
IMPACTO AMBIENTAL



UNAM
Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica
Departamento de Ingeniería Sanitaria

IMTA
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA



REPORT OF THE

UNITED STATES

IMPACTO AMBIENTAL

Ing. Alba B. Vázquez González
Ing. Enrique César Valdez

Ingenieros Civiles egresados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesores de Carrera del Departamento de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, UNAM

Revisión:

M. en C. Jesús García Cabrera
Subcoordinador de Calidad del Agua
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Ing. Enrique Heras Herrera
Jefe del Departamento de Ingeniería Sanitaria
Facultad de Ingeniería, UNAM.

Edición:

Ing. Miguel Angel González López

Prohibida la reproducción total o parcial de estos apuntes, por cualquier medio, sin autorización escrita de los editores.

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
Av. Universidad e Insurgentes sur
Delegación Coyoacán, D.F.
C.P. 04510

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA
Paseo Cuauhnáhuac No. 8532
Col. Progreso, Jiutepec, Morelos.
C.P. 62550

Primera edición: 1994



G- 610895

APUNTE
114-A
1994
G.- 610895

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.



610895

CONTENIDO

CONTENIDO

**ESTE LIBRO
NO SALE
de la Biblioteca I**

PROLOGO

1.	INTRODUCCION AL ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL	1
1.1	Impactos ambientales de las acciones humanas	1
1.2	Problemática ambiental de los países en desarrollo	2
1.3	Etapas de interés en los estudios de impacto ambiental	3
1.4	La dificultad de predecir	4
1.5	Construcción de modelos matemáticos de calidad del ambiente	7
1.5.1	Sistema cerrado bien mezclado	10
1.5.2	Sistema bien mezclado con entradas y salidas	12
1.5.3	Sistema de flujo pistón	18
1.5.4	Transferencia de gases	22
1.6	Ecosistemas e ingeniería	25
1.6.1	Características de los ecosistemas	26
1.6.2	Tramas alimenticias y estabilidad de población	30
1.6.3	Ciclos Biogeoquímicos	34
1.7	Obras de Ingeniería Civil y su relación con el ambiente	39
2.	OBRAS DE USO Y MANEJO DEL AGUA	41
2.1	Aprovechamientos de aguas superficiales	43

IMPACTO AMBIENTAL

2.1.1	Impacto ambiental de las presas	44
2.1.2	Ictiofauna	53
2.1.3	Oxígeno Disuelto	55
2.1.4	Vertido de aguas residuales	58
2.1.5	Eutroficación	78
2.2	Aguas subterráneas	82
2.2.1	Tipo de acuíferos	84
2.2.2	Tipo de pozos	84
2.2.3	Importancia de las aguas subterráneas	85
2.2.4	Sobreexplotación de acuíferos	87
2.2.5	Intrusión salina	97
2.2.6	Impacto en el agua por la disposición inadecuada de desechos sólidos	105
2.2.7	Rellenos sanitarios	107
3.	OBRAS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE Y SU RELACION CON EL AMBIENTE	111
3.1	Carreteras	112
3.1.1	Identificación de los impactos ambientales adversos de las carreteras	113
3.2	Aeropuertos	123
3.3	Medida y análisis del sonido	131
3.3.1	Sonido	132

3.3.2	Ruido	133
3.3.3	Efectos del ruido en la salud humana	136
3.3.4	Evaluación del impacto por ruido	140
3.3.5	Obras para la navegación marítima y fluvial	141
4.	OBRAS DE EDIFICACION Y SU RELACION CON EL AMBIENTE	143
4.1	Algunos impactos de las obras de edificación	144
4.2	Efectos de las ciudades en el clima	145
4.3	Criterios técnicos para localizar desarrollos industriales	147
4.4	Principales contaminantes atmosféricos	150
4.5	Dispersión atmosférica	152
4.5.1	Modelo de caja	152
4.5.2	Modelo gaussiano de dispersión	156
4.6	Control de partículas	162
4.6.1	Ciclones	162
4.6.2	Precipitador electrostático	162
4.6.3	Filtro de bolsa	163
4.6.4	Lavadores	163
4.6.5	Eficiencia de los dispositivos de control de partículas	165
5.	LEGISLACION NACIONAL EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL	167
6.	METODOS PARA ESTUDIAR Y EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL	171

IMPACTO AMBIENTAL

6.1	Procedimiento para realizar un estudio de impacto ambiental	171
6.2	Técnicas de evaluación del impacto ambiental	172
6.3	Listados	177
6.3.1	Sistema de Evaluación Ambiental (SEA)	183
6.4	Matrices	191
6.4.1	Matriz de Leopold	195
6.4.2	Matriz de evaluación de impactos ambientales	197
6.5	Redes	201
6.6	Modelos	206
6.7	Sobreposiciones	207
6.8	Criterios de selección de métodos	207

APENDICES

Apéndice A.	Técnicas para tratar las aguas generadas durante la construcción del túnel de desvío y la cortina de una presa.	211
Apéndice B.	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente (Extracto)	215
Apéndice C.	Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Impacto Ambiental	217
Apéndice D.	Relación de Normas Técnicas Ecológicas publicadas sobre Prevención y Control de la contaminación del Agua	231

CAPITULO 1

INTRODUCCION AL ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

Este texto trata del impacto ambiental, el cual se define como la alteración favorable o desfavorable que experimenta el ambiente como resultado de la actividad humana o de la naturaleza. El estudio del impacto ambiental es una actividad diseñada para identificar y predecir la modificación de los componentes biogeofísico y socioeconómico del ambiente, para interpretar y comunicar información acerca de los impactos, así como la forma de atenuar o minimizar los adversos. Estos estudios son una herramienta para la toma de decisiones en la etapa de planeación y permiten seleccionar de las alternativas de un proyecto, la que ofrezca los mayores beneficios tanto en el aspecto socioeconómico como en el aspecto ambiental.

1.1 Impactos ambientales de las acciones humanas

El ambiente natural sufre continuos cambios incluso en ausencia del hombre. Esto puede ser sobre una escala de tiempo de cientos de millones de años, como la sumergencia de los continentes y la formación de las montañas; en una escala de decenas de miles de años, como la última edad del hielo y los cambios en el nivel de los mares que la acompañaron; sobre una escala de cientos de años, como la eutroficación natural y sedimentación de los lagos poco profundos; o en un periodo de unos cuantos años, como cuando una colonia de castores transforma tierra seca en un pantano. Algunos de estos cambios naturales son irreversibles, por ejemplo la eutroficación de un lago, mientras que otros son cíclicos como las estaciones del año, o transitorios como las sequías.

Además de las alteraciones ocasionadas por la naturaleza sobre el ambiente natural, se tienen los cambios producidos por la actividad humana. Cuando el hombre se dedicaba a la caza y recolección, el uso del fuego modificó algunos ambientes naturales; después, con la domesticación de los animales y la introducción de la agricultura, los efectos de sus acciones se extendieron por

todas partes conforme fueron formándose los primeros asentamientos humanos. Los efectos se incrementaron con el desarrollo de la industria, al reemplazar la fuerza muscular por la energía derivada de los combustibles fósiles, hasta que, desde hace algunas décadas, los impactos humanos han alcanzado una intensidad sin precedentes y afectan al mundo entero debido al vasto incremento poblacional y al mayor consumo de recursos per cápita.

Al incrementarse el control del ambiente por el hombre, se crean conflictos entre los objetivos humanos y los procesos naturales. Para obtener mayor producción de alimentos, o con otros propósitos, el hombre modifica los flujos naturales de energía, rompe las cadenas alimenticias, simplifica los ecosistemas y usa grandes subsidios de energía para mantener el delicado equilibrio artificial. En algunos casos, estas actividades pueden crear ambientes que el hombre considera deseables, como por ejemplo las extensiones de terreno agrícola. Sin embargo, frecuentemente se presentan conflictos entre las estrategias que maximizan ganancias a corto plazo (5 a 10 años) y aquellas que maximizan los beneficios a largo plazo (50 años); las primeras traen como consecuencia la irreversible degradación ambiental. Se toma poco o nada en consideración dentro de la planeación económica acerca del lento deterioro del suelo, agotamiento de los acuíferos o la acelerada eutrofización de los cuerpos de agua.

Debido a que los ambientes naturales fluctúan con el tiempo, es difícil distinguir los cambios causados por el hombre. La construcción de una obra de ingeniería, cualquiera que sea, puede modificar el ambiente físico de muchas maneras, pero para poder comprender los cambios, es necesario tratar de predecir las condiciones que se tendrían en el lugar de no construirse la obra. Sin embargo, no es fácil evaluar las condiciones presentes, menos aún las tendencias futuras.

1.2 Problemática ambiental de los países en desarrollo

Es imperativo que cada región y área local haga el mejor uso de los recursos naturales sin causar daño o deterioro al ambiente, como por ejemplo, laterización, erosión, desertificación o propagación de enfermedades hídricas, como la fiebre tifoidea, disentería, esquistosomiasis y hepatitis. La rotación de cultivos, que es una práctica común en muchas partes del trópico húmedo, puede usarse como ejemplo del deterioro de los procesos naturales. Esta práctica es ecológicamente aceptable siempre que permita tiempo adecuado para el ciclo de regeneración y mantenimiento de la fertilidad del suelo. En el pasado, los tabúes culturales, patrones de vida tradicionales, enfermedades y guerras, mantuvieron el sistema en equilibrio. Sin embargo, con la medicina moderna, la tasa de crecimiento poblacional se ha incrementado; la relación de población versus área habitada (densidad poblacional) ha aumentado, y el equilibrio original ha sido perturbado a tal grado que el ciclo de cultivo no permite la apropiada restauración de la fertilidad del suelo. En muchos casos; no hay un periodo de recuperación, y extensas áreas se han cubierto de vegetación secundaria convirtiéndose en inadecuadas para la agricultura.

Al tomar en cuenta el componente social del ambiente, los impactos pueden tener implicaciones de mayor importancia. Los efectos pueden manifestarse de varias maneras, por ejemplo, las tradiciones de una comunidad dependen de su estilo de vida; una vez que éste cambia, la organización social prevaeciente será debilitada y las tradiciones se perderán, como sucede en un programa de reacondo como consecuencia de la construcción de una obra. Por otra parte, si una

comunidad continúa con algunas de sus actividades tradicionales después de puesta en operación la obra, puede afectarse la viabilidad del proyecto.

Finalmente, el desarrollo lleva a la adopción de nuevos estilos de vida, los cuales **generan** presiones sociales o tienen mayor impacto en el ambiente. Por ejemplo, las técnicas agrícolas avanzadas no son adoptadas por todos los campesinos debido a la falta de recursos económicos, por lo que las prácticas de agricultura tradicionales no pueden competir con las presiones del desarrollo. Los campesinos son desplazados y emigran de los poblados rurales hacia las ciudades, o a las montañas. En las ciudades, los inmigrantes magnifican los problemas de disposición de desechos, abastecimiento de agua, vivienda y desempleo. En las montañas, se talan árboles para vender madera y se quema la hierba para poder cultivar la tierra; estas tierras marginadas con grandes pendientes se cultivan sin técnicas apropiadas para la conservación del suelo, y la rápida erosión limita su productividad; adicionalmente, los cambios asociados con el flujo del agua y sedimentación reducen la capacidad útil de las presas construidas en estas cuencas.

Los problemas ambientales en los países en desarrollo son consecuencia de una deficiente planeación. Es por esto que los estudios de impacto ambiental son herramientas imprescindibles para una acertada planeación de los proyectos de desarrollo. En estos países se encara un dilema: la necesidad de una adecuada planeación ambiental es muy grande, pero los recursos humanos capacitados para participar en los estudios de impacto ambiental son muy escasos, y la falta de financiamiento, capacitación e infraestructura puede limitar las posibilidades de desarrollo. La simple transferencia de tecnologías empleadas en la actualidad en las naciones desarrolladas, incluyendo sus métodos para evaluar el impacto ambiental, no son el mejor medio para solucionar estos problemas.

1.3 Etapas de interés en los estudios de impacto ambiental

La experiencia en los países desarrollados y en desarrollo, sugiere que los efectos de los grandes proyectos regionales, como: presas, carreteras, puertos, etcétera, deben considerarse en tres etapas:

- a) Durante la preparación del sitio y construcción, en la que el ambiente es perturbado por la pesada maquinaria de movimiento de tierras, campamentos y caminos de acceso temporales. Para los habitantes locales la calidad de vida es degradada por la generación de polvo y ruido.
- b) En el inicio de la operación de la obra. Pueden plantarse árboles y pasto, y pavimentarse los caminos; sin embargo, no hay duda de que un nuevo ambiente ha sido creado como consecuencia de la inundación del valle, rectificación de cauces, relocalización de rutas de tráfico, o de la liberación cotidiana de contaminantes al aire y agua, y
- c) Después de un periodo de varias décadas de operación la obra puede atraer industria secundaria, provocar un aumento significativo de la población y generar una serie de actividades humanas inesperadas. Después de 50 años, la estructura original será quizá obsoleta, y las modificaciones regionales ambientales podrían estar muy lejos de las que imaginaron los proyectistas.

1.4 La dificultad de predecir

Cuando se concibe un proyecto entran en acción una cadena de eventos que modifican el estado del ambiente y su calidad. Por ejemplo, una carretera puede cambiar el aspecto del paisaje, afectar el hábitat de algunas especies y modificar así el sistema biológico entero en esa área. La misma carretera afecta el valor de la tierra, ambientes recreativos y a la economía regional. Estos factores están relacionados, así que el resultado neto es difícil de predecir. Sin embargo, aún cuando el proyecto no fuera realizado, el ambiente de todas formas estaría sujeto a:

- a) Gran variabilidad, por ejemplo, debida a los ciclos astronómicos diarios y anuales; variaciones del clima; ciclos ecológicos naturales y sucesiones;
- b) Tendencias irreversibles de origen natural, por ejemplo la eutroficación de los lagos; tendencias a largo plazo de la composición de los suelos, etcétera, y
- c) Tendencias irreversibles debidas a la combinación de factores naturales e inducidos por el hombre, por ejemplo, salinización de suelos, sobrepastoreo, etcétera.

Uno de los problemas para el asesor en los estudios de impacto ambiental, como lo indica la Figura 1.1, es identificar los varios componentes del cambio ambiental debido a las influencias interactuantes del hombre y la naturaleza.

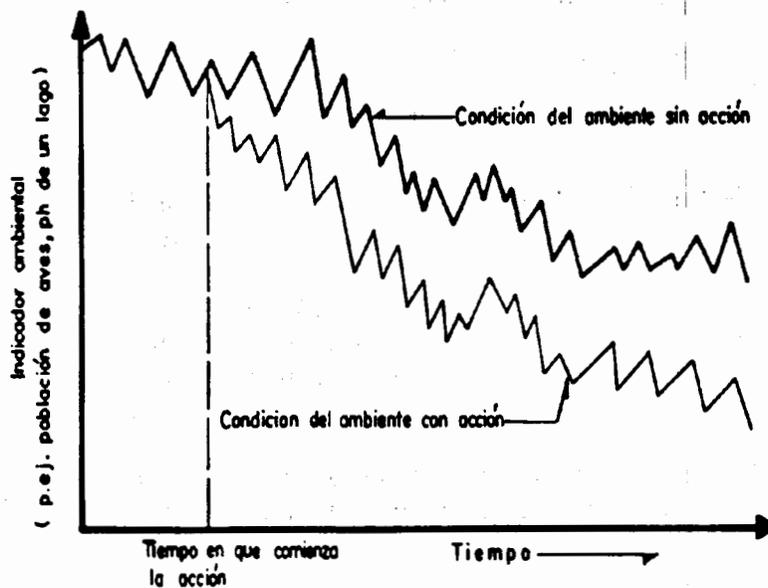


Figura 1.1 Estructura conceptual para la evaluación de los cambios ambientales.

Apéndice E.	Relación de Normas Técnicas Ecológicas publicadas sobre Prevención y Control de la Contaminación por Residuos Peligrosos	239
Apéndice F.	Relación de Normas Técnicas Ecológicas publicadas sobre Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica	241
Apéndice G.	Relación de Criterios Ecológicos de Ordenamiento Ecológico para el Sector Eléctrico	247
Apéndice H.	Relación de Normas Técnicas Ecológicas publicadas sobre Conservación Ecológica de los Recursos Naturales	249
Apéndice I.	Listado de las características ambientales y acciones propuestas en la matriz de Leopold	251
BIBLIOGRAFIA		257

PROLOGO

No es materia de discusión la necesidad que tiene actualmente nuestro país de incrementar tanto su productividad como su aparato productivo en general, así como tampoco lo es el hecho de que una gran cantidad de nuestros recursos naturales renovables se encuentran, en algunas regiones, sumamente deteriorados o incluso en vías de extinción. Esto último ha sido el resultado de un largo y continuo proceso de uso irracional y desmedido de los recursos: suelo, agua, flora y fauna por parte del hombre, el que abusa de ellos en forma indiscriminada.

Es indispensable destacar la importancia que tienen los diversos recursos citados dentro de los procesos productivos que se desarrollan en el país, situación a la que se había prestado escasa atención, teniéndose el caso de muchos planes proyectados para lograr el desarrollo o aprovechamiento de una zona y de sus recursos por largo tiempo y que a corto plazo dejan de rendir los frutos esperados debido al agotamiento o inutilización de elementos no considerados en la concepción original del proyecto.

Por todo lo antes citado, se hace evidente la necesidad insoslayable de establecer mecanismos que coadyuven a lograr el equilibrio dinámico entre el desarrollo económico, cultural y la conservación y uso racional de nuestros recursos naturales renovables buscando que la planeación de los proyectos futuros se realice en forma integral para que estos rindan frutos de manera rentable, aún en el largo plazo.

Las instituciones que tienen a su cargo la formación de ingenieros son quienes en primera y principal instancia podrían participar en esta toma de conciencia puesto que es en ellas donde los estudiantes reciben los conocimientos básicos. Por esta razón es importante que los centros de estudio adecúen sus planes y programas para contemplar a lo largo de la carrera, consideraciones ecológicas como parte inherente de los proyectos de ingeniería.

La Facultad de Ingeniería de la UNAM a través de la División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica estableció a partir del primer semestre de 1981 en el Plan de Estudios de la Carrera de Ingeniería Civil la asignatura Ingeniería Ecológica, cuyo contenido se revisó y actualizó transformándose en la asignatura de Impacto Ambiental, materia obligatoria dentro del Plan de

IMPACTO AMBIENTAL

Estudios de 1990. Gracias a esta materia el estudiante independientemente de la rama de la carrera por la que se incline, ya sea hidráulica, sanitaria, estructuras, construcción, sistemas o geotecnia, tendrá en cuenta los cuidados que deben tenerse al proyectar una obra, buscando su integración adecuada al medio y que, sin descuidar los beneficios, se produzcan afectaciones mínimas al ambiente. Esta asignatura contribuye indudablemente a que el estudiante se sensibilice y comprenda mejor la necesidad de cuidar el ambiente y la importancia de su participación como profesional para lograr tal fin.

Estos apuntes fueron preparados para la impartición del curso semestral de Impacto Ambiental para estudiantes de Ingeniería Civil. Los temas se adaptan al programa actualmente vigente en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En el Capítulo 1 "Introducción al estudio del impacto ambiental" se establecen las herramientas básicas del curso como son el principio de conservación de la masa y los principios bajo los cuales operan los ecosistemas.

En los Capítulos 2 a 4 se analizan los impactos potenciales de las obras de ingeniería civil clasificadas en obras de uso y manejo del agua, de sistemas de transporte y de edificación; así como las posibles medidas de mitigación de los impactos negativos.

El Capítulo 5 trata acerca de la Legislación Nacional en materia de Impacto Ambiental actualmente vigente, incluyéndose en los apéndices un extracto de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, el texto íntegro del Reglamento de la Ley en materia de Impacto Ambiental, así como un listado de las Normas Técnicas Ecológicas expedidas a la fecha.

Finalmente el Capítulo 6 aborda la metodología y las técnicas más usadas en nuestro país para la evaluación del impacto ambiental.

La Facultad de Ingeniería de la UNAM y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua han aunado sus esfuerzos para la elaboración de estos apuntes. A pesar del empeño puesto habrán de aparecer errores, por lo que suplicamos la comprensión de los lectores así como su participación para hacer llegar a los autores las críticas y sugerencias que consideren contribuirán a mejorar las futuras ediciones.

Ciudad Universitaria, D.F abril de 1992

La predicción de los impactos sobre el ambiente requiere modelar las acciones de la actividad a estudiar e inferir las respuestas antes de llevar a cabo la acción. La predicción ahorrará costo, tiempo y daños en el ambiente.

La ingeniería civil tiene como objetivo la transformación de la naturaleza en obras de servicio colectivo, lo que implica el uso de los recursos naturales. Una de las más importantes justificaciones para tratar de predecir las modificaciones ambientales como resultado de los proyectos de desarrollo es que, a pesar de los avances en la ciencia y la tecnología, seguimos dependiendo irrevocablemente de la energía de los sistemas naturales. Estos sistemas suplen nuestras necesidades de alimento, respiración y fuentes de agua. La administración de recursos tales como la agricultura y los terrenos forestales, las aguas provenientes de ríos y otras fuentes, las regiones urbanas e industriales, etcétera, modifican la provisión de nutrientes, alteran el paisaje y el ciclo hidrológico, difunden contaminantes, alteran la dinámica de las poblaciones de especies, desde las formas más elementales de las plantas y animales hasta las comunidades humanas. Si no entendemos el funcionamiento y las interacciones entre los sistemas que en conjunto constituyen la Tierra, no será posible administrarlos aprovechando al máximo los beneficios que de ellos pueden derivarse.

La predicción de los impactos sobre el ambiente puede estar basada en el juicio profesional, experiencia, evidencia experimental o modelos cuantitativos. La predicción debe indagar la naturaleza, magnitud, duración, extensión, nivel de confianza y certidumbre de los impactos predichos.

No existe un método óptimo de predicción que pueda ser usado en todos los problemas; la selección del método depende de los recursos disponibles. Los métodos de predicción más usuales en los estudios de impacto ambiental son: modelos matemáticos y físicos, y la opinión de expertos.

Los modelos matemáticos se utilizan para predecir el impacto en la calidad del aire, agua y niveles de ruido, por ejemplo. Se han desarrollado diversos modelos simples que han sido probados y que se pueden aplicar cuando se tienen restricciones en costo y tiempo. Sin embargo, la predicción de algunos problemas requiere la construcción de modelos específicos.

La construcción de un modelo que represente un sistema es importante por diversos motivos. En primer término la construcción de un modelo exige dedicación, se deberá reunir información y conocimientos referentes al sistema y desplegarlos dentro del marco de un formato bien definido. Durante este proceso se identificarán los aspectos menos comprendidos, así como fallas en la información y aquellos aspectos que requieren un estudio adicional.

Los modelos sirven además como elementos de comunicación, de inapreciable valor para sintetizar los conocimientos de muchas personas de distintas especialidades, a fin de enfocar problemas de naturaleza interdisciplinaria. Finalmente, así como la construcción y cuantificación de un modelo teóricamente válido es indicio de que por lo menos se ha logrado cierta comprensión del sistema y de la dinámica de su comportamiento, la incapacidad de construir un modelo de esta naturaleza posiblemente se deberá a una comprensión limitada del problema. Si la comprensión no es suficiente para permitirnos construir el modelo de un sistema, tampoco lo será para que podamos administrarlo.

Los modelos matemáticos formales Figura 1.2, a veces resultan muy teóricos, están basados en datos limitados o probablemente no han sido probados ampliamente en la práctica. Pueden requerir niveles altos de información, ser aplicables en situaciones específicas, resultar costosos y emplear mucho tiempo.

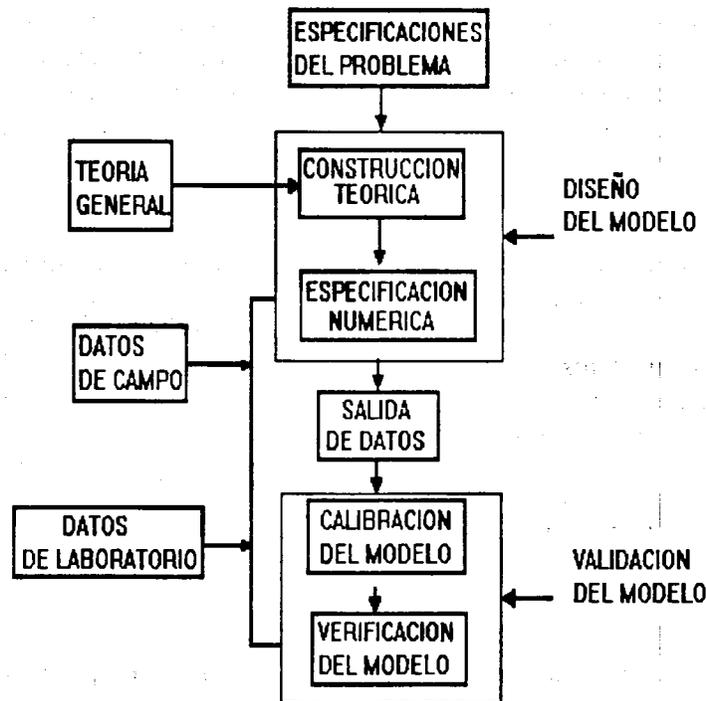


Figura 1.2 Modelos matemáticos

Los modelos físicos se desarrollan para predecir el transporte de contaminantes en el agua y aire bajo condiciones complejas, donde otros modelos no son confiables. El desarrollo de estos modelos puede resultar muy costoso y presentar problemas considerables al tratar de representar en forma acertada la situación real.

El juicio de expertos se puede requerir en conjunto con los modelos anteriores o cuando estos no sean factibles; resulta útil cuando la predicción es compleja. Esta predicción está basada en la interpretación de una persona o grupo de personas que no necesariamente cuentan con experiencia de situaciones similares al proyecto en cuestión.

En el siguiente apartado se proporcionan algunos ejemplos sencillos con respecto a la construcción de modelos matemáticos de calidad del ambiente.

1.5 Construcción de modelos matemáticos de calidad del ambiente

En forma simple el ambiente puede definirse como "lo que nos rodea". Sin embargo en términos de lo que involucra al impacto ambiental, se requiere una definición más específica. Ambiente puede ser definido como el conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un lugar y tiempo determinados.

Para la construcción de modelos de calidad del ambiente se requiere delimitar el área específica de estudio o sistema (Figura 1.3). Un sistema se define como cualquier porción específica del universo que se selecciona para su estudio. El sistema puede ser la atmósfera de una ciudad, la porción de un río, un estrato de suelo, el volumen de material líquido contenido en el tanque de una planta de tratamiento, etcétera.

Considérese como sistema de estudio un lago en el que interesa saber en un tiempo t cualquiera, cuál es la cantidad de peces existente. Para responder a la pregunta se tendría que considerar lo siguiente: a) cuál es la cantidad que entra al sistema, b) la cantidad que sale, c) la cantidad que se produce y d) la cantidad de peces que se remueven del sistema.

Los peces que entran al sistema son los que transportan los arroyos que llegan al lago; los peces que salen del sistema incluyen aquellos que se pescan; finalmente, en el sistema los peces se reproducen y habría remoción cuando algún pez muriera y se degradara en el lago.

En el ejemplo anterior, para poder evaluar la cantidad de peces que se acumula en el lago, se utiliza el principio de conservación de la masa, el cual establece que lo que entra menos lo que sale del sistema es igual a lo que se almacena más o menos lo que se transforma. Para hacer un balance material el primer paso es dibujar la región del sistema que será analizada. En seguida se definen las fronteras a través de las cuales fluye la masa. En ingeniería esto se hace dibujando diagramas simplificados en los cuales se representa con bloques los reactores, tanques y sistemas naturales, y con líneas y flechas se indica el flujo de materia (Figura 1.3). Las fronteras del sistema se dibujan de modo que los cálculos puedan hacerse de la manera más simple posible. A continuación se escriben las ecuaciones de balance material para obtener las entradas, salidas o acumulaciones, o para demostrar que se ha tomado en cuenta todos los componentes comprobando que el balance material "cierra".

La ecuación de balance de masa en su forma más general es :

Almacenamiento = entradas - salidas + producción - remoción

ó

$$A = F_e - F_s + P - R \quad (1.1)$$

donde:

A = acumulación;

F_e = flujo entrante que cruza la frontera del sistema;

F_s = flujo saliente que cruza la frontera del sistema;

P = producción total = pV , siendo p la producción puntual y V el volumen del sistema; y

R = remoción total = rV , siendo r la remoción puntual.

Por ejemplo, si lo que se estudia es la masa en el sistema, el problema es que ésta no es constante a lo largo del tiempo. Si denominamos M la masa del sistema, se tendría:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = F_e - F_s + P - R \quad (1.2)$$

Por otra parte se denomina concentración y se representa con χ , al cociente M/V , siendo V el volumen del sistema; entonces, para una dimensión la ecuación (1.2) puede escribirse:

$$\frac{dV\chi}{dt} = F_e - F_s + P - R \quad (1.3)$$

Estas ecuaciones expresan el Principio de Conservación de la Masa.

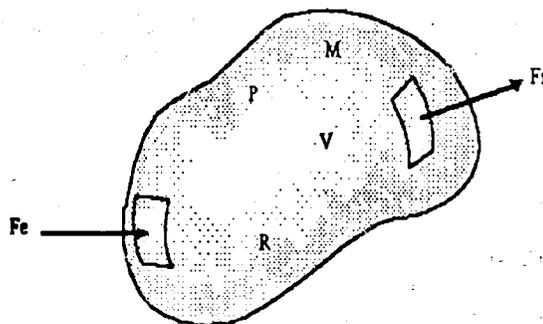


Figura 1.3 Principio de conservación de la masa en un sistema.

Problema Ejemplo 1.1

Las aguas pluviales de una ciudad son conducidas por la red de alcantarillado hasta un lago artificial. Los exámenes de laboratorio efectuados a las muestras de agua descargada indican que contiene plomo en forma disuelta y particulada cuyo origen está en la contaminación atmosférica. La forma particulada del plomo se sedimenta en el fondo y a corto plazo no está disponible a los peces, pero la forma disuelta sí lo está. La lluvia sobre el lago es despreciable, y la masa de plomo liberada del lodo del fondo a los organismos, es el 10% de la carga particulada anual. ¿Cuál es la acumulación anual de plomo en la biomasa, si la descarga anual de agua pluvial es de 10^8 litros con una concentración promedio de plomo de 0.25 mg/l, del cual 20% esta en forma disuelta?. El sistema no tiene salidas (efluente) y no se permite la pesca.

Solución:

Del principio de conservación de la masa (ec.1.1), se tiene:

$$A = F_e - F_s + P - R$$

donde,

F_e = plomo disuelto + plomo particulado reciclado;

$F_s = 0$;

$P = 0$; y

$R = 0$.

Entonces,

$$A = F_e = 10^8 \frac{\text{L}}{\text{año}} \left(\overset{\text{disuelto}}{0.20} \right) \left(0.25 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) +$$

$$+ 10^8 \frac{\text{L}}{\text{año}} \left(\overset{\text{particulada}}{1 - 0.20} \right) \left(\overset{10\%}{0.10} \right) \left(0.25 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

$$A = 7 \times 10^6 \frac{\text{mg}}{\text{año}}$$

que es la cantidad anual de plomo que se acumula en los organismos que habitan el lago.

1.5.1 Sistema cerrado bien mezclado

La Figura 1.4 muestra un sistema cerrado, o sea que no tiene flujo entrante ni saliente, bien mezclado, que contiene un material radiactivo. A este sistema se le denomina comúnmente Batch.

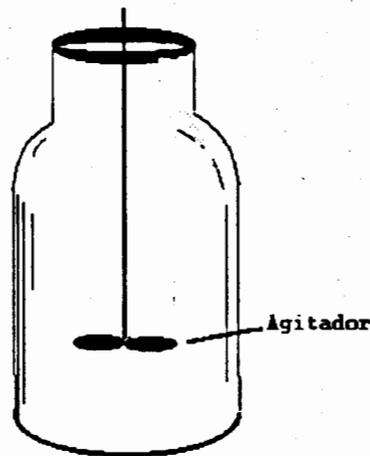


Figura 1.4 Sistema cerrado o batch

Si la concentración inicial del material radiactivo es χ_0 , se desea saber cuánto valdrá la concentración después de cierto tiempo. Aplicando el principio de conservación de la masa (ec.1.3) se tiene:

$$\frac{dV\chi}{dt} = F_e - F_s + P - R$$

donde F_e y F_s no existen, pues el sistema es cerrado, y no hay producción de material radiactivo en su interior. Entonces la ecuación (1.3) se escribe:

$$\frac{dV\chi}{dt} = -R = -rV \tag{1.4}$$

Por otra parte, por ser cerrado el sistema, el volumen es constante.

Se sabe que la degradación de un material radiactivo es proporcional a su concentración, es decir:

$$r_{\text{radiactiva}} = K_{\text{rad}} \chi \tag{1.5}$$

Sustituyendo la ecuación (1.5) en (1.4), se tiene:

$$\frac{Vd\chi}{dt} = -K_{\text{rad}} \chi V$$

$$\frac{dx}{dt} = -K_{rad} x$$

Integrando

$$\frac{dx}{x} = -K_{rad} dt$$

$$\int_{x_0}^x \frac{dx}{x} = -K_{rad} \int_{t=0}^t dt$$

$$\ln x \Big|_{x_0}^x = -K_{rad} t \Big|_{t=0}^t$$

$$\ln x - \ln x_0 = -K_{rad} t$$

$$x = x_0 e^{-K_{rad} t} \quad (1.6)$$

La representación gráfica de la ecuación (1.6) se presenta en la Figura 1.5, y muestra cómo al transcurrir el tiempo, la concentración de un material radiactivo en un sistema cerrado, bien mezclado se reduce exponencialmente.

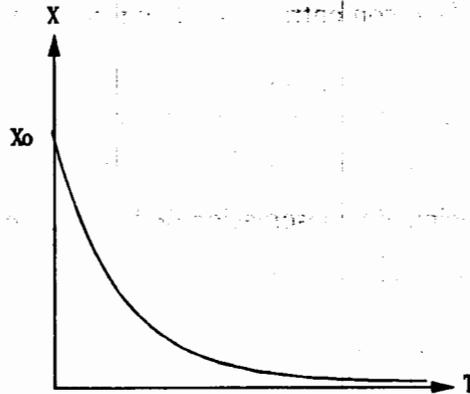


Figura 1.5 Representación gráfica de la ecuación (1.6)

1.5.2 Sistema bien mezclado, con entradas y salidas

Considérese ahora un sistema bien mezclado, con una entrada, una salida y con remoción de material radiactivo, como el mostrado en la Figura (1.6).

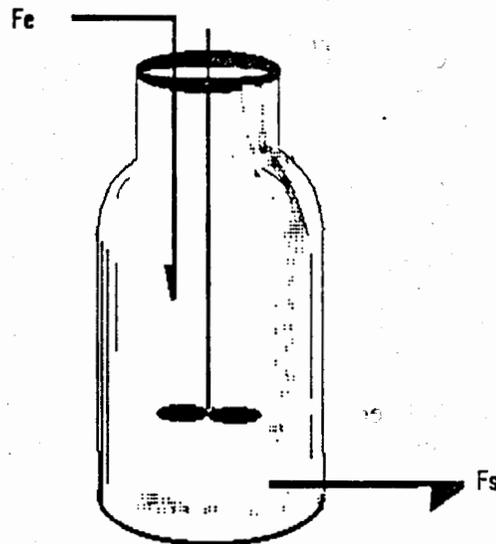


Figura 1.6 Sistema bien mezclado con entrada, salida y remoción de material radiactivo.

Como en el caso anterior, se desea conocer la concentración del material contaminante después de cierto tiempo.

Nuevamente, aplicando el principio de conservación de la masa, se tiene:

$$\frac{d\chi V}{dt} = F_e - F_s + P - R$$

En este caso, los flujos de entrada y salida pueden expresarse en función de los gastos respectivos, entonces:

$$F_e = Q_e \chi_e$$

$$F_s = Q_s \chi$$

siendo Q_e y Q_s los gastos de entrada y salida, respectivamente. Como en el caso anterior, la producción de material radiactivo en el sistema es nula. Así,

$$\frac{d\chi V}{dt} = Q_e \chi_e - Q_s \chi - K_{rad} V \chi$$

como V es constante, esto implica que $Q_e = Q_s$ y $r = K_{rad} \chi$, se tiene:

$$\frac{d\chi}{dt} = \frac{Q_c \chi_c - Q\chi}{V} - K_{rad}\chi \quad (1.7)$$

Se denomina **tiempo de retención** y se representa con θ , al tiempo que tarda el material desde la entrada a la salida del sistema sin renovarse, y se expresa como:

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad (1.8)$$

en términos de la expresión (1.8), la ecuación (1.7) queda

$$\frac{d\chi}{dt} + \frac{1}{\theta}(\chi - \chi_c) = -K_{rad}\chi$$

separando variables

$$\frac{d\chi}{dt} + \chi\left(\frac{1}{\theta} + K_{rad}\right) = \frac{\chi_c}{\theta}$$

haciendo un cambio de variable, se tiene:

$$a = \left(\frac{1}{\theta} + K_{rad} \right)$$

$$b = \frac{\chi_c}{\theta}$$

entonces

$$\frac{d\chi}{dt} = b - a\chi$$

integrando

$$\int_{\chi} \frac{d\chi}{b - a\chi} = \int_0^t dt$$

Haciendo $u = b - a\chi$ y completando la integral $du = -a d\chi$, se tiene :

$$-\frac{1}{a} \int_{u_0}^{u} \frac{du}{u} = -\frac{1}{a} (\ln u) + \frac{1}{a} (\ln u_0) = -t$$

Multiplicando por -1, sustituyendo variables y despejando la concentración

$$\frac{1}{a} (\ln u) - \frac{1}{a} (\ln u_0) = -t$$

$$\frac{1}{a} (\ln \frac{u}{u_0}) = -t$$

$$\ln \frac{u}{u_0} = -at$$

$$u = u_0 e^{-at}$$

$$b - a\chi = (b - a\chi_0) e^{-at}$$

$$\chi = \frac{(b - (b - a\chi_0) e^{-at})}{a} = \frac{b}{a} - \frac{(b - a\chi_0) e^{-at}}{a}$$

$$\chi = \frac{b}{a} (1 - e^{-at}) + \chi_0 e^{-at}$$

$$\chi = \frac{\chi_c}{\theta(\frac{1}{\theta} + K_{rad})} (1 - e^{-(\frac{1}{\theta} + K_{rad})t}) + \chi_0 e^{-(\frac{1}{\theta} + K_{rad})t}$$

$$\chi = \frac{\chi_c}{1 + K_{rad}\theta} (1 - e^{-(\frac{1}{\theta} + K_{rad})t}) + \chi_0 e^{-(\frac{1}{\theta} + K_{rad})t} \dots (1.9)$$

Si inicialmente el frasco no contiene material radiactivo, entonces la concentración inicial es cero ($\chi_0 = 0$) y la representación gráfica de la ecuación (1.9) sería como la mostrada en la Figura 1.7.

$$\chi = \frac{\chi_c}{1 + K_{rad}\theta} (1 - e^{-(\frac{1}{\theta} + K_{rad})t}) \quad (1.10)$$

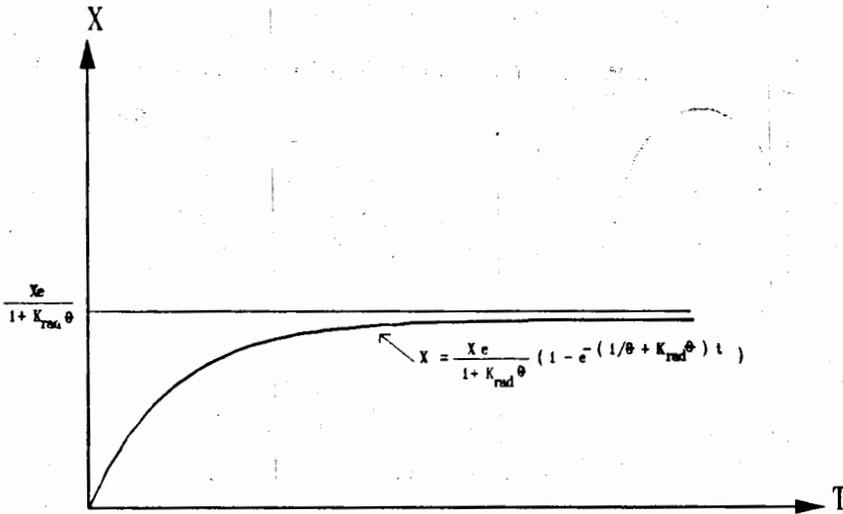


Figura 1.7 Representación gráfica de la ecuación (1.9)

Obsérvese que en la ecuación (1.10), cuando t tiende al infinito, la expresión entre paréntesis tiende a 1, y la concentración se dice que está en el equilibrio o estado estacionario

$$x = \frac{x_e}{1 + K_{rad} \theta} \quad (1.11)$$

El estado estacionario es ideal puesto que todos los sistemas cambian con el tiempo, pero tiene realidad física en términos de cantidades promedio.

Si el frasco contiene inicialmente material radiactivo, la representación gráfica de la ecuación (1.9) es como se muestra en la Figura (1.8).

Se entiende por vida media de una sustancia degradable, el tiempo que tarda en alcanzar una concentración igual a la mitad de la inicial. Entonces, si t_m es dicho periodo resulta de la ecuación (1.6)

$$t_m = \frac{\ln \frac{x_0}{x}}{K_{rad}}$$

como

$$\frac{x}{x_0} = 0.5 \text{ es decir } \frac{x_0}{x} = 2,$$

entonces

$$t_m = \frac{\ln 2}{K_{rad}}$$

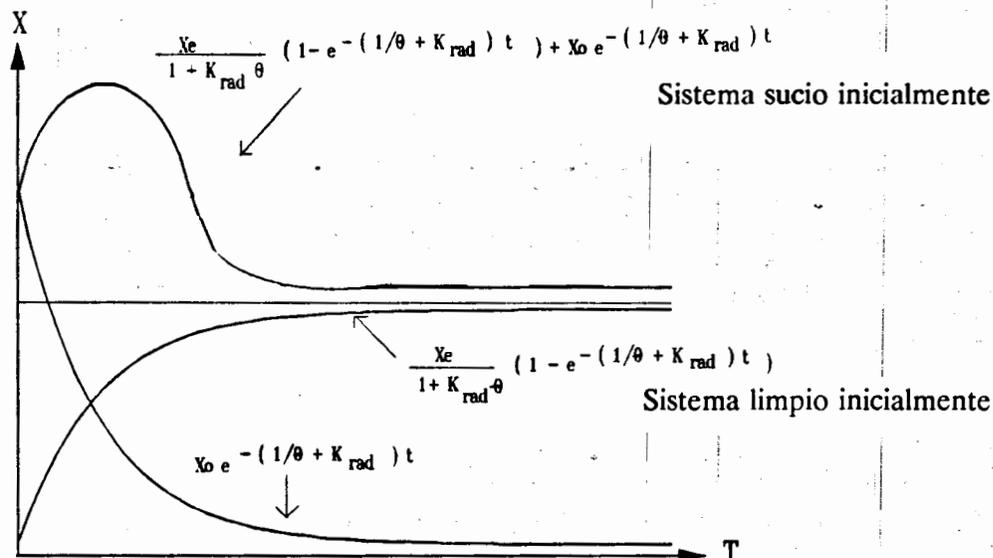


Figura 1.8 Representación gráfica de la ecuación (1.9) cuando el sistema no está limpio inicialmente.

$$t_m = \frac{0.693}{K_{rad}} \quad (1.12)$$

Problema Ejemplo 1.2

Una sustancia radiactiva que tiene una vida media de una día ($t_m = 1$ día) y una concentración de 10 mg/l se descarga continuamente en un pequeño estanque (Figura 1.9). El gasto influente es de 0.15 m³ /s y el sistema no contiene material radiactivo inicialmente.

- ¿Cuánto vale la concentración en un frasco después de 5 días de haber tomado la muestra en la entrada del estanque?.
- ¿Cuánto vale la concentración en el efluente 5 días después de iniciadas las descargas?.
- Determinar la concentración en el efluente en condiciones de equilibrio o de estado estacionario

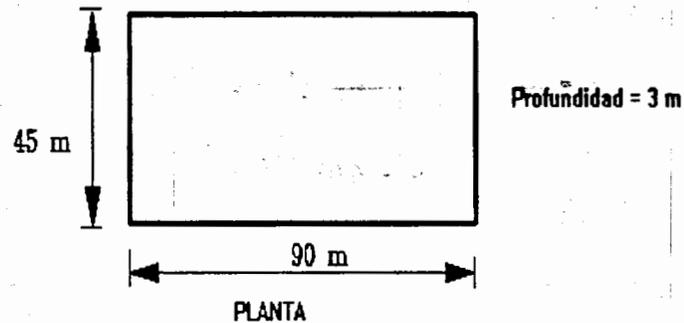


Figura 1.9 Estanque del problema 1.2

Solución:

- a) Se trata de un sistema cerrado o Batch

$$x = x_0 e^{-K_{\text{rad}} t}$$

Se desconoce el valor de la constante de degradación del material radiactivo K_{rad} , sin embargo, se indica en los datos del problema que la sustancia radiactiva tiene una vida media de 1 día, entonces a partir de la ecuación (1.12)

$$K_{\text{rad}} = \frac{0.693}{t_m} = \frac{0.693}{1} = 0.693 \text{ día}^{-1}$$

Aplicando la ecuación del sistema Batch, se tiene

$$x = 10e^{-0.693(5)}$$

$$x = 0.313 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

- b) Asumiendo que el sistema es bien mezclado y que no se tiene material radiactivo inicialmente en el sistema, de la ecuación (1.8)

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{90 \times 45 \times 3}{0.15} = 81000 \text{ seg} = 0.94 \text{ día}^{-1}$$

Sustituyendo en la ecuación 1.10

$$x = \frac{10}{1 + (0.693)(0.94)} (1 - e^{-\left(\frac{1}{0.94} + 0.693\right)(5)})$$

$$x = 6.05 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

- c) Aplicando la ecuación del estado estacionario

$$x = \frac{x_e}{1 + K_{rad} \theta} = \frac{10}{1 + 0.693 (0.94)} = 6.05 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Al comparar el resultado obtenido en el inciso b) con el c), se observa que para propósitos prácticos 5 días fue el tiempo infinito.

1.5.3 Sistema de flujo pistón

Otro sistema ampliamente usado para modelar los procesos naturales es el reactor de flujo pistón. En él se asume que el flujo es unidireccional, la velocidad constante a lo largo del sistema y la dispersión despreciable, (Figura 1.10)

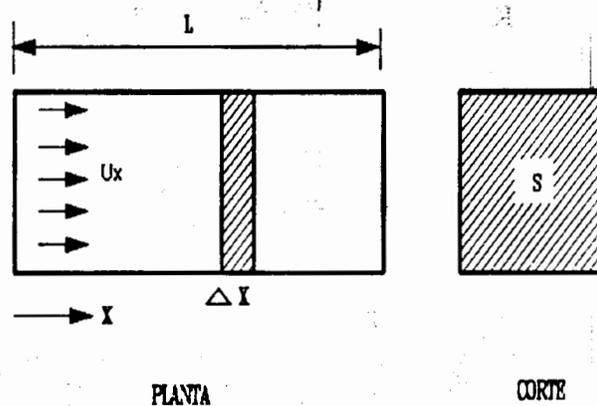


Figura 1.10 Flujo Pistón.

Se usará el principio de conservación de la masa para desarrollar la ecuación básica del flujo pistón.

$$A = F_e - F_s + P - R$$

Asumiendo que el sistema opera en estado estacionario, entonces la acumulación es cero, es decir no hay variación de la masa con respecto al tiempo. Igualmente, la producción es cero. Sea S , la superficie de la sección transversal del reactor F_e y F_s , los flujos volumétricos de entrada y salida respectivamente, constantes a través del eje x .

Por otra parte $F_e = Q\chi_e$ y $F_s = Q\chi$, donde Q es el gasto hidráulico y u es la velocidad de la corriente de tal forma que $Q = uS$.

Considerando un pistón de longitud Δx como se muestra en la Figura 1.10, aplicando el principio de conservación de la masa, se tiene:

$$Q\chi_{ex} - Q\chi_{x+\Delta x} - R = 0$$

Donde $R = rV = K_{rad} \chi V$, para un material radiactivo. Dividiendo por $S\Delta x$ y sustituyendo $Q = uS$, tenemos:

$$\frac{u(\chi_{ex} - \chi_{x+\Delta x})}{\Delta x} - K_{rad} \chi = 0$$

haciendo que Δx se aproxime a cero y tomando el límite

$$\frac{u d\chi}{dx} + K_{rad} \chi = 0$$

ó

$$\frac{d\chi}{\chi} = -\frac{K_{rad}}{u} dx$$

Integrando

$$\int_{\chi_e}^{\chi} \frac{d\chi}{\chi} = -\frac{K_{rad}}{u} \int_{x=0}^{x=L} dx$$

$$\ln \chi \Big|_{\chi_e}^{\chi} = -\frac{K_{rad}}{u} \times t$$

$$\ln \chi - \ln \chi_e = -\frac{K_{rad} L}{u}$$

$$\ln\left(\frac{\chi}{\chi_e}\right) = -\frac{K_{rad} L}{u}$$

$$\frac{\chi}{\chi_e} = e^{-\frac{K_{rad} L}{u}}$$

$$\chi = \chi_e e^{-\frac{K_{rad} L}{u}} \quad (1.13)$$

Problema ejemplo 1.3

Un canal recibe una descarga de un material radiactivo, con $K = 0.783 \text{ día}^{-1}$. La concentración del material radiactivo al mezclarse con las aguas del canal es de 3.75 mg/l . Considerando estado estacionario, calcular la concentración de dicho material a 1 km del lugar de descarga, Figura 1.11. El gasto de descarga es de $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ y el del canal es $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

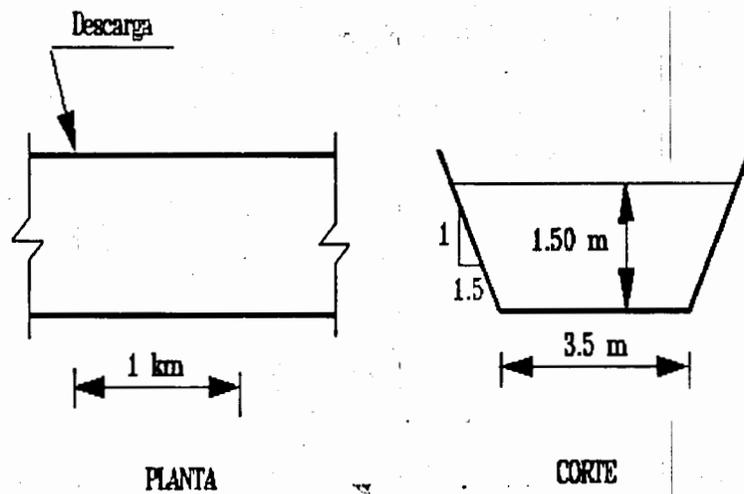


Figura 1.11 Canal del problema 1.3

Solución:

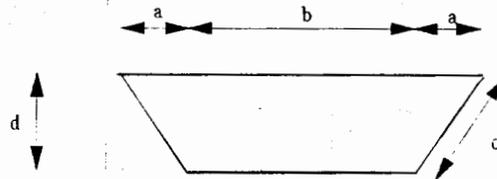
1. Se trata de un sistema flujo pistón cuya ecuación es

$$\chi = \chi_c e^{-K_{ad} \frac{L}{u}}$$

2. Cálculo de la velocidad media u en el canal

$$Q = Au, \Rightarrow u = \frac{Q}{A}$$

Donde A es el área hidráulica del canal



Corte transversal del canal del problema 1.3

$$A = \frac{(2a+b)d}{2} = d(a+b)$$

Pero el talud del canal se expresa por la relación de su proyección horizontal a su proyección vertical, es decir :

$$m = \frac{a}{d} \Rightarrow a = md$$

$$A = d(md+b) = md^2 + bd$$

Sustituyendo

$$A = (1.50)^2 + 3.50 \times 1.50 = 7.5 \text{ m}^2$$

$$u = \frac{(2+10)}{7.50} = 1.60 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 138240 \frac{\text{m}}{\text{día}}$$

3. Cálculo de la concentración a 1 km de la descarga

$$\chi = 3.75 e^{-0.783 \left(\frac{1000}{138240} \right)}$$

$$\chi = 3.73 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

1.5.4 Transferencia de gases

La transferencia de gases dentro y fuera del agua es una parte importante de los procesos naturales de purificación. La reposición del oxígeno perdido en la degradación bacteriana de desechos orgánicos es llevada a cabo por la transferencia de oxígeno del aire dentro del agua. Por otra parte, los gases transformados en el agua por procesos químicos y biológicos pueden ser transferidos del agua a la atmósfera. El conocimiento de los principios de transferencia de gases es esencial para entender estos procesos naturales.

Considérese el sistema simple mostrado en la Figura 1.12 en la cual un recipiente con líquido es sellado con un gas sobre él. Si el líquido es inicialmente puro con respecto al gas, las moléculas de gas migrarán a través de la interfase gas-líquido y se disolverán en el líquido. Aunque algunas moléculas de gas comenzarán a dejar el líquido regresando a la fase gaseosa, la reacción neta será hacia el líquido hasta que se alcance un estado de equilibrio. En este punto, el número de moléculas que salen del líquido es igual al número de moléculas que entran otra vez, y se dice que el líquido está saturado del gas. El equilibrio en este caso implica un estado estacionario dinámico, no un estado estático en el que todo movimiento de moléculas de gas se detendría una vez alcanzada la saturación.

Modelo matemático de la solubilidad

La solubilidad de un gas en equilibrio con un líquido se cuantifica con la ley de Henry y se expresa matemáticamente por

$$\chi = \frac{P}{H} \quad (1.14)$$

En la cual χ es la fracción molar en equilibrio del gas disuelto a una atmósfera.

$$\chi = \frac{\text{moles del gas}(\text{ng})}{\text{moles de gas}(\text{ng}) + \text{moles del liquido}(\text{nl})} \quad (1.15)$$

H es el coeficiente de absorción (constante de Henry, la cual es única para cada sistema gas-líquido), y P es la presión del gas arriba del líquido. Otros factores que afectan χ son la temperatura (la solubilidad se incrementa conforme la temperatura decrece) y la concentración de

otros sólidos (la solubilidad decrece conforme se incrementan otros materiales disueltos en el líquido).

