tiene su fundamento constitucional en el artículo 26 constitucional que establece las bases del sistema nacional de planeación democrática del desarrollo nacional, y señala que a través de la Ley se faculta al Ejecutivo para que establezca los procedimientos de participación y consulta popular en dicho sistema nacional de planeación democrática, y los criterios para la formulación, instrumentación, control y evaluación del plan y los programas de desarrollo. Determina los órganos responsables del proceso de planeación y las bases para que el Ejecutivo Federal coordine mediante convenios con los gobiernos de las entidades federativas e induzca y concerte con los particulares las acciones a realizar para su elaboración y ejecución. El artículo 134 de

la CPM establece el fundamento legal para la realización de tareas de concertación, como mecanismo de participación social para las obras de infraestructura. La Ley de Planeación (LPI) es la ley reglamentaria del artículo 26 de la CPM. En su artículo 1 establece que las disposiciones de esta ley son de orden público y de interés social, y tiene por objeto establecer las bases para promover y garantizar la participación democrática de los diversos grupos sociales, a través de sus organizaciones representativas (fracción IV); y las bases para que las acciones de los particulares contribuyan a alcanzar los objetivos, y prioridades del Plan Nacional de Desarrollo y los programas. La LPI establece que para la elaboración, actualización y ejecución del Plan Nacional de Desarrollo y los programas sectoriales, institucionales, regionales y especiales, tendrá lugar la participación y consulta de los diversos grupos sociales. Prevé la participación de las distintas organizaciones representativas de los obreros, campesinos y grupos populares; de las instituciones académicas; profesionales y de investigación; de los organismos empresariales; y de otras agrupaciones sociales, para la conformación de órganos de consulta permanente en los aspectos de planeación democrática, mediante foros de consulta popular. En dichos foros al igual participan los diputados y senadores del congreso de la unión (artículo 20). En los artículos 37 y 38 se establece como instrumento de planeación el convenio de concertación entre el Ejecutivo Federal y sus dependencias y los distintos grupos sociales o particulares interesados para la realización del Plan y los Programas.

Con fundamento en lo dispuesto en el artículo 26 de la Constitución (CPM) y en la Ley de Planeación, diversas leyes prevén mecanismos y procedimientos de participación social. La Ley de Aguas Nacionales (LAN), en su artículo 5 establece que para el cumplimiento y aplicación de esta ley, el Ejecutivo Federal promoverá la coordinación de acciones con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios. Fomentará la participación de los usuarios y de los particulares en la realización y administración de las obras y de los servicios hidráulicos. Se prevé el establecimiento de Consejos de Cuenca por parte de la Comisión Nacional del Agua. Los Consejos son instancias de coordinación y concertación entre la misma Comisión Nacional de Agua (CNA), las dependencias y entidades federales, estatales y municipales y los representantes de los usuarios de la respectiva cuenca hidrológica. El objeto de los Consejos de Cuenca se traduce en la formulación y ejecución de programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos, así como la preservación de los recursos de la cuenca. La facultad que tiene la CNA para concertar con los usuarios las limitaciones temporales a los derechos existentes para enfrentar situaciones de emergencia, escasez, sobre explotación o reserva. (artículo 13). La LAN otorga a la misma Comisión la facultad de promover y apoyar a la organización de los usuarios con el objeto de mejorar el aprovechamiento del agua y la preservación y control de su calidad, así como el impulsar la participación de los usuarios a nivel estatal, regional o de cuenca. (artículo 14). El Capítulo II (artículo 159 al 166), regula la participación de inversión privada y social en obras hidráulicas federales. Se regula la facultad de la CNA para celebrar contratos de obras públicas con la modalidad de inversión con los particulares para operar, conservar, mantener, rehabilitar y ampliar la estructura hidráulica. El R-LAN, en sus artículos 15 al 17, regula la composición, organización y funciones de los Consejos de Cuenca. Los artículos 18 al 21 regulan la organización y participación de los usuarios. En el caso de acuíferos se han constituido los Comités Técnicos de Aguas subterráneas. A la fecha existen 13 Consejos de Cuenca, 5 comisiones de Cuenca y 15 Comités Técnicos de Aguas Subterráneas.

La Ley Forestal (LF), el artículo 1 establece los principios y criterios que deben observarse en la política forestal y en las actividades forestales, dentro de los cuales resalta: "*promover la participación de las comunidades y de los pueblos indígenas en el uso, protección, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos forestales, considerando su conocimiento tradicional en dichas actividades (fracción VIII); incrementar la participación corresponsable de la sociedad en la protección, conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (fracción IX); promover la coordinación entre los distintos niveles de gobierno y la concertación de éstos con los diversos sectores de la sociedad para el logro de los fines de la presente ley. (fracción XIV).* Se prevé el establecimiento por parte de la SEMARNAT de un Consejo Técnico Consultivo Nacional Forestal, integrado por los representantes de la Secretaría y de otras dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, representantes de instituciones académicas y centros de investigación, agrupaciones de productores y empresarios, organizaciones no gubernamentales y organizaciones de carácter social y privado, relacionadas con la materia forestal. La SEMARNAT constituirá Consejos Regionales los cuales se integrarán por los representantes de los gobiernos de los Estados y municipios, de ejidos, comunidades y pequeños propietarios y demás personas físicas y morales (artículo 6). A la fecha se han instalado 29 Consejos Regionales Forestales.