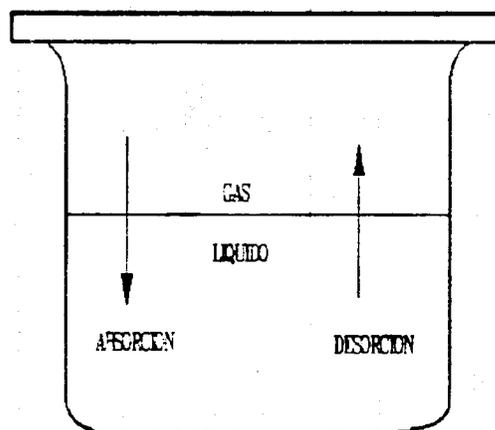


Figura 1.12 Contacto gas- líquido con transferencia de gas entre las dos fases

Si el espacio arriba del líquido es ocupado por una mezcla de gases, cada gas tendrá su propia fracción molar en equilibrio. De acuerdo con la Ley de Dalton, cada gas en una mezcla ejerce una presión parcial en proporción a su porcentaje por volumen en la mezcla; esto es ;

$$PV=(P_1+P_2+P_3+ \dots +P_n)V \quad \text{o} \quad P=\sum P_i$$

Sustituyendo en la ley de Henry, vemos que χ para el i ésimo gas en una mezcla es

$$\chi_i = \frac{P_i}{H_i} \quad (1.16)$$

En la cual χ_i , H_i , y P_i son, respectivamente, la fracción molar en equilibrio, coeficiente de absorción, y la presión parcial del i ésimo gas.

Los coeficientes de absorción o coeficientes de Henry varían sustancialmente con la temperatura, los valores de varios gases comúnmente encontrados en aguas naturales se muestran en el Cuadro 1.1.

Cuadro 1.1

T, °C	10 ⁺⁴ , atm/ fracción molar							
	Aire	CO ₂	CO	H ₂	H ₂ S	CH ₄	N ₂	O ₂
0	4.32	0.0728	3.52	5.79	0.0268	2.24	5.29	2.55
10	5.49	0.104	4.42	6.36	0.0367	2.97	6.68	3.27
20	6.64	0.142	5.36	6.83	0.0483	3.76	8.04	4.01
30	7.71	0.186	6.20	7.29	0.0609	4.49	9.24	4.75
40	8.70	0.233	6.96	7.51	0.0745	5.20	10.40	5.35
50	9.46	0.283	7.61	7.65	0.0884	5.77	11.30	5.88
60	10.10	0.341	8.21	7.65	0.1030	6.26	12.00	6.29

La conversión de la fracción molar en equilibrio χ a concentración en equilibrio χ_s , se ilustra en el siguiente ejemplo.

Problema ejemplo 1.4

¿Cuál es la concentración de saturación de oxígeno en agua, cuando el agua está en contacto con aire a una atmósfera y a 20° C ?

Para gases ideales se cumple que:

$$\frac{V_i}{V_t} = \frac{P_i}{P_t}$$

El aire seco contiene un 21 % aproximadamente de oxígeno por lo tanto,

$$\frac{V(O_2)}{V_t} = \frac{P(O_2)}{P_t} = 0.21$$

De donde se obtiene la presión parcial del oxígeno

$$P(O_2) = 0.21P_t = 0.21 \times 1 \text{ atm} = 0.21 \text{ atm}$$

Por otra parte, a 20° C la constante de la ley de Henry para O₂ es 4.01 x 10⁴ atm/fracción molar.

Entonces la fracción molar en equilibrio es :

$$\chi = \frac{P(O_2)}{H} = \frac{0.21}{4.01 \times 10^4} = 5.24 \times 10^{-6} \text{ fracción molar.}$$

Además, como una mol es igual a la masa dividida por el peso molecular, en un litro de agua se tiene :

$$n_{H_2O} = \frac{1000 \frac{gr}{l}}{18 \frac{gr}{mol}} = 55.6 \frac{mol}{l}$$

Así, la concentración de saturación en equilibrio χ_s es:

$$\chi_s = 5.24 \times 10^{-6} (55.6) \times 32 \times 1000 = 9.3 \frac{mg}{l}$$

$$[\text{moles } O_2 / \text{moles } H_2O][\text{moles } H_2O / \text{litro}][gr / mol O_2][mg / gr] = [mg / l]$$

1.6 Ecosistemas e ingeniería

Antes de estudiar el impacto de las obras de ingeniería civil en el ambiente, es necesario entender cómo funciona éste normalmente, para que los impactos negativos producidos por las obras de ingeniería civil en todas las etapas de proyecto sean evitados o por lo menos mitigados.

Todas las formas de vida en la Tierra existen en una capa relativamente delgada de aire, agua y suelo circundante a la Tierra. Esta capa se denomina biosfera; en ella todas las partes interactúan y deben funcionar para preservar el sistema en su conjunto. La capa es de aproximadamente catorce kilómetros de espesor desde el fondo del océano a la parte baja de la atmósfera.

La ecología, del griego *oikos*, que significa *casa* o lugar donde se vive, es el estudio de los organismos con su ambiente y fue originada hace unos 100 años.

Para el estudio de la ecología necesitan conocerse conceptos como los que se introducirán a continuación:

Un grupo de individuos de una especie de organismos es llamado **población** y las poblaciones viviendo en una misma área forman una **comunidad**. La comunidad y el medio geofísico con el cual interactúan es un **ecosistema**. El conjunto de todos los ecosistemas conforman la **ecosfera** o **biosfera**.

Un ecosistema puede ser pequeño como una gota de agua o tan grande como nuestro planeta; los límites se seleccionan arbitrariamente de acuerdo con la conveniencia del estudio. Los ecosistemas se clasifican en acuáticos y terrestres; a su vez, los acuáticos pueden ser de agua dulce, estuarinos y marinos, y los terrestres se dividen en bosques, pastizales, desiertos y tundras.

1.6.1 Características de los ecosistemas

La fuente inicial de toda la energía usada por un ecosistema es el sol. Las plantas verdes captan la energía solar durante la fotosíntesis y la almacenan en forma química para uso subsecuente por las plantas mismas o por algún otro organismo que consume a las plantas. Las plantas son llamadas productores o autótrofos (autoalimentación), mientras que los organismos que comen plantas u otros organismos son llamados consumidores o heterótrofos (alimentación de otro). Los consumidores, a su vez, son subdivididos como se muestra en la Figura 1.13.

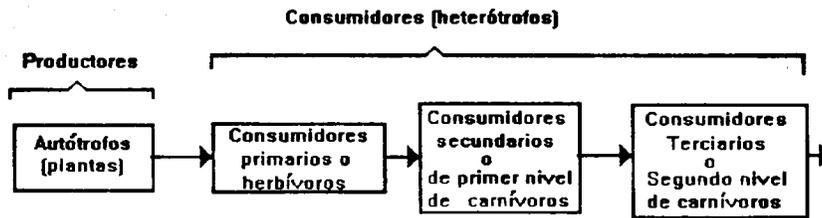


Figura 1.13 Niveles Tróficos

La descripción lineal de relaciones de alimentación mostrada en la Figura 1.13 es llamada cadena alimenticia y cada nivel es llamado nivel trófico. En cada nivel trófico es mayor la energía convertida a calor y raras veces se tienen 4 ó 5 niveles.

Un ejemplo de cadena alimenticia se muestra en la Figura 1.14.

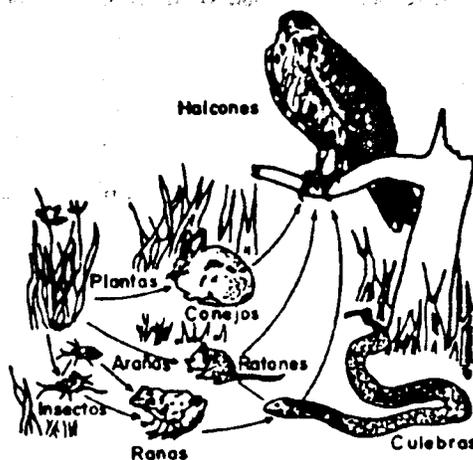


Figura 1.14 Ejemplo de cadena alimenticia.

CUADRO 1.2

<i>Categoría</i>	<i>Elemento</i>	<i>símbolo</i>	<i>Algunas funciones conocidas</i>
<i>Nutrientes Principales</i>	<i>Hidrógeno</i>	<i>H</i>	<i>Universalmente requerido para compuestos orgánicos de células.</i>
	<i>Carbono</i>	<i>C</i>	
	<i>Oxígeno</i>	<i>O</i>	
<i>Macronutrientes</i>	<i>Nitrógeno</i>	<i>N</i>	<i>Constituyente esencial de proteínas y aminoácidos.</i>
	<i>Sodio</i>	<i>Na</i>	<i>Importante ión involucrado en la acción nerviosa.</i>
	<i>Magnesio</i>	<i>Mg</i>	<i>Cofactor de muchas enzimas, tal como la clorofila.</i>
	<i>Fósforo</i>	<i>P</i>	<i>Universalmente involucrado en reacciones de transferencia de energía y ácidos nucleicos.</i>
	<i>Azufre</i>	<i>S</i>	<i>Encontrado en proteínas y otras sustancias importantes.</i>
	<i>Cloro</i>	<i>Cl</i>	<i>Uno de los aniones más grandes.</i>
	<i>Potasio</i>	<i>K</i>	<i>Importante ión involucrado en conducción nerviosa y contracción muscular.</i>
<i>Algunos micronutrientes (Elementos traza)</i>	<i>Boro</i>	<i>B</i>	<i>Importante en plantas, probablemente como cofactor de enzimas.</i>
	<i>Silicio</i>	<i>Si</i>	<i>Encontrado abundantemente en muchas formas inferiores, tal como diatomeas.</i>
	<i>Manganeso</i>	<i>Mn</i>	<i>Cofactor de muchas enzimas</i>
	<i>Hierro</i>	<i>Fe</i>	<i>Cofactor de muchas enzimas oxidativas, tal como hemoglobina</i>
	<i>Cobre</i>	<i>Cu</i>	<i>Cofactor de muchas enzimas oxidativas</i>
	<i>Zinc</i>	<i>Zn</i>	<i>Cofactor de muchas enzimas, como la insulina</i>

La Figura 1.16 muestra algunos ejemplos de actividades humanas que pueden afectar el funcionamiento de un ecosistema. La contaminación del aire perjudica a la salud del hombre, daña a las especies vegetales y animales, la superficie de los materiales y además reduce la cantidad de luz solar almacenada por los productores. Por otro lado, la combustión de combustibles fósiles incrementa el bióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera lo que produce efectos sobre el clima; el uso de pesticidas altera también el balance de los ecosistemas. La descarga de desechos sin tratar dentro de los sistemas acuáticos aumenta la actividad de los descomponedores y sobrecarga el ecosistema con nutrientes, favoreciendo el crecimiento excesivo de los productores.

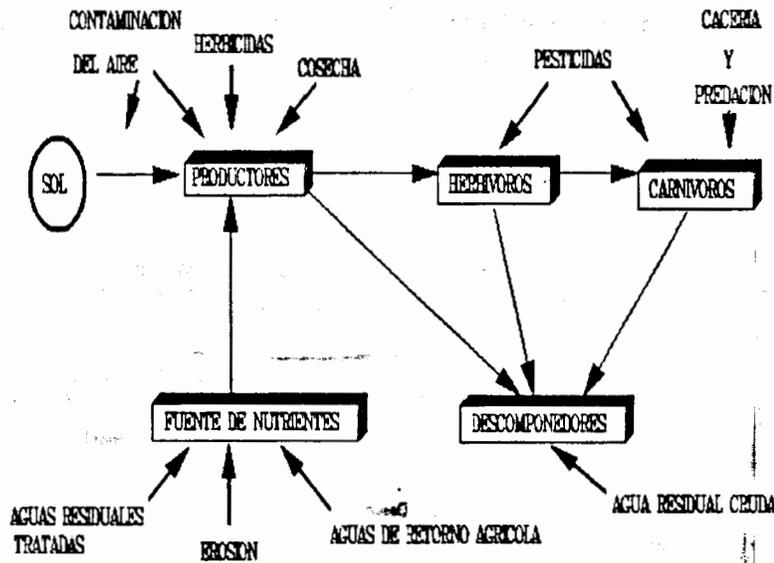


Figura 1.16 Actividades humanas que afectan el funcionamiento del ecosistema.

Considérese como ejemplo de un ecosistema a un lago. En los ecosistemas acuáticos, los productores se consideran de dos tipos: plantas grandes que pueden estar enraizadas al fondo y pequeñas plantas que flotan libremente, normalmente algas, llamadas en general fitoplancton. El fitoplancton no es normalmente visible, aunque le dá al agua un color verdoso; es el principal productor del sistema almacenando energía y liberando oxígeno durante la fotosíntesis.

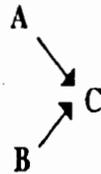
Los consumidores primarios son el bentos, o formas del fondo, y el zooplancton. El zooplancton son diminutos animales con poca o nula habilidad para el nado. Otros consumidores en el sistema son los peces (necton), insectos, hombre, etcétera, y una categoría llamada detritívoros que viven de los detritos orgánicos.

La descomposición de los organismos gracias a las bacterias y hongos, reincorpora nutrientes en el ecosistema, cerrando así el ciclo. Este sistema está balanceado, y es capaz de mantener el agua limpia, sin sobrecarga de nutrientes o desechos. Desafortunadamente, conforme las actividades del hombre se concentran en las ciudades y su tecnología se vuelve más sofisticada, a menudo estos ecosistemas acuáticos son forzados a salir de balance y no desarrollan sus funciones apropiadamente. Las bacterias consumen la materia orgánica y el oxígeno, así el oxígeno disuelto en el agua se reduce por lo que está menos disponible para los peces y las bacterias aerobias. Las algas y el fitoplancton producen oxígeno durante las horas en las que hay sol; así, cuando el cuerpo de agua es presionado por las fuentes externas, la cantidad neta de oxígeno disuelto en el agua puede estar en exceso durante el día pero puede ser deficiente en la noche.

El ciclo de alimentación en un lago se muestra esquemáticamente en la Figura 1.17 y se llama ciclo acuático.

población tienden a estabilizarse al transcurrir el tiempo. El problema más grave sería que se llegue al agotamiento de alguna de las poblaciones citadas en el ejemplo, con la consecuente desaparición de la otra especie de la zona ya sea por mortandad o por emigración.

La pequeña trama siguiente es un poco más compleja; puede ayudar a compensar un cambio en una de las poblaciones. Por ejemplo, si la población A decrece, entonces la C puede cambiar sus modos alimenticios a la presa B, permitiendo que la población A se recupere.



La **diversidad de poblaciones** favorece la estabilidad del ecosistema, un número mayor de especies en una trama alimenticia contiene muchos eslabones conectando las especies.

Este concepto tiene muchas aplicaciones prácticas al hombre, por ejemplo un ecosistema agrícola es extremadamente simple y es muy vulnerable. Si no es manejado con cuidado, puede ser invadido rápidamente por malezas o insectos.

En consecuencia los sistemas ecológicos que tienen tramas alimenticias simples son muy vulnerables y por consiguiente son fácilmente alterables con acciones menores.

CASO ESTUDIO 1.1

Equilibrio ecológico y diversidad de artrópodos de un cafetal

En la región del Soconusco, el **cafeto es tradicionalmente un cultivo mixto**, plantado a la sombra de diferentes árboles, algunos de ellos son restos de selva, pero otros han sido introducidos con el propósito de dar sombra exclusivamente como el chalum y otros, para obtener algunos frutos como el cacao, varios cítricos y el plátano. Es decir que se han formado agroecosistemas mixtos con una variedad de especies vegetales; esto a su vez permite la **existencia** de una comunidad animal en la cual los artrópodos constituyen el grupo más abundante, siendo los más numerosos dentro de éstos los insectos, aunque también son comunes otros como las arañas. En estas condiciones, raramente llegaban a presentarse problemas fitosanitarios de verdadera importancia, por lo cual el uso de los plaguicidas era mínimo. Sin embargo, con la introducción de la roya y de la broca del cafeto se ha ido modificando paulatinamente el manejo de estos agroecosistemas, implantándose entre otras medidas de combate, el desombre y un incremento en el uso de insecticidas. Estas medidas empleadas en forma excesiva, transformarán el cultivo mixto en un monocultivo y reducirán la diversidad de artrópodos, es decir que producirán un **empobrecimiento** de las especies de estos agroecosistemas. Debido a que está cambiando el manejo de los cafetales de la región, y se están

adoptando cada vez más las medidas señaladas, se realizó un estudio en un cafetal poco alterado con objeto de conocer:

- 1.- La diversidad de artrópodos que se encuentran sobre los cafetos, así como su abundancia relativa;
- 2.- La fluctuación poblacional de los grupos más comunes; y
- 3.- Las relaciones tróficas, especialmente las que hay entre los fitófagos y los depredadores más comunes.

Al momento de la publicación de esta investigación (1985) se había trabajado sólo en los dos primeros objetivos. Para esto se muestrearon cada dos semanas, dos cafetos utilizando una aspiradora de insectos D-VAC en combinación con la manta de una red de golpeo.

El material así colectado se mató por congelación y se separó para ser identificado a nivel de familias, cuantificando la abundancia de cada una de ellas. Aunque no se hizo la identificación de cada una de las especies, si se llevó un registro del número de especies diferentes de cada familia por muestra, con lo cual se logra obtener una aproximación del total de especies de cada familia.

Los resultados de un año de muestreos revelan que existe una gran diversidad de artrópodos, pues se han identificado 13 órdenes de insectos, 3 de arácnidos, 4 de ácaros y 1 de miriápodos. Estos pertenecen a un total de 234 familias, de las cuales 196 corresponden a insectos, 28 a arácnidos, 9 a ácaros y 1 a miriápodos. El mínimo de especies se estima en 432 para los insectos, 62 para los arácnidos, 12 para los ácaros y 1 de miriápodos, totalizando 507 especies para todos los artrópodos, aunque seguramente una vez que se hicieran todas las identificaciones aumentaría el número de especies.

Los grupos más diversos son los dípteros, los himenópteros, los homópteros, las arañas y los coleópteros.

En cuanto a su abundancia relativa los grupos más numerosos fueron los dípteros, homópteros, arañas, himenópteros, coleópteros y ocasionalmente tisanópteros.

Así pues, una gran parte de las especies de artrópodos encontradas son fitófagos, pero existe una gran proporción de depredadores y parasitoides (Figura 1.18), es decir existe una amplia gama de especies potencialmente reguladoras de las poblaciones de los fitófagos y de los demás grupos. Probablemente éste es uno de los factores que explican porque antes de la introducción de la broca, no existían insectos plaga de gran importancia para la cafecultura en el Soconusco.

Se sabe que la estabilidad de un ecosistema radica en buena medida en la diversidad de especies de su comunidad. Price (1975) cita casos en que el empobrecimiento de una comunidad ecológica produce una disminución en la estabilidad del ecosistema siendo esta inestabilidad la que favorece el desarrollo y la dominación de unas pocas especies, las cuales en el caso de los ecosistemas manejados por el hombre se convierten en plagas, caso común en los monocultivos.

Como se señaló, tanto el desombro como el incremento en la aplicación de insecticidas son medidas que empleadas exageradamente van a empobrecer el agroecosistema tradicional del cafeto y se corren así riesgos serios de provocar desequilibrios, y consecuentemente propiciar la elevación al rango de plagas de especies que en la actualidad no perjudican económicamente a este cultivo. Es por ello que se subraya la importancia de la comunidad diversa, como una forma para prevenir el desarrollo de plagas, pues se considera junto con Riechert (1984) que el manejo integrado de plagas debe de hacer más énfasis en la prevención del desarrollo de los problemas, pues este aspecto con frecuencia es dejado de lado con el pretexto de que los problemas ya se encuentran desarrollados y lo que urge es solucionarlos.

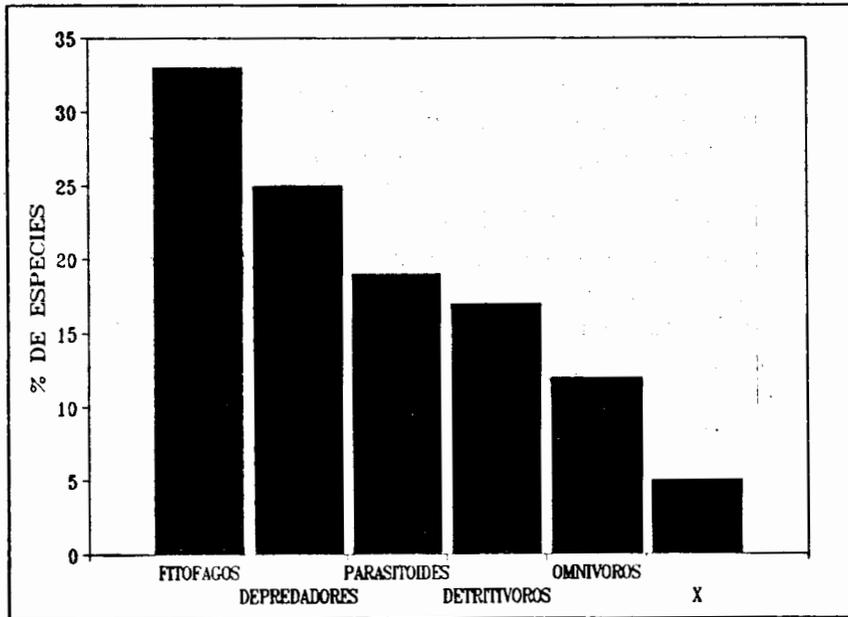


Figura 1.18 Composición de la comunidad de artrópodos colectados sobre las plantas de café en San José la Victoria, Tuxtla Chico, Chiapas, según sus hábitos alimenticios (x= Hábitos alimenticios desconocidos o de organismos que no se alimentan como adultos)

Referencias

Econoticias, septiembre de 1985 N.8.

Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste. San Cristóbal de las casas, Chiapas, México.

1.6.3 Ciclos Biogeoquímicos

El movimiento de varios nutrientes importantes a través de la biosfera es llamado **ciclo biogeoquímico** en virtud de que participan sistemas biológicos, geológicos y químicos. Se tratarán los ciclos del agua, bióxido de carbono y oxígeno, así como los ciclos del nitrógeno y fósforo. El carbono, oxígeno y nitrógeno tienen la atmósfera como reservorio primario. El suelo es la fuente primaria de los ciclos del fósforo y del azufre.

Ciclo Hidrológico

El agua es un recurso renovable que circula a través de la atmósfera; en este trayecto a veces se usa ineficientemente como cuando se desperdicia o cuando se contamina, lo que conduce a limitaciones en su uso. Aproximadamente el 97% del agua de la Tierra se encuentra en los océanos y es muy salina para la mayoría de usos. Sin embargo, el agua se distribuye también en lagos, ríos, glaciares, suelo y aguas subterráneas, las cuales se utilizan en la mayor parte de las actividades humanas.

El agua se evapora de los océanos y otros cuerpos de agua, también la transpiración de las plantas añade agua a la atmósfera. El vapor de agua se condensa y regresa a la tierra en forma de precipitación. El balance de agua es llamado **ciclo hidrológico** y se muestra en la Figura 1.19. Un modelo sencillo que representa el ciclo hidrológico y que se genera a partir del principio de conservación de la masa es:

$$A = P - I - E \quad (1.17)$$

donde:

A es almacenamiento;
 P es precipitación;
 I es infiltración; y
 E es escurrimiento.

La ecuación puede hacerse más compleja si se incluyen los términos para nieve, evaporación, y transpiración. El sistema también se torna más complejo si se incluye la variabilidad del tiempo de cada uno de los puntos mostrados en la Figura 1.19.

Las dos fuentes primarias de agua para beber son el agua superficial y el agua subterránea. Alrededor del 95% del agua dulce del mundo se encuentra en el subsuelo; parte del agua subterránea no está disponible directamente para el consumo humano por estar contaminada, por su contenido mineral, intrusión salina u otras razones. Actualmente, la contaminación del agua subterránea se considera irreversible debido al alto costo que implica su mejoramiento. Para mantener el balance del ciclo hidrológico deberá considerarse el uso racional del agua, así como las medidas necesarias para mantener su calidad.

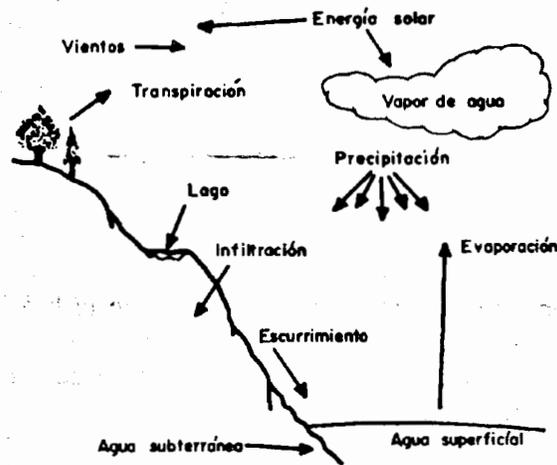


Fig. 1.19 Ciclo Hidrológico.

Problema ejemplo 1.5

Se estima que el volumen de un lago se incrementará después de una precipitación. La lámina de lluvia en un área de 3 km^2 de cuenca es de 4 centímetros. Si el 50% de la precipitación se infiltra a las aguas subterráneas, y 10% se almacena en ciertas áreas con depresión, ¿cuál es el incremento en el volumen del lago en litros?. La precipitación directa en el lago es de 0.6×10^6 litros. Considérese que en el lago no hay infiltraciones hacia el agua subterránea.

Solución

De acuerdo con el principio de conservación de la masa:

$$\text{Aporte de la cuenca} + \text{Precipitación directa sobre el lago (No existen salidas)} = \text{Acumulación en el lago}$$

Se analizará el aporte de la cuenca

$$4 \text{ cm} - 4 \text{ cm} (0.50) - 4 \text{ cm} (0.1) = 1.6 \text{ cm}$$

$$\text{Aporte de la cuenca} = 1.6 \text{ cm} \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) (3 \text{ km}^2) (1 \times 10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{km}^2}) (1 \times 10^3 \frac{\text{l}}{\text{m}^3})$$

$$\text{Aporte de la cuenca} = 4.8 \times 10^7 \text{ litros}$$

Por tanto la acumulación en el lago es:

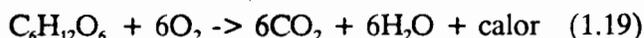
$$\begin{aligned} \text{Acumulación en el lago} &= 4.8 \times 10^7 \text{ litros} + 0.6 \times 10^6 \text{ litros} = \\ &= 4.86 \times 10^7 \text{ litros} \end{aligned}$$

Ciclos del carbono y oxígeno

Los ciclos del carbono y oxígeno están ligados porque el bióxido de carbono (CO_2) es un elemento que interviene en los procesos de respiración y fotosíntesis. La fotosíntesis es el proceso por el cual la luz del sol es almacenada por las plantas verdes como energía química; puede expresarse con la siguiente ecuación



El carbono, hidrógeno y oxígeno son transformados por las plantas verdes de bióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) a moléculas orgánicas complejas. Estas moléculas se transfieren a la cadena alimenticia y abastecen de energía y materia a todas las formas de vida. La respiración es un proceso celular de quema de alimento para la obtención de energía, que se usa en actividades de generación de impulsos nerviosos y síntesis de proteínas, y construcción de nuevas células, la respiración puede expresarse con la ecuación



Otra definición de la respiración es la inhalación de oxígeno y exhalación de bióxido de carbono. Los desechos materiales eventualmente son degradados por los descomponedores a bióxido de carbono, agua y otras moléculas simples. Una fracción pequeña de carbono, hidrógeno y oxígeno se incorpora a los depósitos de combustibles fósiles. Debido a que este proceso toma varios siglos en ocurrir, los combustibles fósiles son llamados recursos no renovables.

La Figura 1.20 muestra los ciclos del carbono y del oxígeno. En la atmósfera el carbono se encuentra como bióxido de carbono. Este gas se forma de la combustión de combustibles fósiles y respiración y es usado por las plantas verdes en la fotosíntesis. Los carbonatos se forman en el agua cuando el bióxido de carbono se disuelve. Algunos de estos carbonatos eventualmente forman piedra caliza o arrecifes de coral. El oxígeno se produce por las plantas verdes durante la fotosíntesis y es utilizado en la respiración y en la combustión de materiales orgánicos u oxidación de otros materiales oxidables. Es un gas libre en la atmósfera y parte del agua.

- El uso irracional de los combustibles fósiles origina un exceso de bióxido de carbono, gas que calienta la atmósfera y motiva el incremento en la temperatura.

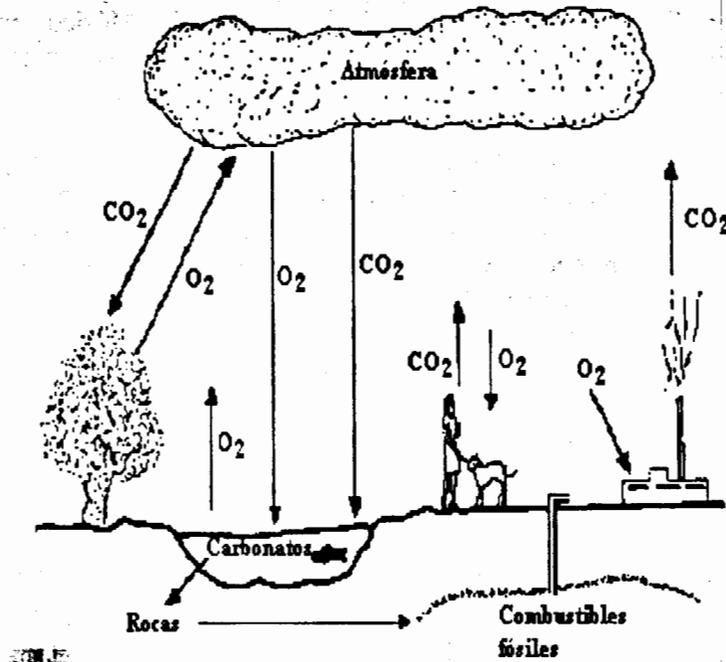


Fig. 1.20 Ciclos del Carbono y del Oxígeno.

El ciclo del Nitrógeno (N₂)

El nitrógeno juega un papel importante en muchos problemas ambientales. Como nutriente, el nitrógeno es esencial porque es el componente mayor de las proteínas, y la ausencia de proteínas en la dieta es la principal causa de desnutrición humana. El nitrógeno se usa en los fertilizantes artificiales lo que tiene implicaciones en la contaminación del agua. Además, durante la combustión se generan óxidos de nitrógeno los cuales son componentes principales del smog fotoquímico.

La atmósfera contiene en forma abundante el nitrógeno (alrededor del 79% del aire) pero en esta forma no puede ser utilizado directamente por las plantas. Parte del nitrógeno utilizado por las plantas es fijado del N₂ atmosférico por las bacterias fijadoras del nitrógeno, las que se encuentran en las raíces de leguminosas tales como el trébol y la alfafa. Estas bacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico N₂ lo oxidan a nitratos NO₃, los que son usados por las plantas. Este es un ejemplo de mutualismo donde las bacterias y las plantas viven juntas y con mutua ventaja. Las bacterias reciben energía de las plantas en forma de carbohidratos y las plantas reciben una fuente de nitrógeno. Las plantas que no tienen esta fuente de nitratos, lo obtienen directamente del suelo.

Sin embargo, siembras constantes agotan el nitrógeno a menos que se sigan algunos mecanismos de recuperación, éste es el propósito de la rotación de cultivos. Las bacterias fijadoras del nitrógeno asociadas con los cultivos de legumbres mantienen la fertilidad del suelo sin el uso de

fertilizantes artificiales. Sin embargo, debido al incremento de la población a nivel mundial es difícil evitar el uso de fertilizantes artificiales, los cuales contribuyen a la contaminación del agua.

Actualmente en la Universidad Nacional Autónoma de México existe un Centro de Investigación sobre Fijación del Nitrógeno, donde se realizan estudios con el fin de aprovechar la fijación natural del elemento, utilizando a los microorganismos en lugar de fertilizantes artificiales.

La Figura 1.21 muestra el ciclo del nitrógeno. En él se puede observar que los nitratos (NO_3), o amoníaco (NH_3), son tomados por las plantas y usados en la síntesis de proteínas. Los productos de podredumbre y de excremento de los miembros de la cadena alimenticia son convertidos a amoníaco por las bacterias y hongos. Entonces las bacterias de los nitritos (nitrosomas) convierten el amoníaco a nitritos (NO_2), y las bacterias de los nitratos (Nitrobacter) convierten los nitritos a nitratos (NO_3). El nitrógeno retorna a la atmósfera cuando las bacterias desnitrificantes convierten el nitrato en nitrógeno atmosférico (N_2). En la Figura 1.21 no se muestra la fijación del nitrógeno atmosférico hecha por el hombre en la manufactura de fertilizantes artificiales. Actualmente la cantidad de nitrógeno fijado artificialmente es mayor que el fijado en forma natural, y los efectos de esta nueva entrada a la biosfera son desconocidos.

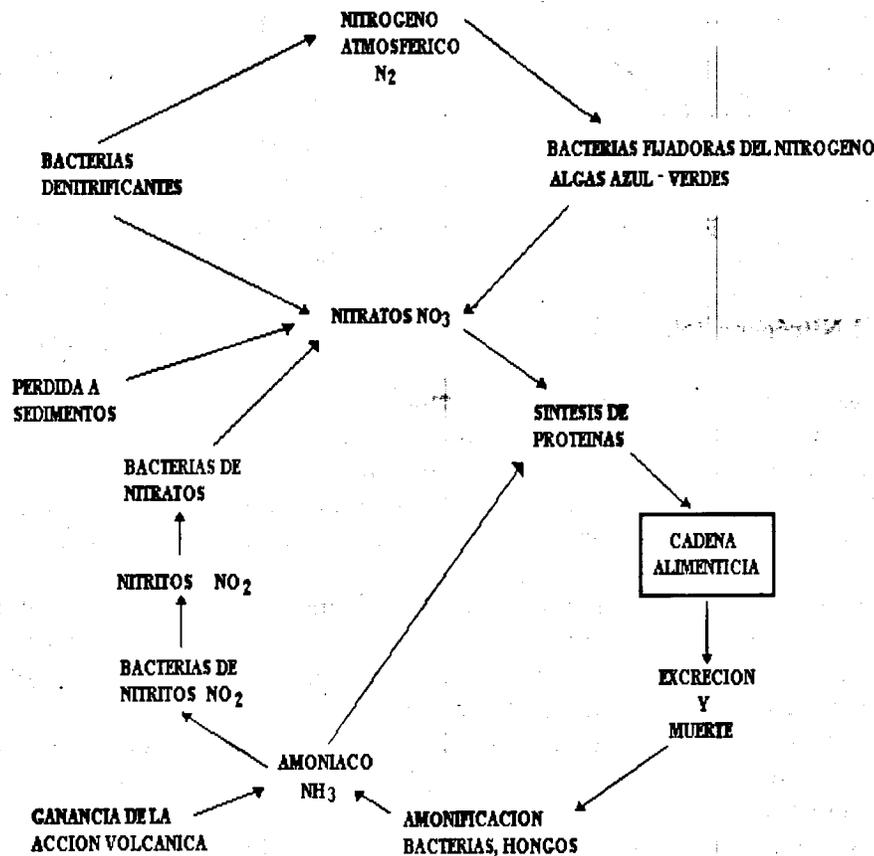


Fig. 1.21 Ciclo del Nitrógeno.

El ciclo del Fósforo

El fósforo es otro de los elementos absolutamente esenciales para la vida. Es requerido por todas las formas de vida en los procesos metabólicos que proporcionan energía para las células. El uso del fósforo en detergentes y fertilizantes artificiales puede producir un excesivo desarrollo de plantas en los cuerpos de agua.

La principal fuente de fósforo son las rocas fosfatadas y los depósitos naturales de fosfato, de guano y animales fósiles. El ciclo del fósforo es especial en que es más un proceso unidireccional que un ciclo. Como se muestra en la Figura 1.22, el fósforo se mueve de las rocas por erosión o minería, se usa en las cadenas alimenticias, y eventualmente puede depositarse en las profundidades del océano donde se pierde hasta que un cambio geológico lo ponga disponible otra vez. Parte de los fosfatos perdidos en el mar circulan hacia la tierra cuando se consumen especies marinas o en el depósito del excremento de pájaros (guano).

La minería de las rocas fosfatadas para la manufactura de fertilizantes acelera la pérdida hacia el mar del fósforo.

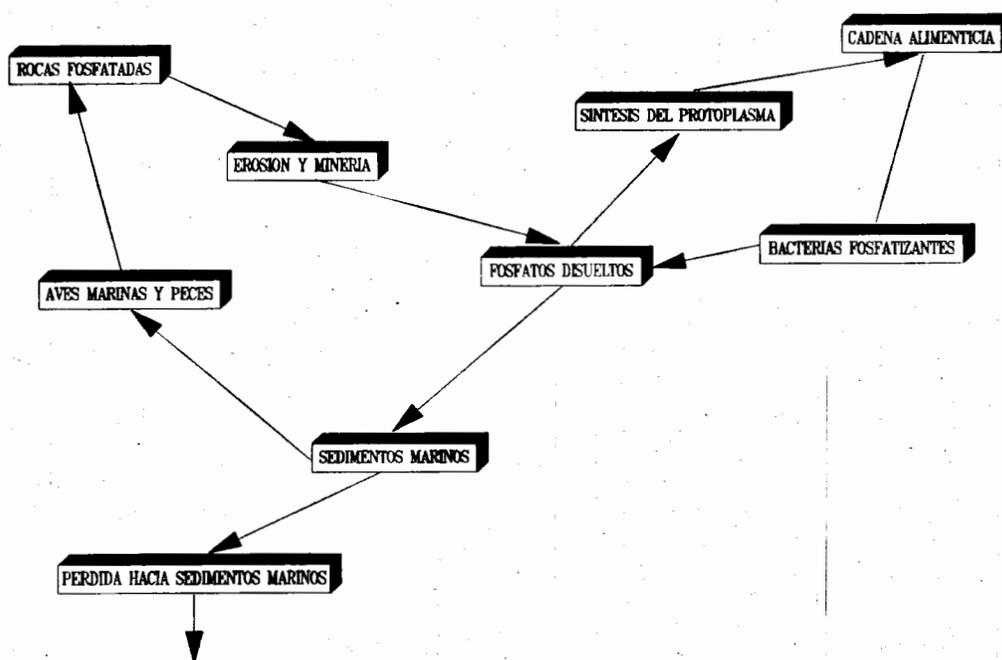


Figura 1.22 Ciclo del fósforo.

1.7 Obras de Ingeniería Civil y su relación con el ambiente

Se han dado algunos ejemplos de cómo las actividades humanas alteran los sistemas ecológicos. La ingeniería civil actividad que realiza el hombre para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales en la satisfacción de las necesidades humanas y/o en la solución a un problema, adicionalmente también produce efectos adversos sobre el ambiente. En el estudio del impacto que producen las obras de ingeniería civil, será necesario clasificarlas en función de su objetivo principal, así en los próximos capítulos se estudiarán las obras de uso y manejo del agua, las de transporte y las de edificación.

CAPITULO 2

OBRAS DE USO Y MANEJO DEL AGUA

Las obras civiles para generación de energía eléctrica, satisfacción de las demandas de agua, desalojo de las aguas residuales, protección contra inundaciones, irrigación, drenaje y otras más, tienen como objetivo fundamental utilizar y manejar el agua para protección del hombre y sostenimiento de las actividades humanas. Aunque dichas obras son proyectadas naturalmente para beneficio de la sociedad, adicionalmente generan impactos negativos en el ambiente como la deforestación, cambio en el 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 aguas subterráneas, desaparición de ecosistemas y cambios en la estructura social, entre otros. Algunas de las más importantes obras de manejo del agua y su interrelación se muestran en la Figura 2.1

Por ejemplo en el caso de la construcción de las presas 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 del vaso desaparece el ecosistema terrestre y el nuevo ecosistema acuático puede estar eutroficado debido a la descomposición de materia orgánica presente, al no preverse el desmonte selectivo del área a inundar y también debido a entradas de agua a la presa con un exceso de materia orgánica y nutrientes. Durante la construcción de las presas 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.

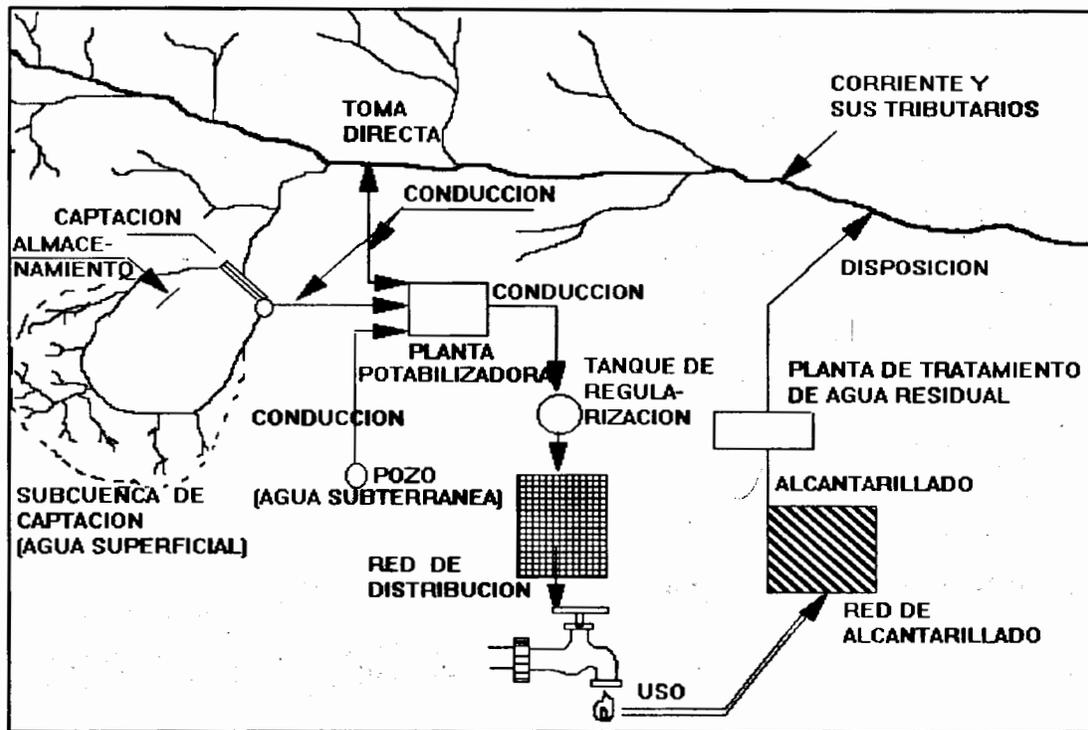


Figura 2.1 Obras de manejo del agua.

En el caso de las obras de abastecimiento de agua se pueden presentar como impactos relevantes la inadecuada explotación del agua, lo que conduce a problemas de afectación de cuencas, elevados costos económicos en la explotación, abatimiento de los niveles freáticos e intrusión salina. En cuanto a las obras de alcantarillado sanitario debido al deficiente o nulo tratamiento de las aguas residuales así como a su disposición inadecuada, se tienen consecuencias adversas sobre la calidad de los cuerpos receptores, y por ende sobre las comunidades acuáticas y terrestres que dependen del agua.

Durante la operación de las 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 conteniendo concentraciones importantes de sales y agroquímicos, alterando la dinámica del ecosistema acuático.

Los efectos negativos y no previstos identificados a través del desarrollo de diversos proyectos resaltan la necesidad de realizar evaluaciones de impacto ambiental, en donde se defina la influencia de las obras de uso y manejo del agua sobre el ambiente y sus consecuencias, así como la forma de evitar o atenuar los impactos negativos. En este capítulo se estudiarán los impactos más relevantes de algunas de las obras de uso y manejo del agua en el ambiente.

2.1 Aprovechamiento de aguas superficiales

La explotación del agua superficial puede tener varias finalidades tales como: satisfacción de necesidades domésticas, irrigación, industria, generación de energía eléctrica, acuacultura, recreación y turismo.

En México los centros urbanos e industriales que requieren grandes cantidades de agua se han asentando paulatinamente donde los recursos hidráulicos son escasos, lo que ha motivado la afectación de cuencas vecinas con altos costos económicos; éste es precisamente uno de los impactos más significativos en el aprovechamiento de las aguas superficiales.

México cuenta con suficientes volúmenes de agua para satisfacer las demandas de abastecimiento de todos los sectores, sin embargo, su distribución geográfica es completamente adversa para casi la mitad del territorio nacional. El país se encuentra dividido en 320 cuencas hidrológicas, con un escurrimiento medio anual de aproximadamente 410,000 millones de metros cúbicos en promedio, cifra que representa el total disponible como recurso renovable. El estudio de su distribución indica que en el norte sólo se tiene un escurrimiento de 12,300 millones de metros cúbicos, que representan 3% del total en una área equivalente al 30% del país, mientras que se tienen 205,000 millones de metros cúbicos en el sureste, que representan el 50% de la disponibilidad total en una área no mayor al 20% del territorio nacional.

Es decir, la mayor disponibilidad de agua se encuentra por debajo de los 500 msnm, al sur de los paralelos 28° y 24°, y en las fajas costeras del Pacífico y del Golfo de México, respectivamente; en tanto que las mayores necesidades se presentan arriba de esta altitud y al norte de los paralelos mencionados.

Comparando las zonas de disponibilidad del recurso con las de asentamientos humanos e industriales, existen situaciones contrastantes. Más del 85% del agua del país se encuentra en la zona baja, abajo de la cota de 500, mientras que más del 70% de la población y 80% de la planta industrial se localizan en la zona alta; arriba de 500 msnm; de ésta última el 55% se encuentra en el Valle de México.

Mientras las grandes civilizaciones del mundo nacieron generalmente en las márgenes de un río, la de los aztecas se situó sobre una laguna, y este hecho marcó el inicio de una incesante lucha por y contra el agua. En esta empresa, los habitantes de la Ciudad de México han modificado su ambiente, la mayoría de las veces para su beneficio, pero también a costa de generar conflictos. Con el paso del tiempo, los problemas de la ciudad han rebasado las fronteras del Valle de México. Hacia el año 2000 las acciones para el abastecimiento de agua se extenderán y afectarán a cuencas vecinas, como las de los ríos Cutzamala, Tecolutla y Amacuzac.

Actualmente y en el futuro, con el fin de conciliar la demanda y oferta del agua superficial es y será indispensable realizar estudios de impacto ambiental ya que constituyen una herramienta dentro de la planeación de los proyectos de desarrollo, con la que es posible definir la disponibilidad y uso del agua; los problemas socioeconómicos que condicionan la demanda; el impacto motivado por las obras de uso y manejo del agua y la aportación que el recurso implica en la satisfacción de metas y objetivos del desarrollo general.

2.1.1 Impacto ambiental de las presas

La presas son de las obras más antiguas construidas por el hombre para aprovechar un recurso natural vital como es el agua. Con la actividad agrícola surge la necesidad de regular el uso del agua para los regadíos, y con ella empiezan a construirse presas para la derivación del agua hacia canales de riego, o bien para almacenamiento en las épocas de estiaje. En etapas posteriores del desarrollo tecnológico se introduce un nuevo uso: el de la producción de fuerza motriz.

Se tiene noticia de presas de tierra en la India y Egipto desde la más remota antigüedad (año 4000 a. de C). A partir del siglo pasado, con el aumento de las necesidades y el avance de la técnica, la construcción de presas ha experimentado un enorme desarrollo. Grandiosas construcciones como la presa Nurek en Rusia de 300 metros de altura, o gigantescos embalses, como los de Kariba en el río Zambezi, Akasombo en el Volta, o Asúan en el Nilo, son otras tantas muestras de espectaculares realizaciones que en muchos casos condicionan y permiten el desarrollo de países enteros. Pero estos alardes de la técnica conllevan un conjunto de acciones e influencias sobre el entorno, tanto natural como humano, que deben ser previstos y analizados con el fin de evitarlos o por lo menos atenuarlos. El estudio de estas acciones serán tratados a continuación.

Antes de analizar los impactos se incluirán algunas ideas sobre los usos de los embalses, lo que ayudará a identificar sus posibles impactos ambientales.

En cuanto al uso se tienen dos tipos de presas: aquellas que crean un desnivel para que pueda derivarse una conducción, y presas que forman un depósito que regula la variación de las aportaciones del río sobre el que se construyen.

En el primer grupo se incluyen las presas que se destinan para la producción de energía eléctrica, o la alimentación de canales para riego o abastecimiento, sobre cauces de flujo poco variable.

En el segundo grupo se incluyen aquellas cuyos objetivos son la retención de agua para defensa contra inundaciones, almacenamiento para el consumo (riegos y abastecimientos), usos recreativos, etcétera.

Es pertinente establecer que una presa está constituida por los siguientes elementos:

Masa rocosa en el vaso y la boquilla

Vaso de almacenamiento

Cortina

Obra de excedencias

Obra de toma

Temporalmente, durante la construcción la obra de desvío.

En la Figura 2.2 se muestran a manera de ejemplo las obras principales del proyecto hidroeléctrico de Aguamilpa en el estado de Nayarit.

Estructuralmente existen diversos tipos de cortinas: gravedad, arco, materiales graduados y enrocamiento.

Según el objetivo y el uso de la presa, se tienen los siguientes: producción de energía eléctrica, almacenamiento de agua, recreación, protección contra inundaciones y retención de materiales.

Adicionalmente al objetivo para el que se ha construido la presa se deben favorecer otros usos con el fin de optimizar los recursos. Deberán considerarse los impactos que se tengan debido al objetivo principal y aquellos atribuibles a los usos adicionales.

Identificación de impactos

El control humano sobre las fuerzas de la naturaleza a través de la ingeniería implica también responsabilidad hacia las comunidades y ambiente afectados. A continuación se presenta un resumen general de impactos ambientales que pueden provocarse con el proyecto de una presa en las etapas de planeación, construcción y operación. Se citan como puntos de interés que conviene tomar en consideración en la evaluación de los impactos ambientales.

Aunque en la planeación no se generan acciones físicamente en el sitio del proyecto, se identifican impactos en el ambiente socioeconómico; por ejemplo, al seleccionar el sitio del proyecto se originan fenómenos como la especulación de la tierra que cambia su valor, además de protestas de la comunidad que debe modificar sus patrones sociales ante el necesario cambio de residencia.

Durante la construcción se provocan modificaciones en el ambiente producidas por los movimientos de la población del área de inundación, construcción de caminos y líneas de transmisión de energía eléctrica, protección contra inundaciones y canalizaciones, formación de bancos de materiales, preparación del sitio de la cortina y construcción de la obra civil, acumulación de desperdicios de diferentes acciones y, finalmente, el embalsamiento. Los aspectos del impacto en esta etapa del proyecto son muy importantes ya que pueden generar transformaciones fisicoquímicas del agua, ecológicas (terrestres y acuáticas), estéticas y socioeconómicas, con amplios ámbitos de duración y magnitud. Por ejemplo, durante la construcción del túnel de desvío y la cortina, los efectos adversos sobre el factor agua son muy significativos y se generan al descargar aguas turbias que se emplean en el proceso constructivo aguas abajo de la corriente. Actividades tales como la excavación para la cimentación de la cortina, la perforación del túnel de desvío y la producción de agregados y concreto, requieren grandes cantidades de agua que luego de los procesos son descargadas sin tratamiento en la corriente. Puede afectarse así alguna fuente de abastecimiento municipal localizada aguas abajo, crear perturbaciones en las actividades de riego, afectar la fauna ictiológica así como las actividades recreativas.

En otros países se han empleado algunas técnicas para tratar las aguas generadas durante la construcción del túnel de desvío y la cortina tales como: sedimentación, floculación y filtración. La aplicación de dichas técnicas se explica en el Apéndice A.

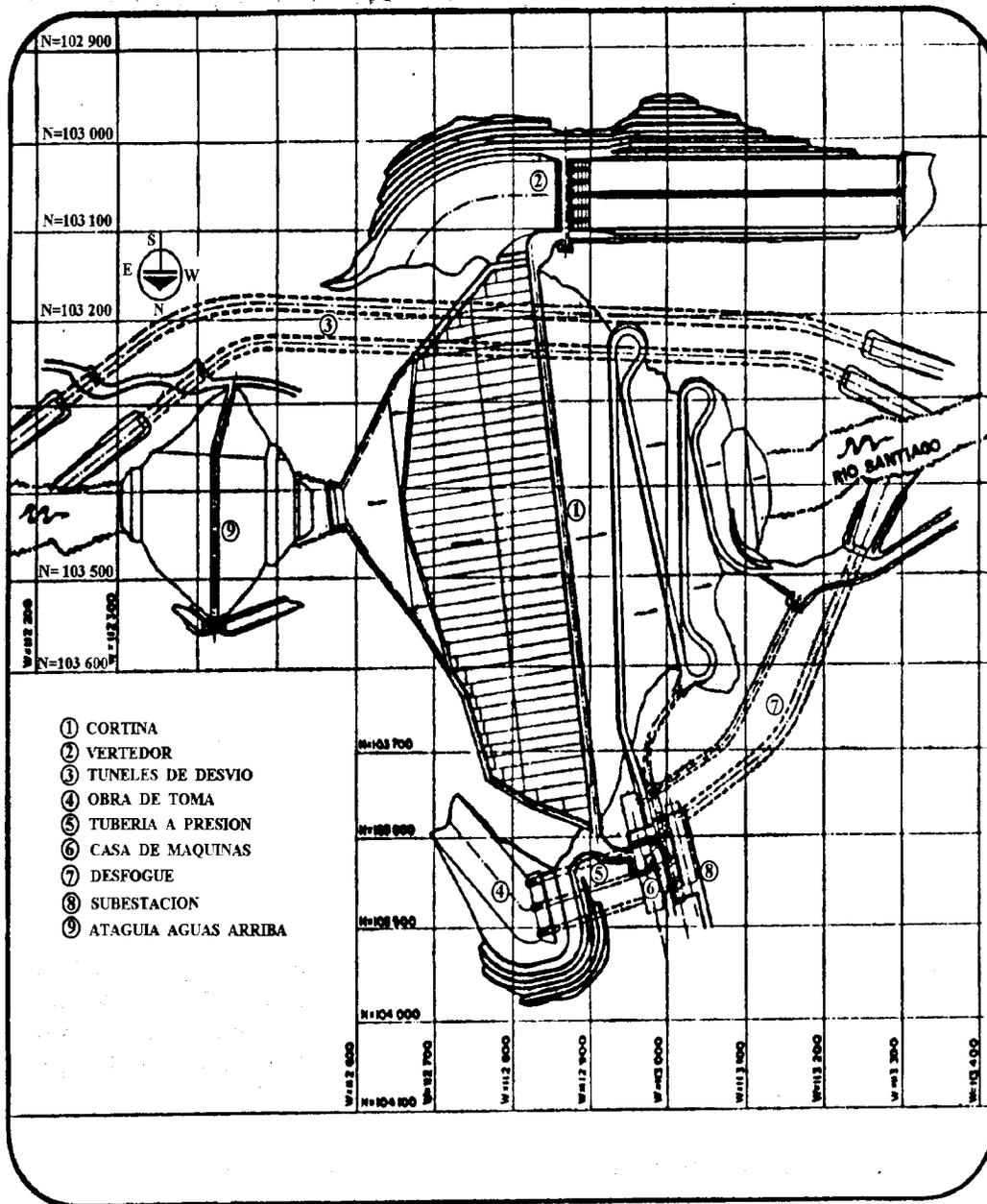


Figura 2.2 Obras principales del proyecto hidroeléctrico de Aguamilpa

En la fase de operación y mantenimiento de las presas para efectos del análisis del impacto ambiental es conveniente diferenciar las causas y efectos aguas arriba, en el área del embalse o próxima a ella, y aguas abajo.

Aguas arriba del proyecto se consideran aquellos fenómenos que afectan el manejo y conservación de la obra, tales como la erosión y contaminación producidas por las descargas de agua residuales que alteran las características fisicoquímicas originales e incorpora en ocasiones materiales tóxicos. Si no se controla la contaminación aguas arriba se causan problemas ecológicos en los embalses que se manifiestan principalmente en la aparición de malezas acuáticas, mortalidad de peces incluso desaparición de especies, disminución en la calidad de los productos acuícolas comestibles y acumulación de materiales tóxicos que pueden producir a largo plazo un deterioro ecológico general en el embalse, con repercusiones aguas abajo.

En el área de influencia directa la modificación ecológica principal consiste en una sustitución total del hábitat terrestre por el acuático. Sin embargo, con el transcurso del tiempo se presenta una tendencia hacia la estabilización de las comunidades acuáticas y palustres, que depende de las características limnológicas promedio y de sus rangos extremos de variación. La cortina contribuye al atrape de sedimentos; la nueva superficie de agua aumenta la exposición a la evaporación y erosión de las playas; se modifican algunos elementos del clima; dependiendo de la naturaleza geológica se presenta también un aumento en el nivel freático en los alrededores de los embalses. Los cambios bruscos en el nivel de las presas pueden destruir las especies cuya ovoposición está directamente relacionada con las orillas o zonas bajas, lo que al eliminar la competencia y/o control que ellas representan para otros organismos ocasiona el aumento inconveniente y/o disminución de otras poblaciones.

Aguas abajo del proyecto se presenta la mayor parte de las modificaciones ambientales debido a que las entradas de agua son diferentes en cantidad y calidad a las que existían antes del proyecto; además, aquí es donde tiene lugar el uso del agua que justifica el embalse. La disminución en los gastos tiene efectos sobre la vegetación riparia natural, y llega a provocar en algunos casos su desaparición, y una mayor exposición de las márgenes a la erosión; en otros casos, la vegetación invade el lecho del río. Dicha disminución afecta también la migración y la dispersión de las poblaciones de los peces, y se puede favorecer la intrusión salina en las áreas cercanas al litoral marino. Estas variaciones en los gastos, aunadas a los cambios en la calidad del agua, afectan la productividad biótica en los pântanos, manglares y lagunas litorales, lo que a su vez puede afectar la producción pesquera en estas últimas y en el área marina adyacente.

Los retornos de agua tales como los urbano-industriales y agrícolas pueden tener acciones sinérgicas o multiplicativas del impacto ecológico por la contaminación que provocan; afectan al río, a las lagunas litorales y, en menor grado, a los pantanos y manglares. La operación de los proyectos mencionados puede orientarse de manera que se eviten los efectos negativos aguas abajo.

Indudablemente una presa introduce un elemento de riesgo en la población situada aguas abajo. La peligrosidad de una presa no es tanto por su tamaño, cuanto por su localización en relación con concentraciones humanas y desarrollos industriales y agrícolas. Algunas presas se rompen, se estima estadísticamente que una cada 1500-1800 años. Con todo, este riesgo se compensa sobradamente con la eliminación de otro acaso menos grave, pero desde luego más cierto y frecuente: el de las avenidas, que resultan corregidas y reguladas por el embalse.

Las medidas de seguridad y vigilancia en la obra y zona afectada, las redes de alarma, los cálculos de ondas de sumersión, etcétera, ayudan a prever y evitar daños y a asegurar a la población afectada.

Con la finalidad de ejemplificar algunos de los impactos referidos, se citará a continuación como caso estudio la construcción de la presa Miguel Alemán y la presa Cerro de Oro.

CASO ESTUDIO 2.1

Presa Miguel Alemán

En 1941 una inundación muy destructiva en la parte baja del río Papaloapan hizo que los productores de caña de azúcar de Cosamaloapan, Veracruz, hicieran una petición al Gobierno Federal para solucionar este problema. Estas inundaciones solían producirse tres o cuatro veces cada cien años desde tiempos prehispánicos pero aumentaron en el siglo presente. El gobierno nombró una comisión conjunta de las Secretarías de Comunicaciones, Agricultura y Marina para estudiar el problema. Esta comisión propuso que se realizaran obras a gran escala para controlar el curso del río, así como un programa de reforestación, pero no se hizo nada debido a lo costoso del proyecto.

Del 21 al 23 de septiembre de 1944 hubo una precipitación pluvial de más de 50 centímetros en la ladera oriental de la sierra mazateca y las tierras bajas adyacentes. El río Papaloapan que corre lentamente descendiendo únicamente 15 metros en más de 80 kilómetros hasta su desembocadura, no pudo contener el torrente, y la inundación consiguiente produjo grandes daños pues destruyó casi por completo la ciudad de Tuxtepec y otras comunidades ribereñas.

El presidente Avila Camacho hizo una inspección en Tuxtepec en 1944, y después de ella se iniciaron los planes preliminares para el control de inundaciones. De aquí surgió el Proyecto del Papaloapan y la delimitación oficial del área de la cuenca.

El 26 de febrero de 1947 el presidente Miguel Alemán dio orden de iniciar el Proyecto. La Comisión semiautónoma (descentralizada) del Papaloapan fue declarada responsable de la realización y el control de todas las obras necesarias para el desarrollo integral y armónico de todos los recursos naturales de la Cuenca del Papaloapan: el hombre, el agua, el suelo, la flora, la fauna, etcétera. Los objetivos inmediatos fueron: 1) obras de drenaje en la cuenca, 2) control de las inundaciones, 3) desarrollo del sistema de transporte y comunicación, 4) desarrollo de la agricultura, 5) generación de energía eléctrica, y 6) promoción de la industria.

El proyecto del Papaloapan afectaba a varios estados de diferentes maneras. Los habitantes de Oaxaca calificaban la nueva presa como perjudicial dado que inundó tierras para beneficio de los de Veracruz, en tanto que ellos se beneficiaban poco de la electricidad, pues ésta en su mayor parte se destinaba a los estados de Veracruz y Puebla.

Los logros principales del proyecto del Papaloapan fueron la construcción de la Presa Miguel Alemán; la canalización del río Papaloapan y la erección de diques en sus orillas; la construcción de carreteras en las zonas más densamente pobladas de la parte baja de la Cuenca, y la edificación de escuelas y de sistemas de agua potable en muchas de las comunidades de la Cuenca.

Durante 1948 y 1949 se iniciaron los preparativos para la construcción de la presa. Se inició el traslado de los habitantes de Ixcatlán, pero hubo muchos que no creyeron que sus tierras serían cubiertas por las aguas, y a pesar de las advertencias se negaron a abandonar sus tierras hasta que la subida efectiva de las aguas los forzó a hacerlo.

Un efecto importante de la presa fue la pérdida de tierras. El agua cubrió casi la mitad del área de lo que era el pueblo y una porción todavía más grande del municipio; área en donde estaban las mejores tierras agrícolas y de pastizaje. Al hacer este cambio en el medio físico, la Comisión del Papaloapan afectó también las formas de transporte. Ixcatlán se incluyó entonces en la red de carreteras pavimentadas. También se favoreció la integración a la vida nacional de los mazatecos de la tierra baja y de las comunidades más próximas a la sierra, a través de la salubridad y la educación, se instaló una escuela, servicios médicos y un sistema de abastecimiento de agua potable.

Adicionalmente se favorecieron oportunidades para tener tierra, lo cual repercutió en un cambio cuantitativo en las características de la población, así como en la movilidad y alternativas ocupacionales.

Además de la reducción de la población producida por el traslado de una parte considerable del pueblo, se dio un cambio en las proporciones relativas de la gente con diferentes características raciales y culturales. En la estructura ocupacional disminuyeron los habitantes que se dedicaban a la agricultura todo el tiempo y aumentó el porcentaje de comerciantes y obreros.

En 1955 las aguas del río Tonto, en el Norte de Oaxaca, fueron retenidas por el dique recién terminado de la presa Miguel Alemán; esto motivó el desplazamiento de 22 000 mazatecos que vivían en la cuenca inundada. La mayor parte de ellos fueron reubicados, otros se instalaron a orillas de la presa, emigraron a las montañas o a las ciudades. La presa no fue construida para esta gente, pero la vida en sus comunidades cambió en forma drástica a partir de la construcción de la presa.

Referencias

McMahon David F.

1973 Antropología de una Presa. México: Instituto Nacional Indigenista

Clarke George

1954 Elements of Ecology, Nueva York: Wiley and Sons

CASO ESTUDIO 2.2

Presa Cerro de Oro

El principal obstáculo para el desarrollo integral de la cuenca del Papaloapan son las inundaciones que aunque fueron parcialmente resueltas con la construcción de la presa Miguel Alemán sobre el río Tonto, requirió el control del río Santo Domingo y la solución más ventajosa para ese fin fue la construcción de la presa Cerro de Oro, que formará un vaso común con el Temascal de la presa Miguel Alemán. El proyecto Cerro de Oro es de objetivos múltiples, los cuales incluyen: generación de energía eléctrica, desarrollo agrícola, retención de azolves, navegación en el río Papaloapan y aprovechamiento piscícola y turístico, propósitos que se lograrán en combinación con la presa Miguel Alemán.

La presa Cerro de Oro se localiza en el Estado de Oaxaca. La zona afectada ocupa parte de los municipios de Ojtlán, Jalopa de Díaz y Usila.

El proyecto Cerro de Oro está constituido por las siguientes estructuras: 3 túneles para desviar el caudal del río, obra de control de avenidas, obra principal (cortina). Los túneles de desvío tienen 12 m de diámetro y 500 m de longitud. Estas estructuras funcionarán como control de excedencias mediante 9 compuertas deslizantes y radiales con un gasto de 6000 m³/s. La cortina es de tipo de materiales graduados con núcleo de arcilla, altura en su sección máxima de 75 m y 1800 m de longitud. La superficie del vaso es de 19,000 ha.

Antes del inicio de las obras el área de construcción de la cortina y del vaso presentaba profunda alteración como consecuencia de acciones antropogénicas. Sin embargo, en el área todavía se encontraban representantes de ecosistemas muy importantes desde los puntos de vista ecológico, económico y cultural.

Los suelos arcillosos excepcionalmente profundos y el clima cálido húmedo permitieron originalmente el establecimiento de una selva alta generadora de abundante materia orgánica. Mediante los procesos de defoliación e inundación a través del tiempo enriquecieron el suelo y le proporcionaron alta fertilidad, resultando muy atractivo para el cultivo. Pero la práctica de la roza tumba y quema, la ganadería extensiva y la construcción de infraestructura, acompañadas de un incorrecto manejo ambiental, degradaron la calidad del ecosistema, derivándolo a pastizales, matorral y principalmente acahuals de selva mediana y baja, inducidos por el largo período de construcción de la presa.

Las actividades de instalación y operación de campamentos, explotación de bancos de material, trazo y uso de caminos, transporte continuo de materiales y maquinaria; la construcción de la cortina, vertedor, y la apertura del canal de desvío, generaron deforestación, erosión, desaparición de hábitats y nichos, contribuyendo de manera significativa a alterar la estabilidad del ecosistema. La distribución actual de la vegetación obedece a procesos ecológicos sucesionales.

Las principales especies vegetales identificadas corresponden a las familias características de este medio con importancia cultural (debido a su uso local para construcción de viviendas, elaboración doméstica de medicinas y artesanías), y económica por su comercialización regional y nacional.

Las condiciones ambientales permitieron que la fauna tropical típica fuera abundante. La cacería y destrucción del hábitat han provocado que emigre, se reduzca a pequeños núcleos de sobrevivencia o perezca. La fauna silvestre se distribuía dentro del vaso y áreas adyacentes confinada en pequeños espacios donde se conservaban relictos de selvas originales, en sitios inaccesibles por la altura, siempre en pequeñas poblaciones.

Se identificaron representantes importantes de anfibios y reptiles, algunos de ellos con importancia económica y de control de plagas; aves de interés ecológico como el hocofaisán y económico como las guacamayas; además de diversos mamíferos la mayoría de ellos ecológicamente importantes, pero sumamente diezmos.

La fauna regional más representativa es la acuática, de las que destacan la mojarra, los reptiles y los crustáceos, la mayoría sujeta a explotación de autoconsumo.

El principal impacto directo identificado fue la inundación secuencial de aproximadamente 19,000 ha del ecosistema que aunque deteriorado, tiene diversidad y abundancia excepcionales, considerándose todavía como de los más ricos del mundo.

De las asociaciones vegetales existentes en el vaso permanecerán representantes de sus especies en zonas cercanas con iguales condiciones ambientales, aunque obviamente no podrá restablecerse la selva a sus condiciones originales. Por otra parte, se propició la emigración de poblaciones faunísticas, favoreciendo la competencia o desplazamiento de otras especies.

Especial atención merecen las especies consideradas como vulnerables o en peligro de extinción, ya que ello significa la disminución de la diversidad en el ecosistema. Tal es el caso del maíz silvestre y las palmas pancrónicas, camedor y dion. Esta última presumiblemente la planta viva más antigua del mundo, las cuales se reportan para la zona del embalse con una decadente abundancia.

Entre las especies animales se reportan: hocofaisán, loros, guacamayas, tapir, nutria, y jaguar; aunque se encuentran en número suficiente para sobrevivir sus poblaciones han sido de tal manera reducidas que se consideran depauperadas y en peligro de extinción. Como medida de mitigación del impacto en la fauna, se mantendrán dos islotes de 225 y 540 ha, así como una superficie de 335 ha que funcionarán como granjas de reproducción inducida, mediante la creación de un banco de germoplasma.

En los sitios deforestados durante la construcción, se ha procurado revertir el impacto negativo, primero, mediante barreras de contención de sólidos y posteriormente con la resiembra de especies protectoras de suelo, como pastos y frutales de valor económico. Esta medida repetida en las partes altas evitará la erosión, el acarreo de sólidos y, por consiguiente, el azolvamiento de los cuerpos de agua. Una segunda opción de uso de estos sitios, aprovechando los servicios instalados es su adecuación para pequeños desarrollos turísticos pesqueros.

Los cambios hidrológicos derivados de la construcción de una presa afectan en ocasiones a los habitantes de la zona de influencia directa, y a los de aguas abajo de la cortina. Sin embargo, como medida de mitigación, aunque se almacena un gran volumen de agua, se tiene un escurrimiento mínimo de 60 m³/s a través del vertedor, con lo que se asegura el mantenimiento de las condiciones

ecológicas actuales en el río Papaloapan y en la Laguna de Alvarado.

Considerando que entre los objetivos de la presa están la acuicultura y la navegación resulta un aspecto muy importante el mantenimiento de la calidad del agua. Al respecto se cuenta con dos estaciones de monitoreo en el río Santo Domingo y dos más en el río Tonto, de sus registros se deduce que las características físicoquímicas del agua en la cuenca son estables. Sin embargo, puede suceder que la descomposición de grandes cantidades de biomasa inundada produzca una gran demanda de oxígeno disuelto en toda la columna de agua, disminución del potencial hidrógeno y aumento de compuestos amoniacales. Algunos derivados orgánicos como los taninos provenientes de la degradación de la corteza de los troncos, así como las saponinas del barbasco disueltas en el agua, aún en bajas concentraciones, son tóxicos. Las condiciones descritas son limitantes para el desarrollo de la mayor parte de las comunidades acuáticas, como sucedió en la presa Miguel Alemán y en otras del sureste, en las que transcurrieron hasta siete años prácticamente sin vida en sus aguas. Mayor importancia tiene este punto tomando en cuenta que en el futuro el vaso de la presa Cerro de Oro se comunicará con el de la presa Miguel Alemán, el cual después de un largo periodo de ajuste ecológico y de trabajos de repoblamiento piscícola soporta actualmente una de las pesquerías de aguas continentales más importantes del país; en consecuencia, la contaminación con sustancias tóxicas lo dañaría inevitablemente.

Los troncos sumergidos podrían haber propiciado condiciones difíciles y poco seguras para la navegación, además de que a corto y mediano plazo habrían de limitar la captura de organismos acuáticos. Este impacto se mitigó mediante la extracción de la vegetación superior antes de inundar el vaso, realizando el desmonte a matarrasa y la quema de los residuos, ajustándose a un programa secuencial a corto plazo, en el que se promovió la extracción selectiva partiendo de las cotas más bajas hacia las más altas. Del barbasco cuya importancia y efectos ya fueron mencionados, se extrajo el máximo número de ejemplares con una secuencia semejante.

La operación de una pesquería o la implantación de labores acuícolas depende totalmente de contar con una buena calidad de agua en el embalse. Para ello, se pondrá en marcha una campaña de monitoreo a largo plazo en puntos ya identificados con el fin de conocer el proceso de eutroficación temporal, detectar su dinámica y prevenir la contaminación de la presa Miguel Alemán después de la apertura del dique Pescaditos.

Algunos de los beneficios colaterales de la obra se refieren principalmente a la mejora de las técnicas de producción y de uso de sus recursos naturales; para lograr esto se proporcionará, además de los recursos materiales, asistencia técnica a las comunidades en cuanto a labores agropecuarias, forestales y acuícolas a desarrollarse en los hábitats de nueva creación.

En el caso de la acuicultura, que es uno de los objetivos del proyecto, se requiere reforzar la infraestructura del centro acuícola adjunto a la presa Miguel Alemán, o bien construir otro que atienda este nuevo embalse.

Como parte integral del proyecto y pensando en el mejor aprovechamiento de la zona será oportuna la creación de áreas recreativas, en las que se dispongan visitas controladas tipo safaris para fotografía y en algunos casos cinegéticas, generando opciones de empleo a los lugareños y concientizándolos acerca de la gran riqueza de recursos naturales con que cuentan. Los sitios para ello son las partes altas de la cuenca y las zonas contiguas no desmontadas en la serranía adyacente

a los vasos.

Referencias

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica

2.1.2 Ictiofauna

Entre los indicadores de impacto ambiental de las obras de uso y manejo del agua en los cuerpos de agua se tienen: cambios en las poblaciones de peces debidos a la introducción de especies exóticas, imposibilidad de migraciones y dispersión natural causada por barreras en las corrientes tales como las presas, cambios en la calidad del agua, reducción en los gastos aguas abajo de las presas y modificación en el caudal de los manantiales a causa de sobreexplotación. Estas modificaciones ocasionan destrucción de recursos pesqueros, desaparición de especies de interés económico, cultural o científico, y alteraciones ecológicas generales.

En el análisis de impactos sobre la fauna acuática debe recordarse que la diversidad contribuye a la estabilidad, es decir, ecosistemas con pocas especies son menos estables que ecosistemas con muchas especies. En el caso de los ecosistemas acuáticos, por ejemplo, la ictiofauna del desierto de México es pobre, generalmente compuesta por la mitad o cuarta parte del número de especies que se encuentra en los ríos de igual extensión, pero que se hallan en regiones no áridas. En un ecosistema con gran variedad de especies, la desaparición de uno de seis herbívoros puede ser amortiguada o compensada por la presencia de los restantes, pero si se trata del único herbívoro de la comunidad, todo el sistema se desorganiza; esto conducirá a la transformación total del ecosistema.

La resistencia a la competencia es función del número de especies que viven y se han adaptado juntas; es baja en comunidades simples, por lo que no resisten la introducción de especies exóticas (entendiendo por exóticas a aquellas que no son nativas de la región) ya que pueden no existir predadores naturales de dicha especie y por lo mismo pueden propagarse desproporcionadamente con respecto a las demás especies de la zona; también es posible que las características de la especie exótica afecten notablemente a las especies de la zona. Lo anterior es sumamente importante porque un impacto ambiental puede tener efectos tanto más fuertes cuanto más abajo se afecte a la pirámide trófica y cuanto menor sea la complejidad de la comunidad.

A continuación se citarán algunos casos de impacto de obras de uso y manejo del agua sobre la ictiofauna, reportados por Contreras, B.S en "Impactos Ambientales de las Obras Hidráulicas en el Mundo y en México. Estado actual de conocimientos, evaluación y medidas correctivas. Informe Técnico de la CPNH, octubre de 1975".

Aguas abajo de la presa Guadalupe Victoria, sobre el río Tunal, Durango, de un total de 7 especies reportadas en 1961, para 1968 había disminuido únicamente a 1 especie, más 4 introducidas. Se piensa que la presa tuvo algún efecto que causó las desapariciones, adicionalmente a la introducción de especies exóticas.

El río San Juan, Nuevo León, tiene 3 presas mayores antes de desaguar al río Bravo. Originalmente se conocían 11 especies nativas en los alrededores de Monterrey; actualmente no se conoce ningún pez nativo entre Santa Catarina y Guadalupe por la excesiva contaminación y una creciente que arrasó la comunidad entre 1972 y 1974; se conocen hasta 11 introducciones de especies exóticas en el área y aparentemente sólo dos han tenido éxito temporal, pero fueron arrasadas en la ocasión mencionada. En el ejido San Juan, de 26 especies nativas originales quedan 10, de las cuales 6 se consideran alteradas. En Montemorelos, las 16 especies nativas han bajado a 11, de las que 8 están seriamente afectadas. Con la construcción de la presa Rodrigo Gómez (La Boca) Nuevo León, se han modificado las características originales de las poblaciones de peces a causa de embalsamiento e introducción de especies exóticas y también debido a las descargas de aguas residuales. Se muestran diferencias en cuanto a la presencia de las especies de peces antes y después de la construcción de la obra, tanto en el sitio del embalse como aguas arriba y aguas abajo.

Presa Miguel Alemán: Caballero, J., (1960), describe un caso de contaminación transitoria del río Papaloapan, el cual tuvo importancia porque fue el primero que aportó datos sobre mortalidad de peces al principio del llenado de una presa; además explica como causas la inundación de la vegetación terrestre en el vaso, su descomposición y el consecuente abatimiento del oxígeno disuelto en el agua, provocando la muerte por asfixia de los peces. Recientemente se ha incorporado el criterio de "enfermedad de los embalses jóvenes" para explicar mortalidades de fauna y otros cambios en la ecología acuática que suceden durante los primeros cinco años del embalse.

Morales, A. (1975) por comunicación personal, reporta que la composición actual de la fauna de peces en la presa Miguel Alemán y en el río aguas arriba y aguas abajo de la cortina, se encuentra formada por 4 especies nativas aguas arriba, 14 especies nativas y 9 especies introducidas en la presa; aguas abajo, reporta 20 especies considerando seriamente afectadas a 2 especies de robalo y al bobo; se observa que el sábalo, especie de agua salobre, ha penetrado hasta inmediaciones de la cortina; se deduce que esto puede deberse al incremento de la salinidad de las aguas del Papaloapan y al aumento de alimento vivo disponible que la cortina provoca al atrapar al robalo, que es consumido por el sábalo. En este caso la presa actúa como barrera impidiendo la migración del robalo y regulando intermitentemente el gasto, lo que sujeta al hábitat del río a variaciones bruscas.

En la evaluación del impacto ambiental de los proyectos de uso y manejo del agua la determinación de los impactos en la calidad del agua deberá basarse en una descripción clara de varias características de calidad. Para ello es necesario hacer una evaluación tanto de las características de calidad actuales, como de los cambios que podrían resultar de las diversas alternativas del proyecto en cuestión.

La calidad del agua se describe en términos de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos. Los parámetros de calidad del agua a usarse en el marco ambiental se seleccionarán de acuerdo al tipo, ubicación y magnitud del proyecto en cuestión, así como por los usos que se le van a dar al agua, las normas y criterios de calidad existentes, tipos de descargas de aguas residuales, naturaleza

de los cuerpos receptores y el uso al que se destinan las aguas de éstos últimos.

A continuación se tratará sobre uno de los más importantes parámetros de calidad del agua; el oxígeno disuelto.

2.1.3 Oxígeno Disuelto

La cantidad de oxígeno disuelto (OD) en el agua es un importante parámetro de su calidad. Los peces por ejemplo, requieren de una cantidad mínima de OD que depende de su especie, estado de desarrollo, nivel de actividad y temperatura del agua. En general las especies comercialmente más valiosas como la trucha requieren más oxígeno que las especies menos deseadas (comercialmente) como las carpas.

Otra de las razones por las que es importante la presencia de oxígeno en el agua es que se requiere para que se lleve a cabo el proceso aerobio de descomposición de la materia orgánica.

Cuatro procesos afectan la cantidad de oxígeno disuelto en el agua: la reaeración, fotosíntesis, respiración y descomposición.

Reaeración

La reaeración es el proceso en el cual el oxígeno entra en el agua mediante el contacto de su superficie con la atmósfera (absorción). De acuerdo con la ley de Henry, tratada en el Capítulo I, la solubilidad del oxígeno en el agua decrece con el incremento en la temperatura, aumenta con el incremento en la presión atmosférica y decrece si el contenido de impurezas en el agua aumenta. En el Cuadro 2.1 se muestran las concentraciones de equilibrio del oxígeno disuelto en agua a una atmósfera de presión, a diferentes temperaturas y concentraciones de cloruros. Además, cuando la cantidad inicial de oxígeno en el agua es menor que el valor de saturación (concentración de equilibrio), el oxígeno atmosférico entra al agua a una rapidez proporcional a su déficit. Si se incrementa la superficie en contacto con la atmósfera, la transferencia de oxígeno se incrementa, así como también lo hará una corriente agitada más fácilmente que un cuerpo de agua estancada.

Fotosíntesis y Respiración

En el Capítulo I se trataron los procesos de fotosíntesis y respiración; la primera constituye una fuente de carbohidratos y oxígeno, y durante la respiración se quemaron carbohidratos para el metabolismo utilizando el oxígeno generado en la fotosíntesis. Nótese entonces que en la respiración se consume oxígeno mientras que en la fotosíntesis se libera oxígeno. Sin embargo, mientras la fotosíntesis requiere de la luz solar, la respiración es un proceso continuo.

La combinación de los tres efectos: fotosíntesis, respiración y reaeración produce una variación diaria del OD como se muestra en la Figura 2.3, en la que se asume que la

fotosíntesis ocurre de 6 A.M a 6 P.M. llevando el nivel de OD sobre el de saturación en la tarde. Cuando el agua se sobresatura de oxígeno, se difunde hacia fuera del agua (desorción).

Cuadro 2.1

SOLUBILIDAD DEL OXIGENO EN AGUA A UNA ATMOSFERA DE PRESION.					
CONCENTRACION DE CLORURO EN EL AGUA mg/l					
Temperatura ° C	0	1500	10,000	15,000	20,000
0	14.60	13.72	12.90	12.13	11.41
1	14.19	13.35	12.56	11.81	11.11
2	13.81	12.99	12.23	11.51	10.83
3	13.44	12.65	11.91	11.22	10.56
4	13.09	12.33	11.61	10.94	10.30
5	12.75	12.02	11.32	10.67	10.05
6	12.43	11.72	11.05	10.41	9.82
7	12.12	11.43	10.78	10.17	9.59
8	11.83	11.16	10.53	9.93	9.37
9	11.55	10.90	10.29	9.71	9.16
10	11.27	10.65	10.05	9.49	8.96
11	11.01	10.40	9.83	9.28	8.77
12	10.76	10.17	9.61	9.08	8.58
13	10.52	9.95	9.41	8.89	8.41
14	10.29	9.73	9.21	8.71	8.24
15	10.07	9.53	9.01	8.53	8.07
16	9.85	9.33	8.83	8.36	7.91
17	9.65	9.14	8.65	8.19	7.78
18	9.45	8.95	8.48	8.03	7.61
19	9.26	8.77	8.32	7.88	7.47
20	9.07	8.60	8.16	7.73	7.33
21	8.90	8.44	8.00	7.59	7.20
22	8.72	8.28	7.85	7.45	7.07
23	8.56	8.12	7.71	7.32	6.95
24	8.40	7.97	7.57	7.19	6.83
25	8.24	7.83	7.44	7.06	6.71
26	8.09	7.69	7.31	6.94	6.60
27	7.95	7.55	7.18	6.83	6.49
28	7.81	7.42	7.06	6.71	6.38
29	7.67	7.30	6.94	6.60	6.28
30	7.54	7.17	6.83	6.49	6.18
31	7.41	7.05	6.71	6.39	6.08
32	7.28	6.94	6.61	6.29	5.99
33	7.16	6.82	6.50	6.19	5.90
34	7.05	6.71	6.40	6.10	5.81
35	6.93	6.61	6.30	6.01	5.72
36	6.82	6.51	6.20	5.92	5.64

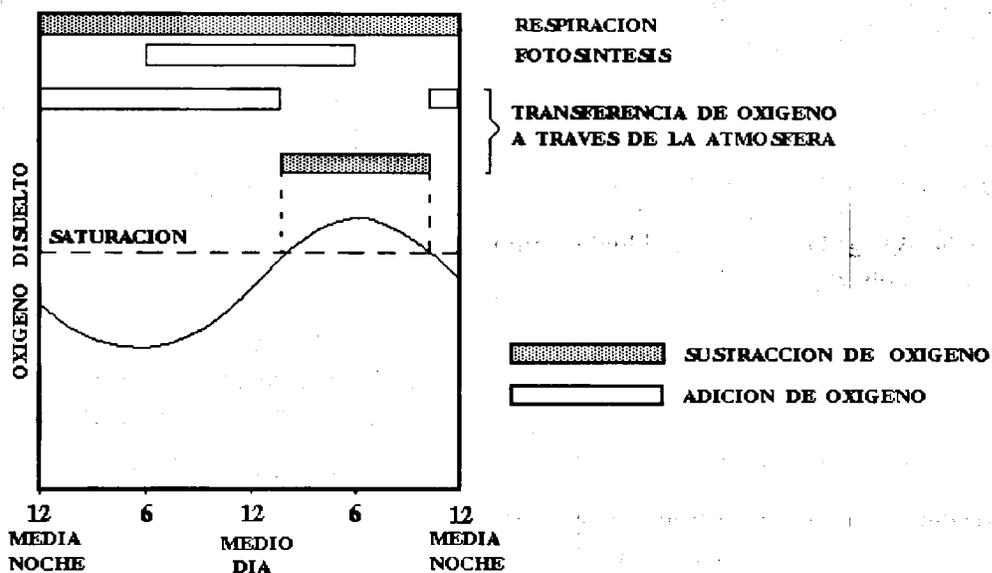
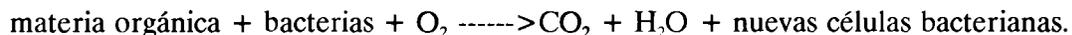


Figura 2.3 Variación diaria del Oxígeno Disuelto en cuerpos de agua.

Descomposición

El cuarto proceso que afecta la cantidad de oxígeno disuelto en el agua es la oxidación de los desechos. Los microorganismos, especialmente las bacterias, usan los desechos orgánicos como nutrientes y en el proceso desdoblan los complejos orgánicos en materiales simples e inorgánicos. Esta descomposición puede ocurrir en presencia de oxígeno, en cuyo caso se llama descomposición aerobia, o puede ocurrir en ausencia de oxígeno, en cuyo caso es llamada descomposición anaerobia.

La forma general de la ecuación para la descomposición aerobia del material orgánico es:



Los productos de reacción de la descomposición aerobia no son perjudiciales, pues son simplemente bióxido de carbono y agua junto con algunos sulfatos y nitratos. El punto importante que debe señalarse es que durante la descomposición aerobia se remueve oxígeno del agua provocando una caída del OD.

Si se descompone demasiada materia orgánica, la cantidad de OD en el agua puede llegar a ser cero. Si esto ocurre, no sólo la vida acuática que depende del oxígeno morirá, sino que además los productos finales resultantes de la descomposición anaerobia serán tóxicos y malolientes. Los productos de reacción de la descomposición anaerobia incluyen: amoníaco, metano, sulfuro de hidrógeno, bióxido de carbono y agua.

2.1.4 Vertido de aguas residuales

Las aguas residuales son generadas por las actividades del sector social que incluyen las descargas de residuos de origen doméstico y público; las del sector agropecuario que incluyen los efluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado mayor y menor, así como por las aguas de retorno agrícola; las del sector industrial representado por las descargas originadas por las actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo y satisfactores para la población.

Con relación a las aguas residuales municipales, su generación está definitivamente relacionada con la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado con que cuentan las poblaciones.

Con respecto al suministro de agua potable y alcantarillado en México es pertinente citar que la cobertura del servicio para población urbana es 76% y 65% respectivamente, mientras que para la población rural es de 49% y 12%, respectivamente.

Las localidades que concentran la mayor proporción de habitantes, son aquellas en las que se concentra también la mayor parte de las actividades industriales de la nación y las que disponen de una mayor cobertura en los servicios de agua potable y alcantarillado, constituyéndose así en las fuentes principales de generación de aguas residuales, siendo los ejemplos más claros las zonas localizadas en torno a las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara, las cuales generan 46, 8.5 y 8.2 metros cúbicos por segundo, lo que corresponde al 34.0% del total generado a nivel nacional, estimado en 184 metros cúbicos por segundo, de los cuales 105 corresponden a la población y 79 a la industria.

Las expectativas en cuanto al comportamiento en la generación de aguas residuales indican que para el año 2000 se generarán 207 metros cúbicos por segundo, de los cuales corresponderán 118 a la población y 89 a la industria.

En 1980 se extrajeron 44,760 millones de metros cúbicos de agua para el sector agropecuario, cifra que se incrementará para el año 2000 a 92,380 millones de metros cúbicos. No obstante la diversidad de técnicas de riego utilizadas en el país se estima un consumo del 82% del agua aplicada, lo que proporciona un indicador de generación de aguas residuales provenientes de esta fuente, la cual se estima en las siguientes cifras anuales:

1980	8056.8 millones de metros cúbicos
1990	8345.0 millones de metros cúbicos
2000	11085.0 millones de metros cúbicos

Evidentemente las aguas de retorno agrícola constituyen una fuente de degradación de la calidad del agua muy importante, cuyo impacto se ha manifestado ampliamente en el país, sobre todo en el elevado porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran en condiciones de eutroficación.

En cuanto a la actividad pecuaria no se dispone en México de información suficiente referente a las demandas de agua e índices de generación de aguas residuales, debido a los escasos trabajos

realizados en este campo; sin embargo, en la zona de la Piedad, Michoacán, se ha observado que se utilizan de 10-15 litros de agua por kilogramo de estiércol producido y que en promedio se generan 2 kilogramos de excremento por cabeza cada día, considerando un peso promedio de los puercos en la granja de 70 kilogramos.

Con relación al sector industrial en México se logró un ritmo anual de crecimiento continuo superior al 8% hasta 1979, lo que permitió el surgimiento de una fuerte planta productiva, la cual se desarrolló con una alta concentración principalmente en las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara.

Este crecimiento se dio relegando a segundo término las consideraciones sobre costo y dificultades de abastecimiento de agua, habiéndose observado una serie de efectos derivados de tal situación, entre los que sobresalen: la sobreexplotación de acuíferos, la competencia entre el uso de fuentes de abastecimiento con el sector urbano y el consiguiente encarecimiento de los servicios de abastecimiento.

Por otra parte, el uso del agua como vehículo de desechos contaminantes y la poca importancia dada a su manejo y disposición, ha convertido a este sector en un elemento fundamental a ser considerado en el control para la preservación del recurso hidráulico cuya disponibilidad se ve comprometida en amplias zonas del país.

Las principales industrias responsables de la generación de mayores descargas de aguas residuales son: azucarera, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textil, siderúrgica, eléctrica y alimentos. Tales giros corresponden prácticamente al 82% del total de las aguas residuales generadas por el sector, destacando las industrias azucarera y química con el 59.8% del total.

Los efluentes líquidos pueden ser eliminados mediante su vertido a aguas superficiales tanto directamente como a terrenos que drenen a las mismas; por descarga en aguas subterráneas, de forma directa mediante inyección en pozos profundos o indirecta por percolación; o por evaporación a la atmósfera. Cualquiera que sea la técnica utilizada para disponer los residuos líquidos deberán tratarse antes de su disposición final por las razones siguientes: la alteración de la calidad del agua modifica adversamente los sistemas biológicos que dependen del agua; por otro lado, las actividades productivas que realiza el hombre también dependen de la existencia del agua en suficiente cantidad y calidad. El vertido de aguas residuales deberá estar sustentado en la protección de los ecosistemas y de las actividades productivas del hombre.

A continuación se describen los parámetros más usuales del agua residual.

Características del agua residual

El agua residual doméstica recién generada tiene olor a aceite o a jabón, es turbia y contiene sólidos de naturaleza reconocible. El agua en estado séptico tiene olor a sulfhídrico, es de color gris oscuro y contiene sólidos suspendidos de menor tamaño, que pocas veces son de naturaleza reconocible.

A temperaturas del orden de 20°C el agua residual pasa de su condición de fresca a séptica

en un tiempo variable de 2 a 6 horas, dependiendo principalmente de la concentración de materia orgánica.

El agua residual contiene sólidos suspendidos y disueltos. Los sólidos totales incluyen ambas formas y se determinan evaporando un volumen o peso determinado de muestra y pesando el residuo remanente. Los resultados se expresan en mg/l.

La determinación de los sólidos suspendidos y disueltos requiere filtrar una muestra. Para determinar los sólidos suspendidos se seca y pesa un filtro por el cual se pasa un volumen determinado de agua, a continuación el filtro se seca y pesa nuevamente, la diferencia de peso dividida por el volumen filtrado da la concentración de sólidos suspendidos. Para la determinación de los sólidos disueltos se toma una muestra del líquido que fue filtrado y se evapora hasta su secado, se obtiene entonces el residuo remanente como sólidos disueltos.

Aquellos sólidos que se volatilizan a 550°C , se denominan sólidos volátiles. La concentración de sólidos volátiles es una medida aproximada del contenido de materia orgánica ó de las concentraciones de sólidos biológicos tales como bacterias y protozoos. Los sólidos volátiles pueden determinarse sobre la muestra original (sólidos volátiles totales), sobre la fracción suspendida (sólidos volátiles suspendidos), o sobre la fracción filtrada (sólidos volátiles disueltos). La fracción volátil se obtiene por diferencia entre el residuo remanente después del secado y el de después de la incineración. Este último se denomina sólidos fijos o cenizas y constituye una medida aproximada del contenido mineral del agua.

El agua residual contiene compuestos químicos de naturaleza orgánica e inorgánica. Los compuestos inorgánicos se encuentran presentes, asimismo, en el agua de suministro, pero su utilización en las diversas actividades tiene como consecuencia un incremento de la concentración. El tratamiento convencional del agua residual (físico ó primario y biológico o secundario) no está dirigido a la alteración del contenido de contaminantes inorgánicos.

Los compuestos orgánicos incluyen a aquellos presentes en los residuos que se descargan a la red de alcantarillado y los productos de su degradación.

El nitrógeno y el fósforo pueden estar presentes, tanto como parte de la fracción orgánica, como de la inorgánica. La concentración de los mismos es importante desde el punto de vista de contaminación del agua, así como por ser necesarios en cantidades reducidas para los sistemas de tratamiento biológico.

El Cuadro 2.2 muestra las concentraciones típicas de varios constituyentes del agua residual doméstica en el Distrito Federal.

Debido a su origen el agua residual doméstica contiene grandes cantidades de microorganismos, tales como: bacterias, protozoos, virus, gusanos y otros. En función del tiempo que tiene el agua residual a partir de su generación y de la dilución, el número de bacterias presentes en el agua residual cruda suele oscilar entre 500 000/ml a 5 000 000/ml.

Las bacterias son capaces de solubilizar los elementos nutritivos del exterior de la

célula por medio de enzimas celulares, por lo que pueden eliminar la materia orgánica presente en el agua residual en forma soluble, coloidal y como sólidos suspendidos.

En condiciones adecuadas de ambiente (temperatura y pH) y en presencia de alimento, las bacterias se reproducen según la gráfica mostrada en la Figura 2.4, en la que las abscisas representan el tiempo y las ordenadas son el número de microorganismos. El punto para el cual la fase de crecimiento logarítmico termina y empieza el crecimiento decreciente, corresponde a la condición para la cual el alimento disponible ha sido consumido y empieza a ser un factor limitante.

Procesos Aerobios

En los procesos aerobios las bacterias utilizan oxígeno libre como aceptor de electrones. Los productos finales de la actividad aerobia son: CO_2 , H_2O , SO_4 , NO_3 , NH_3 y más masa celular. La mayor parte de la energía disponible se transforma en nuevas células o en calor.

Cuadro 2.2 Características promedio del agua residual en el Distrito Federal.

PARAMETRO	NUMERO (mg/l)
PH	7.3
Conductividad eléctrica	1,503.0 umhos/cm
Sólidos totales	1,106.0
Sólidos totales fijos	627.0
Sólidos totales volátiles	479.0
Sólidos suspendidos totales	200.0
Sólidos suspendidos fijos	76.0
Sólidos suspendidos volátiles	125.0
Sólidos disueltos totales	905.0
Sólidos disueltos fijos	551.0
Sólidos disueltos volátiles	35.0
Sólidos sedimentables	3.1
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	279.4
Demanda química de oxígeno (DQO)	612.0
Nitrógeno amoniacal (N - NH ₃)	15.1
Nitrógeno orgánico (N- org)	7.3
Nitrógeno total (N - total)	22.4
Nitrógeno de nitritos (NO ₂)	0.11
Nitrógeno de nitratos (NO ₃)	0.9
Ortofosfatos	4.5
Fosfatos totales	8.4
Grasas y aceites totales	108.8
Grasas y aceites minerales	52.4
SAAM (detergentes)	10.4
Boro	1.1
Sulfatos	127.8
Cloruros	147.5
Cromo hexavalente	0.0
Sulfuros	0.8
Níquel	0.6
Fenoles	0.4
Zinc	0.3
Cadmio	0.008
Cianuros	0.004

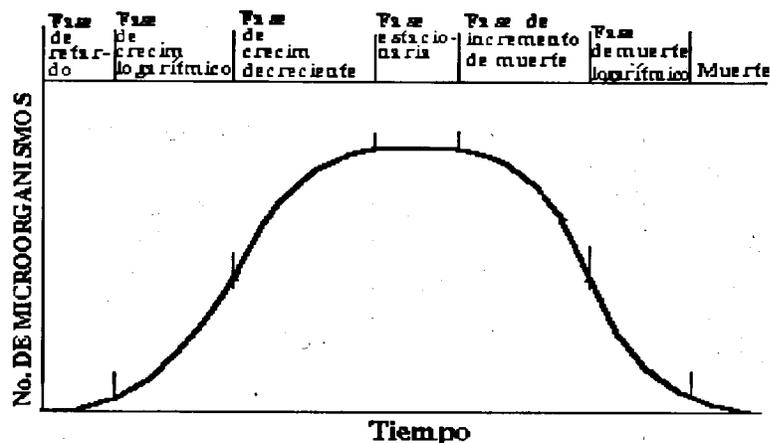


Figura 2.4 Reproducción de las bacterias

Procesos Anaerobios

Las bacterias anaerobias oxidan la materia orgánica utilizando aceptores distintos del oxígeno. En el proceso se producen CO_2 , H_2O , H_2S , CH_4 , NH_3 , N_2 , materia orgánica reducida y más bacterias. La mayor parte de la energía se transforma en productos finales y la producción de células es baja.

Los productos finales de la fermentación anaerobia tienen tendencia a producir malos olores y los intermedios, tales como los ácidos volátiles, pueden ser tóxicos para las bacterias, con lo que puede ponerse en peligro la continuidad del proceso.

Existe un tercer grupo de bacterias denominadas facultativas, las cuales pueden realizar procesos aerobios o anaerobios. Los procesos biológicos que utilizan las bacterias de este último grupo, son idénticos a los aerobios y anaerobios estrictos, con la diferencia de que hay cierto número de reacciones específicas que no son capaces de realizar, como la reducción de CO_2 a CH_4 y la oxidación de NH_3 a NO_3 .

Demanda Bioquímica de Oxígeno

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), es uno de los parámetros más ampliamente usados para estimar la contaminación potencial de desechos orgánicos en el agua.

La DBO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por las bacterias en la degradación de materia orgánica presente en el agua en condiciones aerobias. El oxígeno consumido en el proceso es proporcional a la cantidad de materia orgánica existente en el agua.

La DBO normalmente se determina en laboratorio para 5 días y a una temperatura de incubación de 20°C , y se le denomina DBO_5 . Para las aguas residuales la DBO_5 representa aproximadamente las dos terceras partes de la demanda que sería ejercida si se oxidara toda la materia orgánica por vía biológica.

En la realización de la prueba de la DBO deben considerarse dos aspectos: por una parte, el agua puede tener un inóculo adecuado de bacterias, pero si se trata de agua residual industrial poco cargada de bacterias, entonces habrá que añadir inóculo. Por otra parte, como se vió en el apartado 2.1.1 la solubilidad del oxígeno en el agua es muy limitada, por lo que para valores altos de DBO deben hacerse diluciones. El agua de dilución se prepara conteniendo los nutrientes necesarios para la actividad biológica, además se aerea para saturarla de oxígeno, antes de mezclarla con el agua residual.

Se considera que la DBO sigue una ley matemática exponencial en la que la velocidad de consumo de oxígeno en cualquier instante, es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable restante para algún tiempo

$$\frac{dy}{dt} = -k_1 y \quad (2.1)$$

en donde y es la DBO en el tiempo t , y k_1 es una constante de proporcionalidad de la reacción.

En la Figura 2.5 se muestra la representación gráfica de la ecuación 2.1, donde se nota que la DBO decrece conforme transcurre el tiempo, a partir de un máximo ocurrido en un tiempo específico.

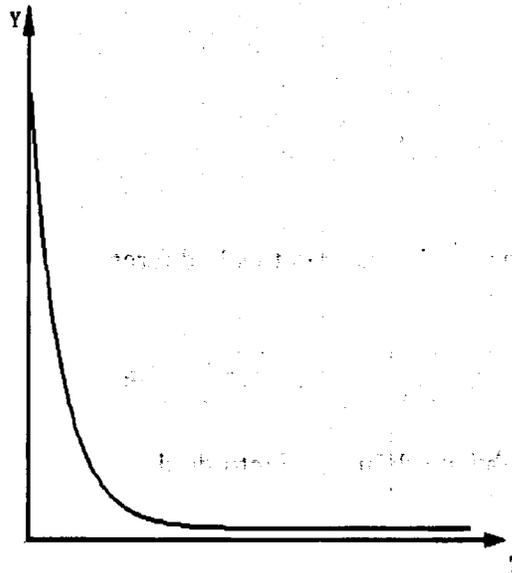


Figura 2.5 Representación gráfica de la ecuación 2.1

Integrando la ecuación 2.1 y llamando L a la DBO existente para $t = 0$, se tiene

$$\frac{dy}{y} = -k_1 dt$$

$$\int_{y=L}^{y=y} \frac{dy}{y} = -k_1 \int_{t=0}^{t=t} dt$$

$$\ln \frac{y}{L} = -k_1 t$$

$$\ln y - \ln L = -k_1 t$$

$$\ln \frac{y}{L} = -k_1 t$$

$$y = L e^{-k_1 t} \quad (2.2)$$

La DBO ejercida al cabo de un tiempo t es la diferencia entre la existente en el momento inicial y la remanente, por lo que

$$DBO = L - Y = L(1 - e^{-k_1 t}) \quad (2.3)$$

El valor de k_1 y L se obtiene de un conjunto de datos de la DBO para ciertos tiempos. La constante k_1 varía con la temperatura de acuerdo con la ecuación

$$k_{1(t)} = k_{1(20)} (1.047^{(t-20)}) \quad (2.4)$$

en donde $k_{1(20)}$ es el valor de la DBO obtenida en la determinación a 20°C y t es la temperatura real existente. La ecuación 2.4 puede utilizarse para determinar la velocidad a que se ejerce la DBO a temperaturas diferentes a 20°C, valor que es importante conocer cuando se trata de investigar el efecto de las descargas de aguas residuales en los cuerpos de agua receptores.

Efectos de las descargas de aguas residuales en las corrientes

En las corrientes de agua naturales existe un equilibrio entre la vida vegetal y animal, habiendo una gran interacción entre las diversas formas de vida. Las aguas de buena calidad se caracterizan por una gran variedad de especies, sin predominio de unas sobre otras. La materia orgánica vertida a un cauce es descompuesta por las bacterias en nitrógeno amoniacal, nitratos, sulfatos, dióxido de carbono, etcétera, los cuales son utilizados por las plantas y algas para producir carbohidratos y oxígeno. Las especies vegetales sirven de alimento a animales microscópicos (protozoos, rotíferos, etcétera), los cuales a su vez sirven de alimento a los crustáceos, insectos, gusanos y peces. Algunos organismos se alimentan de los residuos producidos por otros, ayudando de esta manera a la degradación bacteriana.

La introducción de cantidades excesivas de residuos en una corriente de agua, altera el ciclo al promover un rápido crecimiento bacteriano, que puede producir una disminución del oxígeno disuelto en el agua. Las aguas contaminadas se caracterizan por tener una gran cantidad de un número reducido de especies. Al estabilizarse el exceso de materia orgánica se restablece el ciclo normal según un proceso conocido como autodepuración. A menudo las normas de calidad del agua se establecen de manera que se pueda mantener una concentración mínima de oxígeno disuelto tal que sea capaz de proteger el ciclo natural en los cursos de agua, aprovechando su capacidad de asimilación natural.

Factores que afectan la autodepuración de las corrientes

Los factores que afectan el proceso de autodepuración de las corrientes son: **dilución, agitación, sedimentación, luz solar y temperatura.**

La **dilución** ayuda a los mecanismos de autodepuración de las aguas superficiales, sin embargo, su ocurrencia depende de que se descarguen relativamente pequeñas cantidades de desecho en grandes volúmenes de agua. El crecimiento de la población y la actividad industrial junto con el incremento en los consumos de agua y cantidad de aguas residuales impide el uso de muchas corrientes para dilución de aguas crudas o pobremente tratadas, por lo que se requieren tratamientos para minimizar el impacto en la calidad del agua con las descargas de agua residual.

La capacidad de dilución de una corriente puede calcularse usando el principio de conservación de la masa (Cap. I, sección I.5). Si se conocen la tasa de flujo volumétrico y la concentración de un material determinado, tanto en la corriente como en la descarga de desechos, la concentración después de la mezcla puede calcularse como sigue:

$$\chi_c Q_c + \chi_d Q_d = \chi_m Q_m \quad (2.5)$$

donde χ representa la concentración (masa/volumen) de material contaminante, Q es el gasto (volumen/tiempo), los subíndices c, d y m designan la corriente, descarga y condiciones de mezcla.

Problema ejemplo 2.1

Medida de dilución en corrientes

Se descarga agua residual tratada en una corriente como se muestra en la Figura 2.6. La concentración de sodio en la corriente en el punto A es de 10 mg/l y el gasto de 20 m³/s. La concentración de sodio en la descarga es de 250 mg/l, con un gasto de 1.5 m³/s. Determinar la concentración de sodio en el punto B asumiendo que existe mezclado completo.

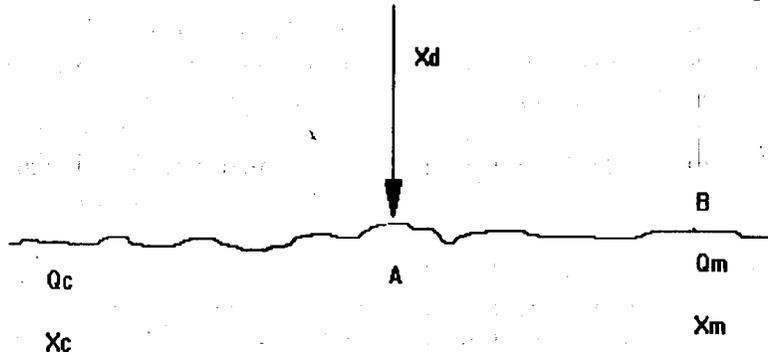


Figura 2.6 Datos correspondientes al ejemplo 2.1

Solución:

1. Estableciendo un balance de masa entre los puntos A y B, se tiene

Masa entrante = Masa saliente

$$X_c Q_c + X_d Q_d = X_m Q_m$$

dado que Q_m es la suma de los otros dos gastos, entonces

$$X_m = \frac{X_c Q_c + X_d Q_d}{Q_m}$$

2. Sustituyendo los datos, se tiene

$$X_m = \frac{(10)(20) + (250)(1.5)}{20 + 1.50}$$

$$\chi_m = 26.7 \frac{mg}{l}$$

La **agitación** del agua en las corrientes propicia la dispersión del agua residual, disminuyendo la posibilidad de creación de zonas localizadas con altas concentraciones de contaminantes. Como se vió en el apartado correspondiente a Transferencia de Gases (Cap. I, sección I.7), el oxígeno de la atmósfera se disuelve en el agua a una velocidad que depende del déficit de saturación, de la agitación en la superficie y de la temperatura del agua. Puesto que la reaereación varía en proporción directa al déficit de oxígeno, una curva representada gráficamente por los déficits de oxígeno en las ordenadas y los tiempos en las abscisas, es de pendiente negativa, y la correspondiente ecuación diferencial será

$$\frac{dD}{dt} = -k_2 D \quad (2.6)$$

en la que **D** es el déficit de saturación a un tiempo cualquiera **t**, y **k₂** es una constante de rapidez de la reaereación, que es función de la turbulencia de la corriente, y puede calcularse por medio de

$$k_2 = \left(\frac{D_m u}{H^3} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

donde **u** es la velocidad media de la corriente, **H** es la profundidad media del cauce, **D_m** es el coeficiente de difusión molecular igual a 2.037×10^{-5} cm/s a 20°C.