La función de los Consejos nombrados en el párrafo anterior se traduce en la facultad de proponer a la Secretaría los lineamientos para promover la participación de los sectores social y privado en la planeación y realización de las actividades de conservación, ordenamiento, aprovechamiento, manejo y desarrollo forestal de la región o estado de que se trate (artículo 19 Bis 9). Es importante señalar que el 23 de julio de 1998 se aprobó el Reglamento Interno para regular el funcionamiento del Consejo Nacional. El Reglamento a la LF (R-LF) contempla los diferentes ámbitos en los que intervienen tanto el Consejo Técnico Consultivo Nacional Forestal como sus correlativos regionales. El Capítulo III del R-LF regula la participación social. La Ley General de Vida Silvestre (LGVS) señala en su artículo 5 que en la formulación y conducción de la política nacional en materia de vida silvestre se observan los principios de política ambiental previstos en el artículo 15 de la LGEEPA. En la fracción V del artículo 5 se prevé la participación de los propietarios y legítimos poseedores de los predios en los que se distribuya la vida silvestre, así como de las personas que comparten su hábitat, en la conservación, la restauración y los beneficios derivados del aprovechamiento sustentable. El Título IV (artículos 15 a 17) regula la concertación y participación social. Prevé que la Secretaría contará con un Consejo Técnico Consultivo Nacional para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre cuyas funciones son de opinión y recomendación. Se establece la facultad de la Secretaría de constituir otros órganos técnicos consultivos relacionados con la vida silvestre y su hábitat. De conformidad con el artículo 17 de la LGVS la Secretaría considera las opiniones y recomendaciones formuladas por los órganos consultivos en el ejercicio de sus facultades.

La Ley General de Salud (LGS), establece los lineamientos generales de los servicios y prestaciones de salud por parte de la SS y los gobiernos de las entidades federativas (artículos 50, 51, 52, 53). Regula el fundamento para el establecimiento de procedimientos de orientación y asesoría a los usuarios para la presentación de quejas, reclamaciones y sugerencias respecto de la prestación de servicios de salud (artículo

54). Al igual regula la participación de la comunidad en los programas de protección de la salud con el objetivo de incrementar la estructura y funcionamiento de los sistemas de salud e incrementar el mejoramiento del nivel de salud de la población (artículo 57). El artículo 58 establece las acciones que podrá llevar a cabo la comunidad mediante la participación en los servicios de salud de los sectores público, social y privado, dentro de las cuales destacan las siguientes: "*La promoción de hábitos de conducta e intervención en programas de promoción y mejoramiento de la salud, así como de prevención de enfermedades y accidentes (fracción I); colaboración en la prevención de tratamiento de problemas ambientales vinculados a la salud (fracción II); información a las autoridades sanitarias acerca de los efectos secundarios y reacciones adversas por el uso de medicamentos y otros insumos para la salud o por el uso, desvío o disposición final de sustancias tóxicas o peligrosas y sus desechos; (fracción V bis); otras actividades que coadyuven a la protección de la salud (fracción VII)*". El artículo 59 regula la promoción y apoyo de las dependencias y entidades del sector salud y los gobiernos de las entidades federativas, para la constitución de grupos, asociaciones e instituciones que tengan por objeto participar en los programas de promoción y mejoramiento de la salud. En el artículo 60 se encuentran el fundamento de la acción popular con el fin de que cualquier persona pueda denunciar ante las autoridades cualquier acto, hecho u omisión que represente un riesgo o daño a la salud de la población.

Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH) en su artículo 1 establece que sus disposiciones son de orden público e interés social, y tienen por objeto entre otros aspectos: "*el determinar las bases para la participación social en materia de asentamientos humanos (fracción IV)*". El artículo 48 establece la promoción de acciones concretadas entre los sectores público, social y privado, con el fin de propiciar la participación social en la fundación, conservación y mejoramiento y crecimiento de los centros de población. El artículo 49 enumera los diferentes mecanismos de participación social en materia de asentamientos humanos, destacando los siguientes: formulación de planes y programas de desarrollo urbano (fracción I); determinación y control de la zonificación, usos y destinos de áreas y predios de los centros de población (fracción II); la preservación del ambiente en los centros de población (fracción VIII); y la prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanos en los centros de población (fracción IX). El artículo 50 promueve la constitución de agrupaciones comunitarias que participen en el desarrollo urbano de los centros de población, bajo cualquier forma jurídica de organización.

En materia de desarrollo urbano cabe señalar la existencia de leyes en las que se establece recursos de inconformidad. La Ley Minera (LM) prevé la creación del Consejo de Recursos Minerales (artículo 9), el cual es un órgano de consulta de la Secretaría para efectos de la planeación y ejecución de acciones para el aprovechamiento de recursos naturales y cuyo consejo directivo se encuentra integrado por las dependencias y organismos representativos del sector que determine el Reglamento de esta Ley. El Reglamento prevé la participación de los diferentes sectores, Cámaras de Productores y Asociaciones Profesionales en el ramo (artículo 15). La Ley Federal sobre Meteorología y Normalización (LFMN) en su artículo 2 fracción II inciso d) establece que la ley tiene por objeto entre otros aspectos, la promoción de la concurrencia de los sectores público, privado, científico y de consumidores en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas. Asimismo, la ley prevé el establecimiento del Comité Consultivo Nacional

de Normalización, cuya finalidad es la elaboración de NOM y la promoción de su cumplimiento. Los Comités se organizan de acuerdo con los lineamientos que dicte la Comisión Nacional de Normalización y se integran por personal técnico de las dependencias competentes, organizaciones de industriales, prestadores de servicios, comerciantes, productores agropecuarios, forestales o pesqueros; centros de investigación científica o tecnológica, colegios de profesores y consumidores (artículos 62 y 63). De conformidad con lo establecido en el artículo 64, para que se expida una NOM las resoluciones de los Comités deben de tomarse por consenso y de no ser posible, deberá de tomarse por mayoría de votos de los miembros.