La ecuación 2.6 puede expresarse también como:

$$\frac{dD}{D} = -k_2 dt$$

Integrando se tiene:

$$\int_{D_0}^D \frac{dD}{D} = -k_2 \int_{t=0}^{t=t} dt$$

$$\ln D \Big|_{D_0}^D = -k_2 t \Big|_0^t$$

$$\ln D - \ln D_0 = -k_2 t$$

$$\frac{D}{D_0} = e^{-k_2 t}$$

$$D = D_0 e^{-k_2 t} \quad (2.8)$$

en la que **D** es el déficit de oxígeno en mg/l para cualquier tiempo **t**, **D₀** es el déficit inicial para **t = 0**, **t** es el tiempo generalmente expresado en días, y **k₂** es la constante de reaeración o reoxigenación.

El coeficiente de reaeración **k₂** es función de la temperatura y la profundidad del agua, de la velocidad y turbulencia de la corriente. Para corrientes agitadas puede llegar a ser hasta 0.5, para grandes corrientes de lenta velocidad puede ser 0.15 a 0.20 1/día, mientras que para embalses puede ser un valor tan bajo como 0.05 1/día. Estos valores son para una temperatura del agua de 20°C. La corrección de **k₂** por razón de la temperatura puede hacerse con la siguiente fórmula

$$k_2(T) = k_2(20^\circ\text{C}) (1.025^{(T-20)}) \quad (2.9)$$

en la que **k₂(T)** es la constante de reaeración a T°C.

Las corrientes rápidas favorecen la reaeración, a la vez que se reduce el tiempo de recuperación; pero pueden aumentar la longitud del tramo de la corriente afectado por el vertido.

La **sedimentación** puede eliminar los sólidos suspendidos, los que contribuyen a la DBO, si la velocidad de la corriente es menor que la de arrastre de las partículas. Tal eliminación mejora la calidad del agua corriente abajo de la zona de sedimentación, pero no cabe duda que es perjudicial en la zona en que los sólidos se acumulan.

La **luz solar** actúa como desinfectante y estimula el crecimiento de las algas. Estas producen oxígeno durante el día, pero lo consumen durante la noche. Como se explicó en la sección 2.1.1 referente al OD, las aguas que contienen gran desarrollo de algas pueden llegar a sobresaturarse de OD durante las horas de sol y tornarse anaerobias durante la noche.

La **temperatura** afecta la solubilidad del OD en el agua, a la actividad de las bacterias (medible a través de **k₁**) y a la velocidad de reaeración (medible a través de **k₂**). La condición crítica se suele alcanzar en épocas de altas temperaturas en las que el consumo de oxígeno es elevado y su disponibilidad es reducida.

Evolución del oxígeno disuelto en una corriente por efecto de una descarga

Se denomina **déficit de oxígeno** en una corriente a la diferencia entre el oxígeno de saturación (concentración de equilibrio de acuerdo con la ley de Henry), y la concentración de oxígeno disuelto medida en el agua.

El déficit de oxígeno en una corriente es función de la utilización del oxígeno en la degradación de la materia orgánica y de la reaeración.

Analizando las ecuaciones 2.1 y 2.6 que se muestran en forma simultánea en la Figura 2.7, se observa que los dos procesos representan fenómenos opuestos, por lo que el déficit de oxígeno en una corriente con degradación y reaeración, se expresa por:

$$\frac{dD}{dt} = -k_2D - (-k_1y)$$

$$\frac{dD}{dt} = -k_2D + k_1y$$

y de la ecuación 2.2,

$$y = Le^{(-k_1t)}$$

$$\frac{dD}{dt} = -k_2D + k_1 L e^{-k_1t}$$

por lo que la ecuación anterior puede ser escrita como

$$\frac{dD}{dt} + k_2D = k_1 L e^{-k_1t} \quad (2.10)$$

la que corresponde a una ecuación diferencial de la forma

$$\frac{dy}{dx} + Py = Q$$

IMPACTO AMBIENTAL

donde P y Q son funciones de x . El factor de integración necesario para la solución de este tipo de ecuación es

$$e^{\int P dx}$$

$$e^{\int k_2 dt} = e^{k_2 t}$$

multiplicando la ecuación 2.10 por el término elevado a la $k_2 t$, se obtiene

$$e^{k_2 t} \frac{dD}{dt} + k_2 D e^{k_2 t} = k_1 L e^{(k_2 - k_1) t}$$

factorizando el lado izquierdo

$$e^{k_2 t} \frac{dD}{dt} + k_2 D e^{k_2 t} = \frac{dD}{dt} e^{k_2 t}$$

separando variables e integrando

$$\int dD e^{k_2 t} = k_1 L \int e^{(k_2 - k_1) t} dt$$

$$D e^{k_2 t} = \frac{k_1 L}{k_2 - k_1} e^{(k_2 - k_1) t} + C$$

La constante de integración C se determina a partir de las condiciones de frontera, $D = D_0$ para $t = 0$

$$D_0 = \frac{k_1 L}{k_2 - k_1} (1) + C$$

$$C = D_0 - \frac{k_1 L}{k_2 - k_1}$$

sustituyendo el valor de C se tiene

$$D e^{k_2 t} = \frac{k_1 L}{k_2 - k_1} (e^{(k_2 - k_1)t} + D_0 - \frac{k_1 L}{k_2 - k_1})$$

ó

$$D = \frac{k_1 L}{k_2 - k_1} \left(\frac{e^{(k_2 - k_1)t}}{e^{k_2 t}} \right) - \frac{k_1 L}{(k_2 - k_1) e^{k_2 t}} + \frac{D_0}{e^{-k_2 t}}$$

y finalmente

$$D = \frac{k_1 L}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 e^{-k_2 t} \quad (2.11)$$

En la ecuación 2.11, t representa el tiempo de recorrido a partir del punto de descarga y hasta un punto de interés y se obtiene como:

$$t = \frac{d}{u} \quad (2.12)$$

donde d es la distancia de recorrido y u es la velocidad de la corriente.

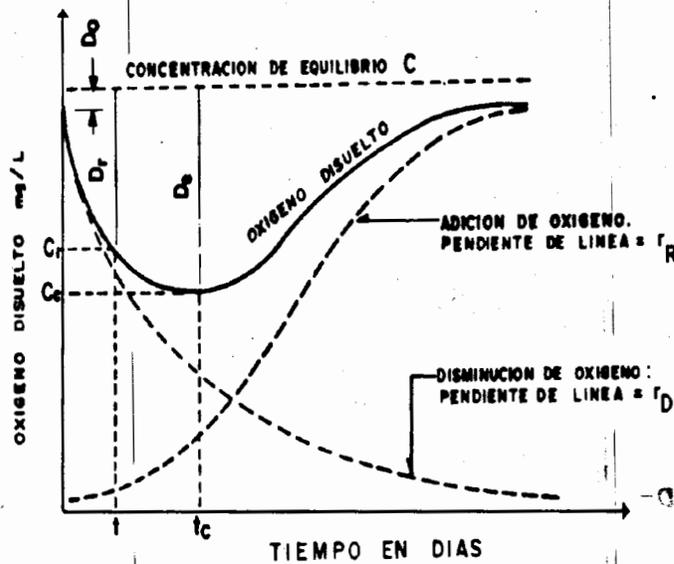


Figura 2.7 Evolución del oxígeno disuelto, curva sag. Demanda Bioquímica de Oxígeno y adición de oxígeno.

La gráfica que define la ecuación 2.11 se muestra también en la Figura 2.7 y se conoce como curva de evolución del oxígeno disuelto o curva sag. El punto de mayor interés en la curva está representado por la concentración más baja de oxígeno, ya que corresponde al máximo impacto debido a la descarga de aguas residuales. El punto para el cual el oxígeno disuelto es mínimo se conoce como déficit crítico D_c , y el tiempo se define como tiempo crítico t_c . Para el déficit crítico la razón de cambio del déficit es cero, y la expresión para D_c se encuentra a partir de la ecuación 2.10

$$0 + k_2 D_c = k_1 L e^{-k_1 t_c}$$

ó

$$k_2 D_c = k_1 L e^{-k_1 t_c}$$

y

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L e^{-k_1 t_c} \quad (2.13)$$

La solución de la ecuación anterior depende del valor numérico de t_c . La ecuación para el cálculo de t_c se obtiene de la ecuación 2.11 derivando e igualando a cero, ya que el Déficit crítico es máximo para t_c .

$$\frac{k_1 L}{k_2 - k_1} (-k_1 e^{-k_1 t_c} + k_2 e^{-k_2 t_c}) - k_2 D_0 e^{-k_2 t_c} = 0$$

dividiendo por $e^{-k_2 t_c}$

$$\frac{k_1 L}{k_2 - k_1} (-k_1 e^{(k_2 - k_1) t_c} + k_2) - k_2 D_0 = 0$$

ordenando

$$k_2 D_0 \left(\frac{k_2 - k_1}{k_1 L} \right) = k_2 - k_1 e^{(k_2 - k_1) t_c}$$

$$k_1 e^{(k_2 - k_1) t_c} = k_2 - D_0 \frac{k_2}{k_1} \frac{k_2 - k_1}{L}$$

dividiendo la ecuación anterior por k_1 y tomando antilogaritmos

$$(k_2 - k_1) t_c = \ln \left(\frac{k_2}{k_1} - D_0 \frac{k_2}{k_1^2} \frac{k_2 - k_1}{L} \right)$$

y de otra forma

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \ln \left[\frac{k_2}{k_1} \left(1 - D_0 \frac{k_2 - k_1}{k_1 L} \right) \right] \quad (2.14)$$

Con las ecuaciones 2.13 y 2.14 puede predecirse para una descarga de aguas residuales, la concentración mínima de oxígeno disuelto en la corriente y la distancia aguas abajo para la cual ocurre.

Problema Ejemplo 2.1

Una planta municipal de tratamiento de aguas residuales descarga a una corriente su efluente del tratamiento secundario. Las condiciones más críticas ocurren durante el verano cuando el flujo de la corriente baja y la temperatura en el agua aumenta. Para estas condiciones se determinaron las características de la corriente y la descarga: el gasto máximo del agua residual fue de 20,000 m³/día, DBO₅ de 50 mg/l, concentración de oxígeno disuelto de 2 mg/l, y una temperatura de 25°C. Aguas arriba del punto de descarga la corriente tiene un gasto mínimo de 0.7 m³/s, DBO₅ de 4 mg/l, concentración de oxígeno disuelto de 8 mg/l, y una temperatura de 20 °C. La constante de desoxigenación es de 0.23 día⁻¹ y la de reaireación es de 0.4 día⁻¹ a 20° C.

Determine la concentración mínima de oxígeno disuelto en la corriente y el tiempo de recorrido para el cual ocurre, por efecto de la descarga.

Solución

1. Determinación de las características de la mezcla de aguas residuales y de la corriente.

a)

$$Q_{descarga} = 20000 \frac{m^3}{día} \times \frac{1día}{24h} \times \frac{1h}{60min} \times \frac{1min}{60s}$$

$$Q_{descarga} = 0.23 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{mezcla} = Q_{descarga} + Q_{río}$$

$$Q_{mezcla} = 0.23 + 0.7$$

$$Q_{mezcla} = 0.93 \text{ m}^3 / \text{s}$$

b) DBO₅ de la mezcla, de la ecuación 2.5

$$Q_{mezcla} \text{ DBO}_{5 \text{ mezcla}} = Q_{descarga} \text{ DBO}_{5 \text{ descarga}} + Q_{río} \text{ DBO}_{5 \text{ río}}$$

$$DBO_{5mezcla} = \frac{0.23 \times 50 + 0.7 \times 4}{0.93}$$

$$DBO_{5mezcla} = 15.38 \text{ mg/l}$$

Cálculo de la demanda bioquímica última, de la ecuación 2.3

$$L = \frac{DBO_{5mezcla}}{(1 - e^{-K_1 t})}$$

$$L = \frac{15.38}{(1 - e^{-0.23 \times 5})}$$

$$L = 22.51 \text{ mg/l}$$

c) Oxígeno disuelto de la mezcla, de la ecuación 2.5

$$OD_{mezcla} = \frac{0.23 \times 2 + 0.7 \times 8}{0.93}$$

$$OD_{mezcla} = 6.52 \text{ mg/l}$$

d) Temperatura de la mezcla, de la ecuación 2.5

$$T_{mezcla} = \frac{0.23 \times 25 + 0.7 \times 20}{0.93}$$

$$T_{mezcla} = 21.24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Corrección por temperatura para k_1 y k_2

a) k_1 , de la ecuación 2.4

$$k_{21.24} = k_{20} (1.047^{21.24 - 20})$$

$$k_{21.24} = 0.23 (1.0586)$$

$$k_{21.24} = 0.24 \text{ día}^{-1} = k_1$$

b) k_2 , de la ecuación 2.9

$$k_{21.24} = k_{20} (1.025^{21.24 - 20})$$

$$k_{21.24} = 0.40 (1.031)$$

$$k_{21.24} = 0.41 \text{ día}^{-1} = k_2$$

3. Determinación del déficit inicial de oxígeno.

a) A una temperatura de 21.24°C la concentración de equilibrio del oxígeno disuelto en agua dulce es 8.90; entonces

$$D_0 = 8.90 - 6.52 = 2.38 \text{ mg/l}$$

4. Cálculo del déficit crítico y su localización

a)

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \ln \left[\frac{k_2}{k_1} \left(1 - D_0 \frac{k_2 - k_1}{k_1 L} \right) \right] \quad (2.14)$$

$$t_c = \frac{1}{0.41 - 0.24} \ln \left[\frac{0.41}{0.24} \left(1 - 2.38 \frac{0.41 - 0.24}{0.24 (22.51)} \right) \right]$$

$$t_c = 2.69 \text{ día}$$

b)

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L e^{-k_1 t_c}$$

$$D_c = \frac{0.24}{0.41} (22.51 e^{-0.24(2.69)})$$

$$D_c = 6.91 \text{ mg/l}$$

y la concentración mínima de oxígeno disuelto es :

$$OD = 8.90 - 6.91 = 1.99 \text{ mg/l}$$

Limitaciones del modelo de la curva de evolución del oxígeno disuelto

En el modelo de la curva sag no se consideran todas las variables que afectan los fenómenos de reaeración y desoxigenación. A continuación se analizan cuáles son los factores que no se consideran en el modelo, así como las sugerencias respecto a cómo considerar las limitaciones en cada caso particular.

Variables de reaeración. En el abasto de oxígeno a la corriente intervienen muchos factores que no se consideran en el modelo matemático de la curva sag, como por ejemplo la contribución de los productores en el proceso de la fotosíntesis. En todo caso, al no considerarse esto en el modelo se tiene la condición crítica o más desfavorable, ya que no se toma en cuenta la participación del proceso de la fotosíntesis en la reaeración. Además en el modelo se establecen condiciones constantes para la corriente como área hidráulica, pendiente, velocidad y otros, lo que muy raras veces se presenta en la realidad; sin embargo esta limitación puede ser eliminada si se consideran pequeñas secciones del río donde las variables sean más o menos constantes.

Variables de desoxigenación. La ecuación del modelo de la curva de evolución del oxígeno disuelto está basada en la consideración de una sola descarga, cuando en la realidad puede haber varias descargas a lo largo de la corriente. Sin embargo, ésta limitación puede eliminarse si se divide al río en tramos en los cuales se analice una por una cada descarga, de tal forma que las condiciones iniciales para cada tramo corresponderían a las condiciones finales del tramo anterior. Por otro lado, si existen corrientes tributarias que descarguen a la corriente principal también deberán considerarse estas descargas con sus características, ya que el flujo de la corriente se incrementará.

La constante k_1 , que se incluye en el modelo sólo considera la desoxigenación debida a la degradación de la materia orgánica contenida en la descarga, sin embargo, existen otras variables que contribuyen al consumo de oxígeno disuelto y al incremento de la demanda bioquímica de oxígeno tales como: la respiración de las algas en ausencia de luz solar, procesos de nitrificación que incrementan la demanda de oxígeno y los depósitos de lodo en el fondo de la corriente. Además, los microorganismos presentes en las corrientes pueden ser más eficientes en la degradación de materia orgánica que los microorganismos utilizados en la prueba de laboratorio de la DBO.

Autodepuración de lagos

En la autodepuración de lagos participan los mismos agentes que actúan en las corrientes. Sin embargo, en los lagos las corrientes son menos pronunciadas y a menudo la sedimentación originará grandes acumulaciones de lodo en el fondo, algas muertas y posiblemente la eutroficación del cuerpo de agua debido a un enriquecimiento de nutrientes aportados por las descargas de aguas residuales y retornos agrícolas. La inevitable descomposición que puede ser lenta debido a las bajas temperaturas del agua profunda, empleará todo el oxígeno de las capas más profundas. No es raro descubrir en los embalses y lagos que las capas de agua superiores contienen mucho oxígeno disuelto, plancton y peces propios de aguas limpias, mientras que los estratos inferiores presentan las características de ausencia de OD, presencia de bacterias anaerobias y olores desagradables.

2.1.5 Eutroficación

Los lagos naturales o artificiales como las presas, son sujeto de un proceso de envejecimiento en el que la acumulación gradual de sedimentos y materia orgánica causa una transformación de lago a pantano y de pantano a campo. Un lago joven se caracteriza por su bajo contenido de nutrientes y baja productividad. Dichos lagos son llamados oligotróficos (pocos nutrientes); gradualmente adquieren nutrientes gracias a las corrientes de su cuenca hidrológica, incrementando la producción de organismos acuáticos.

El término eutroficación se refiere a este proceso de enriquecimiento de nutrientes así como a los efectos resultantes. Es un proceso natural y lento que tarda miles de años, pero que puede ser acelerado notablemente por las actividades humanas reduciendo su duración de milenios a décadas, en cuyo caso se conoce como eutroficación cultivada.

Las aguas residuales, desechos industriales y los retornos agrícolas contribuyen con gran cantidad de nutrientes que pueden llevar a una rápida y excesiva producción de malezas acuáticas y algas cuya descomposición al morir produce un decremento en el contenido de oxígeno disuelto que causa la muerte de los peces, y las actividades recreativas, municipales, industriales y agrícolas disminuyen debido al decremento en la calidad y cantidad del agua almacenada.

Ley de Liebig

Además de la disponibilidad de luz hay otros factores que limitan el crecimiento de organismos acuáticos, uno de los más importantes es el suministro de nutrientes. Justus Liebig estableció en 1840 que "el crecimiento de las plantas depende del nutriente que se presenta en proporción mínima en el agua", la cual se conoce como ley de Liebig o "Del Mínimo".

Si se considera la lista de nutrientes requeridos para el crecimiento de los organismos acuáticos: carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio, potasio, sodio, boro, manganeso, zinc, cobre y quizá otros; la ley de Liebig establece que el crecimiento será limitado por el nutriente que esté menos disponible a la necesidad del organismo.

La aplicación práctica de este concepto implica que la tasa de eutroficación puede controlarse limitando la disponibilidad de cualquiera de los nutrientes requeridos y que se presente en proporción mínima, ya que éste será el nutriente que limite el crecimiento. Por ejemplo si el nutriente limitante es el nitrógeno y se disminuyeran las entradas de fósforo, el resultado no sería tan efectivo como dirigir los esfuerzos hacia el decremento del nitrógeno.

Supóngase un análisis empírico de la composición química de una alga como: $C_{106} H_{263} O_{110} N_{16} P$, se pueden calcular los porcentajes en peso usando los pesos atómicos de cada elemento.



FACULTAD DE INGENIERIA

Composición (moles)		Peso Molecular (gr/mole)			Porcentaje en peso
C: 106	x	12	=	1272 gr	35.8
H: 263	x	1	=	263 gr	7.4
O: 110	x	16	=	1760 gr	49.6
N: 16	x	14	=	224 gr	6.3
P: 1	x	31	=	31 gr	0.9
				3550 gr	100.0

G- 610895

Así por ejemplo, para producir 3550 gr de esta alga se requiere la presencia de al menos 224 gr de nitrógeno y al menos 31 gr de fósforo. El fósforo es el nutriente limitante porque es indispensable para el desarrollo del alga y se presenta en menor proporción, la producción total de algas dependerá de cuánto fósforo esté disponible.

Es común expresar las relaciones de nutrientes como concentraciones en el agua. Por ejemplo, para producir 1 mg/l del alga en cuestión, se requiere de 0.009 mg/l de fósforo y 0.063 mg/l de nitrógeno. Odum señala que en cada una de las etapas de crecimiento de las algas se tienen distintos nutrientes limitantes, en virtud de que el crecimiento no es un fenómeno estático.

En el caso de las algas azul verdes, el controlar el nitrógeno no resulta eficiente porque estas especies son capaces de obtener el nitrógeno directamente del aire, y cuando mueren su descomposición libera nitrógeno que está disponible para otras especies de algas.

Malezas Acuáticas

Las plantas acuáticas se consideran como malezas cuando alteran el equilibrio del ecosistema acuático y causan problemas al reproducirse en gran cantidad.

Con la construcción de las presas se crean lugares favorables para el desarrollo de malezas acuáticas, problema que generalmente es simultáneo con la fertilización involuntaria a través de descargas de aguas residuales urbano-industriales y retornos agrícolas. Las malezas acuáticas

dificultan las actividades como la piscicultura y navegación, aumentan la evapotranspiración y los azolves, producen obstrucciones en las estructuras hidráulicas como turbinas, compuertas, canales, etcétera, además las malezas favorecen la presencia de enfermedades en las poblaciones cercanas al embalse debido a que proporcionan refugio a larvas del mosquito *Anopheles s.p.p.*, transmisor de la malaria, el mosquito *Culex s.p.p.*, portador de la filaria y el mosquito *Mansonia s.p.p.*, que es portador de la encefalitis. Además en las raíces de las malezas se pueden alojar los caracoles transmisores de la fasciolosis y la esquistosomiasis.

La vegetación acuática en México se presenta en todos los tipos de clima propicios para la vida vegetal. Prospera bien en el clima húmedo, pero también existe en lugares de pluviosidad baja y se le encuentra desde el nivel del mar hasta más de 4000 msnm. Se concentra, sin embargo, en zonas cercanas a los litorales y en regiones en que una precipitación relativamente alta coincide con abundancia de áreas de drenaje deficiente, como en la planicie costera de Veracruz, Tabasco y Campeche, en la planicie costera de Nayarit y Tamaulipas, así como en una franja de numerosas lagunas y zonas pantanosas de origen volcánico, que se extiende desde el norte de Michoacán hasta el centro de Jalisco.

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es la planta más ampliamente distribuida principalmente en la zona centro del país; en la vertiente del Pacífico, de Sinaloa hacia el sur; y en la del Golfo, de Tamaulipas hasta la península de Yucatán. Esta planta se comporta como maleza principalmente en algunos cuerpos de agua de las zonas templadas y subtropicales de las cuencas hidrológicas de los ríos, Lerma-Chapala-Santiago, Balsas y Pánuco; además, en algunos distritos de riego de la zona Norte del país. En muchas zonas tropicales del sureste, aunque el lirio es frecuente, su presencia no es tan crítica debido principalmente al control natural que periódicamente ejercen las grandes avenidas.

Métodos utilizados para reducir las poblaciones de malezas acuáticas

Actualmente el control de malezas en las zonas de clima tropical a subtropical es difícil y costoso ya que las plantas se reproducen a gran velocidad. Cuando se selecciona y aplica adecuadamente el método de control las poblaciones vegetales se mantienen en número apropiado en un embalse, sin que se presenten los trastornos antes citados.

Cada embalse se debe evaluar para elegir el método o métodos de control apropiados, teniendo en cuenta el uso que se le da al embalse (generación de energía eléctrica, piscicultura, abastecimiento de agua potable, etcétera).

Método de control biológico

Las plantas acuáticas pueden alimentar a ciertas especies y además son susceptibles a ciertas enfermedades y parásitos, por lo que pueden controlarse biológicamente. Los organismos patógenos de las plantas tienen numerosas características que los hacen los candidatos ideales para un biocontrol; son numerosos y diversos, frecuentemente tienen un huésped específico, son fácilmente diseminables, no eliminan completamente al hospedero y normalmente no afectan al hombre o a otros animales. El método de control biológico involucra un largo proceso en el que deberá considerarse cómo se introducirá el control, así como en cuánto tiempo se tendrán los resultados esperados.

Método de control químico

Desde fines de siglo XIX y hasta nuestros días se han buscado compuestos químicos eficaces y poco costosos que combatan las especies vegetales acuáticas indeseables y que no tengan efectos nocivos sobre otros organismos.

El control de las plantas acuáticas por medio de los herbicidas puede ser eficaz para remover las malezas pero también puede afectar a los demás habitantes del embalse, como peces, anfibios, reptiles, insectos, aves, mamíferos, otros vegetales y aún al hombre, si esta agua es usada para uso doméstico, riego de cultivos, acuicultura, ganadería, afectando así los productos agropecuarios y acumulándose tóxicamente en el organismo humano por lo que su empleo debe ser cuidadoso y delicado.

Método de control físico

Los métodos de control físico remueven las plantas de su ambiente manualmente o por medio de la ayuda de una máquina usando la fuerza mecánica.

Manuales. La extracción de plantas se hace por medio de guadañas, cuchillos, hoces, etcétera; éste método tiene el inconveniente de ser muy lento y se requiere de muchos hombres para lograr buenos resultados. En México son muy usados estos métodos.

Mecánicos. La extracción se efectúa por medio de una maquinaria provista de un equipo de cortado y cosecha o usando equipo que destruye las plantas en la orilla.

Actualmente el control físico parece ser uno de los mejores métodos para la remoción de las plantas acuáticas. El problema de los otros métodos es que cuando las plantas mueren permanecen en el agua, y al descomponerse, devuelven al agua los nutrientes que tenían.

La ventaja de la cosecha mecánica es que no implica problemas de contaminación, remueve las plantas del agua y evita que al morir reincorpore nutrientes y minerales al sistema; sin embargo, este método tiene un resultado parcial y temporal y a menudo aumenta la propagación de las plantas sumergidas por permitir la penetración de la luz.

Para obtener los mejores resultados de las máquinas cosechadoras, es necesario obtener datos ecológicos de la población que se desea controlar físicamente. Estos datos son: densidad, cobertura y crecimiento.

CASO ESTUDIO 2.3

EUTROFICACION DE LA LAGUNA DE YURIRIA, GUANAJUATO

Durante 1991 se invirtieron 1730 millones de pesos con el fin de eliminar el lirio acuático de la Laguna de Yuriria, Guanajuato, que desde hace varios años provoca la desaparición de peces e impide el uso agrícola de las aguas.

La invasión de lirio en las lagunas, presas y canales de riego del país ocasiona daños irreversibles a la agricultura, la pesca y el uso del agua para consumo humano. La laguna de Yuriria tiene 187 km de largo por 8 km de ancho; el lirio acuático la cubría en 40%, lo cual es favorecido por descargas de aguas residuales de las poblaciones cercanas y por uno de los cauces del río Lerma que fluye hacia ella.

En el saneamiento de la laguna de Yuriria realizado por el Gobierno Federal y los pescadores de lugar se usaron seis máquinas trituradoras y pulverizadoras de lirio, con lo cual se dejaron de emplear escarabajos, elefantes marinos y productos químicos, con los que no se logró el control de la planta.

La eutroficación de la laguna de Yuriria ha afectado a los pescadores del lugar debido a que el lirio ha acabado con el bagre y casi con el charal. Esto ha motivado que los hombres emigren a los estados aledaños o a Estados Unidos de América como braceros.

El uso de máquinas cortadoras-cosechadoras controlará sólo temporalmente el problema del lirio acuático en la laguna de Yuriria. Una acción que favorecería el control permanente en la población de lirio es el tratamiento de las aguas residuales antes de su vertido en la laguna.

Referencias

La Jornada, año 7, no. 2267 del 5 de enero de 1991.

2.2 Aguas subterráneas

El agua subterránea constituye una importante fuente de abastecimiento, y en algunas zonas es el recurso único para satisfacer las demandas. El agua subterránea mantiene una interrelación con el agua superficial, la explotación de los acuíferos implica en muchos casos la disminución del flujo base de un río y de la descarga de manantiales; en otros casos, la intercepción del escurrimiento superficial mediante obras artificiales puede disminuir o cambiar la recarga de los acuíferos.

Cuando el agua se infiltra en el suelo avanza verticalmente por gravedad, a través de los poros (vacíos) existentes entre los granos hasta llegar al reservorio subterráneo.

El reservorio subterráneo está constituido por los espacios o poros de las rocas. Estos se encuentran conectados entre sí como si fuera un sistema de pequeñas tuberías, donde el agua se almacena y circula muy lentamente.

Existen rocas que son menos resistentes (o blandas) y están compuestas por granos de arena, arcillas o materiales angulosos (cascajos). Así como los suelos, estas rocas presentan porosidad primaria constituida por los vacíos entre los granos, como se aprecia en la Figura 2.8 a.

Las rocas más resistentes (o duras) son impermeables, pero muchas veces se encuentran fracturadas y entonces el agua puede almacenarse en los espacios entre las fracturas, tal como se aprecia en la Figura 2.8 b.

Además, existen rocas llamadas calizas que forman cavernas. En éstas, el agua va formando canales por disolución, (Figura 2.8 c). Estas dos últimas son conocidas como porosidad secundaria.

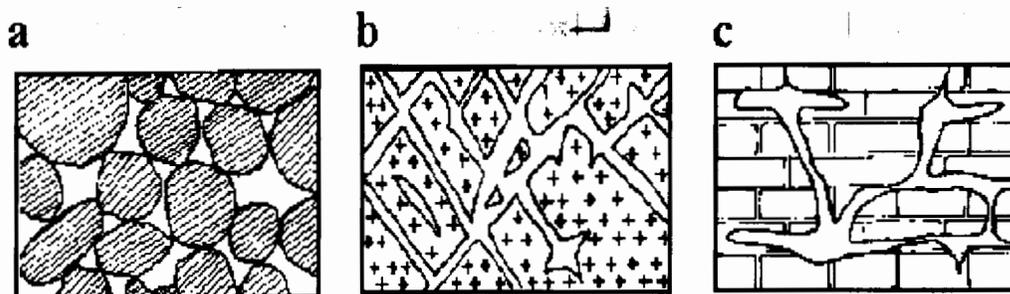


Figura 2.8 a, b y c. Porosidad primaria, rocas fracturadas y porosidad secundaria.

La zona del suelo ubicada sobre el reservorio subterráneo es la **zona no saturada**. Aquí los poros contienen agua y aire, mientras que bajo el nivel de agua subterránea (nivel freático), todos los poros del reservorio subterráneo están llenos de agua; es la **zona saturada**, Figura 2.9 .

El reservorio subterráneo se llama **acuífero** cuando se puede extraer de él cantidades apreciables de agua.

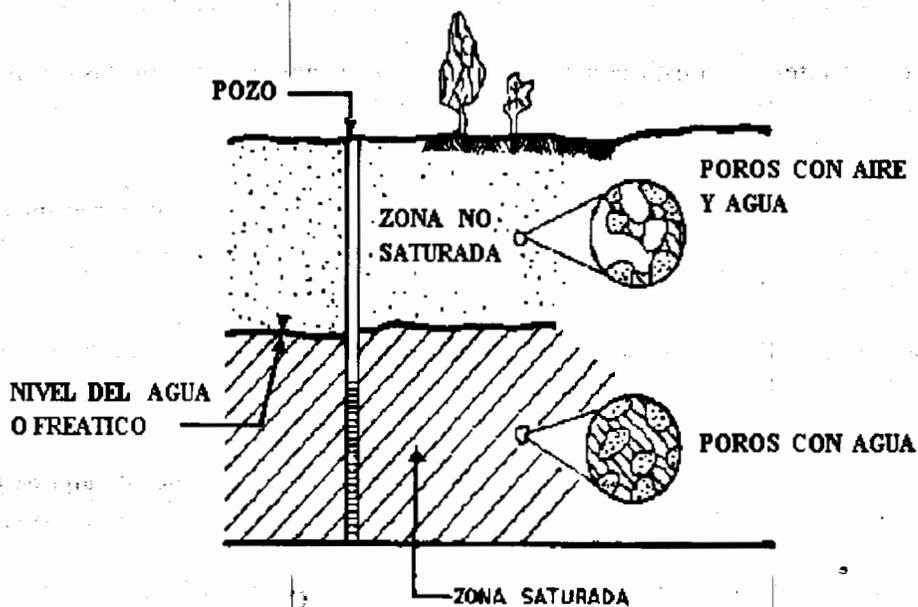


Figura 2.9 Zona saturada y no saturada

2.2.1 Tipos de acuíferos

En la naturaleza existen principalmente dos tipos de acuíferos: a) libres (o freáticos) y b) confinados o artesianos (Figura 2.10), los libres se encuentran más cerca de la superficie y los confinados se presentan generalmente a mayor profundidad e intercalados entre dos capas impermeables. En este caso el agua está bajo presión en los poros y, cuando se construye un pozo, el agua asciende sola, algunas veces hasta la superficie.

2.2.2 Tipos de pozos

Para utilizar las aguas subterráneas, el hombre dispone de los afloramientos o manantiales donde el agua brota espontáneamente, pero principalmente construye pozos. Los tipos de pozos más comunes son someros y profundos.

Los pozos someros presentan grandes diámetros, con profundidades generalmente menores a 25 metros y normalmente revestidos con cemento, ladrillos o piedras Figura 2.11 a. El agua se extrae con baldes, bombas de pequeña potencia y molinos de viento, principalmente.

Los pozos profundos presentan diámetros pequeños con profundidades que varían de decenas a centenas de metros, muchas veces revestidos con tubos intercalados con filtros, de donde el agua se extrae con bombas y compresoras, (Figura 2.11 b). Se les denomina

pozos artesianos cuando explotan acuíferos confinados.

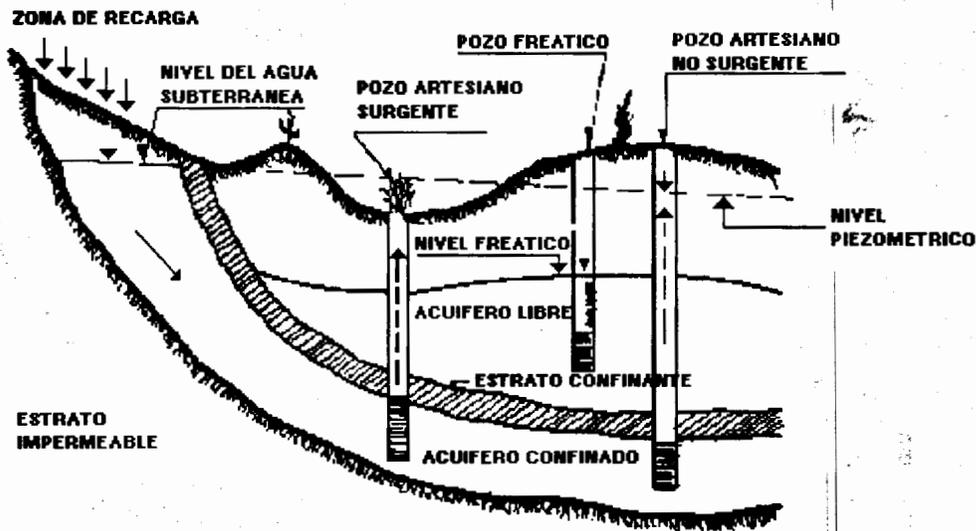
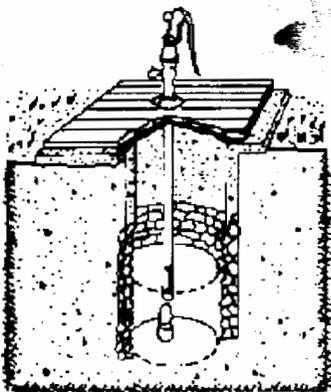
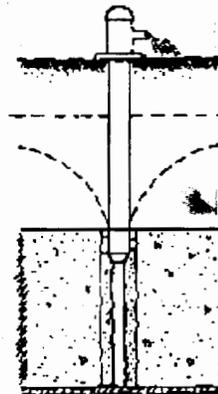


Figura 2.10. Tipos de acuíferos



a) POZO SOMERO



b) POZO PROFUNDO

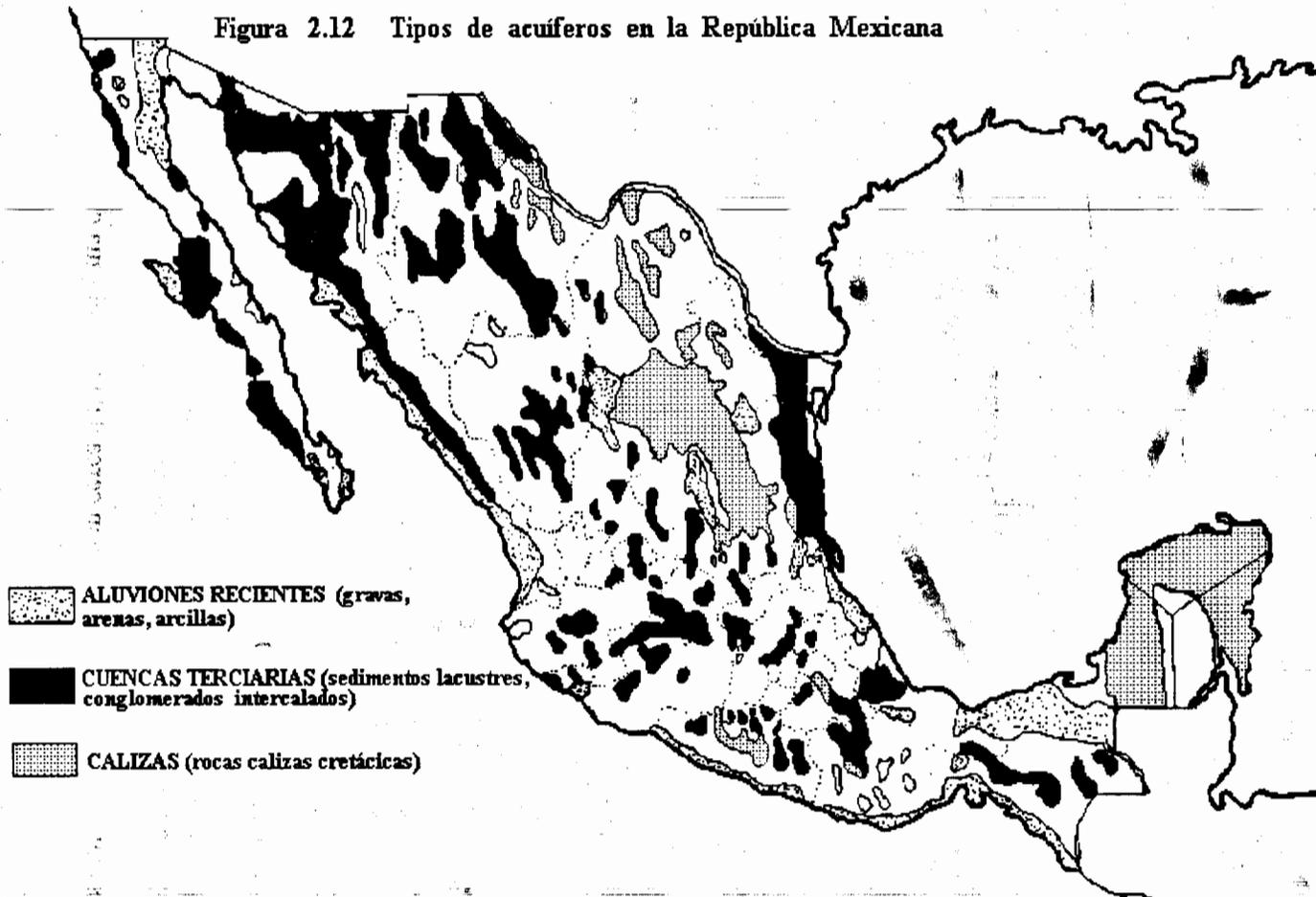
Figura 2.11 Tipos de pozos

2.2.3 Importancia de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas constituyen cerca del 95% del agua dulce de nuestro planeta. Apenas el 5% forma ríos, lagos y otros. Esto le otorga a las aguas subterráneas una importancia fundamental.

Su utilización ha aumentado mucho en los últimos 20 años debido al incremento de la demanda y también en función de la degradación de la calidad de las aguas superficiales, como consecuencia del crecimiento poblacional y de los desarrollos industriales y agrícolas-pecuarios.

Figura 2.12 Tipos de acuíferos en la República Mexicana



Las principales ventajas que presenta la utilización de las aguas subterráneas son:

- Costo de construcción de pozos, generalmente menor que el costo de las obras de captación de agua superficial, tales como presas, represas, diques y plantas de tratamiento,
- En general su calidad es adecuada para el consumo humano sin necesidad de tratamiento, salvo en casos de contaminación natural y/o artificial.

En las zonas costeras de México, los acuíferos se localizan principalmente en los aluviones recientes (gravas, arenas y arcillas), mientras que en el noroeste, en la Península de Yucatán y en los Altos de Chiapas, los principales acuíferos se encuentran en calizas. En la parte central del país, los acuíferos se ubican predominantemente en las cuencas terciarias (sedimentos lacustres, conglomerados intercalados en rocas ígneas extrusivas), (Figura 2.12).

Aunque todavía existen acuíferos subaprovechados, la sobreexplotación del agua subterránea se está generalizando principalmente en las zonas áridas y semiáridas, lo que ha ocasionado perjuicios prácticamente irreversibles, tales como intrusión salina, hundimiento del terreno y bombeo a profundidades económicamente incosteables. El agua subterránea se explota en más de 30 acuíferos, y en algunos de ellos puede llegarse a su inutilización completa. Además, diversos acuíferos presentan problemas de contaminación debidos a la infiltración de aguas residuales y disposición inadecuada de residuos sólidos en tiraderos a cielo abierto.

2.2.4 Sobreexplotación de acuíferos

A partir de la creación de los Distritos de Riego, la demanda de agua se incrementó considerablemente y rebasó la disponibilidad de aguas superficiales. Por ello se recurrió al aprovechamiento del agua subterránea en forma intensiva, lo que ocasionó perforaciones a profundidades comprendidas entre 50 y 250 metros, ejecutadas principalmente en la región lagunera y en el Valle de Mexicali, donde abundan gruesos espesores de arena; se trataba siempre de interceptar los acuíferos existentes en las capas de relleno.

De 1954 a 1957 la Secretaría de Recursos Hidráulicos ejecutó perforaciones en la zona de Mina, Nuevo León, con bastante éxito, con el fin de resolver el problema de la falta de agua potable en la ciudad de Monterrey. Las profundidades promedio fueron del orden de 870 m, y se obtuvieron nueve pozos con un gasto total de 1090 l/s. Con ello se inició la explotación de pozos en calizas y marcó nuevas posibilidades y esperanzas de una solución inmediata a la gran demanda de agua para satisfacer necesidades de carácter doméstico, industrial y agrícola.

Debido a la perforación desmesurada de pozos, que provocó la extracción de grandes volúmenes de agua, existen actualmente más de 30 acuíferos con sobreexplotación, como puede verse en la Figura 2.13.

Figura 2.13 Principales zonas de sobreexplotación de acuíferos, efectos ocasionados.

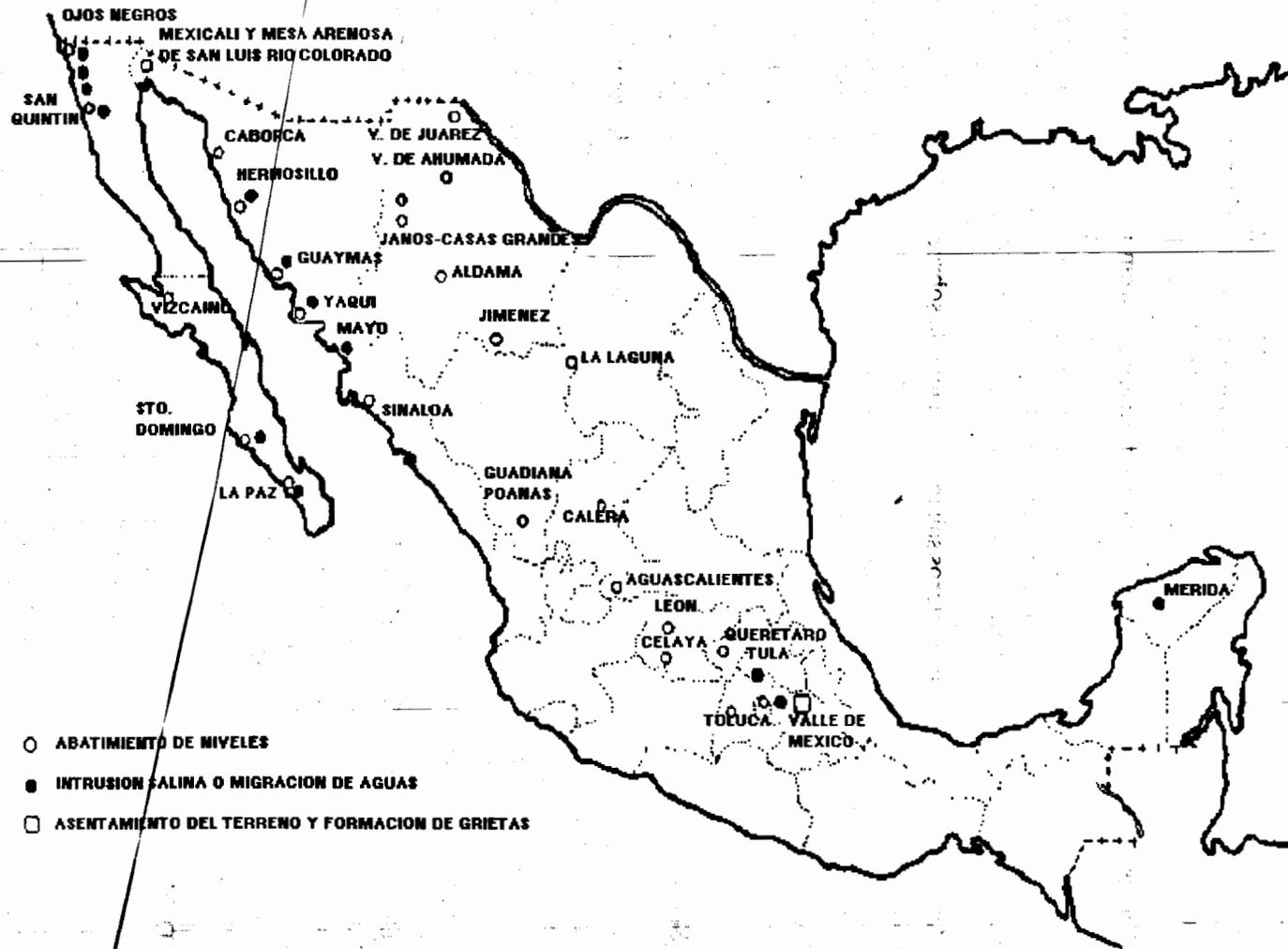
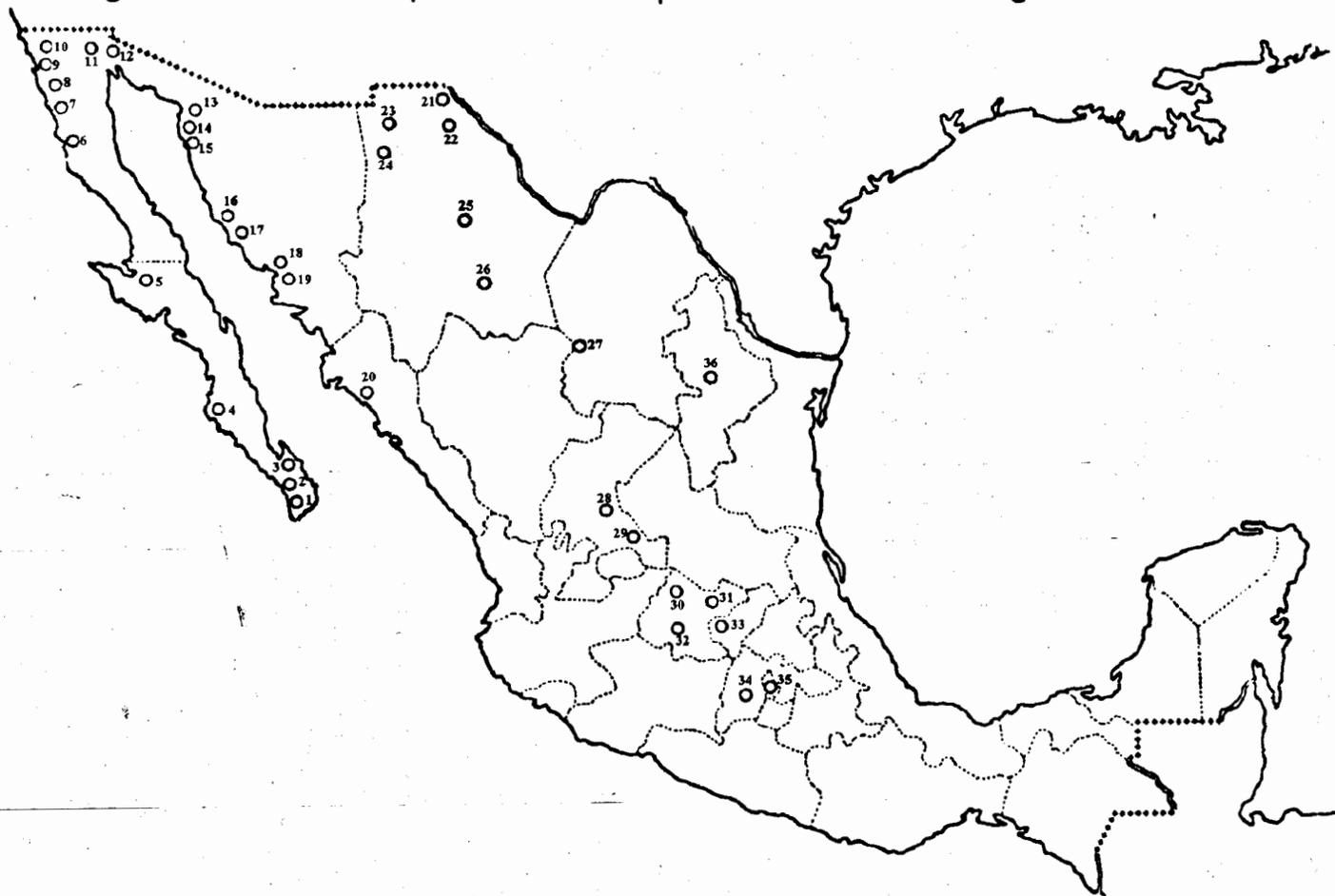


Figura 2.14 Zona con problemas de explotación excesiva del agua subterránea



El agua subterránea está constituida por dos componentes principales: el volumen renovable (recarga estacional del acuífero) y el volumen no renovable (almacenamiento del acuífero). El manejo de ambos depende, entre otras cosas, de la determinación del potencial que tenga cada uno y además de la existencia o falta de fuentes alternativas que permitan realizar el uso conjunto de los recursos hidráulicos existentes.

En la actualidad, la tendencia en el manejo de acuíferos se enfoca a determinar niveles máximos y mínimos del agua con el fin de regular la capacidad de su almacenamiento, coadyuvando con esto al desarrollo de actividades económicas que de otra manera no podrían realizarse. Dentro de este planteamiento es necesario considerar siempre los efectos que podrían generarse en el comportamiento de los acuíferos, a fin de evitar que se lleguen a producir colapsos económicos al no poder restituir las condiciones originales en que se inició la explotación del agua subterránea.

El manejo del agua subterránea responde además de las diversas condiciones físicas del medio (clima, hidrología, geología, etc.), a las presiones socioeconómicas producidas por el mismo desarrollo. Ello ha motivado que en algunas zonas del país el volumen extraído de los acuíferos rebase su recarga natural y se generen abatimientos progresivos en los niveles piezométricos, lo que trae como efectos laterales incrementos en los costos de bombeo, intrusión de agua de mar en acuíferos costeros, asentamiento de terrenos, formación de grietas y migración de aguas salobres. En el Caso Estudio 2.4 se explica el impacto ambiental de la sobreexplotación del agua subterránea en la Ciudad de México que ha ocasionado un hundimiento de aproximadamente 9 metros en lo que va del siglo. Los casos más críticos de sobreexplotación detectados en el país, así como los principales efectos que han producido, se consignan en el Cuadro 2.3 y Figura 2.14 .

Con el fin de evitar que los problemas generados por la sobreexplotación perjudiquen cada vez más la economía de las zonas afectadas, ha sido necesario resolver graves problemas de manejo, mediante soluciones tales como la reducción de las extracciones hasta un volumen del orden de la extracción permanente, y cuando esto no es posible, por lo menos reducir la magnitud de los efectos indeseables a fin de alargar la vida útil de los acuíferos, aplicando medidas correctivas, como implantación de vedas rígidas que impidan la perforación de nuevos pozos, redistribución de las captaciones para reducir la velocidad del abatimiento, incremento de la recarga mediante la infiltración artificial, importación de agua desde cuencas vecinas y relocalización de captaciones a distancias mayores del litoral, en el caso de acuíferos costeros. Una herramienta que cada vez más se aplica, es el uso de modelos de predicción del comportamiento de los acuíferos, ya que mediante ellos ha sido posible plantear alternativas de explotación que permiten definir la más conveniente, tanto en el aspecto geohidrológico como en el económico.

Cuadro 2.3
ZONAS CON PROBLEMAS DE EXPLOTACION DEL AGUA SUBTERRANEA

N°	Zona	Sobreexplotación media anual (10 ⁶ m ³)	Abatimiento medio anual (m)	Comentarios
1	Valle Pescadero, B.C.S.	0.2	0.16	Los niveles piezométricos están bajo el nivel del mar, y presenta síntomas de intrusión de agua salada.
2	Valle Todos Santos, B.C.S.	0.5	0.55	Los bombeos superiores a los actuales podrían facilitar la intrusión salina del mar.
3	Valle La Paz, B.C.S.	8.0	0.40	Durante la época de bombeo, los niveles dinámicos se encuentran entre 5 y 30 m bajo el nivel del mar. Esta situación propicia la intrusión salina del mismo, que amenaza principalmente a los pozos que abastecen a la Cd. de La Paz.
4	Valle Santo Domingo, B.C.S.	190.0	0.90	Actualmente parte del acuífero tiene abatimientos totales hasta de 9 m, bajo el nivel del mar que provoca intrusión salina del mismo.
5	Valle Vizcaíno, B.C.S.	0.5	0.83	Los volúmenes bombeados provocan la disminución del volumen almacenado, invirtiendo la dirección del flujo y evitando las salidas subterráneas del acuífero.
6	Valle San Quintín, B.C.N.	12.0	0.45	El nivel estático ha disminuido hasta alcanzar valores máximos totales del orden de 12 m bajo el nivel del mar. El efecto más notable es la intrusión salina del mismo que amenaza gravemente el desarrollo de esta región.
7	Valle San Quintín, B.C.N.	1.0	0.27	Al igual que en el caso anterior, el nivel estático de los acuíferos disminuyó hasta quedar bajo el nivel del mar propiciando la intrusión salina del mismo que contamina el agua dulce cuyas concentraciones de sólidos totales alcanzan valores de 2500 ppm.
8	Valle Ojos Negros, B.C.N.	2.1	0.53	Se provoca con el régimen de explotación el minado gradual de las reservas subterráneas y una ascendente concentración de sales disueltas en el agua, al recircular los volúmenes de riego.
9	Valle Real del Castillo, B.C.N.	0.5	0.18	Los efectos de bombeo excesivo se manifestarán a muy corto plazo, sin preverse intrusión salina.

Cuadro 2.3
(Continuación)

Nº	Zona	Sobreexplotación media anual (10 ⁶ m ³)	Abatimiento medio anual (m)	Comentarios
10	Valle de las Palmas, B.C.N.	2.0	1.14	El exceso de bombeo ha modificado principalmente el extremo aguas abajo del valle, afectando incluso los volúmenes de escurrimiento que capta la Presa Abelardo L. Rodríguez.
11	Valle Mexicali, B.C.N.	900	0.50	En la porción sur del valle, los niveles dinámicos de los pozos se encuentran bajo el nivel del mar y propician la intrusión del mismo. Se recomienda relocalizar los pozos de la parte sur del valle de Mexicali en la porción norte de la masa de San Luis.
12	Mesa Arenosa de San Luis Río Colorado, Son.	50	0.50	La explotación en exceso provoca abatimiento gradual del nivel estático de los acuíferos. El espesor saturado disminuye y las columnas y los costos de bombeo aumentan. La mayor parte del flujo subterráneo proviene de los EUA, que comienza a aprovecharlo y reduce su disponibilidad en México.
13	C. Río Magdalena (Coyote Costa), Son.	104	1.00	El nivel estático se encuentra actualmente bajo el nivel del mar provocando así la intrusión salina que contamina los acuíferos de agua dulce. La concentración de sólidos totales alcanza valores del orden de 2000 ppm. Las columnas y los costos de bombeo se incrementan
14	C. Río Magdalena (Valle Bisani), Son.	96	1.00	Los principales efectos producidos por el abatimiento del nivel estático son : reducción del espesor saturado de los acuíferos e incremento en las columnas y en los costos del bombeo.
15	C. Río Magdalena (Pitiquito-Caborca), Son.	48	0.90	Al oeste de la Cd. Caborca se localizó el máximo abatimiento que fue de 8 m (1970-73). Las consecuencias de estos descensos son semejantes a los señalados para el valle Bisani.

Cuadro 2.3
(Continuación)

N°	Zona	Sobreexplotación media anual (10 ⁶ m ³)	Abatimiento medio anual (m)	Comentarios
16	Valle El Sahuaral, Son.	70	2.00	Los efectos causados por la explotación en exceso son semejantes a los de la Costa de Hermosillo con la diferencia de que en esta zona no existe intrusión salina.
17	Costa de Hermosillo, Son	500	2.00	El efecto causado por la explotación en exceso ha sido el descenso general del nivel estático que actualmente se encuentra bajo el nivel del mar. Esta situación propicia la intrusión salina, disminuye el espesor saturado de los acuíferos y aumenta las columnas y los costos.
18	Valle San José de Guaymas, Son.	8	1.10	Los efectos más desfavorables originados por el abatimiento general del nivel estático son : intrusión salina del mar, reducción del espesor saturado, incremento en las columnas, y costos de bombeo y contaminación del agua dulce que alcanza concentraciones del orden de 6000 ppm (sólidos disueltos).
19	Valle de Guaymas, Son.	80	1.60	Esta zona es la que acusa los efectos más grandes de la explotación en exceso, ya que además de los señalados en la Costa de Hermosillo la calidad del agua subterránea se ha deteriorado en forma alarmante y alcanza concentraciones de sólidos disueltos de orden de 6000 ppm.
20	Margen Izquierda del Río Sinaloa, Sin.	50	1.50	El nivel estático se abate localmente reduciendo el espesor saturado de los acuíferos. Debido a la intercepción del escurrimiento superficial del río Sinaloa con la Presa Sinaloa de Leyva el espesor saturado se reduce aún más.
21	Valle Juárez (Cd Juárez), Chih.	14	0.86	El acuífero que abastece de agua a Cd. Juárez ha registrado abatimientos de nivel estático que van de 0.50 a 20 m. Las consecuencias son : disminución del espesor saturado e incremento en los costos de bombeo que hacen crítico el abastecimiento a esta ciudad.

Cuadro 2.3
(Continuación)

N°	Zona	Sobreexplotación media anual (10 ⁶ m ³)	Abatimiento medio anual (m)	Comentarios
22	Valle Villa Ahumada, Chih.	123	--	Abatimiento local del nivel estático en los valles Alamos de Peña Juárez y Villa Ahumada. Se recomienda relocalizar las zonas de bombeo para poder continuar con el ritmo de explotación actual.
23	Valle Janos (Janos), Chih.	33	1.00	Aunque la información disponible es escasa, se sabe que esta zona está explotada en exceso. El nivel estático ha descendido paulatinamente causando disminución en el espesor saturado e incremento en los costos de bombeo que hacen crítico el abastecimiento a esta ciudad.
24	Valle Janos (Casas Grandes), Chih.	1(2)	2.00	El nivel estático acusa un descenso progresivo. Sin embargo, el fuerte espesor del acuífero (300m) permite que el ritmo de explotación actual continúe hasta que el costo del bombeo se vuelva prohibitivo.
25	Valle Aldama, Chih.	9	--	Actualmente es zona de veda. Sin embargo la explotación continúa debido a que la agricultura depende casi en su totalidad del agua subterránea. Las consecuencias son: disminución del espesor saturado e incremento en las columnas y costos de bombeo.
26	Valle Jiménez Camargo (Río Florido), Chih.	14	0.60	El nivel estático se ha abatido. Sin embargo, la explotación en exceso es local y puede disminuirse si se relocalizan las zonas de bombeo.
27	Comarca Lagunera, Coah.	750	1.70	Actualmente la región está vedada debido a que el nivel estático de los acuíferos ha descendido hasta alcanzar los 60 m de profundidad. Las consecuencias son : disminución del espesor saturado en 50 m aproximadamente y aumento en los costos de bombeo y perforación.

Cuadro 2.3
(Continuación)

Nº	Zona	Sobreexplotación media anual (10 ⁶ m ³)	Abatimiento medio anual (m)	Comentarios
28	Valle Calera, Zac.	80	--	El abatimiento del nivel estático ha afectado a casi todo el valle. Los máximos descensos son del orden de 17 m y causan reducción del espesor saturado de los acuíferos y aumento en las columnas y en los costos de bombeo.
29	Valle Loreto, Zac.	17	0.40	La presa sur del valle tiene explotación en exceso. El origen de lo anterior es la concentración de pozos en los alrededores de la población de Loreto. No se recomienda la extracción actual.
30	Valle León, Gto.	92	1.40	La explotación excesiva de los acuíferos ha originado abatimientos cuyos máximos se localizan al sur de la Cd. de León.
31	Zona Laguna Seca, Gto.	14	0.90	Actualmente existen dos zonas con abatimientos locales. Una es Dr. Mora - San José Iturbide y la otra es Laguna Seca. Sin embargo, la región que presenta mayores problemas es la parte norte de Laguna Seca, que ha reducido su aportación al río de la Laja.
32	Bajío - Celaya, Gto.	80	1.64	En el período 1966-70, se produjeron los mayores abatimientos debido al incremento desmedido en la extracción. En la actualidad esta zona está vedada y se recomienda disminuir la explotación a fin de evitar mayores descensos del nivel estático.
33	Valle Querétaro, Qro.	60 a 120	1.50	La explotación excesiva de los acuíferos de este valle ha propiciado el descenso progresivo del nivel estático. El abatimiento máximo registrado en el período 1965-71 fue de 11 m y se localizó en la zona urbano-industrial de la Cd. de Querétaro, hecho que dice todo acerca del uso del agua subterránea.
34	Valle de Toluca, Mex.	170	1.50	El nivel estático del acuífero freático se ha abatido hasta alcanzar máximos del orden de 7 m (Presa Alzate). En el acuífero confinado el abatimiento total máximo ha sido de 17m. Si se continúa con el ritmo de extracción actual el nivel se abatirá hasta 70 m (1976).

Cuadro 2.3
(Continuación)

N°	Zona	Sobreexplotación media anual (10 ⁶ m ³)	Abatimiento medio anual (m)	Comentarios
35	Valle de México, D.F., México, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo.		--	La explotación excesiva del agua subterránea ha ocasionado el hundimiento de la Cd. de México. La velocidad media de dicho fenómeno fue de 8 cm/año para el periodo de 1963-69 y el máximo total registrado fue de 8m (cruce de Av. Juárez y Reforma).
36	Campo de pozos de Mina, N.L.	2.0	0.70	La explotación excedente ha generado abatimientos progresivos, lo que traduce en incremento en costos de bombeo y deficiencia en el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Monterrey.

CASO ESTUDIO 2.4

Hundimiento de la Ciudad de México

Desde principios de siglo hasta 1936 los hundimientos de la Ciudad de México se mantuvieron en el orden de cinco centímetros por año. Al aumentar la demanda de agua se inició la perforación de pozos profundos, y entre 1938 y 1948, el hundimiento en el centro del Distrito Federal se incrementó a 18 centímetros por año, para llegar después a 30 y 50 centímetros anuales. Como consecuencia, el drenaje proyectado para trabajar por gravedad requirió de bombeo para elevar las aguas hasta el nivel del Gran Canal, con un gran incremento en los costos de operación y mantenimiento. En 1960 se construyeron el Interceptor y el Emisor del Poniente, con objeto de recibir y desalojar las aguas del oeste de la cuenca, descargándolas a través del tajo de Nochistongo.

Sin embargo, el desmesurado crecimiento de la ciudad volvió insuficiente las capacidades de drenaje del Gran Canal y del Emisor del Poniente; en 1970 ya el hundimiento había sido tal que el nivel del lago de Texcoco, que en 1910 se hallaba 1.90 metros por debajo del centro de la ciudad, se encontraba 5.50 metros más arriba. Se requería de un sistema de drenaje que no fuera afectado por los asentamientos del terreno, que no necesitara bombeo y que expulsara las aguas por una cuarta salida artificial: era necesario construir el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México. En la Figura 2.15 se esquematiza el hundimiento de la Ciudad de México a través de los años.

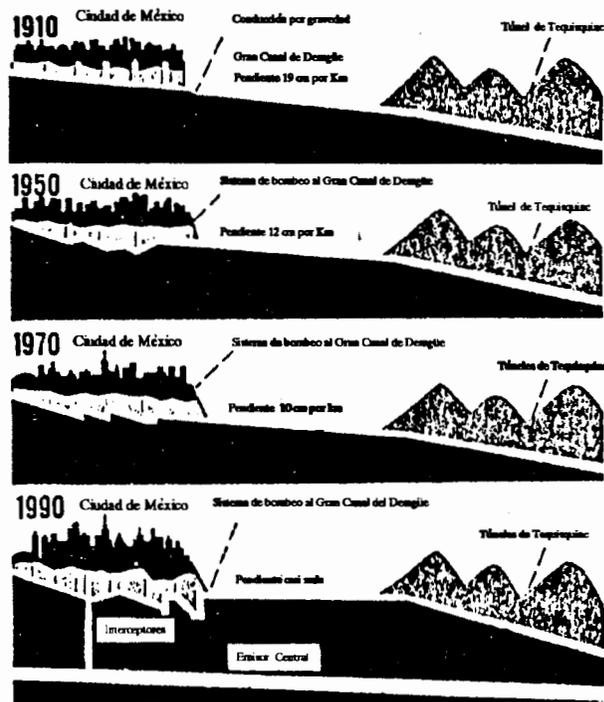


Figura 2.15 Hundimiento en la Ciudad de México.

2.2.5 Intrusión salina

La **invasión** o **intrusión salina** es el movimiento del agua del océano hacia el continente dentro de acuíferos costeros confinados o no confinados, y que produce consecuentemente, el desplazamiento de agua dulce de esas formaciones y la inutilización del recurso.

Bajo condiciones naturales, en las áreas costeras por la proximidad de las aguas dulces y saladas, hay un balance entre el influjo de las aguas saladas y un reflujo de agua dulce que establece una frontera entre los dos regímenes llamada "curva de interfase".

Cuando el agua es bombeada fuera del acuífero, el nivel freático cae y la frontera se **mueve** hacia adentro. Como se sugiere en la Figura 2.16, un pozo de agua dulce costero, podría tener que ser abandonado después de un tiempo, debido a esta intrusión salina.

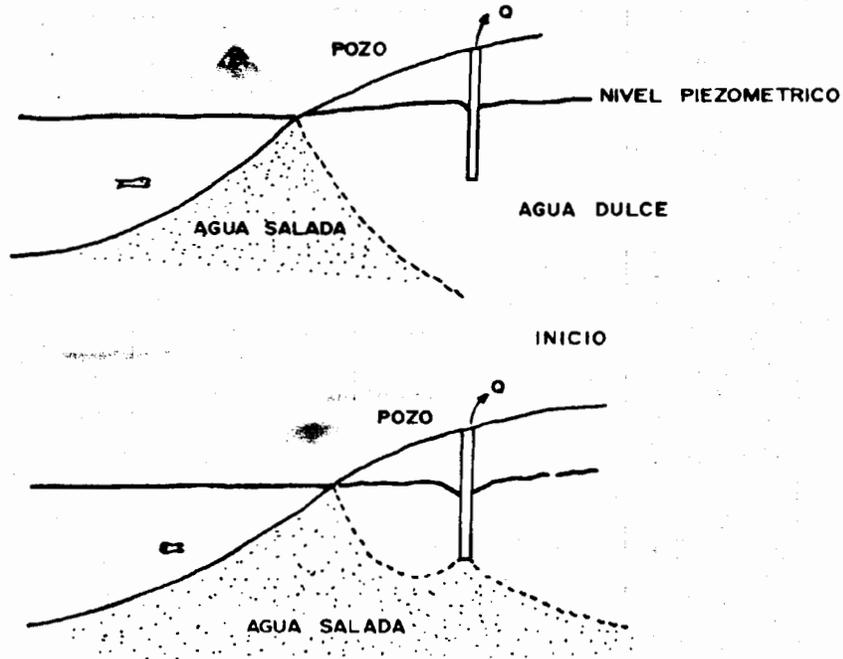


Figura 2.16. Pozo costero en el inicio del bombeo y al transcurrir el tiempo

Condiciones hidrostáticas de Ghyben-Herzberg

El equilibrio hidrostático entre dos cuerpos de agua (dulce y salada) que no se mezclan y están en contacto a lo largo de cierta línea de interfase, fue estudiado por primera vez por Badon Ghyben y Bairat Herzberg. Su teoría de las "lentes convergentes" se explica a continuación.

Se usará la Figura 2.17 para determinar las condiciones de equilibrio, en la que h_b es la altura del agua dulce bajo el nivel del mar, h_s es la altura de agua dulce sobre el nivel del mar, H es la columna total de agua dulce y S es la columna de agua salada. Se sabe que un pie^3 de agua de mar pesa 64.06 lb mientras que un pie^3 de agua dulce pesa 62.50 lb agua dulce, por lo que el agua salada pesa 1.025 veces más que el agua dulce.

Por lo tanto, una columna de agua salada de S metros, podría equilibrar una columna de agua dulce de $1.025 S$ metros, y como:

$$H = \text{Altura de la columna de agua dulce} = 1.025 S \quad (2.15)$$

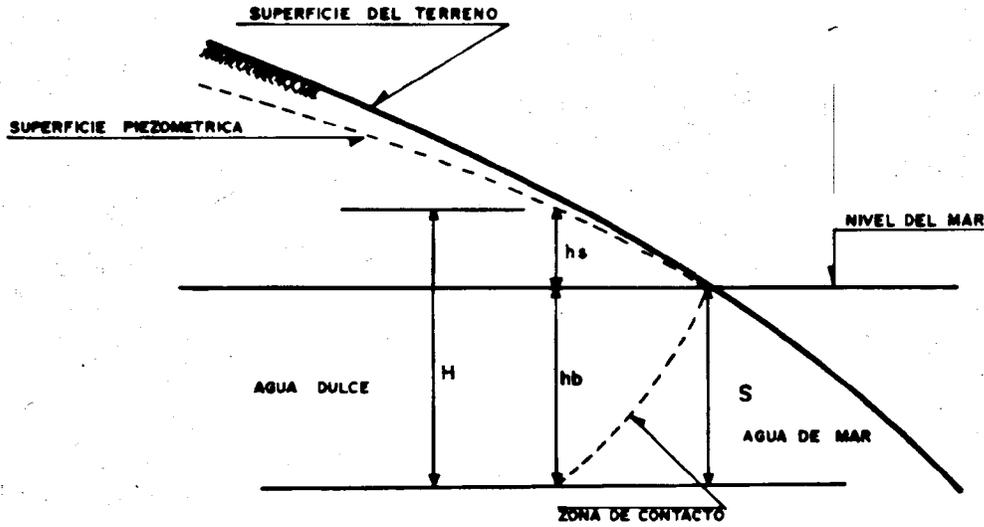


Figura 2.17 Equilibrio hidrostático entre agua dulce y agua de mar

Pero $1.025 = g$ es la densidad relativa del agua de mar (varía de 1.024 a 1.026), luego

$$H = gS \quad (2.16)$$

Considerando que $H = h_s + h_b$ y de la ecuación 2.16

$$gS = h_b + h_s$$

y como $S = h_b$

$$gh_b = h_b + h_s$$

entonces

$$gh_b - h_b = h_s$$

$$h_b(g-1) = h_s$$

$$h_b = \frac{h_s}{g-1}$$

Ahora, si $h_s = 1m$, $h_b = 40 m$; es decir por cada metro de agua dulce sobre el nivel del mar, habrá 40 m de agua dulce abajo del nivel del mar.

Las limitaciones de estas relaciones o fórmulas son principalmente:

1. El nivel freático o piezométrico del acuífero está sobre el nivel del mar.
2. La pendiente del acuífero es hacia el mar.

Control de la Intrusión Salina

Debido a que apenas 20 ml de agua de mar en 1 litro de agua dulce la puede hacer no potable, en los últimos años se le ha dado considerable atención a la búsqueda de métodos para controlar la intrusión del agua de mar con objeto de proteger las fuentes locales de agua subterránea. Se han propuesto al menos los siguientes seis métodos.

Modificación de los patrones de bombeo

Este método requiere la reducción en las extracciones o una nueva disposición de patrones zonales de bombeo de manera que se eleven los niveles del agua subterránea. Con un gradiente hidráulico hacia el mar establecido y mantenido, se puede esperar una recuperación parcial de la intrusión del agua de mar, como se muestra en la Fig. 2.18

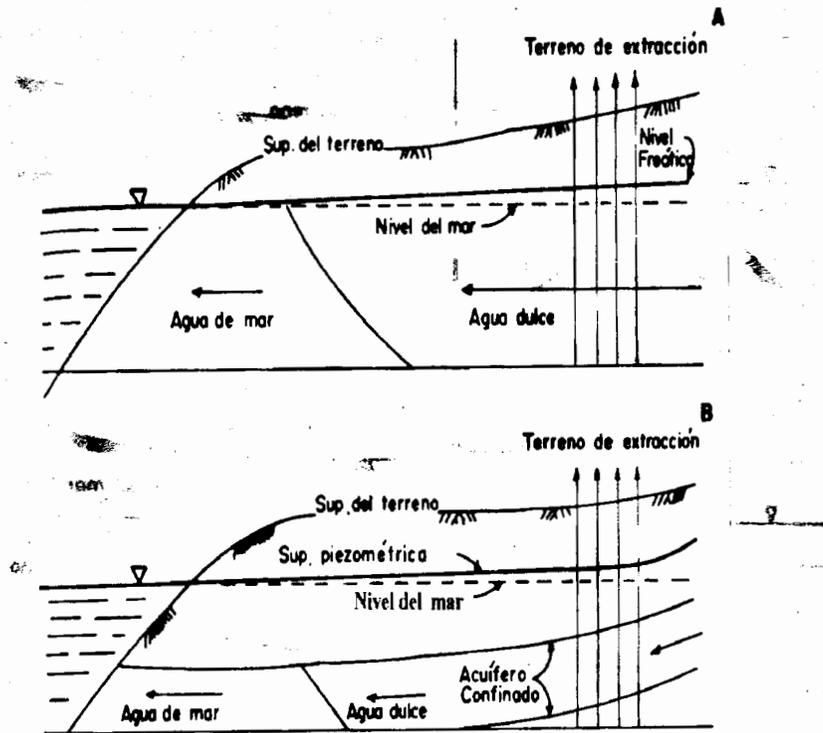


Figura 2.18 Condiciones Hidrológicas mostrando recuperación parcial de la intrusión con reducción del gasto de bombeo. a) Acuífero no confinado b) Acuífero confinado

Recarga superficial, artificial directa.

Este método requiere elevar y mantener los niveles del agua subterránea mediante recarga artificial usando propagación superficial para acuíferos no confinados y pozos de recarga para acuíferos confinados. Serían necesarias aguas complementarias de fuentes tributarias o no tributarias para este efecto.

Mantenimiento de una arista de agua dulce.

Este método requiere mantener una arista de agua dulce en el acuífero a lo largo de la costa por medio de propagación (difusión) superficial para acuíferos no confinados, o por pozos de recarga para acuíferos confinados. Un esquema de las secciones transversales de las condiciones de flujo se muestra en la Figura 2.19. Con una línea de pozos de recarga paralelos a la costa, la arista consistirá de una serie de picos y "dos aguas" en la superficie piezométrica.

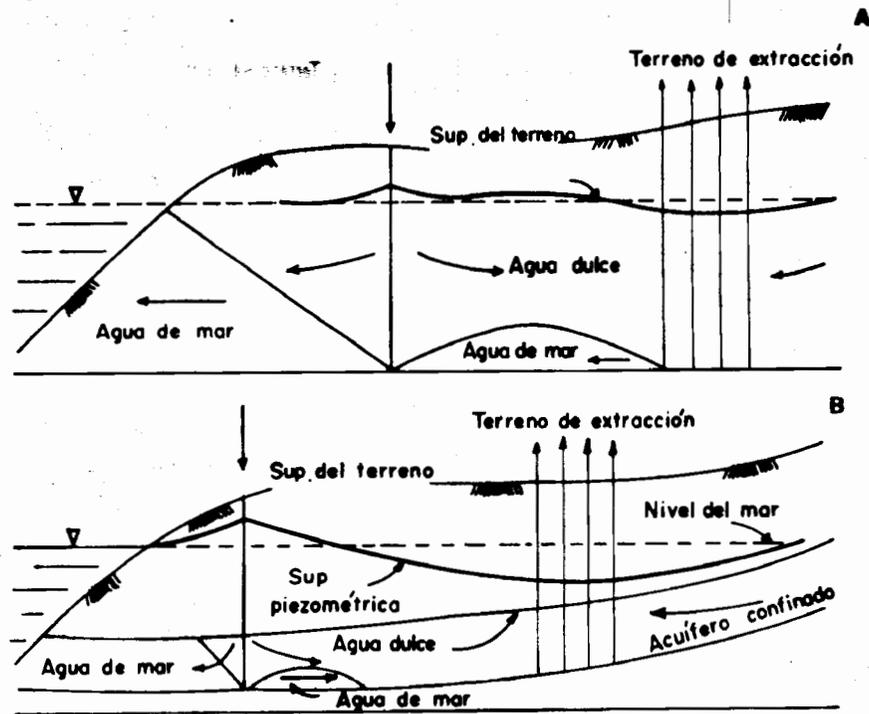


Figura 2.19 Condiciones Hidrológicas con "arista" de agua dulce actuando como barrera del agua salada. a) Acuífero no confinado b) Acuífero confinado.

La tasa total de inyección a lo largo de la línea de recarga debe ser igual a la suma de agua dulce perdida en el océano necesaria para mantener la posición de la columna de agua de mar y el déficit del depósito, originalmente satisfecho por el flujo del agua de mar.

Barrera de extracción

El desarrollo de una barrera de extracción requiere mantener una depresión de bombeo continua por una línea de pozos adyacente al océano. El agua de mar se movería tierra adentro desde el océano hacia la depresión y el agua dulce del depósito se movería hacia el mar en dirección hacia la depresión, como se muestra en la Figura 2.20. El agua dulce perdida hacia el océano sería comparable a la que ocurre con una arista de agua dulce usando pozos de recarga.

Combinación de la barrera de inyección extracción.

Usando los dos últimos métodos se puede formar una combinación de arista de inyección y depresión de bombeo como se muestra en la figura 2.21. Ambos gastos de extracción y recarga serían algo menores a aquellos que se requieren usando solo uno de los dos métodos; sin embargo, el número de pozos requerido se duplicaría.

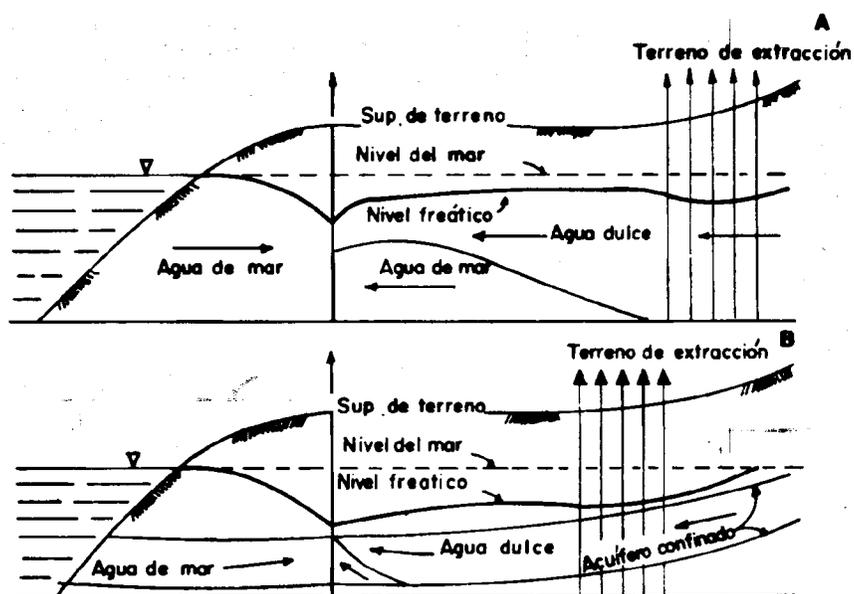


Figura 2.20 Condiciones hidrológicas con el tipo de barrera de extracción.
a) Acuífero no confinado, b) Acuífero confinado.

Barrera subsuperficial impermeable.

Este método involucra el establecimiento de una barrera subsuperficial para reducir la permeabilidad del acuífero lo suficiente para prevenir el influjo de agua de mar dentro del acuífero.

La construcción de una barrera podría alcanzarse usando tablaestacado, arcilla, asfalto emulsificado, acrilato de calcio, sílica gel, bentonita ó plásticos. Ejemplos de este tipo de barrera se muestran en la Figura 2.22. La barrera permitiría a las aguas interiores ser retenidas permitiendo así un gran desarrollo de los recursos totales del depósito.

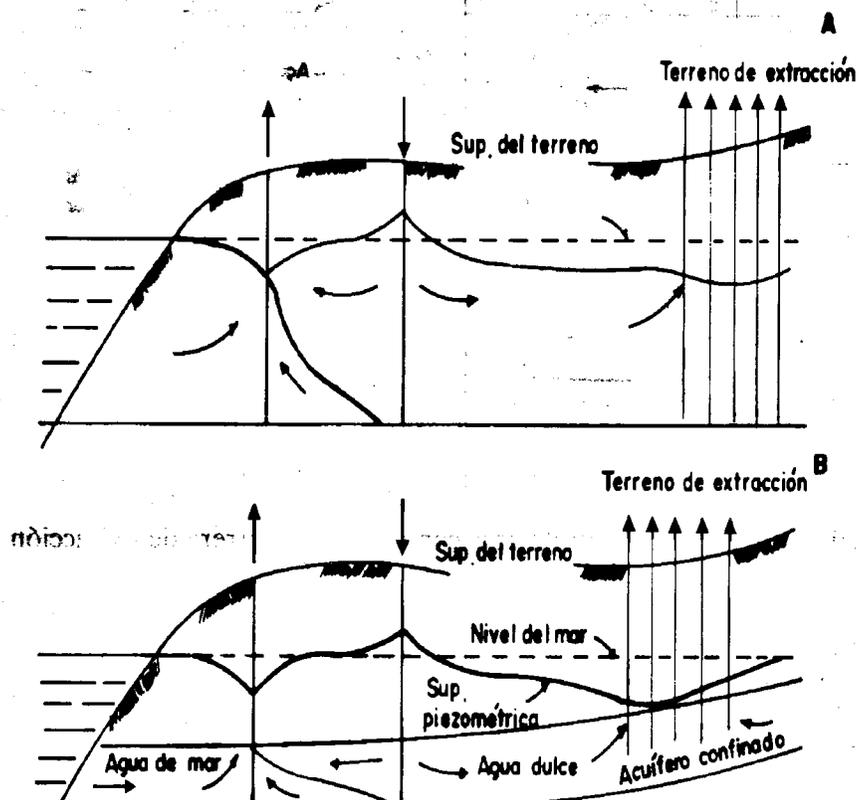


Figura 2.21 Condiciones hidrológicas con una combinación de barrera de extracción - inyección a) Acuífero no confinado, b) Acuífero confinado.

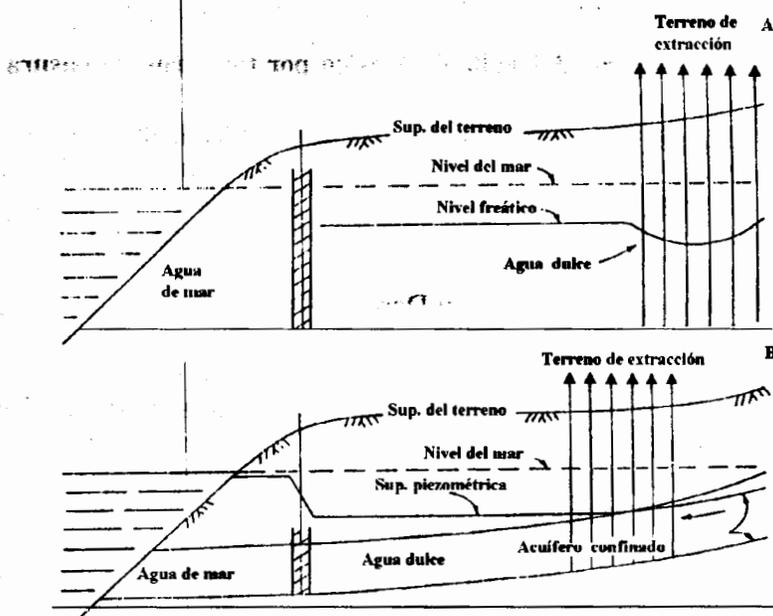


Figura 2.22 Condiciones hidrológicas con una barrera subsuperficial impermeable. a) Acuífero no confinado, b) Acuífero confinado.

2.2.6 Impacto en el agua subterránea por la disposición inadecuada de desechos sólidos

El método de disposición final de desechos sólidos más usado en los países subdesarrollados es el tiradero a cielo abierto que recibe desechos generados por todas las fuentes (domicilios, hospitales, industrias, etcétera). Por su forma de operación los tiraderos a cielo abierto conllevan a una amplia secuela de efectos adversos en el medio que lo circunda, tales como contaminación del agua, suelo y aire, presencia de fauna nociva y creación de cinturones de miseria, por ejemplo. En el Caso Estudio 2.5, se tratan estos y otros efectos.

Una alternativa para disponer de los desechos sólidos de manera más racional es el relleno sanitario. Sin embargo, este método de disposición final también tiene un impacto ambiental que debe ser evaluado. El estudio de impacto ambiental de este tipo de proyectos deberá contemplar los efectos que se presentarán desde la implantación, operación y abandono de la obra.

CASO ESTUDIO 2.5

Contaminación de los acuíferos del Valle de México por tiraderos de basura

Ante el riesgo de que los mantos acuíferos de la Cuenca del Valle de México se contaminen con fluidos de los grandes tiraderos existentes en el Distrito Federal y área conurbada, es necesario crear rellenos sanitarios en sitios adecuados para sustituir los tiraderos que se han ido formando de manera anárquica en diversos puntos de la Ciudad de México y sus alrededores.

El Instituto de Geofísica de la UNAM, en su Departamento de Recursos Naturales, investiga la problemática en sus secciones de Aguas Subterráneas y Modelación Matemática y Computación.

En particular, el Instituto de Geofísica ha estudiado el relleno sanitario de Santa Catarina, ubicado en las faldas de la formación volcánica La Caldera, en la carretera a Puebla. Hace unos años en ese sitio hubo un gran tiradero a cielo abierto y aún en la actualidad transformado en relleno sanitario recibe diariamente 3 mil toneladas de desechos.

Los investigadores consideran que este relleno puede tener un papel importante en la contaminación del sistema acuífero local: la subcuenca de Chalco, pues a aproximadamente 3 km se encuentra una batería de pozos susceptible de ser contaminada. Cuando se formó el tiradero no se previeron dichos efectos. Por ejemplo, el hecho de que los lixiviados (líquidos parecidos al petróleo), producto del arrastre de la materia orgánica con concentraciones de elementos químicos orgánicos e inorgánicos y bacteriológicos, se infiltran lentamente hacia las aguas subterráneas que luego son extraídas para consumo humano.

En ese sitio el suelo es una formación volcánica de permeabilidad variable, de muy alta a casi nula. En los sedimentos lacustres de Chalco existe una capa arcillosa, con espesores de hasta 300 m que actúa como una gran tapadera porque las arcillas son casi impermeables. Sin embargo, esto impide la infiltración vertical, pero no horizontal, lo que explica que se haya encontrado lixiviado a 100 m de profundidad bajo el tiradero de Santa Catarina. Esta medición se logró utilizando métodos geofísicos empleados para detectar la extensión y posición de lo que se denomina "pluma" o "nube" de lixiviado. Una vez que no puede ya filtrarse verticalmente, el lixiviado empieza a extenderse para formar en el suelo una nube de lixiviado.

Otros estudios realizados en el Lago de Texcoco muestran que allí el paquete arcilloso tiene una serie de fracturas por donde pudiera estar ocurriendo un proceso de percolación hacia el acuífero.

Aproximadamente el 85% del agua que se consume en la Ciudad de México proviene de la Cuenca, donde se han perforado pozos hasta una profundidad de 400 m, por lo que a corto plazo es difícil encontrar problemas serios de contaminación del agua subterránea.

Uno de los objetivos de los estudios del Instituto de Geofísica es determinar el impacto de la extensión de la mancha urbana en las zonas de recarga del acuífero. Por ejemplo, si en la sierra del Chichinautzin, a la que pertenece el cerro del Ajusco, continúa la urbanización, a mediano o largo plazo puede alterarse la hidrodinámica del sistema acuífero de la cuenca. Asimismo se estudia

el efecto de los tiraderos ya clausurados, como el de Santa Cruz Meyehualco para proponer medidas preventivas y correctivas pues aunque todavía no existe una situación generalizada de contaminación del acuífero del Valle de México, si podría presentarse tal situación.

Es necesario llevar a cabo una planeación del manejo de los desechos, lo cual involucra un delicado impacto socioeconómico si se considera la cantidad de gente que vive de la recolección y reciclado.

A pesar de los intereses que se afectarían y las dificultades tecnológicas que implica manejar adecuadamente las 18 mil toneladas de basura que diariamente se generan en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, empiezan hacerse los esfuerzos para modernizar la recolección y disposición de los desechos por medio de rellenos sanitarios especialmente diseñados para esta función.

Referencias:
Gaceta UNAM
4 de diciembre de 1992.

2.2.7 Rellenos Sanitarios

El término relleno sanitario se refiere a un área de terreno en la cual se depositan desechos sólidos municipales y se compactan y cubren con una capa de tierra en la operación diaria. El sitio de disposición debe ser lo suficientemente grande para manejar el volumen de desechos proyectado a un cierto período de diseño. Algún tiempo después de haberse terminado la capacidad para la que fue diseñado el relleno sanitario, el terreno puede utilizarse para otros fines, tales como parques o viveros. El diseño del relleno sanitario depende del fin último que se le va a dar al terreno, por lo que es un factor que debe ser considerado desde el inicio del proyecto.

La selección del sitio es quizá el obstáculo más difícil de salvar en el proyecto de un relleno sanitario. La oposición al proyecto que manifestarán los habitantes cercanos a los sitios posibles, eliminará muchas alternativas. En la elección del sitio para un relleno sanitario, deben considerarse las siguientes variables:

1. Oposición de los habitantes
 2. Proximidad a las principales carreteras
 3. Límites de velocidad
 4. Limitaciones para el tránsito de vehículos de carga pesada en las carreteras
 5. Capacidad y altura de los puentes existentes
 6. Flujo vehicular y congestionamientos
 7. Hidrología
-

IMPACTO AMBIENTAL

8. Disponibilidad de material para cobertura de los desechos
9. Clima
10. Planeación municipal de uso del suelo
11. Areas de amortiguamiento alrededor del sitio, por ejemplo árboles altos en el perímetro del sitio.
12. Edificios o monumentos históricos, especies amenazadas o en peligro de extinción y factores ambientales similares.

También deben reunirse ciertos requisitos, entre los cuales se incluyen los siguientes:

- Distancia no menor a 30 m del río más cercano
- Distancia no menor a 160 m del pozo para agua potable más cercano
- Distancia no menor a 65 m de casas, escuelas y parques
- Distancia no menor a 3,000 m de aeropuertos

Los métodos usados en la operación del relleno sanitario son básicamente el de área y el de trinchera, ambos se muestran en la Figura 2.23. En algunos casos se utilizan los dos métodos simultánea o secuencialmente.

En el método de área, los residuos sólidos se depositan en la superficie, se compactan y se cubren con una capa de suelo compactado al término de las operaciones del día. El uso del método de área rara vez es restringido por la topografía; es aplicable en terrenos planos o sinuosos, cañones, y otro tipo de depresiones. El material de cubierta puede tomarse del sitio del relleno o traerse de otro lugar.

El método de trinchera se utiliza donde el terreno tiene una pendiente muy suave y el nivel de aguas freáticas es profundo. El procedimiento que se sigue es excavar la trinchera, esparcir y compactar los residuos sólidos, cubrirlos con el suelo producto de la excavación de la trinchera y finalmente compactarlos. La ventaja del método de trinchera es que el material de cubierta que se utiliza es el material producto de la excavación de la trinchera. Pueden excavar varias trincheras y almacenar el material de cubierta o bien obtener el material diariamente. La profundidad de las trincheras depende del nivel de aguas freáticas y de las características del suelo. El ancho de las trincheras debe ser de al menos dos veces el ancho de la maquinaria para que pueda compactarse el material en el área de trabajo.

Los rellenos sanitarios adecuadamente operados y mantenidos aseguran el control de los problemas de salud pública, contaminación del agua y aire. Por ejemplo, el control de insectos, incendios y roedores se hace a través de compactar y cubrir los residuos con suelo. Las profundidades recomendadas para la cubierta de tierra depende de los periodos de exposición y se muestran a continuación:

Tipo de Cubierta	Profundidad Mínima en m	Tiempo de Exposición en días
Diaria	0.15	menor a 7
Intermedia	0.30	de 7 a 365
Final	0.60	mayor a 365

La quema de basura contribuye a la contaminación atmosférica, en el relleno sanitario esta actividad no está permitida. Si algún incendio ocurre accidentalmente puede extinguirse inmediatamente con tierra o agua. Al cubrir la basura también se favorece el control de olores. Los productos gaseosos principales resultantes de la descomposición bacteriana de los desechos son metano, nitrógeno, bióxido de carbono, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno. Los estudios indican que durante los primeros años de la vida de un relleno el gas predominante es bióxido de carbono, mientras que en los últimos años el gas está compuesto casi en igual proporción de bióxido de carbono y metano. Debido a que el metano es explosivo, debe controlarse su movimiento para evitar posibles incendios. Algunos rellenos se han ventilado con chimeneas colectando el metano para uso local y comercial como fuente de energía.

El agua que atraviesa el relleno y que tiene materia suspendida y disuelta es llamada lixiviado. Los desechos sólidos vertidos en un relleno sanitario pueden experimentar muchos cambios biológicos, químicos y físicos. La descomposición aerobia y anaerobia de la materia orgánica genera productos finales gaseosos y líquidos. Algunos materiales se oxidan químicamente. Algunos sólidos se disuelven en el agua que se percola a través del relleno. Debido al diferencial de cargas (pendiente de la superficie piezométrica), el agua que contiene las sustancias disueltas se mueve dentro del sistema de aguas subterráneas. El resultado es la contaminación del agua subterránea.

Con el fin de prevenir la contaminación del agua subterránea se requieren estrictas medidas de control. Algunos de los requerimientos para el control de lixiviados en el relleno incluyen varias acciones para captarlo. De arriba a abajo las acciones son:

1. Tubería de drenaje
2. Membrana plástica
3. Segunda capa de tuberías de drenaje (en caso de que la primera membrana se rompa)
4. Segunda membrana
5. Arcilla impermeable

Las tuberías de drenaje se instalan con tubos perforados diseñados para colectar el agua que lixivía en el relleno. El lixiviado se conduce a un sistema central de tratamiento.

La apropiada planeación, selección del sitio y operación pueden minimizar la posibilidad de contaminación del agua superficial y subterránea. Algunas medidas preventivas comunes son:

1. Localización del sitio a distancia segura de corrientes, lagos y pozos
2. Evitar la localización del relleno sobre suelos porosos
3. Usar una cubierta de tierra impermeable
4. Proporcionar drenaje adecuado

En general se ha encontrado que la cantidad de lixiviado es una función directa de la cantidad de agua que entra en el relleno.

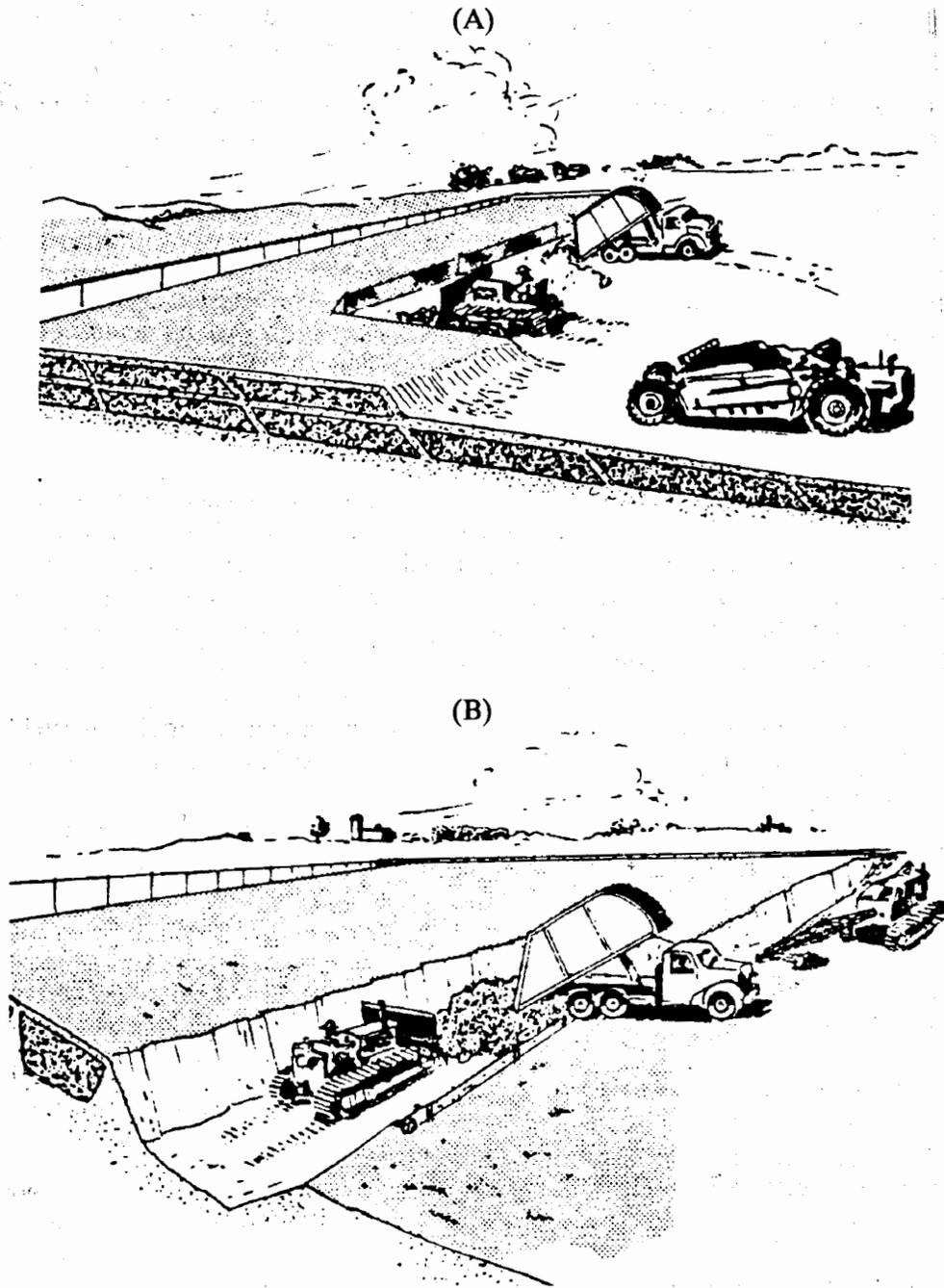


Figura 2.23 Dos métodos de un relleno sanitario: A, método de área y B, método de trinchera

CAPITULO 3

OBRAS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE Y SU RELACION CON EL AMBIENTE

El objetivo de un sistema de transporte es el de comunicar los centros de producción con los de consumo, facilitando la rápida distribución de pasajeros, un constante y adecuado abasto de insumos y una apropiada distribución de los productos. Además, pretende lograr mayor integración en la población y eliminar el aislamiento, facilitando el desarrollo económico, político y cultural del país. Los elementos constitutivos de un sistema de transporte son el medio, el vehículo y terminales o estaciones.

En general, los sistemas de transporte se clasifican en los siguientes grupos:

Terrestres:

Ferrocarriles

Caminos

Aéreos: Aeropuertos

Acuáticos: Puertos

Marinos

Fluviales

Lacustres

Canales

En general, los impactos benéficos de los sistemas de transporte son sobre el ambiente socioeconómico. La influencia del transporte en la economía es muy grande, pues interviene en forma importante en la composición de los costos finales de los productos y el valor agregado de bienes y servicios, así como la apertura de mercados y su incorporación al resto de las actividades. De igual forma, el transporte interviene en el desarrollo político de un país, ya que es un elemento estratégico para fortalecer la independencia nacional y ejercer la soberanía sobre el territorio.

Los impactos benéficos de los sistemas de transporte en el desarrollo social se manifiestan a través de la distribución de pasajeros, ayudando con esto a una mayor integración de la población. Por otro lado, el transporte permite un incremento en la generación de empleos. El transporte es a su vez difusor de información, permite la comunicación y genera intercambios de ideas entre los pueblos. Estos comparten su cultura, costumbres, forma de pensar, forma de vivir, etcétera.

Junto a la construcción de asentamientos el hombre desarrolla también nuevos sistemas de transporte adecuados a la reorganización que lleva a cabo de los ecosistemas: caminos, carreteras, líneas de ferrocarril, líneas aéreas, etcétera. La red construida por el hombre se superpone a las redes de transporte preexistentes, respetando las principales (por ejemplo, la circulación de las aguas superficiales), pero pudiendo alterar otras, por inadvertencia o con conocimiento de causa, como sucede cuando las carreteras crean barreras a los desplazamientos de la fauna, aislando poblaciones o dificultando las migraciones y, así, el uso rítmico estacional de los recursos. Otras veces, el resultado es el opuesto, así, muchas especies se expanden siguiendo canales o vías de comunicación, lo que les permite introducirse en nuevos ambientes, en los que a veces se producen graves destabilizaciones. En este capítulo se estudiarán los efectos en el ambiente de tres obras típicas del sistema de transporte: carreteras, aeropuertos y obras para la navegación fluvial y marítima.

3.1 Carreteras

Una carretera se puede definir como el conjunto de elementos que conforman una vía terrestre acondicionada para el tránsito de vehículos automotores con neumáticos. Los elementos que la componen se presentan en la Figura 3.1, que representa el corte de una sección en balcón.

Se debe tener conciencia de las modificaciones resultantes de 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. A continuación se describen los principales impactos de los caminos y carreteras sobre los componentes ambientales mencionados.

3.1.1 Identificación de los impactos ambientales adversos de las carreteras

Impacto en el medio físico

Hidrología

La magnitud del impacto de los proyectos de carreteras sobre las aguas superficiales y subterráneas puede valorarse mediante la ecuación del balance hidrológico:

$$\text{Precipitación} = \text{Evaporación} + \text{Esguerrimiento} + \text{Infiltración}$$

Esto es debido a que entre los efectos más evidentes sobre la hidrología, se tiene la pérdida de superficies filtrantes por la ocupación de las obras, que se traduce en una disminución del volumen infiltrado al acuífero.

Durante las etapas de preparación del sitio y construcción, el efecto de la infiltración de contaminantes o su presencia en las aguas superficiales al ser transportados por el esguerrimiento pluvial, puede ser más significativo que durante la etapa de operación. Los residuos de petróleo, metales pesados, polvo y herbicidas, que pueden ser accidentalmente derramados o deliberadamente aplicados, tienen un efecto adverso directo sobre la calidad del agua e indirecto sobre los usos potable y agrícola, los cuales están estrechamente vinculados con la flora y la fauna, y como último eslabón de la cadena alimenticia, con el hombre.

Por otra parte, los desmontes, cortes y rellenos modifican el nivel freático.

Algunas medidas de mitigación del impacto en la hidrología que pueden proponerse, son: modificación del trazo de la carretera, desvío del agua de esguerrimiento superficial, construcción de sistemas de retención del agua, separadores de grasas, filtros, intercambio de suelos y plantaciones de protección. Son imprescindibles las construcciones en la estructura de la carretera como alcantarillas, cunetas, contracunetas y, en algunos casos, sifones, con el fin de permitir el flujo del agua (Figura 3.1).

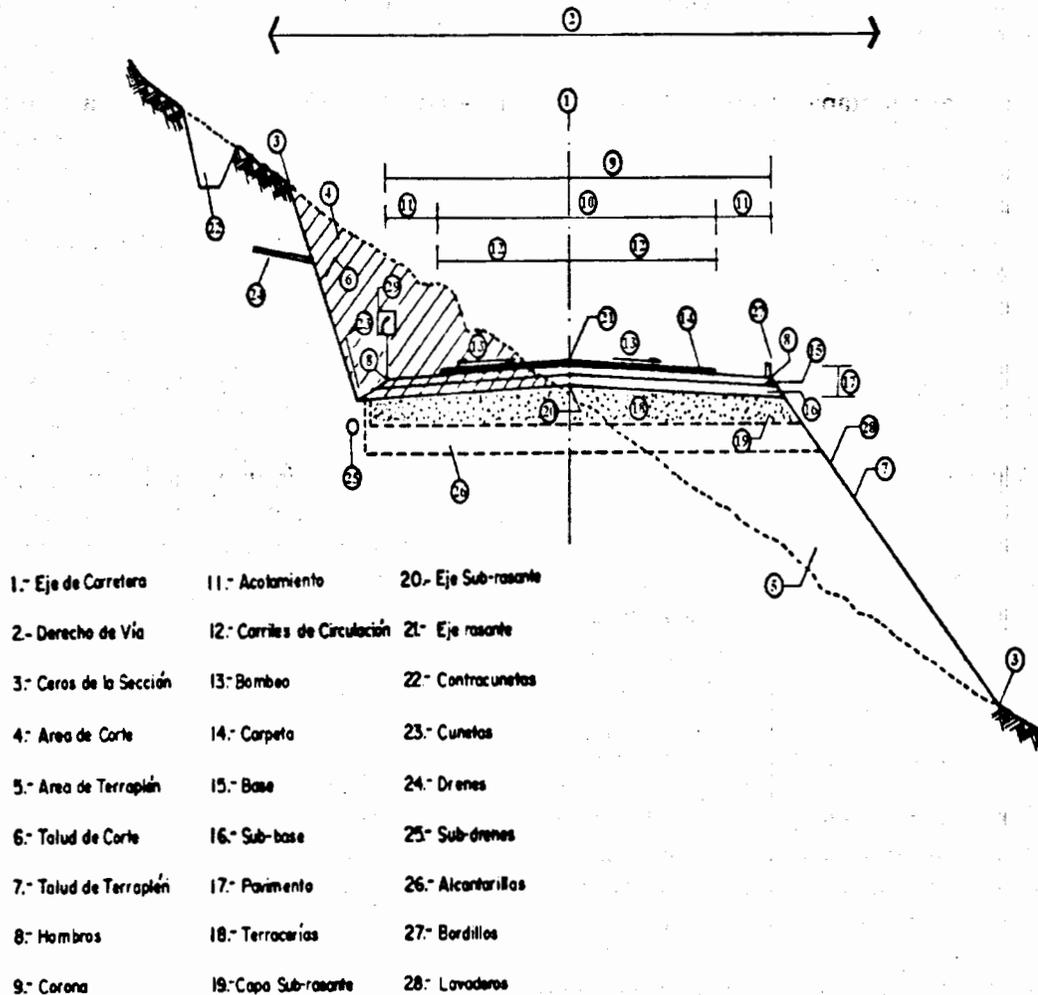
Edafología

Junto con el agua, el aire y los seres vivos, el suelo es el producto de transformación generado bajo la influencia de los factores ambientales, que evoluciona con el tiempo, y que está compuesto de sustancias orgánicas y minerales que le dan la capacidad para servir de soporte a la vegetación y, en consecuencia, a la fauna.

Como recurso natural, el suelo no puede separarse de su utilización agrícola o forestal. En consecuencia, el trazo de la carretera debe considerar la magnitud del posible impacto económico irreversible al utilizar suelos de gran calidad agrícola para los proyectos de carreteras, lo que constituye una disminución de rentabilidades.

Según las investigaciones documentadas, se estima que en una franja de cien metros de ancho a lo largo del trazo de una carretera, tienen influencia los materiales contaminantes, lo cual está en función del tráfico, proporción de vehículos pesados, pendientes, velocidades medias y dirección del viento. Con el aumento de los contaminantes en las proximidades de la carretera es posible que se modifiquen las características edafológicas del entorno; además, no puede excluirse que una parte de los contaminantes se introduzca en la cadena trófica.