En 1992 fue creado el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental el cual tiene como propósito el generar un ambiente de discusión técnica que vaya más allá de los intereses sectoriales y permita lograr acuerdos consensuados y legítimos, basados en una gran cantidad de información y análisis, dada a los diversos actores que participan. Además del Comité Consultivo Nacional existe de un Comité Técnico Nacional para el Análisis y Desarrollo de Normas Mexicanas. En la elaboración de normas oficiales mexicanas participan las personas interesadas en presentar propuestas de normas oficiales a las dependencias correspondientes, llevando a cabo una evaluación de las mismas y en su caso presentarlas al Comité Consultivo respectivo (artículo 44). En los artículos 65 al 67 existe el fundamento de los Organismos Nacionales de Normalización, los cuales se definen como *"aquellas personas morales que tengan por objeto elaborar normas mexicanas."* (artículo 3 Fracción XIII). A nivel local encontramos que las entidades federativas y los municipios pueden formular y promover sus propia política de participación social.

Son aplicables en relación con el tema de derecho a la información los siguientes reglamentos de la LGEEPA:

Reglamento de la LGEEPA en materia de impacto ambiental (R-LGEEPA/EIA) en sus artículos 9, 12 y 13 establece los requisitos que deben contener las evaluaciones de impacto ambiental, tanto en la modalidad particular, como en su modalidad regional. Los artículos 21 y 26 se establecen los documentos que deben irse agregando al expediente de evaluación de impacto ambiental que está disponible para consulta pública. Los artículos 37 a 43 establecen procedimientos y mecanismos para hacer efectivo el derecho a la información ambiental. El Reglamento de la LGEEPA en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera (R-LGEEPA/PCCA) en su artículo 17, fracción IV, establece la obligación de los responsables de fuentes de emisión de contaminantes de llevar una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y de control. Los artículos 19 al 22 establecen los requisitos que debe cumplir la información que los responsables de las fuentes de emisión de contaminantes presenten a la SEMARNAT a efecto de obtener la licencia de funcionamiento correspondiente. En los artículos 41 a 45 se establece que la SEMARNAT establece y mantiene actualizado un sistema nacional de información de la calidad del aire.

Reglamento de la LGEEPA en materia de residuos peligrosos (R-LGEEPA/RP) en su artículo 4 establece la obligación de la SEMARNAT de establecer y mantener actualizado un sistema de información sobre la generación de los residuos peligrosos; y en el artículo 34 establece que una vez depositados los residuos peligrosos bajo alguno de los sistemas a que se refiere el artículo 31, el generador y, en su caso, la empresa de servicios de manejo contratada para la disposición final de residuos peligrosos,

deberán presentar a la Secretaría un reporte mensual que incluya: la cantidad, volumen y naturaleza de los residuos peligrosos depositados; fecha de disposición final de los residuos peligrosos; ubicación del sitio de disposición final; y sistemas de disposición final utilizado para cada tipo de residuo. El Reglamento de la LGEEPA en materia de auditoría ambiental (R-LGEEPA/AA) en su artículo 9 establece la obligación de la Procuraduría de poner a disposición de quienes resulten o puedan resultar directamente afectados, el diagnóstico básico de la auditoría ambiental, así como el plan de acción derivado de la misma. El propósito general de la auditoría ambiental es identificar, evaluar y controlar los procesos industriales que pudiesen estar operando bajo condiciones de riesgo o provocando contaminación al ambiente.

Con la finalidad de prevenir de manera efectiva accidentes ambientales, el Programa de Auditoría incluye una evaluación técnica detallada de aspectos reglamentados como control de aguas residuales, contaminación atmosférica, residuos peligrosos y ruido, no sólo aspectos correctivos, sino preventivos, aún cuando no estén reglamentados, tal es el caso de los relacionados con la prevención de accidentes, como son: el diseño de las instalaciones, la operación de los procesos, el mantenimiento, la capacitación del personal, etc. Con una auditoría ambiental se obtienen resultados a los que se argumentó es difícil llegar con la aplicación coercitiva de la ley, sobre todo cuando se trata de instalaciones industriales de gran tamaño o complejidad. Su carácter voluntario hace posible el examen exhaustivo y sereno de un conjunto de procesos productivos que es difícil revisar en el contexto de visitas de inspección conducidas unilateralmente por la autoridad. El Reglamento de la LGEEPA en materia de áreas naturales protegidas (R-LGEEPA/ANP) establece: el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (artículo 37); el Registro Nacional de Áreas Naturales Protegidas (artículo 38). El artículo 41 establece el derecho de toda persona a consultar las inscripciones que obren en el registro.

Reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de ordenamiento ecológico establece cuatro tipos o modalidades de ordenamientos: General del Territorio, Regional, Local y Marino. El Ordenamiento Ecológico General del Territorio (OEGT) es competencia del gobierno federal y abarca la totalidad del territorio nacional; busca influir en las políticas sectoriales del gobierno federal. El Ordenamiento Ecológico Regional determina los criterios de regulación ecológica para la realización de actividades productivas y la ubicación de asentamientos humanos. Este ordenamiento puede ser expedido por los gobiernos de los estados y del Distrito Federal en regiones que abarquen la totalidad o porciones del territorio de la entidad competente. El Ordenamiento Ecológico Local es expedido por las autoridades municipales; regula los usos del suelo fuera de los centros de población y establece criterios de regulación ecológica dentro de los centros de población que se integran en los programas de desarrollo urbano. El Ordenamiento Ecológico Marino es de competencia federal, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales de las regiones involucradas. Está orientado a regular la zona económica exclusiva, los mares territoriales y la zona federal marítimo-terrestre. La regulación permite determinar zonas ecológicas marinas, sus lineamientos, estrategias y demás previsiones para garantizar el aprovechamiento sustentable de sus recursos.