FIGURA 3.1
CORTE TRANSVERSAL DE UNA CARRETERA, SECCION EN BALCON.



Algunas medidas de mitigación son: modificación del trazo, plantaciones para la protección contra emisiones e intercambio de suelos.

Microclima

En este concepto se incluye la calidad del aire. No debe entenderse que se presentará una modificación general del clima, sino más bien un cambio en el microclima o clima local.

En zonas de topografía movida, con grandes terraplenes, pueden esperarse efectos negativos debido a que los terraplenes elevados impiden el proceso de intercambio horizontal del aire o producen zonas de grandes sombras.

En trazos que atraviesan un bosque, el desmonte puede producir daños a la vegetación debido a las ráfagas de viento que se producen sobre la carretera, o mediante una fuerte irradiación solar.

En las noches claras y sin viento el suelo y las plantas emiten calor. Esta pérdida energética origina un enfriamiento de las superficies formándose una capa de aire frío próxima al suelo. En zonas con pendiente comienza a fluir el aire frío que se ha formado debido a su situación inestable. La velocidad de fluencia es función de la rugosidad del suelo y de las pendientes.

El flujo de aire frío se interrumpe en los puntos más bajos del terreno, de manera que se "embalsa", apareciendo un frente de aire frío, lo que puede ocasionar heladas. Este efecto es más acentuado en zonas sin árboles a ambos lados de la carretera que generan aire frío. La flora y fauna existentes pueden ser afectadas en su composición por la acumulación de aire frío.

Igualmente debe considerarse el impacto en la calidad del aire que depende de las emisiones de gases y el aumento en el nivel de ruido como consecuencia del tráfico en la etapa de operación de la carretera.

Impacto en el medio biológico

Flora y Fauna

Los efectos sobre la flora y la fauna dependen notablemente del trazo de la carretera. Entre los efectos directos, se tienen los siguientes:

- Pérdida de superficies por las construcciones, terraplenes, rellenos y excavaciones.
- Separación de zonas ecológicas homogéneas (bosques, zonas húmedas).
- Separación de zonas de fauna homogénea (intercambio y zonificación de ciertas especies).
- Pérdida de función o su afectación (enturbamiento de cauces, desplazamiento o separación de zonas de funciones determinadas).

Entre los efectos indirectos pueden incluirse:

- Afectación del nivel freático (descenso y modificación de poblaciones faunísticas y vegetales).
- Influencia sobre el microclima (aire frío, rafagas de aire, radiación solar, sombras).
- Emisión de sólidos, líquidos y gases contaminantes que inciden en los suelos y aguas superficiales.
- Modificación o pérdida de fauna por emigración.
- Efectos sobre la pérdida de superficies y efectos separativos.
- Obstáculo para las migraciones.
- Modificación de la capacidad de los cauces.
- Minimización de la capacidad de regeneración de las superficies.

Las obras que se construyen para atravesar los cauces, tales como alcantarillas o puentes, pueden originar también un efecto separativo en la población piscícola, ya que puede impedir o reducir las posibilidades migratorias debido al aumento de la velocidad del agua, insuperable para algunas especies.

Impacto en el medio socioeconómico

Los impactos adversos del proyecto de una carretera sobre el medio socioeconómico son, en general, los siguientes:

- Cambio en el uso del suelo
- Expropiación de terrenos
- Alteración del paisaje
- Alteración en la calidad de vida existente, en cuanto a los aspectos culturales, históricos, etcétera
- Aumento de la migración

3.1.2 CASO ESTUDIO 3.1

Carretera Morelia-Salamanca

I. Descripción general del proyecto

La carretera Morelia-Salamanca, que une dos ciudades de relevancia socioeconómica, es un eje troncal de importancia para el desarrollo de la región, la cual cuenta con una intensa actividad agrícola y ganadera así como un gran valor turístico e industrial. Para sostener el desarrollo socioeconómico de esa región, se requiere contar con la infraestructura adecuada a las necesidades actuales y futuras.

Para el proyecto se determinó una carretera de cuatro carriles de 109.5 km de longitud, para una velocidad máxima de 110 km/h. Se consideraron tres alternativas para el trazo.

La primera alternativa proponía aprovechar el trazo de la carretera No. 120 existente, ampliándola a cuatro carriles desde su origen en Morelia, hasta el km 20+000, de donde se continuaría con dos carriles de circulación hasta Salamanca.

La segunda alternativa consideró el aprovechamiento íntegro de la carretera No. 120 para la ampliación a cuatro carriles de circulación, con modificaciones en el cruce de la Laguna de Cuitzeo (km 25+500), y en el km 67+200, donde cruzaría la Laguna de Yuriria.

La tercera alternativa es una combinación de las dos anteriores, y consideró el aprovechamiento del trazo existente desde el origen hasta el km 20+000, para la ampliación del cuerpo a cuatro carriles, a partir de donde se combinaría con el trazo de la alternativa dos para hacer el trazo lo más recto posible sin dejar de considerar la construcción de libramientos, así como la protección y conservación de las Lagunas de Yuriria y Cuitzeo, aprovechando para ello los trazos existentes.

II. Aspectos generales del medio natural y socioeconómico

Medio físico

La región pertenece a la subprovincia de Sierras y Bajíos Michoacanos y a la del Bajío Guanajuatense. La mayoría del área está conformada por rocas ígneas del terciario superior y en menor extensión existen rocas sedimentarias del cuaternario.

En cuanto a la hidrología se localizan dos lagunas: la de Yuriria, que pertenece al estado de Guanajuato, destinada para riego, y la de Cuitzeo en el Estado de Michoacán.

A lo largo del trazo de la carretera, se presentan dos tipos de clima: de Salamanca a Uriangato es semicálido, subhúmedo con lluvias en verano. En el resto del área el clima es templado, subhúmedo con lluvias en verano.

El tipo de suelo es vertisol y sólo en dos pequeñas zonas, al oeste del Valle de Santiago y Morelia, existe feozem.

Medio Biótico

Flora

A lo largo del trazo se tienen diferentes tipos de vegetación: matorral xerófilo, pastizales halófilos y bosques de encino y de oyamel.

Fauna

La fauna es escasa debido a la caza excesiva y a la destrucción de su hábitat. No obstante, se han reportado las siguientes especies:

Mamíferos: tlacuaches, armadillo, conejo, ardillas, mapaches y venados.

Aves: diversas especies de patos migratorios, garzas y cercetas.

Peces: charales, chegua, carpa y pez blanco.

Medio socioeconómico

El área de influencia del proyecto incluye parte de los estados de Guanajuato y Michoacán. En Guanajuato, los municipios beneficiados son Salamanca y Yuriria, y en Michoacán son: Alvaro Obregón, Copándaro de Galeana y Cuitzeo. Estos municipios, a semejanza con los de la zona central del país, presentan una pirámide de edades engrosada en las edades juveniles, estando más representada en la etapa de los cinco a los nueve años.

Con relación a los servicios, la mayoría de las viviendas de los municipios cuentan con energía eléctrica. En cuanto al alcantarillado, es muy deficiente y en el mejor de los casos, la mitad de las viviendas en el municipio de Salamanca cuenta con el servicio. Los municipios restantes presentan menos del 30% de cobertura del servicio, siendo el más bajo Copándaro de Galeana, con 4%.

La población económicamente activa en los cinco municipios está constituida aproximadamente por la mitad de los habitantes de doce años y más, siendo la principal rama de desarrollo la agricultura.

En el aspecto cultural, la zona es rica en monumentos históricos como por ejemplo la catedral de San Nicolás en Morelia; también, rumbo a Cuitzeo se cruza la Laguna del mismo nombre cuyos accesos están enmarcados por cuatro obeliscos coloniales. Además, se tiene conocimiento sobre restos fósiles de grandes mamíferos y reptiles sepultados en el vaso de la Laguna de Cuitzeo y en sus márgenes.

III. Identificación de impactos ambientales

Análisis de alternativas

Al aprovechar la primera alternativa, el trazo de la carretera No. 120 y su derecho de vía, los impactos adversos a los medios biótico y físico no serían significativos. En el medio humano, las condiciones socioeconómicas se verían mínimamente beneficiadas, pero el nivel de servicio de la carretera sólo se mejoraría parcialmente dentro de los primeros veinte kilómetros.

Con las modificaciones y rectificaciones propuestas en la segunda alternativa, los impactos que podrían darse al ambiente, serían adversos significativos, como por ejemplo: en el cruce de las Lagunas de Cuitzeo y Yuriria, cuya calidad del agua se vería alterada desfavorablemente; por consiguiente, la flora y fauna que en ellas se encuentran serían también impactadas adversamente.

En cuanto al medio socioeconómico, la calidad de vida en poblados como Moroleón, Cuitzeo y Valle de Santiago, se verá disminuida al ampliarse el cuerpo a cuatro carriles.

En el caso de la tercera alternativa, al aprovecharse el trazo de la carretera existente y su derecho de vía en la Laguna de Cuitzeo y al librarse con un nuevo trazo la de Yuriria, los impactos al medio biótico y físico que se generasen no serían significativos. De igual manera, al considerarse la construcción de libramientos en las poblaciones Moroleón, Cuitzeo, Uriangato, Magdalena de Arceo y Valle de Santiago, se evitaría su afectación, mejorándose su calidad de vida.

La conclusión a que se llegó en el análisis de las alternativas, basándose en la posibilidad de mitigar los impactos ambientales potenciales de cada una de ellas, dió como resultado la elección de la tercera alternativa, considerándose los siguientes aspectos:

- 1) Aprovecha el trazo del camino existente y su derecho de vía ampliando la capacidad de la carretera a cuatro carriles en setenta kilómetros.
- 2) Evita impactos adversos significativos a las Lagunas de Cuitzeo y Yuriria.
- 3) Se proporciona comunicación a las poblaciones de Puerto de Andaracua, Cuadrilla de Andaracua, Manga de Buenavista y Jerónimo de Arceo.
- 4) Mejora la calidad de vida en las poblaciones de Magdalena de Arceo, Cuitzeo, Moroleón, Uriangato y Valle de Santiago.
- 5) Se mejoran curvas no adecuadas para alta velocidad y por consiguiente, los tiempos de recorrido se disminuyen.

Identificación de impactos

A continuación se describen los impactos que pueden presentarse en las actividades para la implantación del proyecto.

Disposición del derecho de vía

Considerando el aprovechamiento de la mayor parte del trazo, así como su derecho de vía, y que para alojar los nuevos tramos se eligieron los terrenos menos productivos, los impactos que se producirán a la tenencia de la tierra y al uso potencial del suelo, serán poco significativos y mitigables.

Desmante y despirme

Los impactos derivados de esta actividad, serán poco significativos y mitigables, debido a que se efectuará dentro del derecho de vía de la carretera existente, en zonas reducidas.

Explotación de bancos de material

Al uso potencial del suelo, a las características geomorfológicas y a la calidad del aire, se le producirán efectos adversos no significativos al no requerirse de la construcción de caminos de acceso, al tipo de material a extraer y a que la extracción se realizará por medios mecánicos.

Excavación y cortes

Dado que esta actividad se realizará en gran parte dentro del derecho de vía, el impacto al uso potencial del suelo será adverso no significativo. En cuanto a las características geomorfológicas, los efectos serán adversos no significativos, ya que las características del terreno no cambiarán de manera significativa.

Terraplenes y rellenos

A los bordes de la Lagunas de Cuitzeo, así como sus características de drenaje y flujo no se les ocasionarán efectos adversos significativos, ya que se aprovechará la carretera existente.

A la apariencia del agua en la laguna no se le producirán efectos adversos significativos, debido a que este cuerpo de agua se encuentra en proceso de eutroficación.

Al relieve y características topográficas se le producirán efectos adversos poco significativos, debido a que las ampliaciones se realizarán aprovechando el cuerpo de la carretera existente.

Alcantarillas y subdrenes

Las alteraciones al fondo o bordes, las características del drenaje y las variaciones de flujo en la Laguna de Cuitzeo, tendrán un efecto benéfico significativo, debido a que las alcantarillas y subdrenes tendrán las características necesarias para no variar las condiciones de flujo y drenaje, con lo cual también se evitará la formación de zonas inundables a lo largo del trazo.

Colocación de la carpeta asfáltica

A la calidad del aire se le ocasionará un efecto adverso no significativo y mitigable. La intensidad y duración del ruido producidos tendrán un efecto adverso no significativo y mitigable, debido al carácter temporal de esta actividad.

Tránsito normal y tránsito en horas y días pico

La calidad del aire tendrá un efecto adverso no significativo y mitigable. En cuanto a la intensidad y duración del ruido, se tendrán efectos adversos poco significativos.

Conservación

Esta actividad en cada una de sus modalidades producirá efectos benéficos significativos a la infraestructura, los servicios regionales, la salud pública y el estilo y calidad de vida. En cuanto a la economía regional, el efecto de la generación de empleo será no significativo.

Generación de empleos

En el empleo y mano de obra se producirán efectos benéficos significativos durante la primera parte del proyecto, para después disminuir dicho efecto a medida que avance la construcción.

IV. Medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales identificados

1. Para minimizar los impactos potenciales del proyecto al ambiente, se manejó el criterio de aprovechar en lo posible el trazo y derecho de vía de la carretera existente.
2. Considerando las condiciones particulares de la Laguna de Cuitzeo y las informaciones sobre la existencia de fósiles en sus márgenes, se optó por cruzar por el mismo sitio en que lo hace la carretera existente mediante la construcción de una estructura paralela dentro del derecho de vía.
3. Para evitar alteraciones al flujo en la laguna se proyectaron las obras de drenaje adecuadas.
4. Para garantizar la protección al estilo y calidad de vida de aquellas poblaciones por las que cruza la carretera actual, se determinó la construcción de libramientos en: Cuitzeo, Cuitzeo del Porvenir, Magdalena de Arceo, Moroleón, Uriangato y Valle de Santiago.
5. Con objeto de evitar cruzar la Laguna de Yuriria, se optó por la ampliación de la carretera existente, en este tramo en donde con una curva de transición se seguirá por el trazo nuevo de la carretera.

6. Considerando la topografía como un factor determinante, se evita la desproporción de cortes y terraplenes, lo que se hace evidente al alejar deliberadamente el proyecto en el punto ubicado en el kilómetro 23+500, en las faldas del cerro El Aguaje.
7. Los bancos de material se seleccionaron en terrenos alejados de cualquier población, con acceso inmediato desde la carretera existente, desde la fuente de trabajo o aprovechando un camino de terracería en operación.
8. Al ampliar la carretera aprovechando el derecho de vía, se evita la afectación de terrenos agrícolas, y en los nuevos tramos, el proyecto se localiza estratégicamente bordeando dichos terrenos con objeto de afectarlos en mínima proporción.

Conclusiones

Como puede observarse en el proyecto de modernización de la carretera Morelia-Salamanca la importancia de los aspectos ambientales influyó directamente en las decisiones. De las tres alternativas propuestas se seleccionó la que corresponde ventajosamente al criterio de minimizar los efectos adversos al ambiente.

En la primera alternativa se aprovecha la carretera existente sin ninguna modificación, mientras que en la segunda se amplía la carretera a cuatro carriles de circulación aprovechando su trazo y derecho de vía, corrigiendo pendientes y curvas que deban ajustarse a las nuevas especificaciones de proyecto y alternando tramos de trazo nuevo, principalmente, debido a la creación de libramientos en algunas poblaciones.

La tercera es la alternativa relevante, en ella se procede en forma similar a la anterior ya que se amplía la carretera existente y se alternan tramos de trazo nuevo, pero profundizando en el análisis ambiental, principalmente en la zona de las lagunas de Cuitzeo y Yuriria, en que se determina la optimización del trazo.

Considerando los antecedentes ambientales, el deterioro y el interés paleontológico y arqueológico de la Laguna de Cuitzeo, se decidió cruzarla por el sitio donde los efectos resultaran mínimos, mediante una estructura paralela dentro del derecho de vía, respetando el valor arquitectónico de la carretera existente.

Dadas las características culturales e influencia regional de la población de Cuitzeo del Porvenir, se decidió preservar sus formas de vida tradicionales, creando un libramiento que evite el paso a través del poblado.

En el caso de la Laguna de Yuriria, se decidió que el trazo no cruzara por ella para evitar afectarla, decidiéndose pasar por la margen exterior mediante un trazo nuevo que la libraría.

Referencias

Subsecretaría de Infraestructura, Asesoría Técnica.
Manifestación Preliminar de Impacto Ambiental de la
Carretera Morelia Salamanca
SCT, 1986

Subsecretaría de Infraestructura, Asesoría Técnica.
Metodología para la Evaluación de Impacto Ambiental
de carreteras
SCT, 1983

3.2 Aeropuertos

Para la planeación de un aeropuerto se requiere de un plan rector del futuro desarrollo, denominado Plan Maestro. El primer factor considerado para la elaboración del Plan Maestro, es la tendencia de la demanda futura, la cual se estudia a través de procedimientos y técnicas específicas, que además de tomar en cuenta las estadísticas del tráfico del aeropuerto, considera todos los factores que pudieran modificar las tendencias del crecimiento; de esta manera se estudia el crecimiento del producto interno bruto regional y nacional, tipo de economía y desarrollos futuros de la zona considerados en otros planes, desarrollo de otros modos de transporte y turismo.

Los elementos que integran un aeropuerto son los siguientes:

- Aeronáutica
 - Terminal de pasajeros
 - Terminal de carga
 - Servicio de apoyo
 - Mantenimiento de aerolíneas
 - Areas concesionadas
 - Aviación general
 - Zona presidencial u oficial
 - Vialidad
-

Para fijar los horizontes de inversión se determinan velocidades de la inversión que no produzcan impacto grave en la comunidad.

En general, para cada elemento el horizonte de cada etapa no conviene que sea mayor de 6 años. Esta información sirve para determinar las configuraciones y dimensiones de estos elementos, así como su colocación dentro del contexto general. Para la localización de las pistas se requieren estudios meteorológicos y del espacio aéreo que determinen su orientación. Su longitud está dada por el tipo de avión y alcance de los vuelos que operarán en el aeropuerto. De esta manera se llega a definir una configuración del aeropuerto que toma en cuenta su futuro crecimiento.

Entre los principales estudios para la elaboración de un Plan Maestro se tienen los siguientes:

- Estudios meteorológicos
- Estudios de espacio aéreo
- Estudios de ruido
- Estudios de Impacto Ambiental

1. Estudios meteorológicos

Consisten en analizar los datos estadísticos de los fenómenos atmosféricos ocurridos en el lugar de estudio, siendo los más importantes para el caso de los aeropuertos: viento, techos, visibilidad, temperatura, lluvia y humedad, los cuales son registrados en aparatos instalados en las estaciones meteorológicas localizadas en los sitios más elevados del área en estudio, lo más cercanas a la pista o pistas propuestas. Los datos obtenidos por las estaciones meteorológicas se clasifican, analizan y procesan para conocer su magnitud y variación. Su utilización es primordial en el cálculo de longitudes y orientación de pistas, proyecto de estructuras, selección de materiales, drenaje, selección de ayudas visuales y orientación de edificios.

2. Estudios de espacio aéreo

La suficiencia del espacio aéreo en la zona escogida para la ubicación de un aeropuerto, es motivo de un estudio especial para determinar si se puede satisfacer la demanda pronosticada de operaciones horarias en la planeación de un sistema aeroportuario, cualquiera que sea la categoría de sus pistas, para operaciones visuales o por instrumentos de precisión. Este estudio es muy importante para el funcionamiento eficaz de un aeropuerto, y se realiza en función de las diversas operaciones que se efectúan de acuerdo con las condiciones topográficas existentes y la aplicación de superficies imaginarias de protección de obstáculos cuyas dimensiones y pendientes longitudinales varían de acuerdo con la clasificación de las pistas, en función de su longitud básica en condiciones de atmósfera tipo, al nivel del mar y temperatura de 15 grados centígrados. No solamente el cumplimiento de estas reglas debe considerarse al estudiar la capacidad de los espacios aéreos de un aeropuerto, ya que estos también están relacionados con el proyecto del plan maestro, cuya

geometría tiene que estar acorde con los tipos de operaciones aeronáuticas que se realicen. Una mala disposición de las calles de rodaje o un recorrido demasiado largo hacia las plataformas, indudablemente influirá negativamente reduciendo el número de operaciones horarias que puede atender el sistema.

3. Estudio de ruido

Con la aparición de los aviones de reacción la intensidad del ruido en los alrededores de los aeropuertos se incrementó notablemente. La población en la vecindad de las terminales aéreas no sólo resintió molestias ocasionales, sino que en exposición severa y prolongada de los altos niveles de ruido, llegó a experimentar daño físico. Las quejas y protestas de los moradores motivó que varias naciones con tecnología avanzada, se propusieran desarrollar métodos propios de modelación del ruido y lineamientos, tanto para reducir sus efectos nocivos, como para la utilización compatible de los terrenos.

En México se han venido realizando estudios en los aeropuertos de mayor importancia desde la década de los setentas, aprovechando para ello la experiencia adquirida por otros países. Los métodos empleados en los estudios de ruido han sido los siguientes:

- Clasificación de ruido compuesto, (CNR, Composite Noise Rating).
- Pronósticos de exposición al ruido, (NEF, Noise Exposure Forecast).
- Nivel de sonidos diurnos-nocturnos, (LDN, Day-Night Average Sound Level).

El método CNR fue utilizado en los primeros estudios de ruido con el objeto de tener una idea actual de los niveles de exposición del ruido en los aeropuertos; pero este método a pesar de tener la ventaja de ser fácil de usar, es poco preciso y no tiene aplicabilidad a futuro, por lo que ha caído en desuso, evolucionando los métodos NEF y LDN.

Desde 1978 se emplea en México el método LDN en los estudios de ruido, debido a que puede ser relacionado en forma directa con otras mediciones de ruido ambiental. Los valores LDN se obtienen mediante modelos de predicción para computadora. El programa calcula los puntos de las trayectorias de vuelo en condiciones de operación específicas, a fin de definir la localización de las fuentes de ruido en el espacio, en cualquier tiempo, y posteriormente analiza los archivos de datos almacenados que describen las características de emisión de ruido de cada tipo de avión. La propagación del sonido en la distancia especificada se calcula con la suma de todos los diferentes tipos de avión. La exposición al ruido en forma de isolíneas se computa con valores LDN 65, 70, 75 y 80; estos valores compuestos se basan en operaciones durante un periodo representativo de 24 horas del aeropuerto en estudio. El trazo permite definir las áreas de exposición al ruido en tierra, que asociadas a una clasificación del uso de terrenos en las inmediaciones del aeropuerto adoptada por el método LDN, proporciona los lineamientos generales de gran utilidad en la planeación de esas áreas circundantes.

4. Estudios de impacto ambiental

Los proyectos de aeropuertos tienen impactos potenciales en cinco grandes áreas: ruido, calidad del aire, calidad del agua, impactos sociales e impactos socioeconómicos inducidos.

Ruido

El impacto por ruido debe ser examinado cuando el proyecto involucra la localización del aeropuerto, localización de la pista y su extensión. El nivel de detalle necesario para la evaluación del impacto por ruido varía dependiendo de la situación. Sin embargo, deben considerarse las necesidades y deseos de la comunidad a que sirve o servirá el aeropuerto, estilos de vida locales y usos del suelo. Un propósito muy importante de la evaluación del impacto por ruido será el proporcionar información para asegurar que sea llevada a cabo la apropiada acción restrictiva, incluyendo la adopción de reglamentos locales. En una extensión razonable, esta acción debe restringir el uso del suelo en la vecindad inmediata de las actividades del aeropuerto.

Calidad del aire

Parece ser hasta ahora que la contaminación atmosférica procedente de los aviones en zonas alejadas de los aeropuertos es de carácter casi imperceptible, dadas las características de las emisiones de los aviones que vuelan a alturas de crucero y al proceso de dispersión en los grandes espacios. Sin embargo, en los aeropuertos y sus cercanías, este asunto reviste condiciones que merecen especial atención

Las condiciones climatológicas del aeropuerto determinan el grado de contaminación en las proximidades. Cuando existen condiciones turbulentas en las capas inferiores de la atmósfera no es probable que las emisiones afecten perceptiblemente a la población. En cambio, cuando prevalecen condiciones atmosféricas estables durante largos periodos, las acumulaciones de agentes contaminantes pueden en ocasiones afectar al bienestar de los vecinos a sotavento del aeropuerto.

En el Cuadro 3.1 se muestran los productos de emisión normales de un motor de combustión y los efectos que produce.

La introducción de los turborreactores ha sido un gran paso hacia la reducción de emisiones contaminantes. Los aviones dotados de motores de reacción - la mayor parte de los comerciales en la actualidad - contribuyen muy poco a la contaminación del aire.

Si se comparan los productos de emisión procedentes de motores de distinto tipo, se observa en el Cuadro 3.2 la ventaja del turborreactor.

Para tener un orden de ideas respecto al alcance de la contaminación, en el Cuadro 3.3 se muestran los kilogramos de contaminante de los aviones comerciales actualmente más usuales en cada ciclo de operación.

Se denomina ciclo de operación al compuesto por las siguientes maniobras de la aeronave:

- 1) El avión arranca y marcha lentamente a la cabecera de la pista: 15 minutos.
- 2) El avión despega: 0.7 minutos.
- 3) El avión sube, alejándose: 2.2 minutos.
- 4) El avión baja, aproximándose: 4 minutos
- 5) El avión aterriza y se acerca lentamente al estacionamiento: 7 minutos.

Cuadro 3.1

**PRODUCTOS DE EMISION NORMALES EN UN MOTOR DE COMBUSTION
Y SUS EFECTOS SOBRE EL AMBIENTE**

Productos de emisión		Efectos en el ambiente
No contaminantes	CO ₂ H ₂ O	-Ligeras modificaciones
Contaminantes	-NOx -Hidrocarburos sin quemar -Humos -Oxidos de azufre -CO -Residuos de aditivos	-Neblinas smog -Restricción de visibilidad -Acciones fotoquímicas -Acciones sobre la salud del hombre, la fauna y la flora -Toxicidad -Olores -Acción destructiva sobre materiales (pinturas, etc.)

Supóngase un aeropuerto con 300 operaciones diarias (150 salidas y 150 llegadas), con aviones tipo BO-727. En la parte del ciclo que se realiza dentro del propio recinto aeroportuario, se tendrían 8.316 kg de contaminantes que deben dispersarse en un espacio aproximado de 200,000,000 de metros cúbicos por ejemplo, si la atmósfera fuera estable y se acumulasen dichos productos. Esto produciría una concentración de 0.000041 gramos de contaminante por metro cúbico.

Cuadro 3.2

COMPARACION DE LOS PRODUCTOS DE EMISION DE DISTINTOS TIPOS DE MOTOR

TIPOS DE MOTOR	PRODUCTOS DE EMISION		
	% CONTAMINANTES	%CO ₂	%H ₂ O
Alternativo ciclo Otto	34	36	30
Alternativo Diesel	5	65	30
Turborreactor	1	70	29

Por supuesto se trata de una simplificación ya que por ejemplo en las capas bajas la concentración es mucho mayor que en las altas, y en el estacionamiento de aviones al arrancar los motores se producen concentraciones instantáneas que pueden ser molestas para los operarios que trabajan en el despacho de aeronaves. Pero lo que se pretende es dar una idea para enmarcar la magnitud del problema, especialmente desde el punto de vista de las comunidades vecinas al aeropuerto.

En cuanto a las medidas de mitigación, la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) y la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos (FAA), impusieron estrictas normas a los fabricantes de motores de aviones y al mantenimiento de las compañías aéreas estableciendo un programa escalonado que terminó en 1980 para reducir a niveles muy bajos la emisión específica de cada uno de los contaminantes. En caso de no cumplir las restricciones se les cancelarían los certificados de homologación y en consecuencia la posibilidad de operar.

Otras medidas de mitigación son: a) Reducir las emisiones cuando los motores van a marcha lenta, mejorando el rendimiento de la combustión, cosa que podría lograrse haciendo que los inyectores de combustible descarguen parcialmente durante la marcha lenta, o dejando inoperativos parte de los inyectores, y b) la reducción de las esperas en los aeropuertos, solución que depende de la capacidad del aeropuerto y el control del tráfico aéreo.

Calidad del agua

Los impactos en la calidad del agua son causados por el escurrimiento superficial de las extensas áreas pavimentadas debido a las nuevas pistas, plataforma de operaciones, edificio terminal y estacionamiento de pasajeros y visitantes. Adicionalmente los proyectos de aeropuertos generan requerimientos de agua potable y de descarga de aguas residuales.

La construcción de aeropuertos puede contribuir a la disminución de la calidad de las aguas

superficiales. La calidad del agua puede ser afectada por la adición de materiales orgánicos e inorgánicos, solubles o insolubles en ríos y manantiales, volviendo inadecuadas las fuentes de agua para el soporte de la vida acuática y otros usos. Los cambios en la topografía, cobertura y composición del suelo en la vecindad de un sitio aeroportuario, pueden causar efectos en las corrientes y disminución de la recarga de acuíferos.

La explotación de bancos de materiales de construcción puede alterar la filtración natural, la retención de suelo y su capacidad de almacenamiento de agua. Un estudio de calidad del agua debe identificar la fuente y receptores de los materiales contaminantes y el grado de degradación que pueda causar la introducción de contaminantes en aguas superficiales y subterráneas. También debe considerarse el impacto en la calidad de los recursos de agua a través de una determinación de la capacidad de recarga y permeabilidad.

Las medidas de mitigación del impacto en la calidad del agua necesarias durante la etapa de construcción, incluyen la construcción de estructuras de retención, trampas de sedimentos, canales y taludes, barreras y recubrimientos.

La evaluación del impacto en la calidad del agua en la etapa de operación de las instalaciones aeroportuarias, debe incluir la erosión del suelo, disminución de la infiltración, derrames de aceites y combustibles y cantidades de agua potable y residual producidas.

Impactos sociales

Las comunidades vecinas al aeropuerto sienten miedo a un desastre aéreo, temor originado por el continuo paso de aviones, reforzado por los accidentes ampliamente difundidos por los medios informativos, con el sensacionalismo que aporta el hecho de ocasionar muchas muertes en forma simultánea.

Cualquier estudio estadístico sobre riesgo de muerte por avión en comparación con los otros modos de transporte muestra que dicha preocupación debería ser mucho menor que la de morir, por ejemplo, en accidentes de circulación en superficie y, sin embargo, este último no parece impresionar tanto a las comunidades.

En caso de accidente es un hecho que las zonas próximas a las cabeceras de las pistas poseen por simple estadística de paso de aviones un mayor riesgo. Sin embargo, las alturas a que vuelan fuera del recinto aeroportuario, son suficientes para las maniobras de aterrizaje forzoso en caso de fallas de motor, si disponen de un sitio en que posarse, o sea la pista y su zona de seguridad, situación que probablemente no ocurra en áreas muy lejanas a un aeropuerto.

El aeropuerto es un vecino molesto, que amenaza constantemente con expropiaciones, lo cual es un elemento desestabilizador de la propiedad y erosionante de su valor. Cuando ocurren este tipo de impactos es necesario: 1) estimar el número y características de las familias a ser desplazadas; 2) identificar los efectos de la perturbación del tráfico terrestre, incluyendo los efectos en las avenidas de la ciudad, áreas recreativas, y zonas residenciales y comerciales; 3) identificar el impacto en el vecindario cuyos hogares tengan que ser reubicados y 4) describir los negocios que serán desplazados y las consecuencias generales sobre la economía de la zona.

**CUADRO 3.3
KILOGRAMOS DE CONTAMINANTE POR CICLO DE OPERACION**

AVION		Marcha lenta salida (15 m)	Despegue (0.7 m)	Subida (2.2 m)	Aproximación (4m)	Marcha lenta llegada (7 m)	Total parcial (28.9 m)	Total global
BO-747	CO	89	0.36	13.4	39.3	41.5	183.6	219.64
	HC	17.1	0.02	2.48	7.5	0.042	27.1	
	NO _x	1.15	1.43	3.28	0.9	0.537	7.3	
	Humos	0.5	0.18	0.46	0.27	0.23	1.64	
DC-10	CO	79.26	0.32	11.93	35	37	163.47	195.46
	HC	15.23	0.017	2.20	6.68	0.037	24.16	
	NO _x	1.02	1.27	2.92	0.8	0.478	6.48	
	Humos	0.445	0.16	0.41	0.24	0.20	1.46	
BO-727	CO	32.5	0.13	4.9	14.36	15.17	67	80.1
	HC	6.26	0.0073	0.9	2.74	0.015	9.92	
	NO _x	0.42	0.52	1.2	0.33	0.2	2.66	
	Humos	0.18	0.065	0.168	0.098	0.084	0.6	
DC-9	CO	21.7	0.08	3.27	9.6	10.13	44.78	53.57
	HC	4.17	0.0048	0.6	1.83	0.010	6.61	
	NO _x	0.28	0.35	0.8	0.22	0.13	1.78	
	Humos	0.122	0.044	0.112	0.066	0.036	0.4	

Desde el punto de vista de los residentes, no hay institución alguna que sea capaz de protegerlas del inexorable avance del aeropuerto y del deterioro del ambiente que viene aparejado. No obstante, existen pocas obras públicas en que la tecnología haya trabajado tanto para conocer y remediar sus efectos ambientales.

Impactos socioeconómicos

Algunos de los impactos socioeconómicos incluyen cambios en los patrones de migración y crecimiento de la población, demanda de servicios públicos y cambios en la actividad económica.

En los proyectos más recientes de nuevos aeropuertos en Puebla, Aguascalientes, Bahías de Huatulco, Lázaro Cárdenas, Monclova y Nogales, se han efectuado los estudios de impacto ambiental y se han propuesto las medidas de mitigación correspondientes; se localizan y orientan en función de los niveles de ruido y su dispersión; se aprovechan caminos y bancos de materiales ya existentes para conservar la cubierta vegetal; se usan fosas de sedimentación y decantación para control de la emisión de polvos a la atmósfera; se prevén reservas territoriales, tanto para crecimiento del mismo aeropuerto, como para mantener la separación adecuada hacia ciertas zonas de otros usos, etcétera.

3.3 Medida y análisis del sonido

Los sistemas de transporte son de las actividades humanas más importantes en la generación de ruido. Ya sea dentro de las ciudades, en las zonas aledañas, o en el campo, el ruido producido principalmente por los vehículos terrestres y aéreos se genera constantemente. Por supuesto que las obras en sí no son las generadoras del ruido, pero sí son el medio de desarrollo de actividades humanas, en este caso la transportación por medio de vehículos automotores que producen el ruido. Debe recordarse que en algunos casos las obras de ingeniería civil afectan directamente la calidad del medio o forman parte de un conjunto de factores que influyen en la calidad del ambiente. Desde este punto de vista serán analizadas las obras de sistemas de transporte.

El sonido es nuestra forma de comunicación más antigua e importante. En la actualidad se introduce en nuestras vidas en forma constantemente creciente. Nos presta grandes servicios: nos ofrece el remanso de la música y del canto, nos alerta y previene contra los peligros. Pero sus contraindicaciones son también importantes, con el avance de la moderna tecnología aumentan los niveles del sonido y los problemas derivados de tener que convivir con él.

Mientras la palabra "sonido" constituye una descripción objetiva de un fenómeno físico, la palabra "ruido" añade implicaciones subjetivas al sonido al que corresponde.

Cada vez es más evidente y aceptado que los sonidos superiores a ciertos niveles pueden destruir ambientes en otro caso agradables, hacer insoportables las zonas de residencia, reducir la eficiencia del trabajo y, a niveles superiores, producir lesiones auditivas y daños psicológicos sobre los individuos. Se puede establecer que el ruido es el sonido que no se puede tolerar y, por tanto, es algo que hay que eliminar o reducir a niveles aceptables.

3.3.1 Sonido

El sonido es una forma de energía mecánica, generada por la vibración de un objeto sólido y transmitida desde su fuente al oído por una compresión y expansión periódica del medio transmisor, como el aire o el agua. En el aire, a nivel del mar, el sonido viaja aproximadamente a 340 m/s.

La compresión y expansión periódica del aire, provoca fluctuaciones de presión cíclicas y aproximadas a la presión atmosférica media. Si una onda sonora es visualizada como una función trigonométrica seno, son de importancia dos parámetros: la frecuencia y la amplitud.

La **frecuencia** de un sonido señala el número de veces por segundo que se producen las variaciones de presión. El estampido de un trueno es de baja frecuencia y el silbido agudo de una flauta, de alta.

La **amplitud** es una medida de la fuerza de las variaciones de presión que dan lugar al sonido. El zumbido de una abeja es de pequeña amplitud y el rugido de la sirena de un barco es de gran amplitud.

La presión instantánea debida al sonido es una función del tiempo, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$P(t) = P_A + p(t) \quad (3.1)$$

donde:

$P(t)$ es la presión instantánea

P_A es la presión atmosférica

$p(t)$ es la presión disturbada debido al sonido

El nivel de presión promedio de este tipo de función cíclica se define frecuentemente con un tipo de promediación de raíz media cuadrática (rmc). De la física básica, la relación entre la rmc y valores pico de una función sinusoidal es:

$$P = P_{rmc} = \frac{P_{max}}{2} \quad (3.2)$$

así

$$P_T = P_A + P \quad (3.3)$$

donde

P_T = presión total promedio

P = presión sonora rmc

En adelante, el término presión sonora se refiere al valor rmc.

Las presiones sonoras son muy pequeñas comparadas con la presión atmosférica. De acuerdo con Mestre y Wooten (1980), para dos personas apartadas aproximadamente un metro, la conversación normal provoca presiones sonoras recibidas por el oído de aproximadamente una millonésima de un bar (1 bar = 100 kPa; 1.013 bar = 1 atm). La presión sonora proveniente de varias fuentes puede ser recibida simultáneamente. Cuando se añaden presiones sonoras rmc, el método es elevar al cuadrado los valores de presión, luego se suman y entonces se obtiene la raíz cuadrada como lo muestra el siguiente ejemplo:

Problema ejemplo 3.1

Dos sonidos individuales provocan una presión sonora al mismo receptor de 2.0 y 3.0 microbares. ¿Cuál es la presión sonora recibida cuando ambos sonidos se combinan?

Solución:

$$P = \sqrt{(2.0)^2 + (3.0)^2} = 3.6 \text{ microbares}$$

3.3.2 Ruido

El ruido se define comúnmente como un sonido no deseado o desagradable. Esto implica que el ruido causa disturbios o que tiene efectos adversos a los humanos, animales domésticos, o vida salvaje. El ruido es casi siempre una mezcla de una multitud de sonidos, compuesto de muchas frecuencias a diferentes niveles de sonoridad (Mestre y Wooten, 1980). La sensibilidad de las personas difiere, y la distinción entre ruido y sonido es subjetivo y algunas veces muy difícil de hacer (como en el caso del rock). En cuanto a la molestia con que el ruido es percibido, son factores importantes la variación en el tiempo (estático o intermitente), su duración (corto o largo), su localización (en la ciudad o en los alrededores), y la hora del día en la que ocurre. Debido a que la percepción del ruido es bastante subjetiva, a continuación se discute acerca del oído humano.

Aunque no es tan bueno como el de muchos animales, el oído humano es verdaderamente notable; podemos escuchar sonidos con frecuencias desde aproximadamente 15 Hertz (Hz), hasta aproximadamente 20,000 Hz (Hz es igual que ciclos por segundo). El oído humano puede escuchar sonidos sobre un ámbito muy amplio de presión sonora, desde aproximadamente 0.0002 microbares hasta aproximadamente 10,000 microbares. Sin embargo la respuesta auditiva no es lineal con

respecto a presiones y frecuencias, debido a la no linealidad de la respuesta auditiva humana se ha desarrollado una escala logarítmica para medir presiones sonoras. Ruido o sonido se reporta como "nivel de presión acústica" definida como la relación logarítmica de la presión acústica con respecto a la presión de referencia. La presión de referencia es la frontera de la audición humana 0.0002 microbares. La ecuación que la define es:

$$NPA = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad (3.4)$$

donde

NPA es el nivel de presión acústica

P presión sonora en microbares

P₀ presión de referencia, 0.0002 microbares

Las unidades del *NPA* son los decibeles (dB). La medición del *NPA* se hace mediante un filtro o sistema de filtros que representan la respuesta de frecuencia del oído. Si bien existen otras técnicas algo más precisas, pero más complicadas, se está difundiendo la escala de niveles de presión acústica con ponderación A correspondiente a la respuesta auditiva humana, procedimiento que se recomienda para uso general. Los medidores del sonido se llaman sonómetros.

El **sonómetro** es un aparato para medidas acústicas, que responde al sonido de forma parecida a como lo hace el oído humano, que da una indicación objetiva y reproducible del nivel sonoro y que está básicamente constituido como se muestra en la Figura 3.2

Los sonómetros tienen una malla electrónica calibrada para simular automáticamente la respuesta auditiva humana cuando miden niveles de presión sonora en unidades *dba*.

En el Cuadro 3.4 se listan algunos sonidos comunes y sus correspondientes presiones acústicas y *NPA*.

Cuando se tienen varios sonidos independientes, debido a la definición de *NPA*, no se pueden simplemente sumar los valores de *dba*. Primero se deben convertir los *dba* a presiones acústicas (en microbares) usando la ecuación 3.4. Entonces, debido a que las presiones acústicas representan promedios de raíz media cuadrática (rmc), se deben sumar sus cuadrados para obtener el cuadrado de la presión sonora combinada. Después se convierte el cuadrado de la presión acústica combinada a *dba*.

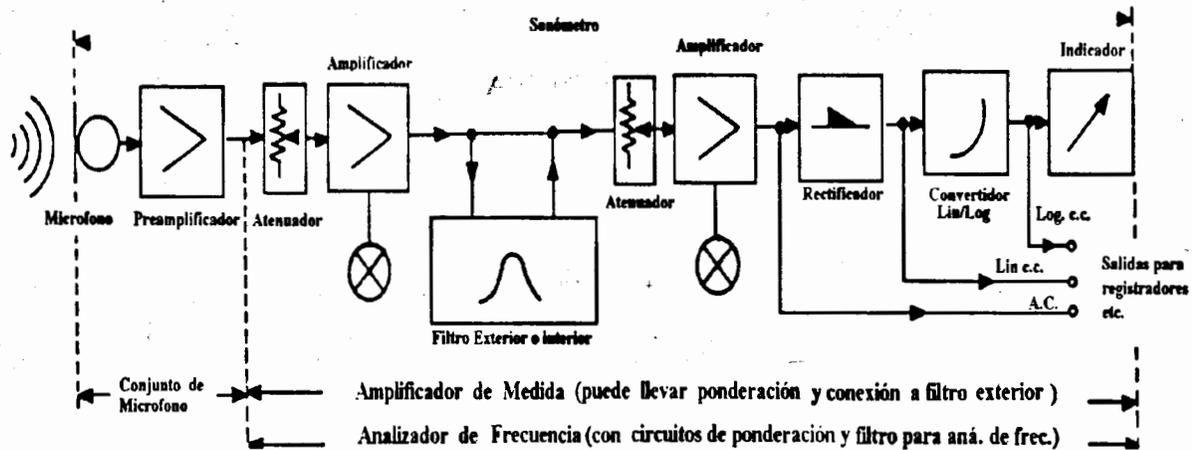


Figura 3.2 Constitución básica de un sonómetro

CUADRO 3.4

ALGUNOS SONIDOS COMUNES, SUS PRESIONES ACUSTICAS Y NPA

Sonido	Presión (microbar)	NPA dBA
Frontera de audición humana	0.0002	0.0
Respiración humana	0.00063	10.0
Conversación normal	0.20	60.0
Automóvil a 6 metros	1.0	74.0
Crucero transitado	6.3	90.0
Podadora y camión recolector de basura	20.0	100.0
Motocicleta a 6 metros	63.0	110.0
Nivel pico de un grupo de rock	200.0	120.0
Aeronave Jet a 60 metros	200.0	120.0
Aeronave Jet a 6 metros	2000.0	140.0
Perforadora neumática a 1 metro		108.0
Bulldozer a 15 metros		94.0
Motoescropa y camión pesado a 15 metros		93.0
Camión de volteo y mezcladora de concreto a 15 metros		76.0
Vibrador de concreto a 15 metros		64.0

Problema ejemplo 3.2

¿Cuál es el nivel de presión acústica de dos sonidos combinados de 80 dBA y 70 dBA ?
Recalcule el problema para dos sonidos de 80 dBA cada uno.

Solución

Para el primer caso :

$$NPA_1 = 80 \text{ dBA}$$

$$\left(\frac{P_1}{P_0}\right) = \text{inv log } \frac{80}{10} = 1.0 \times 10^8 \mu \text{ bares}$$

$$NPA_2 = 70 \text{ dBA}$$

$$\left(\frac{P_2}{P_0}\right)^2 = 1.0 \times 10^7 \mu \text{ bares}$$

$$\left(\frac{P_3}{P_0}\right)^2 = 1.0 \times 10^8 + 1.0 \times 10^7 = 1.1 \times 10^8$$

$$NPA_3 = 10 \log \left(\frac{P_3}{P_0}\right)^2 = 80.4 \text{ dBA}$$

En el segundo caso

$$NPA_1 = NPA_2 = 80 \text{ dBA}$$

$$\left(\frac{P_3}{P_0}\right)^2 = 1.0 \times 10^8 + 1.0 \times 10^8 = 2.0 \times 10^8$$

$$NPA_3 = 10 \log \left(\frac{P_3}{P_0}\right)^2 = 83.0 \text{ dBA}$$

3.3.3 Efectos del ruido en la salud humana

Se han observado los siguientes efectos del ruido en la población:

1. Interferencia en la comunicación humana;
2. Pérdida de audición;
3. Perturbación del sueño;

4. Estrés;

5. Molestias; y

6. Disminución de la eficiencia laboral

A continuación se describen estos efectos.

Interferencia en la comunicación humana

Aunque no se cuenta con pruebas que lo confirmen, se cree que la interferencia en la comunicación oral durante las actividades laborales puede provocar accidentes causados por la incapacidad de oír llamadas de advertencia u otras indicaciones. Tanto en oficinas como en escuelas y hogares, la interferencia en la conversación constituye una fuente importante de molestias.

El nivel acústico con ponderación A es un índice práctico y bastante preciso de la interferencia en la comunicación oral.

Generalmente es posible expresar la relación entre niveles de ruido e inteligibilidad del habla basándose en los supuestos y observaciones empíricas de que, para distancias de alrededor de un metro entre hablante y oyente:

- a) Las palabras de la conversación reposada son inteligibles en un 100 % con niveles de ruido de fondo de unos 45 dBA, y pueden entenderse bastante bien con niveles de 55 dBA; y
- b) Las palabras articuladas con un esfuerzo ligeramente mayor pueden entenderse bien con un nivel de ruido de 65 dBA.

En los casos en que las señales vocales tienen una importancia fundamental, por ejemplo en clases o conferencias, o cuando se trata de oyentes que han perdido capacidad auditiva, como en hogares para ancianos, es conveniente que sean más bajos los niveles de ruido de fondo.

Pérdida de audición

La pérdida de audición puede ser permanente o temporal. El desplazamiento temporal del umbral inducido por el ruido (DTUIR) representa una pérdida transitoria de agudeza auditiva, sufrida después de una exposición relativamente breve al ruido excesivo. Al cesar éste, se recupera con bastante rapidez la audición que se tenía antes de la exposición. El desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido (DPUIR) constituye una pérdida (sensorioneural) irreversible causada por la exposición prolongada al ruido. Se pueden sufrir simultáneamente ambos tipos de pérdida y también presbiacusia, que es la reducción permanente de la capacidad auditiva atribuida al proceso natural de envejecimiento. La pérdida de audición inducida por el ruido es gradual, comúnmente en un periodo de años. Cuando la pérdida de audición ha sido por la exposición prolongada a ruido excesivo, por lo general va acompañada de la destrucción de células pilosas del oído interno.

Los datos disponibles revelan que varía mucho la susceptibilidad humana al DPUIR. Por lo tanto, el riesgo que implica un ambiente ruidoso se describe en función del "riesgo de trastorno auditivo". Este puede expresarse como el porcentaje de personas expuestas a ese ambiente que previsiblemente sufrirán trastornos auditivos inducidos por el ruido, descontando las pérdidas de audición que obedezcan a otras causas. Ahora se acepta que el riesgo es mínimo con la exposición a ruidos de un nivel de presión acústica continua equivalente con ponderación A (Neq) (8-h), inferior a 75 dBA, pero aumenta cuando se eleva este nivel. Sobre la base de criterios nacionales acerca del "riesgo aceptable", muchos países han adoptado en sus reglamentos y normas recomendables límites de exposición al ruido industrial de 85 dBA \pm 5 dBA.

Aún no está claro si las normas sobre el riesgo de trastorno auditivo que se han mencionado pueden aplicarse a los ruidos impulsivos de muy corta duración. Los datos disponibles indican que existe un riesgo considerable cuando los niveles acústicos alcanzan 130-150 dB, según las características temporales del impulso sonoro.

Si bien varía mucho la sensibilidad individual, en particular a los estímulos de alta frecuencia, el umbral de dolor en el oído normal corresponde a la escala de niveles de presión acústica de 135-140 dB.

Siempre que sea posible, se deben abordar los problemas de la lucha contra el ruido en la misma fuente, es decir, tratar de disminuir la cantidad de ruido que se produce. Una opción aceptable consiste en librar a las personas del ruido mediante un sistema de aislamiento, como recintos insonorizados, tabiques y barreras acústicas. Si no es posible hacerlo, también se puede reducir el riesgo al mínimo limitando la duración de la exposición. Solamente en los casos en que no sean viables estas medidas contra ruido, se considerará la protección individual del oído. Estos dispositivos brindan protección, pero entrañan algunos problemas como los de colocación y uso adecuado y cierto grado de incomodidad.

Si existe riesgo de trastorno auditivo se practicarán exámenes audiométricos a los trabajadores antes de contratarlos y durante el tiempo que continúen en su empleo, con el propósito de detectar alteraciones de la agudeza auditiva que sugieran la posible aparición de DTUIR e iniciar las medidas preventivas.

Perturbación del sueño

El ruido puede provocar dificultades para conciliar el sueño y también despertar a quienes están ya dormidos.

Algunos estudios han indicado que la perturbación del sueño se manifiesta cada vez más a medida que los niveles de ruido ambiental sobrepasan los 35 dBA de Neq. Se ha encontrado que existe un 5% de probabilidades de que los sujetos despierten con un nivel acústico máximo de 40 dBA, y esas probabilidades aumentan al 30% con 70 dBA.

Dentro de una población pueden existir diferencias en la sensibilidad al ruido relacionadas, por ejemplo, con la edad y el sexo. Se ha comprobado que sólo se produce adaptación cuando los

estímulos sonoros son de escasa intensidad. Aún cuando el sueño resulta más alterado por ruidos ricos en información, se ha observado habituación a ese tipo de ruidos. De acuerdo con los limitados datos disponibles, se recomienda un Neq inferior a los 35 dBA para preservar el proceso reparador del sueño.

Estrés

Se han producido en el laboratorio efectos sobre la circulación general, como constricción de los vasos sanguíneos, y se ha detectado una incidencia elevada de trastornos circulatorios, incluida la hipertensión, en trabajadores expuestos al ruido. Se ha señalado que la presión sanguínea tiende a ser más alta en las poblaciones que viven en zonas ruidosas contiguas a aeropuertos, pero no se han presentado pruebas concluyentes al respecto.

El ruido afecta el sector simpático del sistema nervioso autónomo. La dilatación pupilar, la bradicardia y el aumento de conductancia cutánea son proporcionales a la intensidad del ruido para NPA superiores a 70dB, sin que exista adaptación al estímulo.

El ruido intenso puede producir otros trastornos del simpático, tales como alteraciones de la motilidad gastrointestinal. Las historias clínicas de trabajadores han mostrado que, además de una mayor incidencia de pérdida de audición, es más elevada la prevalencia de úlceras pépticas en los grupos expuestos al ruido; no obstante, no se ha establecido una relación causal.

Molestias

Las molestias relacionadas con el ruido pueden definirse como sensaciones desagradables que el ruido provoca. La capacidad de causar molestias de un ruido depende de muchas de sus características físicas, entre ellas su intensidad, su espectro y las variaciones de éste a lo largo del tiempo. Sin embargo, en las reacciones de molestia influyen muchos factores no acústicos de carácter social, psicológico o económico, y existen considerables diferencias entre las reacciones individuales ante un mismo ruido.

Cualquiera que sea la escala usada para expresar la exposición al ruido, es preciso reconocer que con cualquier grado de molestia causada por el ruido, las reacciones varían considerablemente como consecuencia de las diferencias psicosociales. Una técnica útil para indicar el posible margen de variación individual consiste en usar una curva patrón que muestre el porcentaje de personas que sufrirán molestias en función del nivel de ruido.

Se han establecido esas curvas para diversos géneros de ruido, pero sobre todo para el ruido provocado por aviones o por el tránsito automotor. Sobre esta base, se puede llegar a la conclusión de que en zonas residenciales donde la exposición diurna al ruido sea inferior a un Neq de 55 dBA, serán pocas las personas que sufrirán molestias graves. Se recomienda ese nivel como límite conveniente de exposición al ruido para la comunidad en general, aunque será difícil mantenerlo en muchas zonas urbanas. Algunos residentes tal vez consideren demasiado alto ese nivel, especialmente porque en muchas zonas suburbanas y rurales, los niveles acústicos son en la actualidad considerablemente inferiores.

Efectos sobre el rendimiento

El efecto del ruido sobre el rendimiento en el trabajo ha sido estudiado fundamentalmente en laboratorio y, en cierta medida, en situaciones laborales; no obstante, se han efectuado muy pocos o ningún estudio de los efectos del ruido sobre la productividad en situaciones reales. Es evidente que cuando una tarea implica señales auditivas de cualquier tipo, un ruido de tal intensidad que enmascare la percepción de esas señales o interfiera en dicha percepción, dificultará la realización de la tarea.

El ruido puede actuar como elemento de distracción, según la significación del estímulo, y puede también afectar el estado psicofisiológico del individuo. Un acontecimiento nuevo como el comienzo de un ruido extraño, causará distracción e interferirá en muchos tipos de tareas. Los ruidos impulsivos (como los estampidos sónicos), pueden producir efectos disociadores como resultado de sobresaltos, a los que es más difícil habituarse.

El ruido puede modificar el estado de alerta del individuo y aumentar o disminuir la eficiencia.

El desempeño de tareas que implican actividades monótonas no siempre resulta afectado por el ruido. En el extremo contrario, las actividades mentales que implican concentración, reunión de información y procesos analíticos, parecen ser particularmente sensibles al ruido. Se ha señalado que en la industria el mejor indicador de los efectos del ruido sobre el desempeño laboral es un aumento de accidentes.

3.3.4 Evaluación del impacto por ruido

El primer paso en la evaluación del impacto por ruido es hacer un inventario del ruido ambiental existente. Se usan mediciones presentes y modelos matemáticos. Es importante la consulta de las normas técnicas ecológicas. Enseguida, deben predecirse los niveles de ruido esperados debidos al proyecto propuesto, tanto en la fase de construcción como en la de operación. Finalmente, deben identificarse algunas medidas de mitigación para la reducción del ruido, para su posible implantación.

Como ejemplo de medida de mitigación, se puede incrementar la zona de amortiguamiento entre el proyecto y el vecindario. Los niveles sonoros a partir de la fuente se disipan rápidamente con la distancia, como lo muestra la siguiente ecuación

$$NPA_2 = NPA_1 - 20 \log \frac{D_2}{D_1} \quad (3.5)$$

donde

NPA_2 es el nivel de presión acústica recibida a la distancia D_2 a partir de la fuente.

NPA_j es el nivel de presión acústica recibida a la distancia D_j , a partir de la fuente.

Otras medidas de mitigación incluyen el uso de equipo silenciador y levantamiento de barreras acústicas.

3.4 Obras para la navegación marítima y fluvial

Es obvio que 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 en general, obras para acondicionamiento 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 en el agua. Lo anterior propicia el aumento de la turbiedad y cambio en el potencial hidrógeno (pH), además de variaciones en el olor del agua. Estas alteraciones normalmente son temporales, pero en condiciones especiales podrían ser permanentes, por ejemplo, un mal diseño de obras para controlar el régimen de una corriente puede erosionar las márgenes del río, o bien, en caso de obras que cuenten con muros de retención que permitan el paso constante de material sólido, la turbiedad del agua será también frecuente. Es posible que durante la construcción se presenten cambios en las características químicas del agua.

Como ejemplo de la influencia que puede tener en el ambiente la construcción de obras destinadas a la navegación fluvial, se presenta a continuación un extracto del artículo publicado en *Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division*.

" La construcción de un canal navegable entre los ríos St. John e Indian ha sido el interés de la localidad por más de 36 años. Se han preparado numerosos reportes con la intención de justificar el canal con base en análisis de costo-beneficio. La iniciación de la construcción del canal Cruz-Barge, Florida, abrió nuevas esperanzas.

El reconocimiento de posibles daños ambientales causados por la excavación y construcción de estructuras en los ríos, requirió reconsideraciones del alineamiento y el régimen de flujo. Profesionales de las ciencias del ambiente han sido de gran ayuda en la evaluación de los proyectos. Sus recomendaciones han sido orientadas a la construcción causando mínimas perturbaciones en los ríos".

Con respecto a la construcción de obras marítimas para la navegación, como puertos, muelles, escolleras, diques, etcétera, también existen perturbaciones en el régimen marítimo, aunque en menor escala. Los componentes de materiales de construcción y desechos de la misma, como impermeabilizantes o productos derivados del petróleo, pueden alterar temporalmente la calidad de las aguas marítimas en el sitio de la construcción. Fallas en el diseño o construcción de alguna de las obras portuarias podrían propiciar erosión en las costas y por ende un aumento de la turbiedad.

La construcción y operación de los puertos marítimos incide de manera directa en zonas litorales. Su localización afecta en forma variable a los componentes del ecosistema acuático, ya que pueden ser establecidos en zonas con un alto aprovechamiento pesquero o en zonas ecológicamente importantes, como las arrecifales y de manglares. Por estas razones, las descargas continuas de aguas residuales y emisiones atmosféricas que se generan, pueden ocasionar la degradación de los usos del suelo en las zonas aledañas, incluyendo zonas habitacionales y turísticas.

La ubicación de descargas de aguas residuales en puntos específicos que no representen alto valor ecológico, social o económico, protegerán a estas zonas de perturbaciones mayores. El diseño de emisores submarinos para esta finalidad, ha resultado una opción viable en la prevención de impactos a las comunidades acuáticas.

La instrumentación de programas de emergencia para atender a posibles contingencias causadas por el derrame de sustancias contaminantes, debe ser prevista en aquellos puertos con alta actividad industrial.

Durante la operación, fallas en la seguridad de la trayectoria de los buques dentro del puerto pueden provocar accidentes.

CAPITULO 4

OBRAS DE EDIFICACION Y SU RELACION CON EL AMBIENTE

Las obras de edificación comprenden las construcciones destinadas a habitaciones, establecimientos comerciales, fábricas, escuelas, lugares de reunión, así como bodegas y todo local cualquiera que sea el uso a que se destine.

De lo anterior se desprende que el edificio terminal, la torre de control y edificio anexo a la torre de control, los edificios de ayudas a la navegación, las bodegas y edificios para estacionamiento, en un aeropuerto; y los edificios administrativos y de servicio; las propias industrias y las zonas habitacionales, en un puerto; las terminales o estaciones de un sistema de transporte carretero y ferroviario, todas estas obras son de **edificación**. Asimismo, en las obras de uso y manejo del agua, la casa de máquinas en una hidroeléctrica, o de bombas en un sistema de abastecimiento de agua potable o riego son obras de edificación. Las obras mencionadas son muy completas e incluyen, sin lugar a duda, a todos los campos de la actividad de la ingeniería civil. Este aspecto no deberá ser olvidado si se desea evaluar el impacto global de una obra en particular.

Las obras de edificación comúnmente se asocian con las ciudades y los múltiples problemas que se tienen en ellas, pero en este capítulo se tratará de lo particular a lo general, considerando el edificio como unidad.

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 en relación 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 la casa en un bosque los efectos tendrán más importancia que en la ciudad, aunque quizá los efectos sigan siendo muy leves. La situación cambia cuando se trata de un conjunto habitacional, y los efectos se magnifican tanto en el campo como en la ciudad.

4.1 Algunos impactos de las obras de edificación

Si el conjunto habitacional se construyera en el campo, dependiendo del tipo de ecosistema que se presente en el sitio se requerirán una o varias de las actividades que comprende la ejecución del desmonte.

El desmonte es el despeje de la vegetación de un sitio dado, con el objeto de evitar la presencia de este material de acuerdo con un proyecto, normas y especificaciones. Las actividades que comprende el desmonte son:

- a) Tala, que consiste en cortar los árboles y arbustos.
- b) Roza, que consiste en quitar la maleza, hierba, zacate o residuo de las siembras.
- c) Desenraice, que consiste en sacar los troncos con raíces o cortando éstas.
- d) Limpia, estiba y quema de lo no utilizable, de acuerdo con las disposiciones legales en vigor.

Además del desmonte, el proyecto puede requerir de excavaciones y rellenos o terraplenes o ambos. La configuración superficial cambiará notablemente y el patrón de escurrimiento será alterado al igual que la geohidrología, por efecto de la impermeabilización de superficies.

Otras obras serán necesarias, por ejemplo, accesos carreteros, abastecimiento de agua potable y sistema de alcantarillado, energía eléctrica y otros servicios.

La fauna salvaje emigrará y si no son adecuadas 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 (racional o irracional) del recurso forestal o forrajero, sino por la ocupación urbana de las grandes áreas en las laderas de las montañas. En el Distrito Federal, por ejemplo, entre 1950 y 1970 hubo una disminución del 20 % del área boscosa y de más del 50% de la superficie agrícola, en favor del desarrollo de áreas urbanas.

Existe implícitamente la idea de que una hectárea de tierra urbanizada vale más que una hectárea agrícola, de allí que el proceso de expansión urbana se haya realizado fundamentalmente a través de la ocupación de tierras agrícolas que rodeaban las ciudades. Esto afecta irreversiblemente al recurso estrictamente limitado que forma las regiones agrícolas de alta productividad; se ha agravado la situación de dependencia de las ciudades respecto de las zonas agrícolas alejadas y se ha alterado la estructura económico-social de las comunidades campesinas, aumentando la población urbana marginal.

Si se pretende construir una zona habitacional (desarrollo urbano) o un parque industrial, debe dirigirse la atención hacia suelos de poco valor agrícola, tales como terrenos tepetatosos y suelos erosionados, pues aunque los costos inmediatos son mayores, los beneficios a largo plazo lo justifican ampliamente.

Volviendo al caso de las ciudades ya establecidas, y tomando al edificio como unidad, pocos efectos o ninguno había que asignar a una casa habitación. Conforme aumenta el tamaño de la edificación, los efectos más notables como el ruido y el polvo aumentan en consideración, hasta llegar al caso de edificios de gran altura y en los que el tiempo de construcción es muy extenso. La cimentación es sin duda una de las etapas en las que se presentan los efectos adversos más molestos para el vecindario y los más riesgosos para las edificaciones contiguas. Introducción de pilotes, excavaciones más abajo del nivel de desplante de los edificios contiguos, con abatimiento del nivel freático, deberán ser tomados en consideración para poner en marcha las medidas de atenuación y mitigación de efectos negativos, como pueden ser el reforzamiento de la cimentación de los edificios contiguos para evitar hundimientos diferenciales y evitar ruido nocturno.

Algunas medidas de mitigación recomendables son:

- 1) Dotar al predio de tapial o de los tapiales que sean necesarios.
- 2) Que existan instalaciones para riego de agua que eviten las molestias por polvo.
- 3) La instalación de pantallas o mamparas que se coloquen delante de la luz cuando haya necesidad de usar sopletes de oxiacetileno o equipos de soldadura eléctrica.
- 4) Tomar las medidas de seguridad necesarias a fin de evitar accidentes, especialmente los que pongan en peligro la vida de los trabajadores de la obra, de los transeúntes y de los vecinos de los predios colindantes y daños a las propiedades.
- 5) Tomar las medidas que la autoridad sanitaria juzgue pertinentes, cuando el terreno de construcción sea pantanoso o hubieran estado destinados a rellenos sanitarios, basureros a cielo abierto o cementerios.

En México hay pocos ejemplos de edificios de gran altura (o rascacielos), pero los que hay son buenos ejemplos de que proyectos así deben contemplar los efectos negativos a fin de diseñar las medidas de atenuación o mitigación. Por ejemplo, el edificio de Petróleos Mexicanos en el Distrito Federal, representa un gran listado de efectos negativos durante su construcción y operación. Un edificio de tal magnitud requiere de una línea de conducción de agua potable propia y lo mismo sucede con el drenaje y la energía eléctrica. El tránsito generado produce grandes molestias a los vecinos, porque además el estacionamiento no es suficiente para sus necesidades, así que numerosos vehículos se alínean en las aceras.

4.2 Efecto de las ciudades en el clima

Las ciudades afectan al clima de muchas maneras. La superficie irregular presentada por los edificios frena el viento; la concentración de contaminantes en el aire propicia condensación de núcleos y por ello la niebla y lluvia se incrementan. El calor generado en las ciudades crea ciertos efectos térmicos en la atmósfera. En comparación con los alrededores rurales, en las ciudades se tiene más niebla, más nubes, más lluvia y partículas de polvo.

A causa del gran número de construcciones urbanas y áreas asfaltadas existentes en una ciudad, cuando el sol calienta el terreno, el suelo adquiere una temperatura más alta que la de los campos y bosques que rodean la ciudad.

Durante la noche, las construcciones urbanas y el asfalto, retienen el calor que recibieron en el día, en tanto que los bosques y campos que rodean la ciudad se enfrían más rápidamente. Este fenómeno es llamado **isla de calor urbana**.

Durante la condición de "viento en calma" (velocidad menor de 1.5 m/s), el aire cercano al suelo se calienta (o enfría) por el terreno y debido a las diferencias de temperatura, el aire se pone en movimiento, ya que el aire caliente es más ligero que el frío.

En las zonas donde el aire es más caliente se podría esperar que al ascender, actuara como una gigantesca chimenea elevando los gases contaminantes y limpiando la atmósfera de la ciudad. Desafortunadamente, "la capa de inversión" no permite que esto suceda.

Al ir ascendiendo, los gases contaminantes se enfrían, y si llegaran a encontrar capas de aire más caliente que ellos mismos, su ascenso sería frenado, de acuerdo con las leyes físicas de los gases: una masa de gas a menor temperatura que el aire que la rodea, simplemente no puede subir más.

La formación de la capa de inversión ocurre cuando al atardecer el terreno se empieza a enfriar.

Estos aspectos deberán ser tomados en cuenta en el diseño de un parque industrial. Para comprenderlo, supóngase que el sitio del proyecto está en un valle rodeado por montañas, como se muestra en la Figura 4.1.

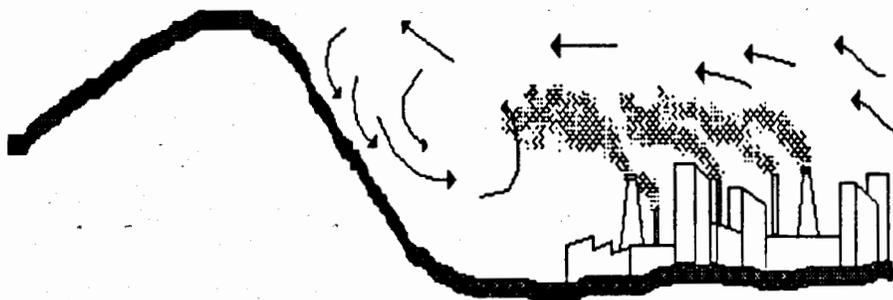


Figura 4.1. Parque industrial localizado en un valle.

Solamente si se produce un fuerte calentamiento del terreno, quizá al medio día, la altura de la capa de inversión llegue a superar la altura de las montañas que rodean la zona pudiéndose limpiar más fácilmente de la acumulación de los gases que estaban estancados sobre ella.

Es posible, sin embargo, que durante varios días no se caliente suficientemente el terreno y la capa de inversión permanezca a muy baja altura formándose un espacio cerrado con las montañas que rodean al valle. Durante estos días el nivel de concentración de gases contaminantes llegarían a niveles aún más altos, pudiendo causar daños irreparables a la salud de los habitantes del valle.

4.3 Criterios técnicos para localizar desarrollos industriales

La determinación del sitio para localizar un parque industrial en un centro de población es uno de los primeros problemas a resolver cuando se toma la decisión de realizar el proyecto en una localidad factible.

Previamente, en el análisis de factibilidad también son necesarios ciertos criterios de microlocalización para evaluar alternativas reales que permitan estimar el precio de adquisición de la tierra, las medidas para la regulación del uso del suelo así como los efectos sobre el crecimiento espacial del centro de población o "mancha urbana".

En relación con el ambiente deben hacerse todos los esfuerzos para:

- a) Minimizar el impacto social motivado por el cambio en el uso del suelo; y
- b) Preservar el ecosistema.

Impacto en el medio socioeconómico

Se entiende por impacto social de la "microlocalización" de un parque industrial al conjunto de efectos sobre las actividades productivas de bienes y las características de la reproducción social, de los cambios del uso del suelo de agropecuario a urbano-industrial.

Se considera impacto social negativo la supresión de actividades agropecuarias con el nivel de productividad superior a la de autoconsumo o supervivencia, desarrolladas por pequeños propietarios (menos de 30 ha) y/o comunidades con régimen ejidal y/o comunal de tenencia de la tierra, como consecuencia de la construcción de un parque industrial.

Los criterios que se anotan a continuación tienen como objetivo evitar o minimizar el impacto social negativo mencionado, al determinar el sitio adecuado para la construcción de un parque industrial:

- a) Deben preferirse las áreas que no estén sujetas a usos agropecuarios.

- b) En el caso de que la exigencia de preservación del medio en el centro de población y/o la factibilidad económica del proyecto dependa de su cercanía a la infraestructura existente (redes de energía eléctrica, gas, aeropuerto, etcétera), de tal manera que sea necesario convertir el uso del suelo agropecuario de un área en uso urbano-industrial, se sugiere lo siguiente:
- No deben afectarse ejidos, salvo decisión de la comunidad; en este caso debe estudiarse la posibilidad de incorporarla a los beneficios del proyecto.
 - No deben afectarse pequeños propietarios (menos de 30 ha), cuyas actividades generen un producto superior al de autoconsumo.
 - Debe preferirse afectar las tierras de menor productividad.
 - Debe preferirse afectar las tierras de propiedad privada con mayor extensión y de un mismo propietario.

Impacto en el medio físico

Todo desarrollo industrial representa la interacción de una serie compleja de instalaciones con un conjunto más complejo aún de factores naturales y socioeconómicos que generará impactos benéficos y adversos. Los primeros son los beneficios económicos a corto y largo plazo para la zona; generación de empleos; flujos de dinero que elevarán la economía de la región haciendo crecer el volumen de negocios local, aumentando el valor de la propiedad e incrementando la hacienda pública mediante la recaudación de impuestos en todos los órdenes. Los efectos adversos se tendrán sobre los componentes del medio físico: agua, suelo, aire, flora y fauna.

La localización de un desarrollo industrial desde el punto de vista de las aguas superficiales es conveniente que considere los siguientes aspectos:

- a) **Proyectar las tomas de agua cruda para proceso, enfriamiento y abastecimiento del parque industrial de tal forma que no ocasionen cambios ecológicos en el cuerpo de agua que afecten a peces en sus etapas de huevos, larvas, juveniles o adultos, a plancton, etcétera.**
- b) **Evitar que las descargas de agua del desarrollo industrial con exceso de temperatura propicien la disminución crítica del oxígeno disuelto en el cuerpo receptor afectando especies de peces migratorios o no migratorios y en general vida silvestre compuesta por aves, animales acuáticos, anfibios, mamíferos y reptiles.**
- c) **Evitar que las descargas de sustancias químicas y de isótopos radiactivos presentes en aguas residuales industriales, afecten a la calidad del agua del cuerpo receptor y como consecuencia a las poblaciones acuáticas, así como a la vida silvestre y a los asentamientos humanos que usen ese cuerpo como fuente de abastecimiento.**

- d) Evitar que los desarrollos industriales cercanos a un cuerpo receptor alteren el drenaje natural provocando inundaciones en las poblaciones cercanas y en consecuencia daños a la salud pública.

La localización de un desarrollo industrial desde el punto de vista de las aguas subterráneas es conveniente que considere los siguientes aspectos:

- a) Evitar que las descargas de aguas residuales industriales con concentraciones de contaminantes conservativos y de isótopos radiactivos se infiltren y contaminen acuíferos usados como fuentes de abastecimiento para asentamientos urbanos, riego agrícola y cuencas lecheras.
- b) Controlar la extracción de agua para evitar el descenso del nivel freático y la reducción de la producción de pozos en operación para abastecimiento de agua del desarrollo industrial y de los asentamientos humanos cercanos.
- c) Si el desarrollo se localiza cercano a la costa, deberá evitarse la intrusión salina ocasionada por la sobreexplotación del acuífero.
- d) Deberá preverse la disposición adecuada de los residuos sólidos generados en los procesos industriales para evitar la contaminación del acuífero con lixiviados percolados.

La localización de un desarrollo industrial desde el punto de vista del uso del suelo es conveniente que considere los siguientes aspectos:

- a) Evitar que el área necesaria para el desarrollo industrial rompa el equilibrio del uso del suelo y las áreas necesarias para comunicaciones y servicios, incluyendo su derecho de vía.
- b) Evitar la afectación de poblaciones autóctonas debido al ruido ocasionado por maquinaria de construcción y transporte, movimiento de tierras y gente, necesarios durante la construcción y operación del desarrollo.
- c) Evitar la afectación de sitios de interés histórico cercanos al desarrollo como consecuencia de su construcción y operación.
- d) Evitar la afectación de la vida salvaje, flora y fauna, durante la construcción y operación del desarrollo.
- e) Controlar la erosión del suelo durante la etapa de construcción por efecto del movimiento de tierras y desestabilización de taludes.
- f) No degradar el paisaje, sobre todo el que es visto desde las posibles áreas de asentamientos humanos circundantes, tales como: zonas residenciales, áreas históricas o arqueológicas, áreas de parques nacionales o de recreo o sitios considerados

estéticamente importantes.

- g) Minimizar el riesgo de colapso en las estructuras del desarrollo industrial o la interrupción y daño de sus servicios por efecto de sismos.
- h) Evitar la localización del desarrollo en la cercanía a sitios usados como tiradero de basura doméstica a cielo abierto que propicien humos, cenizas, olores, partículas, etcétera.

La localización de un desarrollo industrial desde el punto de vista de la calidad del aire es conveniente que considere los siguientes aspectos:

- a) La descarga de nieblas y condensaciones de las industrias que amenacen eliminar la visibilidad en las vías de comunicación terrestres, fluviales, aéreas, que se encuentren cercanas al desarrollo industrial.
- b) Las emisiones de humos, contaminantes químicos, gases con olor, isótopos radiactivos de las chimeneas que puedan ocasionar problemas en la calidad del aire, flora, fauna local y asentamientos humanos.
- c) Los efectos de corrosividad ocasionada por los gases de las chimeneas de las industrias, sobre las construcciones del desarrollo, asentamientos humanos circundantes o zonas históricas o arqueológicas.
- d) Las emisiones de polvos y partículas producto de las operaciones unitarias de las industrias, que puedan ocasionar efectos sobre humanos, flora y fauna, por depósito, inhalación u otra vía.

4.4 Principales contaminantes atmosféricos

Hay cinco importantes contaminantes atmosféricos **primarios** y uno **secundario**, llamado así porque se deriva de dos contaminantes primarios mediante una reacción fotoquímica en la atmósfera. Los cinco contaminantes primarios son: partículas suspendidas, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles (hidrocarburos), y monóxido de carbono. El más importante contaminante secundario es un oxidante fotoquímico, medido como ozono.

Las partículas son de muy pequeño diámetro, sólidas o líquidas, que permanecen suspendidas en gases emitidos a la atmósfera. Las partículas son emitidas principalmente por la combustión de combustibles fósiles y procesos de minería. Los efectos de las partículas incluyen la reducción de la visibilidad debido al smog (nebliumo) y neblina, así como el manchado de edificios y otros materiales. Las partículas también tienen efecto en la salud humana, porque pueden ser aspiradas y retenidas en los pulmones.

Los óxidos de azufre se producen siempre que se quema un combustible que contiene azufre. La principal fuente es la combustión de los combustibles fósiles, aunque la fundición de metales no ferrosos es también una fuente importante. El principal óxido de azufre es el SO_2 , sin embargo algo

de SO_2 , se forma en los hornos. El SO_2 y el SO_3 pueden formar ácidos cuando reaccionan con agua (así se forma la llamada lluvia ácida), y el ácido puede tener entonces efectos adversos en el ambiente. Adicionalmente el SO_2 se asocia directamente con problemas de salud humana y provoca daños a plantas y animales.

Los óxidos de nitrógeno se forman cuando se quema cualquier combustible a muy alta temperatura. El nitrógeno y el oxígeno en el aire se combinan para formar NO y NO_2 . También los átomos de nitrógeno presentes en algunos combustibles puede contribuir a la emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x). Los óxidos de nitrógeno contribuyen a la formación de smog y neblina, pueden dañar a las plantas y animales, y causar daños a la salud humana. Además, los óxidos de nitrógeno reaccionan con los compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar formando oxidantes fotoquímicos (ozono).

Los compuestos orgánicos volátiles incluyen cualquier orgánico que tenga una baja presión de vapor, de forma que se volatilizan cuando se exponen al aire. Las mayores fuentes de compuestos orgánicos volátiles son los automóviles y otras fuentes móviles, de las cuales se expelen al aire pequeñas cantidades de combustible no quemado. También la producción de petróleo, refinación y evaporación de solventes usados en la fabricación de pinturas emiten compuestos orgánicos volátiles. Algunos son cancerígenos, pero el mayor problema es que reaccionan con los óxidos de nitrógeno en la atmósfera formando oxidantes fotoquímicos.

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, insípido y venenoso que se produce en la combustión incompleta de cualquier combustible carbonáceo. Usualmente las plantas de generación de energía y los grandes hornos son diseñados y operados cuidadosamente para asegurar la completa combustión y no emiten mucho monóxido de carbono, por lo que las mayores fuentes de emisión son los medios de transporte: automóviles, camiones, autobuses, aviones y otros vehículos. El CO reacciona con la hemoglobina de la sangre impidiendo la transferencia de oxígeno. Dependiendo de la concentración de CO y tiempo de exposición, los efectos en los humanos pueden variar desde leves afectaciones psicomotoras hasta la muerte.

Los oxidantes fotoquímicos no son emitidos por alguna fuente en sí, pero se forman por reacciones complejas en la atmósfera que involucran a los compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y luz solar. Este puede ser un problema serio en áreas urbanas de climas templados o cálidos, como la Ciudad de México.

Un contaminante gaseoso no mencionado y que se produce en gran cantidad por la combustión, es el bióxido de carbono (CO_2). Debido a que el CO_2 no tiene efectos irritantes, a su abundancia en la atmósfera y a la necesidad que se tiene de él para la vida vegetal, no se considera normalmente como contaminante. Sin embargo, es sabido que un exceso en la emisión de CO_2 a la atmósfera, producirá dramáticos efectos en el clima de la Tierra. Se ha calculado que de la concentración presente de CO_2 de aproximadamente 340 partes por millón (ppm), se llegará a 600 ppm en el umbral del siguiente siglo.

4.5 Dispersión atmosférica

La liberación de contaminantes en la atmósfera es una vieja forma de "disposición". Se trata de utilizar la capacidad de la atmósfera para transformar rápidamente altas concentraciones de contaminantes en otras inferiores más o menos inofensivas. Desde luego que la capacidad de la atmósfera para disponer contaminantes no es infinita y varía desde bastante buena a bastante pobre dependiendo de las condiciones meteorológicas y geográficas. Debido al crecimiento exponencial del consumo de energía que se ha dado a partir de la revolución industrial, en las últimas décadas se ha tenido que iniciar la instalación de equipo de control de la contaminación para mitigar el impacto del abuso indiscriminado de la atmósfera.

Los efectos perjudiciales ocurren cuando los contaminantes se acumulan en altas concentraciones en un área local. La acumulación de contaminantes en cualquier región localizada es función de las tasas de emisión (entradas), dispersión (salidas) y tasas de generación o destrucción por reacciones químicas. La dispersión de contaminantes se debe casi por completo a condiciones naturales tales como topografía y meteorológicas como el viento, precipitación pluvial y estabilidad atmosférica, que es la tendencia del aire a no mezclarse en la dirección vertical. Si hay un fuerte viento o un buen mezclado vertical en la atmósfera, los contaminantes se dispersan rápidamente en un gran volumen de aire, provocando bajas concentraciones. Si no hay viento y se presenta una inversión térmica, o sea una capa de aire cálido sobre otra de aire más frío lo cual impide el mezclado vertical del aire en la región, la concentración de contaminantes puede incrementarse.

Como se explicó en el Capítulo 1, los modelos constituyen una de las más importantes herramientas de la ingeniería. Los modelos se usan para predecir el comportamiento de un sistema complejo para ser analizado con exactitud. En el siguiente apartado se modelará la calidad del aire sobre una ciudad.

4.5.1 Modelo de caja

Este modelo puede ser utilizado en la evaluación del impacto ambiental y el resultado del modelo es importante en la etapa de planeación para la toma de decisiones.

Podría preguntarse cuáles serían los efectos de una nueva industria en la calidad del aire. El modelo puede usarse en la selección del sitio para establecer la fábrica, de manera que se minimice el cambio en la calidad del aire.

El modelo de caja es uno de los más simples relativos a la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Considérese una ciudad contenida en un volumen de base y paredes rectangulares, según se muestra en la Figura 4.2. La altura de la caja es la de la mezcla de gases sobre la ciudad (capa de inversión).

Se asumirá que los contaminantes son emitidos por la ciudad y que entra a la caja viento limpio por uno de sus lados, empujando al aire contaminado que sale por el lado opuesto. Para facilitar la solución del problema, considérese que los contaminantes están distribuidos

uniformemente en toda la caja.

De acuerdo a lo anterior, (Figura 4.3) sea :

V = volumen de la caja;

χ = concentración de contaminantes en el interior de la caja y saliendo de ella;

P = variación de la emisión de contaminantes; y

Q = flujo de aire.

Utilizando el principio de conservación de la masa (Capítulo 1), puede escribirse la siguiente ecuación:

Razón de cambio del contaminante en la caja = variación del contaminante que entra en la caja - variación del contaminante que deja la caja.

$$V \frac{d\chi}{dt} = P - Q \chi \quad (4.1)$$

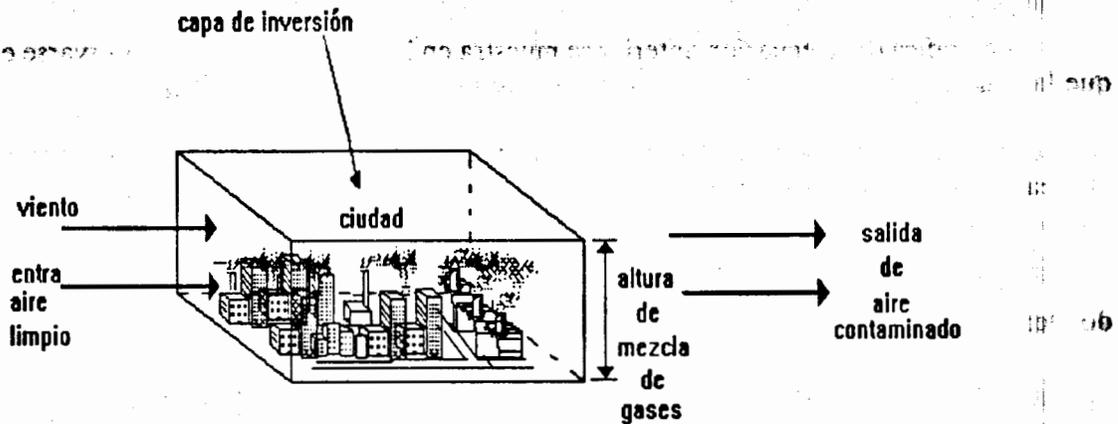


Figura 4.2. Modelo de caja

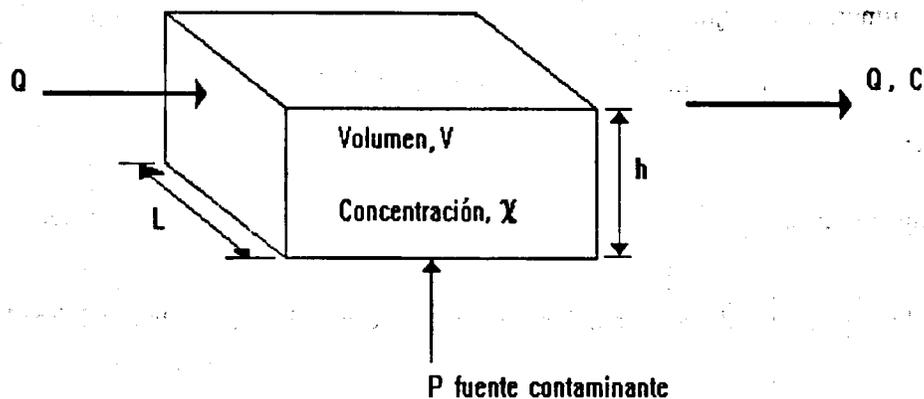


Figura 4.3. Variables del modelo de caja

Si la concentración inicial de contaminantes en la caja es cero, entonces la ecuación tiene la solución:

$$x = \frac{P}{Q} [1 - e^{-\frac{Q}{V}t}] \quad (4.2)$$

La gráfica de la ecuación anterior se muestra en la Figura 4.4. Puede observarse en la gráfica que la concentración de contaminantes tiende asintóticamente al valor P/Q .

Q es una medida de la ventilación que la caja recibe y es igual a la velocidad del viento que cruza el área de dimensiones Lh , es decir:

$$Q = v L h \quad (4.3)$$

donde:

v = velocidad del viento;

L = dimensión de la base de la caja; y

h = altura de mezcla de gases hasta llegar a la capa de inversión.

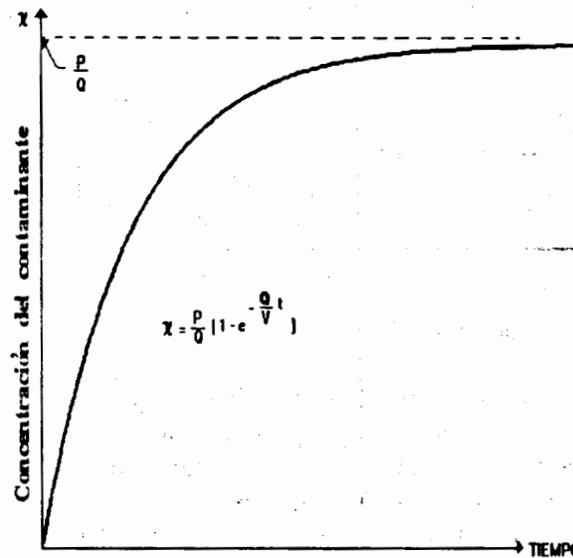


Figura 4.4. Representación gráfica de la ecuación 4.2.

La concentración de un contaminante predicha con este modelo es:

$$x_{FINAL} = \frac{P}{v L h} \quad (4.4)$$

Significa que la concentración se incrementa si a su vez se incrementa la emisión de gases o si la capa de inversión desciende o la velocidad del viento decrece, o ambas disminuyen.

Problema ejemplo 4.1

Una ciudad está cubierta por una capa de inversión térmica localizada a 500 m sobre el nivel medio del terreno. La ciudad tiene un área aproximadamente rectangular con dimensiones de 9 km por 12 km. Se supone que el aire entrante está limpio y que la velocidad del viento es de 3 m/s, soplando en dirección paralela al lado mayor de la ciudad. La emisión de SO₂ en la ciudad se origina en varias pequeñas fuentes que en promedio producen 0.008 mg/m²s. Calcular la concentración de estado estable de SO₂ en el aire a las afueras de la ciudad.

Solución

A partir de la ecuación (4.4), se tiene

$$\begin{aligned} \chi &= \frac{P}{v L h} = \frac{0.008 (9000) (12000)}{3 (9000) (500)} \\ &= 0.064 \text{ mg/m}^3 \\ &= 64 \text{ } \mu\text{g / m}^3 \end{aligned}$$

4.5.2 Modelo gaussiano de dispersión

La liberación de grandes cantidades de contaminantes (como los de una carboeléctrica), son conducidos a través de altas chimeneas para proporcionar algún "tiempo y espacio" en el que los contaminantes se dispersen antes de alcanzar el nivel del terreno, lo cual es importante puesto que es aquí donde vivimos los seres humanos. Aunque las ecuaciones que describen la dispersión de contaminantes en la atmósfera pueden desarrollarse a partir del principio de conservación de la masa, su deducción está fuera del alcance de este texto. Sin embargo, se hará la descripción cualitativa de este proceso y al final se presentará la ecuación que se usa ampliamente para calcular concentraciones en puntos viento abajo de la fuente.

Los contaminantes liberados a la atmósfera viajan con el viento dominante, dispersándose tanto en la dirección vertical como horizontal a partir del centro de línea de la pluma. La tasa de dispersión en cada dirección es una función compleja de las condiciones meteorológicas, las características de los contaminantes y la topografía. La Figura 4.5 muestra el comportamiento de la pluma emitida por una chimenea como consecuencia de un viento estable.

Se ha demostrado que la dispersión de contaminantes puede ser aproximada a una distribución Gaussiana o normal (Turner, 1970). La ecuación que modela la dispersión normal de un contaminante gaseoso emitido por una fuente elevada se da en la ecuación (4.5), la cual predice la concentración de estado estable en el punto de coordenadas (x,y,z):

$$\chi = \frac{Q}{2\pi v \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left(e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right) \quad (4.5)$$

donde

χ = concentración de estado estable en el punto (x,y,z),
microgramos por metro cúbico

Q = tasa de emisión, $\mu\text{g/s}$

σ_y, σ_z = parámetros de dispersión vertical y horizontal, m (estos son funciones de la distancia x y estabilidad atmosférica)

v = promedio de la velocidad del viento a la altura de la chimenea, m/s

y = distancia horizontal desde el centro de línea de la pluma, m

z = distancia vertical a partir del nivel del terreno, m

H = altura efectiva de la chimenea ($H=h+\Delta h$, donde h = altura física de la chimenea y Δh = altura de ascensión de la pluma), m

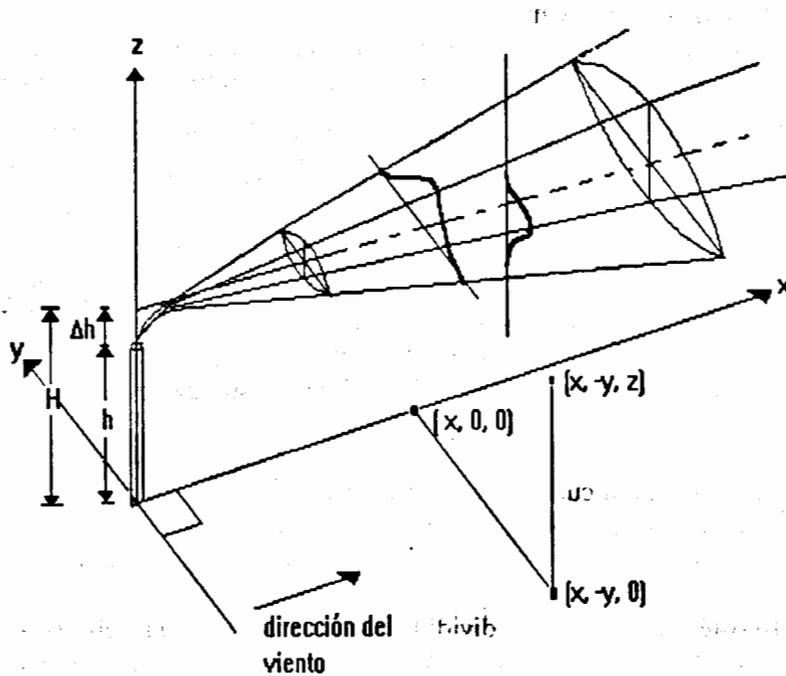


Figura 4.5. Dispersión a la salida de una chimenea, mostrando ejes coordenados.

Es importante tener en mente algunas relaciones generales indicadas por la ecuación (4.5):

1. La concentración viento abajo en cualquier punto es directamente proporcional a la cantidad emitida por la fuente (Q).
2. La concentración viento abajo a nivel de piso es generalmente inversamente proporcional a la velocidad del viento.

3. Debido a que σ_y y σ_z se incrementan viento abajo conforme la distancia x se incrementa, la concentración en el centro de línea de la pluma declina continuamente conforme se incrementa x . Sin embargo, las concentraciones a nivel de piso, alcanzan un valor máximo, y luego decrecen conforme el observador se aleja de la chimenea.
4. Los parámetros de dispersión σ_y y σ_z se incrementan conforme aumenta la turbulencia atmosférica (inestabilidad). Así, las condiciones inestables hacen decrecer las concentraciones viento abajo (en el promedio).
5. La concentración máxima a nivel de piso calculada con la ecuación (4.5) decrece conforme la altura efectiva de la chimenea se incrementa. La distancia a partir de la chimenea a la cual ocurre la concentración máxima también se incrementa.

Estabilidad atmosférica

La atmósfera se denomina inestable cuando existe un buen mezclado vertical. Esto ocurre cuando hay una fuerte insolación y consecuente calentamiento de las capas de aire cercanas al suelo. El aire cálido se eleva y es reemplazado por aire más frío, el cual a su vez se calienta y eleva. Este proceso es bueno para diluir contaminantes y alejarlos del suelo.

La atmósfera estable se presenta cuando la superficie del suelo está más fría que el aire que está sobre él. Luego, las capas de aire próximas al suelo se enfrían y no puede ocurrir el mezclado vertical. En una atmósfera estable, los contaminantes tienden a permanecer cerca del suelo.

La estabilidad atmosférica ha sido dividida por conveniencia en seis categorías, arbitrariamente designadas de la A a la F, donde A es la más inestable. Las investigaciones al respecto han correlacionado valores de los coeficientes de dispersión con la estabilidad atmosférica y, naturalmente, con la distancia a partir de la fuente. Estas correlaciones se muestran en las Figuras 4.6 y 4.7.

Hay manera de determinar la clase de estabilidad de la atmósfera a partir del ángulo del sol y la extensión de cobertura de las nubes. Una vez que se ha determinado la clase de estabilidad, las Figuras 4.6 y 4.7 pueden usarse para obtener los valores de los parámetros de dispersión, y la ecuación (4.5) se aplica para predecir la concentración en cualquier sitio viento abajo de la fuente.

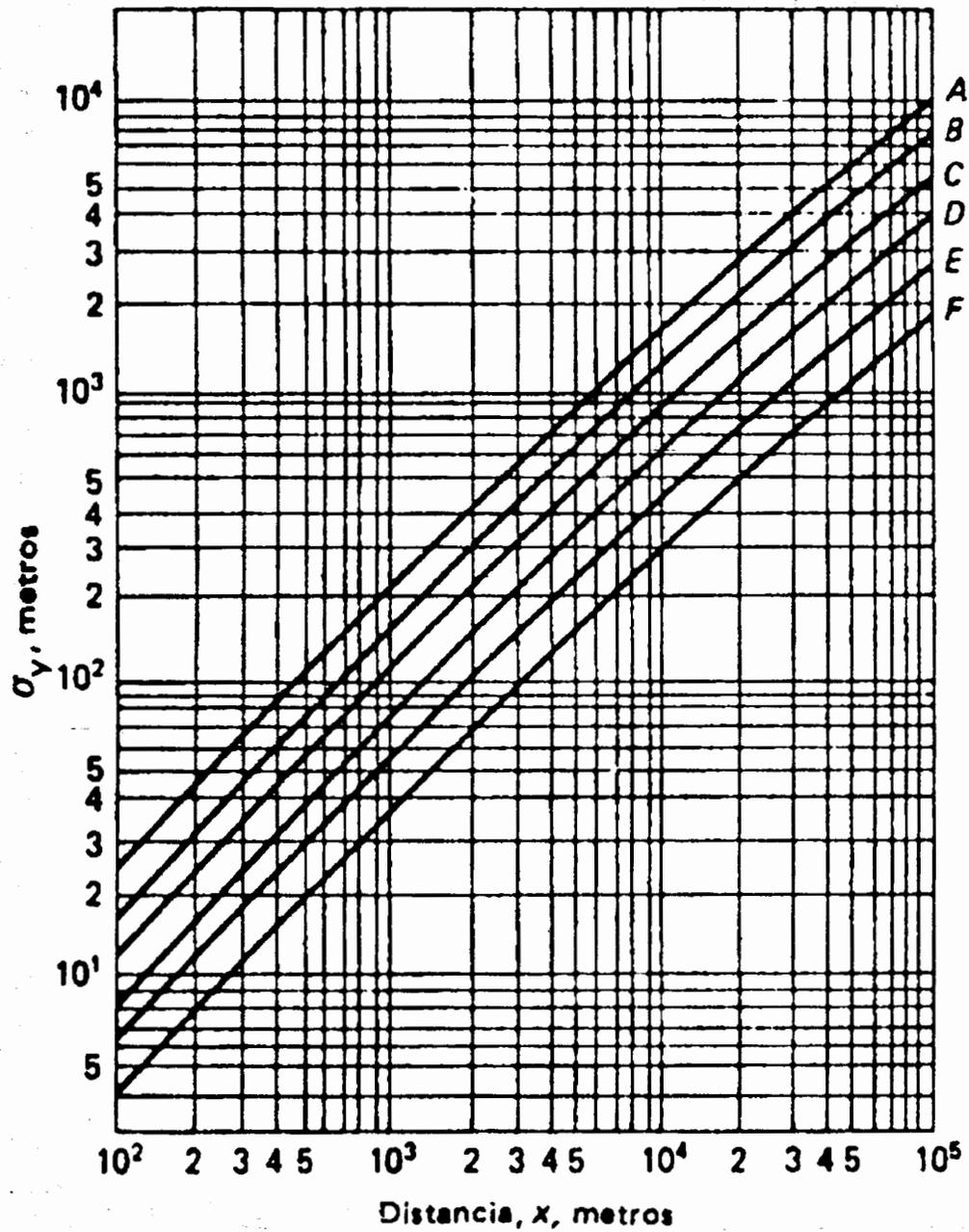


Figura 4.6 Coeficiente horizontal de dispersión como una función de la distancia viento abajo a partir de la fuente y del tipo de estabilidad atmosférica.

Problema ejemplo 4.2

Calcular la concentración de SO₂ a nivel de piso sobre el centro de línea a 10 km de distancia de la fuente. La altura efectiva de la chimenea es de 100 m, la velocidad del viento es de 6 m/s y la tasa de emisión es 0.25 kg/s. La estabilidad atmosférica es clase D.

Solución

Para la estabilidad clase D a x=10 km, los valores de σ_y y σ_z son 550 m y 130 m, respectivamente. "Nivel de piso" significa z=0 y "centro de línea" significa que y=0. Substituyendo apropiadamente los valores en la ecuación (4.5), se tiene:

$$x = \frac{0.25 (10^3) \frac{\mu\text{g}}{\text{s}}}{2\pi \cdot 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 550 \text{ m} \cdot 130 \text{ m}} (1) \left(e^{-\frac{100^2}{2(130^2)}} + e^{-\frac{100^2}{2(130^2)}} \right)$$

$$= 92.7 (1.49)$$

$$= 138 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

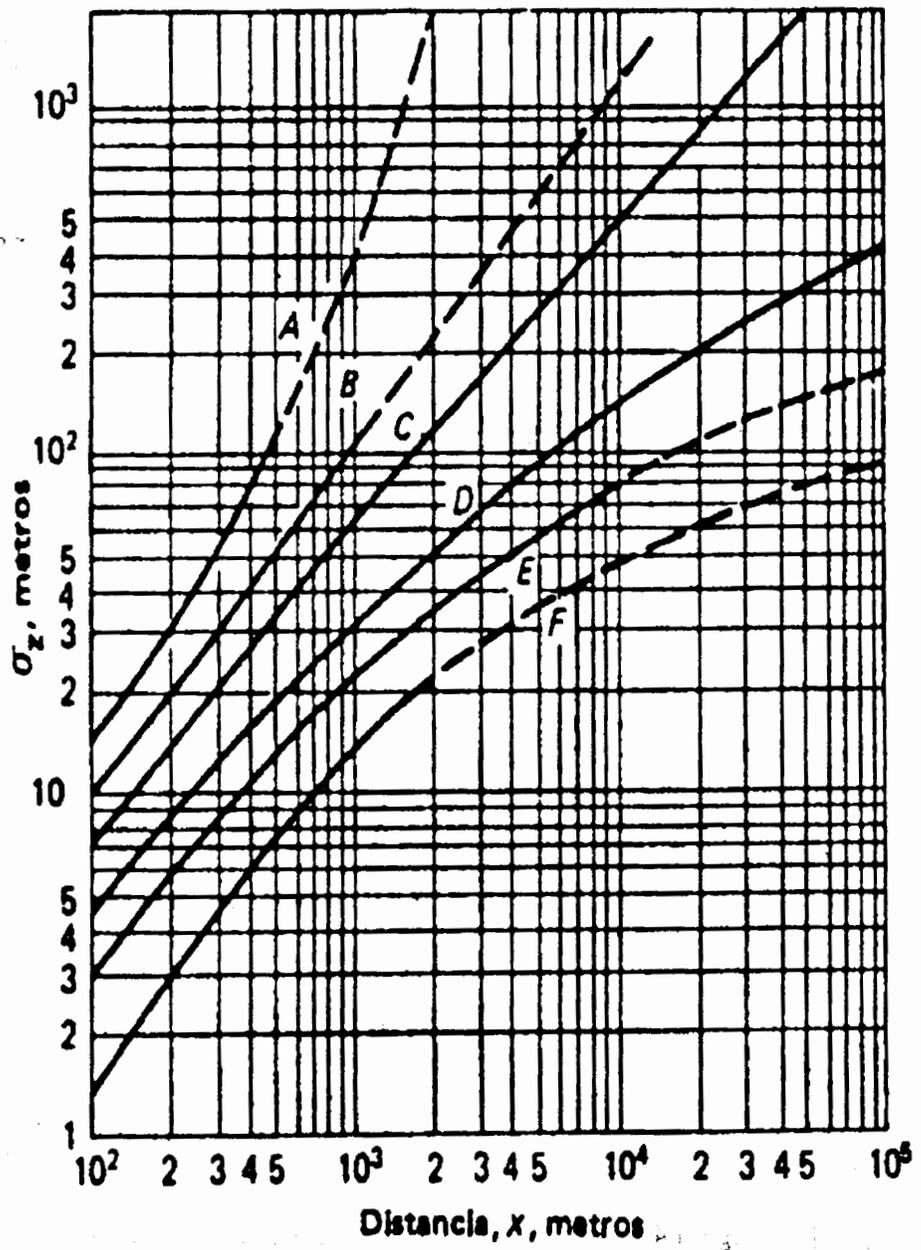


Figura 4.7 Coeficiente de dispersión vertical como una función de la distancia viento abajo a partir de la fuente y del tipo de estabilidad atmosférica.

Los modelos matemáticos que se explicaron en el apartado 4.5 permiten predecir la concentración de contaminantes dentro de un área de estudio. La concentración evidentemente disminuirá en la medida en que se libere menor cantidad de sustancias a la atmósfera, mejorándose

la calidad del aire. Una forma de reducir la emisión de contaminantes es utilizando equipos de control. Los ingenieros han desarrollado diversos sistemas de control de la contaminación para fuentes industriales; estos sistemas se clasifican en 2 categorías: aquellos que remueven partículas y los que remueven gases. En este texto sólo se describen algunos sistemas usados para el control de partículas.

4.6 Control de partículas

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.

4.6.1 Ciclones

Un 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. El gas "limpio" fluye hacia arriba del ciclón y las partículas pueden ser removidas del fondo (Figura 4.8).

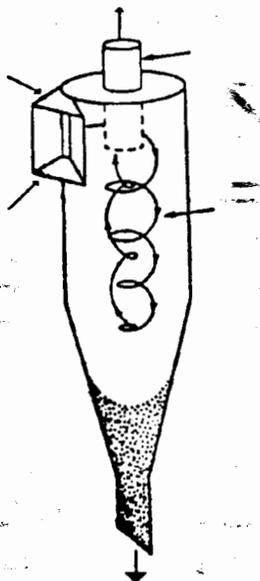


Figura 4.8. Esquema de un ciclón estándar.

4.6.2 Precipitador electrostático

Un precipitador electrostático remueve partículas de una corriente gaseosa al generar una alta caída 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

el aire limpio fluye a través del dispositivo. Mientras se opera el dispositivo, las placas son golpeadas mecánicamente para desprender la capa de polvo que se ha creado. El polvo se colecta y dispone afuera (Figura 4.9).

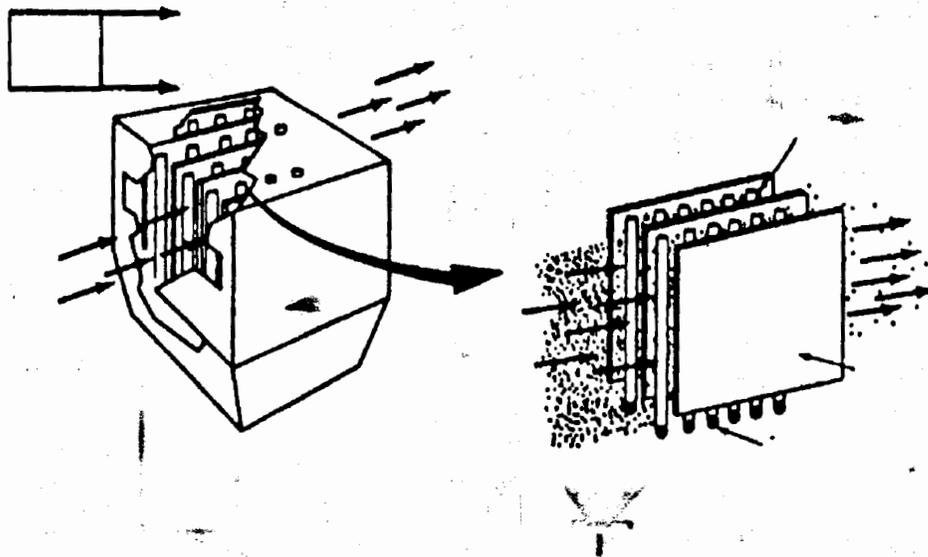


Figura 4.9. Precipitador electrostático.

4.6.3 Filtros de bolsa

Los filtros de bolsa son como una aspiradora gigante de bolsas múltiples. El gas se hace pasar a través de bolsas 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 afuera. También podría hacerse pasar una corriente de aire en sentido inverso a la dirección del gas para limpiar la tela (Figura 4.10).

4.6.4 Lavadores

Los lavadores operan basados en 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. Después 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 que pasa por estos equipos (Figura 4.11).

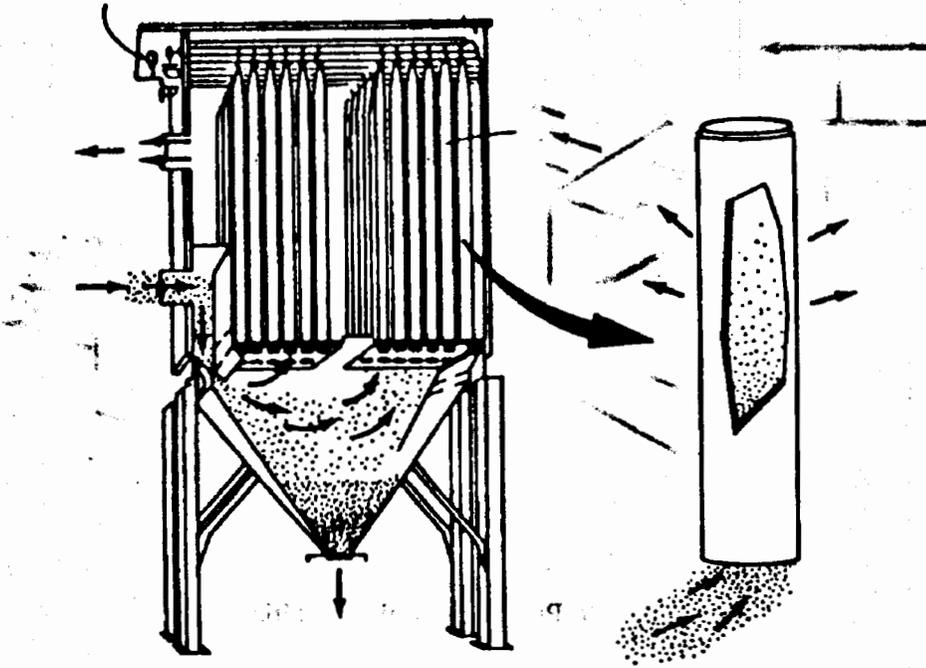


Figura 4.10. Filtros de bolsa.