La regulación de la materia del derecho a la información se encuentra en el texto constitucional en los artículos 6º y 8º a nivel de garantías constitucionales. En cuanto a

la legislación secundaria, el derecho a la información se encuentra regulado en los siguientes ordenamientos:

La Ley de Información Estadística y Geográfica (LIEG) tiene por objeto normar el funcionamiento de los Servicios Nacionales de Estadística y de Información Geográfica, promover la integración y desarrollo de dicho servicio a fin de que se suministre el servicio público de información estadística y geográfica así como regular el desarrollo y la utilización permanente de la informática en los servicios nacionales mencionados. Su importancia radica en que define que se entiende por información estadística y geográfica. La información estadística es *" el conjunto de resultados cuantitativos que se obtiene de un proceso sistemático de captación, tratamiento y divulgación de datos primarios obtenidos de los particulares, empresas e instituciones sobre hechos que son relevantes para el estudio de fenómenos económicos, demográficos y sociales"*. Información geográfica es *"el conjunto de datos, símbolos y representaciones organizados para conocer y estudiar las condiciones ambientales y físicas del territorio nacional, la integración de éste en infraestructura, los recursos naturales y la zona económica exclusiva"*. De su aplicación podemos conocer algunos datos ambientales como los relacionados con la existencia de recursos naturales en el país e información geográfica que es de utilidad para el desarrollo de diversos instrumentos de política ambiental, como los ordenamientos ecológicos territoriales, NOM, producto interno neto ecológico, de conformidad con lo establecido en el artículo 15 de la LGEEPA será integrado por el INEGI al Sistema de Cuentas Nacionales. De conformidad con lo establecido en el artículo 7 de la LIEG las estadísticas permanentes, básicas o derivadas, cuentas nacionales e indicadores que elaboren las dependencias, entidades, instituciones públicas, sociales y privadas, los sectores poderes y los servicios estatales, cuando la información que generen resulte de interés nacional y sea requerida por la SHCP para integrar los sistemas nacionales y prestar el servicio público de información estadística y demográfica formarán parte del Servicio Nacional de Estadística.

Ley del Diario Oficial (LDOF) tiene por objeto reglamentar la publicación del Diario Oficial de la Federación, así como establecer las bases generales para la creación de las gacetas sectoriales. De conformidad con lo establecido en su artículo 2 se establece que *"el diario oficial de la federación es el órgano del gobierno constitucional de los estados unidos mexicanos, de carácter permanente e interés público, cuya función consiste en publicar en el territorio nacional, las leyes, decretos, reglamentos, acuerdos, circulares, órdenes y demás actos, expedidos por los poderes de la federación en sus respectivos ámbitos de competencia, a fin de que éstos sean aplicados y observados debidamente"*. Las materias objeto de publicación en el diario oficial de la federación son leyes y decretos expedidos por el Congreso de la Unión; los decretos, reglamentos, acuerdos y órdenes del ejecutivo; los tratados celebrados por el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos; así como los actos y resoluciones que la constitución y las leyes ordenen su publicación en el D.O.F.

La Ley Forestal (LF) en su artículo 1º, fracción X, establece que corresponde a la SEMARNAT el integrar y mantener actualizada la información relativa a los recursos forestales del país. El artículo 9 establece el contenido mínimo que debe contener el inventario forestal nacional; el cual debe ser actualizado por la SEMARNAT con la finalidad de realizar evaluaciones periódicas y de apoyar las políticas, medidas, programas e instrumentos de regulación y fomento forestal; debe llevarse a cabo una

zonificación de los terrenos forestales basada en dicho inventario, para delimitar sus usos y destinos. El artículo 10 establece los datos que deben inscribirse en el Registro Forestal Nacional, los cuales, junto con los resultados del inventario forestal nacional, su actualización y zonificación, se integran al Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales previsto en la LGEEPA. La Ley Minera (LM) establece en su artículo 27 que los titulares de las concesiones de exploración y explotación minera, se encuentran obligados a rendir a la Secretaría de Economía (SE) los informes estadísticos, técnicos y contables en los términos y condiciones que señale el Reglamento de dicha Ley (fracción VII). Se establece la obligación de los titulares de dichas concesiones de inscribir dichas obras en el Registro Público de Minería (artículo 28). De conformidad con lo establecido en el artículo 46, la SE debe llevar a cabo el Registro Público de Minería, y de conformidad con lo establecido en el artículo 52 la SE se encarga de la Cartografía Minera, en donde se representan gráficamente la ubicación y el perímetro de los lotes amparados por concesiones, asignaciones y reservas mineras vigentes. Mediante la Cartografía se evitan problemas relacionados con el establecimiento de las áreas naturales protegidas.

La Ley de Pesca (LP) establece en su artículo 6 la obligación de los concesionarios y permisionarios de informar a la SAGARPA, sobre los métodos y técnicas empleados; así como de los hallazgos, investigaciones, estudios y nuevos proyectos relacionados con la actividad pesquera; asimismo en las embarcaciones pesqueras que determine el reglamento debe llevar un libro de registro (bitácora de pesca) que contiene la información que señale la SAGARPA. De conformidad con lo establecido en el artículo 20, se establece la obligación para la SAGARPA de mantener un Registro Nacional de Pesca que es público y gratuito, por lo que hace a las inscripciones que en él se realicen; y que en él se inscriban las personas físicas o morales que se dediquen a esta actividad al amparo de una concesión, permiso o autorización, con excepción de las personas físicas que efectúen pesca deportivo-recreativa. Deben inscribirse las embarcaciones en el Registro Público Marítimo Nacional, así como las unidades de explotación acuícola, las escuelas pesqueras y los centros dedicados a la investigación o enseñanza en materia de flora y fauna acuáticas. En el Reglamento de Pesca se establece en su artículo 111 que la SAGARPA debe recabar la información técnica, científica, administrativa y estadística, para mantener actualizados el Registro Nacional de Pesca y la Carta Nacional Pesquera.

La Ley General de Vida Silvestre (LGVS) prevé en su artículo 48 el establecimiento de un subsistema nacional de información sobre la vida silvestre dentro del Sistema Nacional de Información ambiental y de Recursos Naturales. El artículo 49 establece cual será el contenido de dicho subsistema de información. La Ley General de Salud (LGS) en su el Título Sexto establece las bases conforme a las cuales la Secretaría de Salud y los gobiernos de las entidades federativas deben captar, producir, procesar, sistematizar, divulgar y suministrar la información para la salud.

En materia de sanciones se encuentran en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPM) las siguientes garantías: en su artículo 5 establece la garantía de libertad en donde se establece que nadie podrá ser impedido para dedicarse a la profesión, industria, comercio o trabajo que le acomode, siendo lícitos. Este ejercicio únicamente podrá vedarse por determinación judicial cuando se ataquen los derechos a tercero, o por resolución gubernativa, cuando de ofendan los derechos de la sociedad; el artículo 16 prevé la garantía de legalidad, según la cual nadie podrá

ser molestado en su persona, familia, papeles o posesiones, sino en virtud de un mandamiento escrito de la autoridad competente, que funde y motive la causa legal del procedimiento; el artículo 21 establece la garantía de legalidad, en donde encontramos el fundamento para que la autoridad lleve a cabo la imposición de penas. En este artículo se establece que en caso de que el infractor no pague la multa correspondiente se le permutará esta por el arresto correspondiente, pero sin que éste exceda de las treinta y seis horas.

En cuanto a las penas que pueden derivarse de la aplicación de las disposiciones de la LGEEPA relacionadas con otras leyes sectoriales especiales encontramos que: la aplicación de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo (LFPA), ya que como lo señala el artículo 160 de la LGEEPA en las materias de actos de inspección y vigilancia, ejecución de medidas de seguridad, determinación de infracciones administrativas y sus sanciones, se aplicará supletoriamente las Leyes Federales de Procedimiento Administrativo y sobre Metrología y Normalización. Con relación a las sanciones, la LFPA prevé lo siguiente: las sanciones administrativas deben estar previstas en las leyes respectivas (artículo 70); para imponer una sanción la autoridad administrativa debe notificar al infractor (artículo 72); la resolución que imponga una sanción debe estar fundada y motivada y considerar los daños que se hubieran producido o que se puedan producir; el carácter intencional o no de la acción u omisión constitutiva de la infracción; la gravedad de la infracción; y la reincidencia del infractor (artículo 73); las sanciones administrativas pueden imponerse en más de una de las modalidades previstas en el artículo 70 (artículo 76); la facultad para imponer sanciones prescribe en 5 años (artículo 79). El artículo 81 de la LFPA establece que se consideran medidas de seguridad aquellas disposiciones que dicte la autoridad competente para proteger la salud y la seguridad públicas. Estas deben estar establecidas en cada caso por las leyes administrativas.

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece una serie de faltas administrativas en su artículo 119. Dichas faltas pueden ser sancionadas con multas equivalentes al salario mínimo general vigente dependiendo del área geográfica y del momento en que se cometa la infracción, así mismo en ciertos casos la autoridad procede a retener o conservar en depósito o custodia la maquinaria y equipo de perforación, hasta que se cubran los daños ocasionados (artículo 120). La ley establece la imposición de clausura temporal o definitiva, parcial o total de los pozos y de las obras o tomas para la extracción o aprovechamiento de aguas nacionales (artículo 122). Cabe hacer notar que las presentes multas se impondrán sin perjuicio de las multas que resulten por infracciones fiscales y de la aplicación de las sanciones por la responsabilidad penal (artículo 123).

La Ley de Pesca y su Reglamento (LP) establecen las infracciones a dicha ley. El artículo 25 establece las sanciones que serán impuestas a las infracciones que se lleven a cabo en contra de lo dispuesto por la LP, a saber:

1. *Revocación de la concesión, permiso o autorización; Decomiso de productos y/o artes de pesca y/o imposición de multa y de acuerdo con la gravedad de la falta, clausura temporal de la instalación o instalaciones y/o decomiso de la embarcación o vehículo;*
2. *Revocación de la concesión, permiso u autorización, clausura definitiva de las instalaciones y/o imposición de la multa;*

3. *Suspensión temporal de los derechos de la concesión, permiso o autorización, clausura temporal de las instalaciones y/o imposición de multa;*
4. *Decomiso de los productos obtenidos de la flora y fauna acuáticas y/o de las embarcaciones o vehículos, artes de pesca y/o imposición de multa; y*
5. *Amonestación.*

El Reglamento a la LP señala en sus artículos 129 al 132 disposiciones en torno a la aplicación de las sanciones. La Ley Forestal (LF) en su artículo 47 establece las infracciones que pueden cometerse en contravención a esta ley, mientras que el artículo señala las sanciones que se impondrán por parte de la Secretaría a quien incurra en una o más de las infracciones contenidas en el artículo 47, dentro de las cuales cabe destacar las siguientes: *Amonestación (fracción I); imposición de multa (fracción II); suspensión temporal, parcial o total, de las autorizaciones de aprovechamiento de recursos forestales o de la forestación (fracción III); revocación de la autorización o inscripción registral (fracción IV); decomiso de las materias primas forestales, así como de instrumentos, maquinaria, equipos y herramientas y/o medios de transporte utilizados para cometerla infracción; (fracción V); clausura temporal o definitiva, parcial o total, de las instalaciones, maquinaria, y equipo de los centros de almacenamiento y transformación de materias primas forestales, o de los sitios o instalaciones donde se desarrollen las actividades que den lugar a la infracción respectiva. (fracción VI).* También se establecen las disposiciones referentes a las imposición de multas, así como las condiciones para que el infractor tenga la opción de realizar trabajos o inversiones equivalentes a la multa, en materia de conservación, protección o restauración de los recursos forestales (artículo 49). Los artículos 50 a 56 establecen disposiciones para la determinación de infracciones e imposición de sanciones. La Ley General de Vida Silvestre remite en su artículo 104 las disposiciones de la LGEEPA en materia de actos de inspección y vigilancia. La ley prevé la creación de un padrón de infractores.

NORMAS OFICIALES MEXICANAS VIGENTES PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Para Control de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental

NOM-113-ECOL-1998, que establece las especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de subestaciones eléctricas de potencia o de distribución que se pretendan ubicar en áreas urbanas, suburbanas, rurales, agropecuarias, industriales, de equipamiento urbano o de servicios y turísticas.

NOM-114-ECOL-1998, que establece las especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de líneas de transmisión y de subtransmisión eléctrica que se pretendan ubicar en áreas urbanas, suburbanas, rurales, agropecuarias, industriales, de equipamiento urbano o de servicios y turísticas.

NOM-115-ECOL-1998, que establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación de pozos petroleros terrestres para exploración y producción en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.

NOM-116-ECOL-1998, que establece las especificaciones de protección ambiental para prospecciones sísmológicas terrestres que se realicen en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.

NOM-117-ECOL-1998, que establece las especificaciones de protección ambiental para la instalación y mantenimiento mayor de los sistemas para el transporte y distribución de hidrocarburos y petroquímicos en estado líquido y gaseoso, que se realicen en derechos de vía terrestres existentes, ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.

NOM-120-ECOL-1997, que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinos.

NOM-130-ECOL-2000, Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de telecomunicaciones por red de fibra óptica ya sea en forma aérea o subterránea, que se realicen en derechos de vía establecidos de carreteras, de ferrocarriles y de ductos, sin que se utilice la infraestructura existente, así como en la vialidad pública urbana. Sólo se podrá hacer uso de predios ubicados fuera del derecho de vía y de la vialidad pública urbana cuando se requiera instalar casetas repetidoras o terminales de señal. Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de dichas actividades.

NOM-145-SEMARNAT-2003, Confinamiento de residuos en cavidades construidas por disolución en domos salinos geológicamente estables. Establecer las especificaciones técnicas para la protección al medio ambiente durante la selección del sitio, la construcción, operación y cierre de confinamientos de residuos en cavidades construidas por disolución en domos salinos geológicamente estables y en cavidades preexistentes en domos salinos.

Para control de la Contaminación de los Recursos Naturales

NOM-PESC-1993, por la que se establecen medidas para la protección de las especies de totoaba y vaquita en aguas de jurisdicción federal del Golfo de California.

NOM-059-ECOL-2001, 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.

NOM-061-ECOL-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en la flora y fauna silvestres por el aprovechamiento forestal.

NOM-062-ECOL-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad que se ocasionen por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios.

NOM-126-ECOL-2000, por la que se establecen las especificaciones para la realización de actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional.

NOM-131-ECOL-1998, que establece lineamientos y especificaciones para el desarrollo de actividades de observación de ballenas, relativas a su protección y la conservación de su hábitat.

Para Control de la Contaminación del agua

NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental-Lodos y biosólidos-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Para Control de Emisión de Ruido

NOM-079-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores nuevos en planta y su método de medición.

NOM-080-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición.

NOM-081-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.

NOM-082-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las motocicletas y triciclos motorizados nuevos en planta y su método de medición.

Para Control de la Contaminación Atmosférica (Fuentes Fijas)

NOM-039-ECOL-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de dióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico, en plantas productoras de ácido sulfúrico.

NOM-040-ECOL-2002, Protección ambiental-Fabricación de cemento hidráulico-Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera.

NOM-043-ECOL-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

NOM-046-ECOL-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de dióxido de azufre, neblinas de trióxido de azufre y ácido sulfúrico,

provenientes de procesos de producción de ácido dodecilbencensulfónico en fuentes fijas.

NOM-051-ECOL-1993, que establece el nivel máximo permisible en peso de azufre, en el combustible líquido gasóleo industrial que se consume por las fuentes fijas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

NOM-075-ECOL-1995, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de los separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo.

NOM-085-ECOL-1994, para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.

NOM-086-ECOL-1994, Contaminación atmosférica-Especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles.

NOM-092-ECOL-1995, que 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.

NOM-093-ECOL-1995, que 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.

NOM-097-ECOL-1995, que 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.

NOM-105-ECOL-1996, Que 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.

NOM-123-ECOL-1998, que establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COVs) 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.

NOM-137-SEMARNAT-2003, Contaminación atmosférica.- Plantas desulfuradoras de gas y condensados amargos.- Control de emisiones de compuestos de azufre.

Para Control de la Contaminación Atmosférica (Fuentes Móviles)

NOM-041-ECOL-1999, que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.

NOM-042-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas suspendidas provenientes del escape de vehículos automotores nuevos en planta, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel de los mismos, con peso bruto vehicular que no exceda los 3,856 kilogramos.

NOM-044-ECOL-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diesel como combustible y que se utilizaran para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos.

NOM-045-ECOL-1995, que establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.

NOM-047-ECOL-1999, que 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.

NOM-048-ECOL-1993, que 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.

NOM-049-ECOL-1993, que 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 utilizan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible.

NOM-050-ECOL-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos y monóxido de carbono provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que han sido convertidos para usar gas licuado de petróleo como combustible.

NOM-076-ECOL-1994, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos en planta, 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 utilizan para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos,

NOM-077-ECOL-1995, que establece el procedimiento de medición para la verificación de los niveles máximos permisibles de emisión de la opacidad de humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.

Para Control de la Contaminación Atmosférica (Monitoreo Ambiental)

NOM-034-ECOL-1993, que 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.

NOM-035-ECOL-1993, que 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.

NOM-036-ECOL-1993, que 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.

NOM-037-ECOL-1993, que 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.

NOM-038-ECOL-1993, que 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.

Para Control de la Contaminación Atmosférica (Calidad de Combustibles)

NOM-051-ECOL-1993, que establece el nivel máximo permisible en peso de azufre, en el combustible líquido gasóleo industrial que se consuma por las fuentes fijas de la zona metropolitana de la ciudad de México.

NOM-086-ECOL-1994, que establece las especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en las fuentes fijas y móviles.

Para Control de Residuos Peligrosos

NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

NOM-053-ECOL-1993, que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

NOM-054-ECOL-1993, que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993.

NOM-055-ECOL-1993, que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto de los radiactivos.

NOM-056-ECOL-1993, que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

NOM-057-ECOL-1993, que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.

NOM-058-ECOL-1993, que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

NOM-083-SEMARNAT-2003, especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

NOM-087-ECOL-SSA1-2002, protección ambiental-salud ambiental-residuos peligrosos biológico-infecciosos- clasificación y especificaciones de manejo.

PROY-NOM-133-ECOL-1999, que establece las especificaciones para el manejo de bifenilos policlorados (bpc's), con el fin de que los interesados, en un plazo de 60 días naturales.

Para Control de la Contaminación de Suelos

NOM-020-RECNAT-2001, Que establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo.

NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

NOM-023-RECNAT-2001, Que establece las especificaciones técnicas que deberá contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelos.

NOM-060-ECOL-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal.

Elaboración conjunta con otras secretarías.

NOM-015-SEMARNAP/SAGAR-1997, Que regula el uso del fuego en terrenos forestales y agropecuarios, y que establece las especificaciones, criterios y procedimientos para ordenar la participación social y de gobierno en la detección y el combate de los incendios forestales.

NOM-021-ENER/SCFI/ECOL-2000, Eficiencia energética, requisitos de seguridad al usuario y eliminación de clorofluorocarbonos (CFC's) en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

NOM-022-ENER/SCFI/ECOL-2000, Eficiencia energética, requisitos de seguridad al usuario y eliminación de clorofluorocarbonos (CFC's) para aparatos de refrigeración comercial autocontenidos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

NOM-036-SCT3-2000, Que establece dentro de la República Mexicana los límites máximos permisibles de emisión de ruido producido por las aeronaves de reacción subsónicas, propulsadas por hélice, supersónicas y helicópteros, su método de medición, así como los requerimientos para dar cumplimiento a dichos límites.

Para Control Forestal

NOM-001-RECNAT-1995, Que establece las características que deben de tener los medios de marqueo de la madera en rollo, así como los lineamientos para su uso y control

NOM-002-RECNAT-1996, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de resina de pino.

NOM-003-RECNAT-1996, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de tierra de monte.

NOM-004-RECNAT-1996, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de raíces y rizomas de vegetación forestal.

NOM-005-RECNAT-1997, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de corteza, tallos y plantas completas de vegetación forestal.

NOM-006-RECNAT-1997, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de hojas de palma.

NOM-007-RECNAT-1997, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de ramas, hojas o pencas, flores, frutos y semillas.

NOM-008-RECNAT-1996, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos.

NOM-009-RECNAT-1996, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de látex y otros exudados de vegetación forestal.

NOM-010-RECNAT-1996, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de hongos.

NOM-011-RECNAT-1996, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de musgo, heno y doradilla.

NOM-012-RECNAT-1996, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento de leña para uso doméstico.

NOM-013-RECNAT-1997, Que regula sanitariamente la importación de árboles de navidad naturales de las especies *Pinus sylvestris*, *Pseudotsuga menziesii* y del género *Abies*.

NOM-016-SEMARNAT-2003, Que regula sanitariamente la importación de madera aserrada nueva.

NOM-018-RECNAT-1999, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones técnicas y administrativas para realizar el aprovechamiento sostenible de la hierba de candelilla, transporte y almacenamiento del cerote.

NOM-029-SEMARNAT-2003, Especificaciones sanitarias del bambú, mimbre, bejuco, ratán, caña, junco y rafia, utilizados principalmente en la cestería y espartería.

Para Control de Plagas

NOM-142-SEMARNAT-2003, Que establece los lineamientos técnicos para el combate y control del psílido del eucalipto *Glycaspis brimblecombei* Moore.

Normas Emergentes

NOM-EM-144-SEMARNAT, Que establece las especificaciones técnicas de la medida fitosanitaria (tratamiento) y el uso de la marca que acredita la aplicación de la misma, para el embalaje de madera que se utiliza en el comercio internacional.

CONCLUSIONES

Este trabajo se llevó a cabo con el objeto de servir de complemento y apoyo a la materia de "INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA AMBIENTAL", tanto para estudiantes como para profesores dada la falta de material didáctico que sobre esta materia existe con un enfoque ingenieril. También sirve al público en general interesado en el tema ambiental visto desde una perspectiva más aplicada a la vida diaria. Es por ello que se han omitido en algunos casos el desarrollo de ecuaciones, pues trata de ser un texto práctico y cómodo de entender para quien lo consulte. Si se desea una mayor comprensión o profundizar en algún tema en particular se deben de consultar las referencias a que se hace mención en la bibliografía, ya que en este trabajo se han realizado algunas omisiones para darle el sentido de practicidad.

Es evidente que, a estudios de nivel profesional, no se trata de conformar una nueva materia que transmita conocimientos novedosos. Se trata de una asignatura que es indispensable formar individuos con una nueva mentalidad: capaces de laborar de forma interdisciplinaria y multidisciplinaria, para analizar y resolver problemas nuevos y poco conocidos. La Ingeniería Ambiental se ha definido como la profesión que reúne el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para diseñar y construir sistemas y procesos para la producción de bienes y servicios que contribuyan a la racionalización y eficientización de las relaciones de intercambio de materia y energía que suceden entre la sociedad y la naturaleza.

El ambiente se ha convertido en una dimensión prioritaria en la definición de proyectos educativos, industriales, económicos, sociales y personales. El desarrollo sustentable entraña concebir al ambiente como un paquete de recursos de posesión global, en el que necesariamente se debe incidir mediante nuevas formas de organización política y social. Se ha demostrado que el cuidado del medio en la industria no está reñido con la competitividad, definida como la habilidad para vender o competir con otros productores nacionales o extranjeros. A nivel de país, es claro que naciones con una estricta política ambiental, no sólo mantienen, sino que incrementan su capacidad de competir y ampliar sus mercados.

La formación de recursos humanos en cuestiones ambientales es una necesidad urgente del país que no se limita al campo de la ingeniería, más aún, la ingeniería ambiental es solo un eslabón en una cadena que los diversos especialistas (ingenieros, ecólogos, biólogos, químicos, biotecnólogos, economistas, sociólogos, abogados, administradores públicos, entre otros) deben construir, empleando para ello, el conocimiento sobre su ambiente y su evolución, resultado de los cambios que vive la tierra.

Se piensa que los problemas ambientales radican en las ciudades. Existe una concepción limitada de que por ambiente se entiende a las áreas naturales y que los problemas radican en la pérdida de especies y contaminación de agua, suelo y aire.

Se olvida la dimensión social y que la sociedad se está volviendo urbana, en donde las áreas verdes son bienes de la naturaleza. El ambiente incluye aspectos naturales, tecnológicos, sociales, económicos, políticos, morales, culturales, históricos y estéticos que se manifiestan en las ciudades. El proceso de urbanización implica modificación del paisaje, nuevas relaciones culturales, económicas, sociales, cambio en los hábitos alimenticios, higiénicos, y de consumo.

En la ciudad, la definición de lo ambiental se vuelve compleja y polémica ya que los elementos considerados como ambientales (aire, vegetación, fauna, áreas verdes, recarga hidrológica, desechos, etcétera), sólo pueden entenderse dentro de los elementos y procesos metropolitanos (transporte, servicios públicos, usos del suelo, vivienda, distribución de alimentos, política fiscal, patrimonio histórico, infraestructura, etcétera). Las prioridades, preferencias y dimensiones relativas de cada elemento ambiental cambian continuamente, correlacionándose con la estructura de ingresos de la población y de costos de oportunidad.

La urbanización y el desarrollo se relacionan por numerosos factores demográficos, económicos y culturales, dando por resultado una multiplicación de los centros de concentración y aumento en la población urbana. El mayor dinamismo económico ha coincidido con el tiempo y en el espacio con los procesos más intensos de urbanización. El proceso de concentración económica y de aglomeración demográfica se refuerza bajo condiciones de un mercado cerrado. En una economía cerrada, la minimización de costos de transporte promueve que las actividades productivas tiendan a ubicarse en el centro geográfico del mercado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sutton, David B.
"Fundamentos de Ecología".
Ed. Limusa. 16ª reimpresión.
1994. México.
2. Blanca E. Gutiérrez Barba, Norma I. Herrera Colmenero,
"La ingeniería ambiental en México"
Ed. Limusa. Primera edición.
2001, México.
3. Alba B. Vázquez González, Enrique César Valdez
"impacto ambiental"
ed. UNAM. Primera edición.
1993, México
4. Blanca E. Jiménez Cisneros
"La contaminación ambiental en México: causas, efectos, y
tecnología aplicada"
Ed. Limusa. Primera edición.
2000, México
5. Henry-Heinke
"Ingeniería ambiental"
Ed. Pearson Educación. Segunda edición.
Prentice Hall, México, 1999.
6. Ramón Sans Fonfría, Joan de Pablo Ribas
"Ingeniería ambiental: contaminación y tratamientos"
Ed. Alfaomega,
7. Normas Oficiales Mexicanas.
En Materia de Ecología, Salud y Contaminación Ambiental.
Diario Oficial de la Federación, México.
Diversas fechas.
8. Wart, Kenneth, eT. aL.
"Contaminación del aire, origen y control".
Ed. Limusa. Primera edición.
1992. México.
9. Gabriel Félix Burgos, Lilia Romero Sevilla
"Texto básico de autoenseñansa, volumen 1: ecología y salud"
Ed. Mc. Graw Hill

OTRAS FUENTES DE CONSULTA

Gaceta UNAM, 1991.

La Fundación Universo Veintiuno (FEV-FES, 1990)

Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD), 1987 y 1991

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente- Oficina Regional para América Latina y el Caribe (PNUMA- ORPALC, 1990)

Food and Agricultura Organización of the United Nations (FAO), 1984

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 1991

Comisión Económica Para América Latina (CEPAL), 1991

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), 1991

Comisión Nacional de Cultura Física y Deporte (CONADE), 1992

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología- Programa Nacional para la Protección del Medio Ambiente (SEDUE- PNPMA), 1990-1994)

Wordwatch, 1990

<http://www.ine.gob.mx>

<http://www.semarnat.gob.mx>

<http://www.mexicolegal.com.mx>

<http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/00General/indiceGral.htm>