En general, los ciclones sólo remueven moderadamente las partículas, pero son los dispositivos más baratos. Los otros dispositivos descritos son todos bastante buenos, pero son muy costosos. La eficiencia de colección se define como:

$$\eta = \frac{\text{masa de partículas colectadas}}{\text{masa de partículas entrantes}} \times 100$$

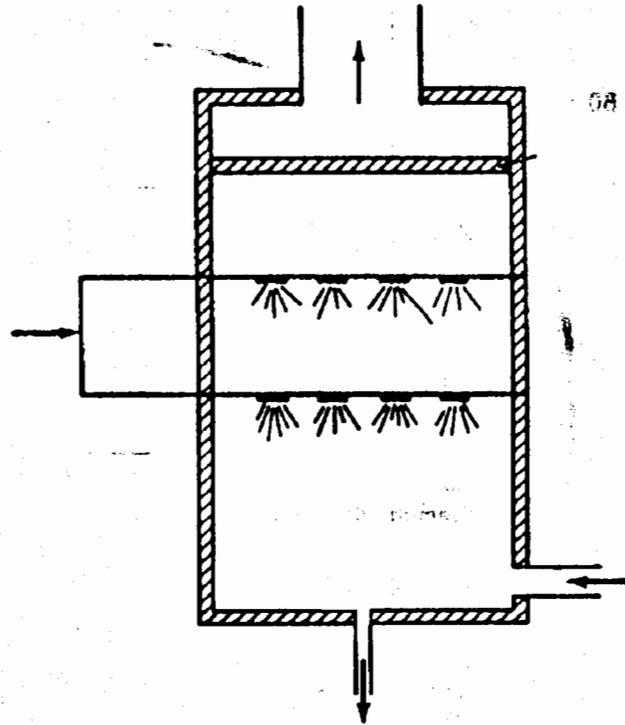
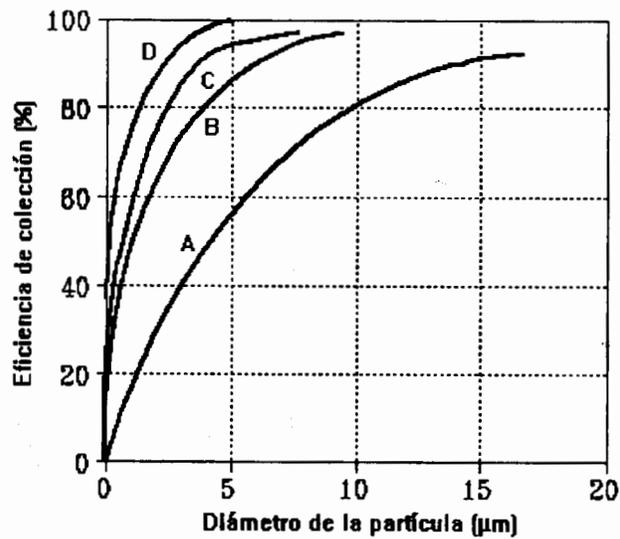


Figura 4.11. Lavador

4.6.5 Eficiencia de los dispositivos de control de partículas

La Figura 4.12 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:

1. En general, conforme decrece el diámetro de una partícula, la eficiencia decrece.
2. En general, los filtros de bolsa son los dispositivos más eficientes sobre un amplio 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.



- A) Ciclones
- B) Lavador
- C) Precipitador electrostático
- D) Filtro de bolsa

Figura 4.12. Comparación de las eficiencias de los diferentes dispositivos de control de partículas.

CAPITULO 5

LEGISLACION NACIONAL EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL

Difícilmente puede encontrarse en esta época 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 y la ruina de las condiciones naturales de existencia de la humanidad.

En México el incontrolado e irracional aprovechamiento de sus recursos naturales ha generado una serie de problemas que ahora tienen un alarmante carácter nacional, como la destrucción masiva de los bosques, aparición de grandes áreas de tierras áridas, erosión, contaminación de acuíferos, agotamiento total o a un nivel crítico de algunos recursos naturales y disminución de especies vegetales y animales. Además, el crecimiento incontrolado de algunas ciudades y la formación de megalópolis, ha agravado bruscamente los problemas relacionados con la vida urbana, tales como: contaminación de la atmósfera y agua, acumulación de residuos sólidos y enfermedades motivadas por esta situación.

De la adecuada solución al problema de la conservación del ambiente depende en mucho la posibilidad de desarrollo de la economía nacional, así como el bienestar y la vida no sólo de las generaciones actuales sino también de las futuras.

Aunque de manera indirecta ya desde tiempos de la colonia ha existido preocupación por proteger elementos específicos del ambiente, como en el caso del agua, mediante la expedición de leyes, fue hasta 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, por una parte, 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 por vez primera medidas orientadas a la protección integral del ambiente. Se incorporó entonces la evaluación del impacto ambiental de las obras públicas y privadas, con la finalidad de que se constituyera en un instrumento básico de la 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.

La Ley Federal de Protección al Ambiente fue derogada en marzo de 1988, cuando entró en vigor la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, actualmente 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 general, a cargo de la federación y, el ordenamiento ecológico local, encomendado a los Estados y Municipios de acuerdo a sus respectivas leyes.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su Sección V trata sobre la Evaluación del Impacto Ambiental considerándola como un instrumento de planeación que permite predecir, evitar o en su caso 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 desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y normas técnicas ecológicas 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 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente se modificó la concepción tradicional del 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 constituyen instrumentos de la planeación, de acuerdo con la Ley, las normas técnicas ecológicas, el ordenamiento ecológico y la evaluación del 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 técnicas 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 deberán observarse 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 corresponderá a las autoridades federales, estatales o municipales, en el ámbito de sus respectivas jurisdicciones territoriales, así como en los términos que se establezcan en su propia legislación.

Las medidas de control, tales 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 la 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 técnicas 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.

En el Apéndice B se reproduce un extracto de la Ley, que comprende el artículo 1 de las Disposiciones Generales y la Sección V: Evaluación del Impacto Ambiental. La versión completa de la Ley puede consultarse en el Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1988.

Con motivo de la promulgación de la Ley, actualmente se cuenta con cuatro reglamentos: Impacto Ambiental; Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera; Residuos Peligrosos y Prevención y Control de la Contaminación Generada por los Vehículos Automotores que Circulan en el Distrito Federal y los Municipios de su Zona Conurbada. En el Apéndice C se incluye el texto íntegro del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental, que fue publicado en el Diario Oficial del 7 de junio de 1988.

Asimismo, en los Apéndices D a H se presentan las relaciones de normas técnicas ecológicas publicadas sobre: prevención y control de la contaminación del agua, prevención y control de la contaminación por residuos peligrosos, prevención y control de la contaminación atmosférica, criterios ecológicos de ordenamiento ecológico para el sector eléctrico y la relación de normas técnicas ecológicas publicadas sobre conservación ecológica de los recursos naturales.

Con el procedimiento de evaluación del impacto ambiental establecido en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento, se pretende prevenir los impactos ambientales de un proyecto, proporcionar los elementos para seleccionar la opción de un proyecto

que represente el mínimo impacto, compatibilizar las actividades productivas entre sí y armonizarlas con el ambiente.

El procedimiento describe las etapas secuenciales para la preparación y presentación 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 por parte de la SEDESOL.

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. Para ello se ha establecido oficialmente el registro de prestadores de servicios de impacto ambiental autorizados por la SEDESOL.

Una vez que el proponente ha presentado el documento, la Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica de la SEDESOL verificará que la información presentada sea objetiva, fidedigna, representativa y actual, procederá a su evaluación y comunicará 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 expida la SEDESOL tendrá carácter de resolución legal; por lo tanto, la determinación que se derive del análisis y evaluación de la manifestación del impacto ambiental, contendrá 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 que la SEDESOL emita 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 la específica.

CAPITULO 6

METODOS PARA ESTUDIAR Y EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL

Como se explicó en el Capítulo 5, la política ecológica del Ejecutivo Federal en México prevé que la realización de obras o actividades públicas y privadas que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señaladas en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas, se sujeten a la autorización previa del Gobierno Federal o de las entidades federativas o municipios. El proponente de un proyecto debe presentar ante la autoridad una **manifestación de impacto ambiental**, que es el documento mediante el cual se da a conocer con base en estudios, el impacto ambiental significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.

Los estudios encaminados a identificar, predecir, evaluar y presentar los impactos ambientales y proponer las medidas de mitigación, deben realizarse previamente a la ejecución de las obras o actividades por lo que constituyen una importante herramienta en la etapa de planeación.

Ante el caudal de información que se maneja y por la complejidad de los fenómenos naturales y socioeconómicos que están involucrados en los proyectos, el desarrollo de los estudios de impacto ambiental requiere la participación de equipos interdisciplinarios.

6.1 Procedimiento para realizar un estudio de impacto ambiental

La primera etapa de un estudio de impacto ambiental (Figura 6.1) consiste en describir las características del proyecto y las obras y actividades que en él se involucran en sus diferentes fases: selección del sitio, preparación del sitio y construcción, operación y mantenimiento, y abandono del sitio. A continuación debe hacerse una caracterización de la situación ambiental existente en la zona de influencia del proyecto, haciendo énfasis en los posibles niveles de alteración. La descripción del ambiente debe incluir los aspectos generales del medio natural (físico y biológico) y socioeconómico.

Como parte final de esta primera etapa, se predicen las condiciones ambientales futuras que se tendrían en el sitio, de no llevarse a cabo el proyecto.

La segunda etapa es el elemento fundamental del estudio de impacto ambiental y consiste en tres fases principales: **identificación, predicción y evaluación** de los efectos que tendrá la implantación del proyecto en sus diferentes etapas sobre el ambiente. Para llevar a cabo esta segunda etapa, se han desarrollado numerosas técnicas, que presentan diferencias en su objetivo, enfoque y requerimientos de información. Cada una de estas técnicas presenta ventajas y desventajas respecto de las otras, por lo que aquella o aquellas que se apliquen deberán seleccionarse considerando el tipo de proyecto, la información disponible y las características del ambiente en el sitio de que se trate. En el apartado 6.2 se describen las técnicas de evaluación del impacto ambiental.

En la tercera etapa del estudio se proponen las medidas de prevención y mitigación de los efectos negativos que ocasionaría el proyecto sobre el ambiente, tomando en cuenta los impactos evaluados en la etapa anterior.

Finalmente, la cuarta etapa del estudio consiste en comunicar sus resultados mediante el documento denominado **Manifestación de Impacto Ambiental**.

6.2 Técnicas de evaluación del impacto ambiental

Para llevar a cabo la segunda etapa del estudio de impacto ambiental existen diversas técnicas simples y complejas que pueden aplicarse. Entre estas técnicas se incluyen diversas matrices de ponderación, listados, modelos de simulación por computadora, etcétera. La finalidad ideal que se persigue al aplicar las técnicas de análisis es cubrir las tres fases del estudio antes mencionadas: **identificación, predicción y evaluación**. Estas fases se resumen en el Cuadro 6.1 y se explican a continuación.

CUADRO 6.1

FUNCIONES ANALITICAS DE LAS TRES FASES DE LA SEGUNDA ETAPA DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
FASE	FUNCION ANALITICA
IDENTIFICACION	Descripción del sistema ambiental existente. Determinación de los componentes del proyecto. Definición de las alteraciones del medio causadas por el proyecto (incluyendo todos los componentes).
PREDICCIÓN	Estimación de las alteraciones ambientales significativas. Evaluación del cambio de la probabilidad de que ocurra el impacto.
EVALUACION	Determinación de la incidencia de costos y beneficios en los grupos de usuarios y en la población afectada por el proyecto. Especificación y comparación de relaciones costo/beneficio entre varias alternativas.

MIA
MODALIDAD GENERAL

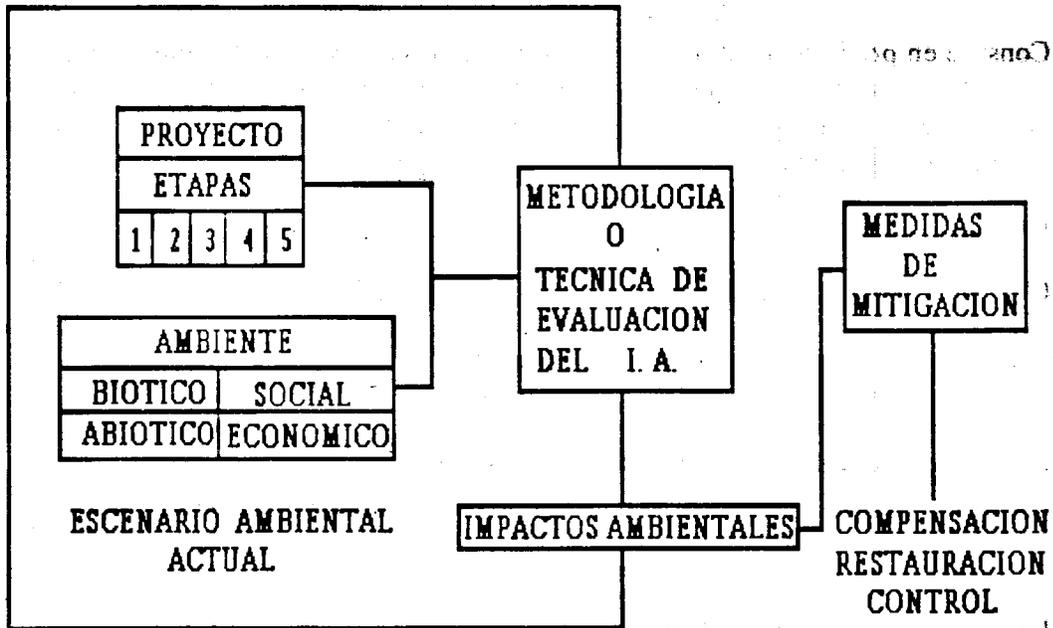


Figura 6.1 Procedimiento general para realizar un estudio de impacto ambiental

Fase 1: Identificación

Consiste en identificar **separadamente** las actividades del proyecto que podrían provocar impactos sobre el ambiente en las etapas de selección y preparación del sitio; construcción, operación y mantenimiento; y abandono al término de la vida útil. Asimismo se identifican los factores ambientales y sus atributos que se verían afectados.

Fase 2: Predicción

Consiste en predecir la naturaleza y extensión de los impactos ambientales de las actividades identificadas. En esta fase se requiere cuantificar con indicadores efectivos el significado de los impactos.

Fase 3: Evaluación

Consiste en evaluar los impactos ambientales cuantitativa y cualitativamente. De hecho, la política de estudiar los efectos en el ambiente carecería de utilidad si no se contara con una determinación cualitativa y cuantitativa de los impactos. Al conocer la naturaleza y dimensión de un impacto es posible tomar una decisión, la cual puede consistir en:

- . Diseñar alguna medida de prevención o mitigación, o
- . Determinar una alternativa del proyecto que genere impactos de menor magnitud e importancia.

La elección de cualquiera de estas opciones implicará las correspondientes consideraciones técnicas, económicas, sociales y financieras.

La segunda etapa del estudio de impacto ambiental es la que requiere más dedicación y esfuerzo, ya que debe ser desarrollada por un grupo de especialistas en diferentes disciplinas con el objeto de que queden cubiertas todas las áreas del ambiente. Esta actividad interdisciplinaria exige una estrecha comunicación entre los especialistas que la llevan a cabo, requiriéndose del trabajo en grupo para definir la importancia de los factores ambientales y la magnitud de los impactos.

La clasificación más ampliamente aceptada divide a las técnicas para identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales en los siguientes grupos (Cuadro 6.2):

- . Procedimientos pragmáticos
- . Listados
- . Matrices
- . Redes
- . Modelos
- . Sobreposiciones
- . Procedimiento adaptativo

Estos métodos han sido elaborados y aplicados principalmente en los Estados Unidos y están desarrollados conforme a los lineamientos técnicos y legales de ese país, por lo que para ser aplicados en México deben adecuarse a las condiciones nacionales. A continuación se presenta una breve descripción de las características generales de las técnicas mencionadas.

Procedimientos pragmáticos

Consiste en integrar un grupo de especialistas en diferentes disciplinas para identificar impactos en sus áreas de especialidad (por ejemplo: flora, fauna, contaminación, aspectos económicos), buscando satisfacer los requerimientos de la legislación ambiental vigente en el sitio del estudio, referentes a la evaluación de impactos. En esta metodología no se definen parámetros específicos que deben ser investigados ni se realiza una evaluación formal de la magnitud de los impactos.

CUADRO 6.2
TECNICAS PARA IDENTIFICAR, PREDECIR Y EVALUAR
LOS IMPACTOS AMBIENTALES

PROCEDIMIENTOS PRAGMATICOS	COMITE INTERDISCIPLINARIO DE ESPECIALISTAS
LISTADOS	LISTA ESTANDARIZADA DE IMPACTOS ASOCIADOS CON EL TIPO DE PROYECTO.
MATRICES	LISTAS GENERALIZADAS DE LAS POSIBLES ACTIVIDADES DE UN PROYECTO Y DE LOS FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS POR MAS DE UNA ACCION.
REDES	TRAZADO DE LIGAS CAUSALES.
MODELOS	CONCEPTUAL .- DESCRIBE LAS RELACIONES ENTRE LAS PARTES DEL SISTEMA. MATEMATICO .- MODELO CONCEPTUAL CUANTITATIVO. SIMULACION EN COMPUTADORA .- REPRESENTACION DINAMICA DEL SISTEMA.
SOBREPOSICIONES	EVALUACION VISUAL DE LA CAPACIDAD ECOLOGICA ANTERIOR Y POSTERIOR AL PROYECTO.
PROCEDIMIENTO ADAPTATIVO	COMBINACION DE VARIAS TECNICAS.

Listados

En estas técnicas se parte de una lista maestra de factores ambientales y/o impactos seleccionándose y evaluándose aquellos impactos esperados para el proyecto y sus acciones específicas. Este tipo de listas se elaboran con un criterio interdisciplinario para identificar las acciones del proyecto que puedan causar impactos significativos, no relevantes o sin interés. Los listados pueden complementarse con instrucciones de la forma de presentar y usar los datos, y con la inclusión de criterios explícitos para impactos de cierta magnitud e importancia.

Matrices

Consisten básicamente en listados generalizados de las posibles actividades de un proyecto y de los factores ambientales potencialmente impactados. Ambas listas se colocan, indistintamente, en las columnas o renglones de la matriz. La utilización de las matrices difiere de los listados en que se identifican las posibles interacciones del proyecto y el ambiente; asimismo, permiten definir las acciones que generan más de un impacto y los factores ambientales afectados por más de una acción.

La mayoría de los sistemas basados en matrices, utilizan una escala que permite al evaluador la oportunidad de registrar niveles de intensidad. Algunas de ellas muestran la manera como el evaluador puede utilizar, de manera combinada, ciertos indicadores objetivos con opiniones de expertos e impresiones para asignar una calificación a cada una de las celdas dentro de la matriz. Otras metodologías están basadas en la asignación de pesos (ponderación) multiplicándolos por el rango de severidad, dentro de cada celda.

Los listados son utilizados como insumo en las matrices de causa-efecto para identificar los posibles impactos causados por las diferentes actividades del proyecto.

Redes

Estas técnicas amplían el concepto de las matrices mediante la introducción de una red de causa-condición-efecto que permite la identificación de impactos acumulativos o indirectos, los cuales no son adecuadamente explicados a través de una secuencia simple de causa-efecto representada por matrices.

Modelos

Un modelo es una representación física, matemática, o en el mejor de los casos física-matemática, que reproduce las características y condiciones de un ecosistema, de modo que analizando esta información y las interacciones existentes, se puede llegar a la percepción y comprensión del comportamiento de tal sistema.

Es evidente que los modelos matemáticos son un reflejo expresado en ecuaciones y fórmulas matemáticas de modelos intuitivos elementales de nuestra imagen del funcionamiento del universo, y tienen por objeto efectuar una predicción.

Sobreposiciones

Estas técnicas están basadas en el uso de una serie de mapas transparentes que se pueden sobreponer para producir una caracterización compuesta del ambiente regional. Los mapas describen factores ambientales o características del suelo y la distribución superficial del proyecto con todas sus obras complementarias. Este enfoque es efectivo para seleccionar alternativas e identificar ciertos tipos de impactos, ya que esta técnica localiza los factores limitativos para ciertos usos, pudiéndose así conocer los factores del ambiente más sensibles de ser afectados; sin embargo, no puede usarse para cuantificar estos impactos o identificar interacciones secundarias o terciarias.

Procedimiento adaptativo

Debido a que ninguna de las técnicas antes descritas cubre las tres fases del estudio: identificación, predicción y evaluación, es necesario complementarlas o combinarlas, resultando un procedimiento adaptativo.

En los siguientes apartados se describen detalladamente las técnicas mencionadas.

6.3 Listados

Se distinguen cuatro categorías de listados:

- . Listados simples
- . Listados descriptivos
- . Listados de escala
- . Listados de escala y peso

Los listados simples consisten en una lista de parámetros por ser analizados, pero no proporcionan una guía de cómo deben ser medidos tales parámetros. En el Cuadro 6.3 se presenta a manera de ejemplo un listado simple desarrollado por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos. Se trata de una identificación de los impactos asociados con los proyectos de sistemas de transporte.

Los listados descriptivos consisten en una lista de parámetros por ser analizados y proporcionan guías sobre cómo deben ser medidos tales parámetros.

CUADRO 6.3

IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES DE UN PROYECTO DE SISTEMA DE TRANSPORTE			
	PLANEACION Y DISEÑO	CONSTRUCCION	OPERACION
I. IMPACTOS PRODUCIDOS POR EL RUIDO A) Salud pública B) Uso de la tierra			
II. IMPACTOS EN LA CALIDAD DEL AIRE A) Salud pública B) Uso de la tierra			
III. IMPACTOS EN LA CALIDAD DEL AGUA A) Aguas subterráneas 1. Alteración del flujo y de su nivel superior 2. Interacción con el drenaje superficial B) Aguas superficiales 1. Alteración de fondos y orillas 2. Efectos de relleno y dragado 3. Características de drenaje e inundación C) Aspectos de calidad 1. Efectos por la descarga de desechos 2. Implicaciones de otras acciones tales como: a) Perturbación de los estratos bentónicos b) Alteración de corrientes c) Cambios en el régimen de escurrimiento d) Intrusión salina en aguas subterráneas 3. Uso de la tierra 4. Salud pública			
IV. IMPACTOS DEBIDO A LA EROSION DEL SUELO A) Económicos y uso de la tierra B) Contaminación			
V. IMPACTOS ECOLOGICOS A) Flora B) Fauna			

CUADRO 6.3 CONTINUACION

	PLANEACION Y DISEÑO	CONSTRUCCION	OPERACION
VI IMPACTOS ECONOMICOS			
A) Uso de la tierra			
1. En el área inmediata a la zona del proyecto			
2. En la jurisdicción local			
3. En la región			
B) Establecimiento de impuestos			
1. Pérdida por desplazamiento			
2. Aumento por el incremento de los valores			
C) Empleos			
1. Creación de nuevos empleos			
2. Desplazamiento para los trabajadores			
D) Vivienda y servicios públicos			
1. Demanda de nuevos servicios			
2. Alteración de los servicios ya existentes			
E) Ingresos			
VII IMPACTOS SOCIOPOLITICOS			
A) Daño de :			
1. Recursos culturales			
2. Recursos científicos			
3. Recursos históricos			
4. Areas de recreación			
B) Estilo de vida y actividades			
1. Incremento en la movilidad			
2. Afectación en las comunicaciones			
C) Percepción de costo - beneficio para diferentes grupos humanos			
D) Seguridad personal			
VIII IMPACTOS ESTETICOS Y VISUALES			
A) Recursos escénicos			
B) Diseño urbano			
C) Ruido			
D) Calidad del aire			
E) Calidad del agua			

Los listados de escala, son como los listados descriptivos, pero además proporcionan información de cómo deben valuarse los parámetros con una escala subjetiva. En el Cuadro 6.4 se presenta un ejemplo típico de listado por área de impacto. En dicho listado se marca con un símbolo la celda correspondiente al efecto estimado para la etapa de construcción y operación. Otra forma de emplear el procedimiento es con calificaciones numéricas en un ámbito establecido y signos para indicar la magnitud del efecto adverso (-) o benéfico (+).

Adkins y Burke desarrollaron un listado para proyectos de sistemas de transporte que implica una escala de impacto de las alternativas del proyecto en un intervalo de -5 a +5 (-1 a +1 en el ejemplo 6.1).

CUADRO 6.4
EJEMPLO TÍPICO DE UN LISTADO DE ESCALA POR ÁREA DE IMPACTO.

	FASE DE CONSTRUCCION			FASE DE OPERACION		
	EA	S.E	E.B	EA	S.E	E.B
A. TRANSFORMACION DEL TERRENO						
a. Compactación						
b. Erosión						
c. Cobertura con tierra (Terraplenes)						
d. Sedimentación						
e. Estabilidad (deslizamiento)						
f. Esfuerzo-deformación (sismos)						
g. Inundación						
h. Perforación (barrénación) y voladura.						
j. Suspensión de operaciones						
B. USO DEL SUELO						
a. Espacio abierto						
b. Recreativo						
c. Agrícola						
d. Residencial						
e. Comercial						
f. Industrial						

CUADRO 6.4 (Continuación)
EJEMPLO TÍPICO DE UN LISTADO DE ESCALA POR AREA DE IMPACTO.

	FASE DE CONSTRUCCION			FASE DE OPERACION		
	EA	S.E	E.B	EA	S.E	E.B
C. RECURSOS HIDRAULICOS						
a. Calidad						
b. Irrigación						
c. Drenaje						
d. Agua subterránea						
D. CALIDAD DEL AIRE.						
a. Oxidos (de azufre, carbono e hidrógeno)						
b. Partículas suspendidas						
c. Productos químicos						
d. Olores						
e. Gases						
E. CONDICIONES BIOLOGICAS						
a. Fauna						
b. Arboles, matorrales, arbustos						
c. Pastos						

Notación:

EA: efecto adverso
SE: sin efecto
EB: efecto benéfico

Problema ejemplo 6.1

Para el trazo de una carretera se han planteado las alternativas A,B,C,D y E. En el Cuadro 6.5 se propone una lista reducida de factores ambientales con el fin de aplicar el método de Adkins y Burke en forma sencilla.

CUADRO 6.5 EJEMPLO DEL METODO DE ADKINS BURKE PARA LA EVALUACION DE ALTERNATIVAS DEL TRAZO DE UNA CARRETERA

FACTOR AMBIENTAL	ALTERNATIVAS				
	A	B	C	D	E
Efecto en el uso potencial del suelo	0	0.95	0.7	0.8 ⁺	0.9 ⁺
Efecto en el drenaje natural	0.1 ⁺	0	0.4 ⁺	0.6 ⁺	0.8 ⁺
Efecto en la fauna y flora	0	0.3	0	0.5	0
Ruido potencial	0.2 ⁺	0.1	0.1	0.4	0.1
Contaminación del aire	0.1 ⁺	0.1	0.1	0.1	0.1
Efecto en la temperatura por el tráfico	0	0	0	0	0
Cambios en el área en relación con su valor (agrícola p. ej.)	0.5 ⁺	0.6	0.3	0.1 ⁺	0.7 ⁺
Efecto en lagos y estanques	0	0	0	0	0
Realce ambiental	0	0.2	0.4	0	0
a) Número de factores calificados con signo positivo	1	0	1	2	3
b) Número de factores calificados con signo negativo	3	6	5	4	2
c) Relación de factores positivos	0.25	0	0.16	0.33	0.6
d) Relación de factores negativos	0.75	1	0.83	0.67	0.4
e) Suma algebraica de valores	-0.7	-2.25	-1.2	0.3	2.2
f) Promedio de valores	-0.18	-0.38	-0.2	0.05	0.44

En el Cuadro 6.5, el renglón (a) es la suma de los conceptos calificados con signo positivo independientemente de su valor.

El renglón (b) corresponde a la suma de los conceptos con signo negativo.

El renglón (c) es el promedio de los valores positivos, que resulta de dividir la cantidad consignada en el renglón (a) entre la suma de las cantidades consignadas en el renglón (a) más el renglón (b). El renglón (d) es el promedio de los valores negativos. El renglón (e) es la suma algebraica de valores, es decir, la suma de los valores de la calificación, considerando su signo. El renglón (f) es el promedio de valores que resulta de dividir la cantidad consignada en (e) entre el número de calificaciones que es la suma del renglón (a) más el renglón (b).

En el Cuadro 6.5 se presentan valores en una escala de -1 a +1, en general, la escala de calificaciones es a criterio de los analistas. El conjunto de datos resultantes en los renglones (a) a (f) da una idea de la ventaja de una alternativa sobre las otras; para el ejemplo, la alternativa E es la más ventajosa.

Aunque no se tomó en consideración en el ejemplo una alternativa más que, es la de no construir o llevar a cabo el proyecto, pues en algunos casos podría suceder que el no ejecutar la obra fuera mejor que realizarla bajo cualquier circunstancia.

Desafortunadamente los listados de escala no establecen la vinculación causa-efecto de las varias actividades del proyecto y generalmente no incluyen la interpretación global de los impactos ambientales colectivos.

Los listados de escala y peso son como las listas de escala, pero además proporcionan información de cómo asignar una ponderación subjetiva a cada parámetro. A continuación se presenta un tipo de listado de escala y peso, que es el de los Laboratorios Battelle Columbus, método complejo, pero sistemático.

6.3.1 Sistema de Evaluación Ambiental (SEA)

El Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) fue diseñado por los Laboratorios Batelle Collumbus en los Estados Unidos para evaluar impactos de los proyectos de obras de uso y manejo del agua, sin embargo, puede aplicarse también a otro tipo de proyectos.

La base del SEA es la definición de una lista de indicadores de impacto, con **78 parámetros ambientales**, que representan una unidad o un impacto al ambiente que merece considerarse por separado, y cuya evaluación es además representativa del impacto ambiental derivado de las acciones o de los proyectos en consideración.

Estos parámetros están ordenados en un primer nivel según las **18 componentes ambientales** siguientes:

- .Especies y poblaciones
 - .Hábitats y comunidades
 - .Ecosistemas
 - .Contaminación del agua
 - .Contaminación atmosférica
 - .Contaminación del suelo
 - .Ruido
 - .Suelo
 - .Aire
 - .Agua
-

- .Biota
 - .Objetos artesanales
 - .Composición
 - .Valores educacionales y científicos
 - .Valores históricos
 - .Cultura
 - .Sensaciones
 - .Estilos de vida (patrones culturales)
-

Estos 18 componentes ambientales se agrupan, a su vez, en **4 categorías ambientales**:

- .Ecología
- .Contaminación
- .Aspectos estéticos
- .Aspectos de interés humano

Esta subdivisión tiene la finalidad de establecer los niveles de información progresiva requeridos, que se presenta en forma inversa a la planteada de la manera siguiente:

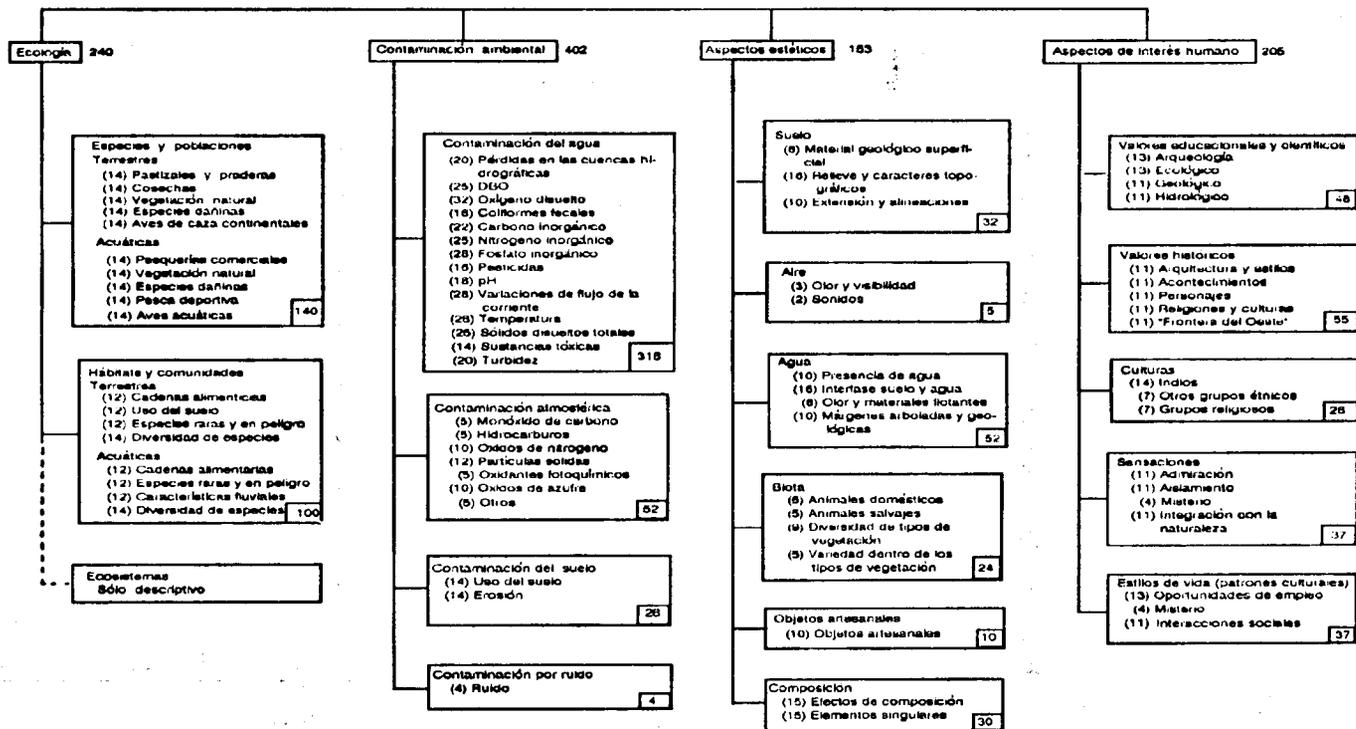
Categorías ambientales ---> componentes ---> parámetros

El último nivel de información es la medición de parámetros.

En el Cuadro 6.6 se muestra el diagrama del Sistema de Evaluación Ambiental de Batelle Collumbus, donde pueden observarse las categorías, componentes y parámetros ambientales seleccionados. Con estos parámetros se pretende:

1. Que representen la calidad del ambiente (identificación);
 2. Que sean fácilmente medibles en campo (predicción, interpretación e inspección);
 3. Que respondan a las exigencias del proyecto a evaluar (identificación); y
 4. Que sean evaluables a nivel de proyecto (predicción e interpretación).
-

CUADRO 6.6
DIAGRAMA DEL SISTEMA DE EVALUACION AMBIENTAL DE BATELLE-COLUMBUS
IMPACTOS AMBIENTALES



Debido a que los parámetros que se listan en el Cuadro 6.6 tienen distintas unidades, por ejemplo, el oxígeno disuelto mg/l y el ruido decibeles, el SEA propone un sistema de transformación para que todos los parámetros se puedan evaluar en unidades conmensurables, es decir comparables, representando valores que, en lo posible, sean resultado de mediciones reales. La técnica para transformar los parámetros a unidades conmensurables es la siguiente:

- Paso 1. Transformar todos los parámetros en su correspondiente equivalencia de índice de calidad ambiental.
- Paso 2. Ponderar la importancia del parámetro considerado, según su importancia relativa dentro del ambiente.
- Paso 3. A partir de los Pasos 1 y 2, expresar el impacto neto como resultado de multiplicar el índice de calidad ambiental por su índice ponderal.

A continuación se explican estos tres pasos detalladamente.

Paso 1. Índice de Calidad Ambiental

El valor que un determinado parámetro (por ejemplo DBO, OD, ruido, etcétera), tiene en una situación determinada, o se prevé que resultará de una acción o un proyecto, es muy variable y a cada uno le corresponde un cierto grado de calidad. Esta calidad está acotada entre un valor pésimo y uno óptimo. Por ejemplo, un cuerpo de agua natural tal como un río con 0 mg/l de oxígeno disuelto tiene una pésima calidad con respecto a ese parámetro, y un río con 9 mg/l de oxígeno disuelto tiene calidad óptima.

En el SEA, para obtener valores de calidad comparables, al extremo óptimo se le asigna una calidad ambiental de 1 y al pésimo el 0, quedando comprendidos entre ambos extremos los valores intermedios para definir estados de calidad del parámetro. Esto puede hacerse a través de una **función de valor**, la cual relaciona los diferentes niveles del parámetro estimado al nivel apropiado de calidad ambiental (Figura 6.2).

Un ejemplo de función de valor se muestra en la Figura 6.3 para el oxígeno disuelto, el cual se usa comúnmente como índice de calidad del agua.

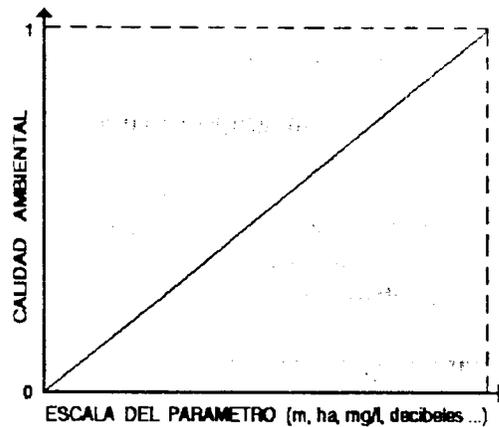


Figura 6.2 Construcción de la función de valor.

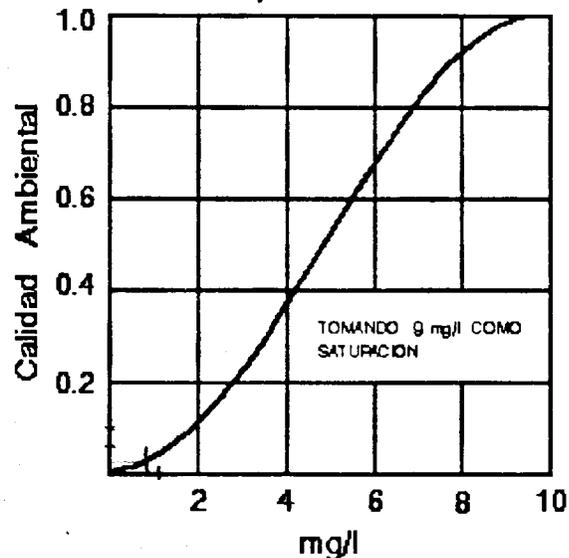


Figura 6.3 Ejemplo de función de valor para el oxígeno disuelto.

Dee et al. (1972) recomienda el siguiente procedimiento para determinar funciones de valor.

1. Obtener información acerca de las relaciones entre el parámetro y la calidad del ambiente.
2. Ordenar la escala del parámetro (abscisa) de tal forma que el valor inferior sea cero.
3. Dividir la escala de calidad (ordenada) en intervalos iguales entre 0 y 1, y determinar el valor apropiado del parámetro para cada intervalo. Continuar con el proceso para cada intervalo hasta que pueda dibujarse la curva.
4. Varios especialistas repiten independientemente los pasos 1 a 3. Se promedian las curvas para obtener una sola.

5. Mostrar las curvas a todos los participantes preguntando si están de acuerdo. Modificar las curvas en caso de ser necesario.
6. Repetir los pasos 1 a 5 con un grupo separado de especialistas, para probar la reproducibilidad.
7. Repetir los pasos 1 a 6 para todos los parámetros seleccionados.

Paso 2. Ponderación de parámetros

Considerando que cada parámetro representa sólo una parte del ambiente, es importante disponer de un mecanismo según el cual todos ellos se puedan contemplar en conjunto y, además, ofrezcan una imagen coherente de la situación al hacerlo. Para conseguir esto, hay que reflejar de alguna forma la diferencia entre unos parámetros y otros, en cuanto a su mayor o menor contribución a la situación del ambiente. Con este fin, en el SEA se atribuye a cada parámetro un peso o un índice ponderal. Tal peso se expresa en forma de **unidades de importancia parametral**, y el valor asignado a cada parámetro resulta de la distribución relativa de mil unidades de importancia asignadas al total de parámetros (ambiente de calidad óptima).

En principio, considerando que estos índices ponderales del parámetro representan su importancia dentro de un sistema global, que es el mismo para todos los proyectos, los índices no deben variar de un proyecto a otro dentro de zonas geográficas y contextos socioeconómicos similares. Con ello se evita además la interpretación subjetiva del analista.

En el Cuadro 6.6 se indica junto a cada parámetro la unidad de importancia (UIP), o índice ponderal, así como los que corresponden por suma de aquéllos a los niveles de agrupación de parámetros, componentes y categorías.

Paso 3. Obtención de unidades conmensurables

Considerando que a la situación óptima del ambiente le corresponden 1,000 unidades de importancia como suma de las condiciones óptimas de sus parámetros definidos por sus correspondientes UIP, la representación conseguida es coherente, apareciendo en ella los parámetros según su contribución relativa. Ahora bien, en el caso de que estos parámetros no se hallen en una situación óptima, su contribución a la situación del ambiente vendrá disminuida en el mismo porcentaje que su calidad y, en consecuencia, sus unidades de impacto ambiental se expresan como:

$$UIA = UIP \times CA$$

donde:

UIA = unidades de impacto ambiental
UIP = unidades de importancia parametral
CA = calidad ambiental

Evaluación final del proyecto

Aplicando el procedimiento explicado en los tres pasos anteriores a la situación del ambiente de llevarse a cabo el proyecto (con proyecto), y a la que se tendría de no llevarse a cabo (sin proyecto), se tendrán para cada parámetro unos valores cuya diferencia indicará el impacto neto del proyecto según dicho parámetro, esto es:

$$UIA_{(con\ proy.)} - UIA_{sin\ proy.} = UIA_{por\ proyecto}$$

$UIA_{por\ proyecto}$ puede ser positivo o negativo.

Considerando que las UIA evaluadas para cada parámetro son conmensurables, pueden sumarse, evaluándose así el impacto global de distintas alternativas de un mismo proyecto, con el fin de compararlas y obtener la alternativa más idónea. Esta evaluación global también sirve para tomar las medidas conducentes a **mitigar el impacto** ambiental del proyecto y, de forma general, para apreciar la degradación del ambiente como resultado del proyecto, tanto globalmente como en sus distintos sectores (categorías, componentes o parámetros).

El método dispone además de un **sistema de alerta** el cual considera que hay que destacar ciertas situaciones críticas. Aunque el impacto global de un proyecto sea admisible, puede haber ciertos parámetros que hayan sido afectados en forma más o menos inadmisibles. Para tal efecto se establece la utilización de **banderas rojas**, grandes o pequeñas, según la variación porcentual del parámetro producida por el proyecto. Puede reflejarse así para cada parámetro los valores en unidades de impacto ambiental neto (UIA), correspondientes a:

. Con proyecto: UIA_{cp}

. Sin proyecto: UIA_{sp}

. Debido al proyecto: UIA_{dp}

Por diferencia entre los anteriores, y si la alteración es significativa, disponer una bandera roja grande o pequeña.

Posteriormente, y con el fin de evaluación global o de comparación de alternativas, pueden hacerse las adiciones que se consideren necesarias, siendo el impacto global debido al proyecto:

$$\text{Impacto global} = \sum_{i=1}^{i=n} UIA_{dp}$$

Problema ejemplo 6.2

A partir de los registros de mediciones del parámetro de oxígeno disuelto en el sitio elegido para un proyecto sobre un río, se sabe que "sin" proyecto se tienen 9 mg/l. Durante la construcción, de acuerdo a los registros de obras semejantes, se estima que el oxígeno disuelto en el río disminuirá hasta 0.77 mg/l y ya en operación, es posible que se presente una concentración de 3 mg/l. Obtener las unidades de impacto ambiental (UIA) del parámetro oxígeno disuelto, utilizando la función de valor de la Figura 6.3

Solución:

1. Etapa de construcción

Los datos son :

$$OD_{\text{sin proyecto}} = 9 \text{ mg/l}$$

$$OD_{\text{en construcción}} = 0.77 \text{ mg/l}$$

Para estos valores, la calidad ambiental (CA) de acuerdo con la Función de Valor de la Figura 6.3 es

$$CA_{\text{sin proyecto}} = 1$$

$$CA_{\text{con proyecto}} = 0.03$$

Las Unidades de Importancia Paramétrica, de acuerdo con el Cuadro 6.6 para el Oxígeno Disuelto son 32. Así

Impacto Ambiental en UIA = evaluación "en construcción" - evaluación "sin proyecto" en la etapa de construcción

$$= 32 \times 0.03 - 32 \times 1.0$$

$$= 0.96 - 32$$

$$UIA_{\text{en construcción}} = -31.04$$

2. Etapa de operación

Los datos son :

$$OD_{\text{sin proyecto}} = 9 \text{ mg/l}$$

$$OD_{\text{en operación}} = 3 \text{ mg/l}; \text{ de la Figura 6.3, } CA = 0.2$$

Así :

$$\text{Impacto Ambiental en UIA}_{\text{en operación}} = 32 (0.2) - 32 (1.0) = -25.6$$

$$\text{UIA}_{\text{en operación}} = -25.6$$

Como se observa, hay una mayor afectación al medio durante la fase de construcción ya que concentraciones de OD en un cuerpo de agua menores a 4 mg/l representan una situación adversa para la gran mayoría de las especies acuáticas.

6.4 Matrices

Los métodos matriciales básicamente incorporan un listado de actividades del proyecto o acciones con una lista de condiciones ambientales o características que podrían ser afectadas. Al combinar estas listas como ejes horizontal y vertical de una matriz se logra la identificación de las relaciones causa-efecto entre actividades específicas e impactos.

Los valores que se colocan en las celdas de la matriz pueden ser estimaciones cualitativas o cuantitativas de estas relaciones causa-efecto. El Cuadro 6.7 proporciona un ejemplo de matriz con estimaciones cualitativas.

Las estimaciones cuantitativas son en muchos casos combinadas en un esquema ponderal que lleva a un "marcador de impacto total". El esquema ponderal está basado en el deseo de evaluar cuantitativamente el impacto y peso de ese valor por su importancia. La idea es que con este análisis se definan dos aspectos de cada impacto que podrían afectar al ambiente: su **magnitud** e **importancia**.

El término **magnitud** se refiere al grado, extensión o escala del impacto sobre factores ambientales específicos. Por ejemplo, una carretera afectará o alterará el patrón de escurrimiento existente y su impacto puede ser de gran magnitud sobre el escurrimiento.

La **importancia** es la ponderación de la acción particular sobre el factor ambiental específico que se analiza. Por ejemplo, la importancia total del impacto de una carretera sobre el patrón de escurrimiento puede ser pequeña debido a que la carretera sea muy corta o porque no interferirá significativamente con el escurrimiento.

Podría usarse una escala arbitraria de 1 a 10, donde 10 representa la magnitud mayor del impacto y 1 la menor. Similarmente, para la importancia puede usarse una escala de 1 a 10, siendo 10 la mayor importancia y 1 la menor. Un grado adicional de complejidad sería colocar un signo + junto al número de magnitud si el impacto es benéfico, y signo - si el impacto es adverso.

Desafortunadamente el sistema descrito es subjetivo por dos razones: 1) la elección de una escala numérica para magnitud e importancia, y 2) la decisión de si el impacto es benéfico o adverso. Sin embargo, la validez del método es que proporciona un camino para comparar alternativas meramente por observación del "marcador" del impacto total de las alternativas del proyecto.

Matemáticamente, si:

m_j = (+ ó -) magnitud de la j ésima acción en el iésimo factor ambiental;

w_j = importancia de la j ésima acción sobre el iésimo factor ambiental, se tiene:

Impacto total sobre el iésimo factor ambiental para todas las acciones. $= \sum_j m_j w_j$

Impacto total de la jésima acción sobre todos los factores ambientales. $= \sum_i m_{ij} w_{ij}$

Impacto total del proyecto $= \sum_i \sum_j m_{ij} w_{ij}$

La medición precedente de los impactos totales del proyecto es en esencia un indicador de calidad de vida, ya que m_{ij} representa la magnitud del impacto de la j ésima acción sobre el i ésimo factor de calidad de vida y w_{ij} representa la ponderación de importancia como es vista por la sociedad.

Cuadro 6.7 Ejemplo de una matriz para comparar el impacto ambiental de acciones sobre características existentes y condiciones del ambiente.

Acciones propuestas Condiciones ambientales existentes	MODIFICACION DEL HABITAT	ALTERACION DE LA HIDROLOGIA Y EL DRENAJE	SUPERFICIE PAVIMENTADA	RUIDO Y VIBRACION	URBANIZACION	TERRAPLENES	CONTROL DE EROSION	PAISAJE	TRAFICO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Topografía	B	C	B	A	B	C	C	D	B
Recarga de acuíferos	A	B	B	=	=	B	A	D	=
Clima	A	=	=	=	A	=	=	=	=
Control de avenidas	C	C	B	=	B	B	A	D	=
Esfuerzos de tensión (sismo)	B	C	=	=	A	B	A	=	=
Espacio abierto	D	=	D	B	C	=	=	D	B
Residencial	D	=	=	=	D	=	=	=	=
Seguridad y salud	D	B	B	=	B	B	A	=	C
Densidad de población	B	=	=	A	B	=	=	=	=
Estructuras	B	B	B	=	B	B	A	=	B
Transporte	B	=	C	=	B	=	=	=	C
Cómputo total	B	C	B	A	B	B	A	D	B

- A = Impacto insignificante, bajo, no daña al ambiente.
- B = Impacto medible, pero con apropiada planeación y construcción no daña al ambiente
- C = Alto impacto en el ambiente, pero puede ser restringido tomando correctas medidas de precaución.
- D = Impacto en el ambiente, pero considerado benéfico.
- E = Impacto que será en detrimento del ambiente.

Problema ejemplo 6.3

El Cuadro 6.8 corresponde al Cuadro 6.7 sin embargo, las entradas son de la forma $x(y)$, donde x denota la magnitud del impacto, y y la importancia. Los signos $+$ y $-$ son usados para denotar impacto benéfico o adverso, respectivamente.

Cuadro 6.8
Ejemplo de impactos ponderados de acciones sobre características existentes y condiciones del ambiente

Condiciones ambientales existentes	Acciones propuestas									Factor Total de Impacto
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Topografía	8(3)	-2(7)	3(3)	1(1)	9(3)	-8(7)	-3(7)	-3(10)	1(3)	3
Recarga de acuíferos	1(1)	1(3)	4(3)			5(3)	6(1)	1(10)		47
Clima	1(1)				1(1)					2
Control de avenidas	-3(7)	-5(7)	4(3)			7(3)	8(1)	2(10)		5
Esfuerzos de tensión (sismo)	2(3)	-1(7)			1(1)	8(3)	2(1)			26
Espacio abierto	8(10)		6(10)	2(3)	-10(7)			1(10)	1(3)	89
Residencial	6(10)				9(10)					150
Seguridad y salud	2(10)	1(3)	3(3)		1(3)	5(3)	2(1)		-1(7)	45
Densidad de población	1(3)			4(1)	4(3)					22
Estructuras	1(3)	1(3)	1(3)		3(3)	4(3)	1(1)		1(3)	34
Transporte	1(3)		-9(7)		7(3)				-10(7)	-109
Cómputo total	180	-47	42	11	97	31	-2	70	-68	314

Con respecto al Cuadro 6.7, se han transformado los valores cualitativos de la siguiente manera:

$$A = 1, B = 3, C = 7 \text{ y } D = E = 10$$

La transformación anterior es solamente para fines ilustrativos y, en este ejemplo, ω_{ij} se elige independientemente de j por conveniencia.

Del Cuadro 6.8 se concluye que:

1. El impacto total ponderado del proyecto es positivo e igual a 314, lo que significa que es benéfico al ambiente;
2. La alteración de la hidrología y drenaje, control de la erosión y circulación del tráfico, tienen efectos adversos; y
3. El transporte es adversamente impactado por el proyecto.

El Cuadro 6.8 proporciona una muestra de la estructura básica del método matricial, en el cual cada acción (o sus componentes por separado) es identificada como una columna de la matriz, y las condiciones ambientales o áreas impactadas se identifican como renglones de la matriz. Las entradas representan no sólo una indicación de las áreas impactadas por cada acción, sino también una medida de la extensión del impacto. El método matricial, atribuido a Luna B. Leopold, es una extensión del método de Listado, ya que combina una lista de los elementos del proyecto con una lista de los elementos del ambiente. La matriz original desarrollada por Leopold se explica a continuación.

6.4.1 Matriz de Leopold

La matriz de Leopold fue el primer método que se estableció para las evaluaciones de impacto ambiental. Realmente es un sistema de información más que de evaluación, es decir, es un método de identificación, y se preparó para el Servicio Geológico del Ministerio del Interior de los Estados Unidos, como elemento de guía de los informes y las evaluaciones de impacto ambiental.

Este método es especialmente útil como evaluación preliminar de aquellos proyectos que tienen un gran impacto ambiental.

La base del sistema es una matriz en que las entradas según columnas son 100 acciones del hombre que pueden alterar el ambiente, y las entradas según filas son 88 características del medio (factores ambientales) que pueden ser alteradas. Aunque es posible tener 8,800 interacciones en esta matriz, usualmente se encuentran menos de 100 para algún proyecto en particular. Es decir, la matriz puede ser expandida o contraída según sea necesario. En el Apéndice I se presentan los listados completos de las 100 acciones y las 88 características del medio propuestos por Leopold.

En el uso de esta metodología, el equipo interdisciplinario debe primero determinar qué acciones del proyecto interactúan con cuáles factores o parámetros ambientales. A cada interacción localizada se coloca una diagonal del ángulo superior derecho al ángulo inferior izquierdo en la celda correspondiente. Un número de 1 a 10 indica la magnitud del impacto y se coloca en la esquina superior izquierda de la celda, siendo 1 el menor impacto y 10 el gran impacto adverso. En la esquina inferior derecha se coloca otro número (de 1 a 10) para indicar la importancia relativa del impacto. Después de que la matriz se ha llenado, el texto de la manifestación debe ofrecer una explicación de todos los impactos significativos, que son aquellas columnas o renglones con muchas celdas llenas, o aquellas celdas individuales con números grandes.

**CUADRO 6.9
MATRIZ REDUCIDA PARA LA EVALUACION DE LA OPERACION DE UNA MINA
DE FOSFATO, EN VENTURA, CALIFORNIA.**

Acciones propuestas Condiciones ambientales existentes	Area industrial y edificios	Carreteras y puentes	Líneas de transmisión	Barrenación y voladuras	Excavación subterránea	Procesamiento de mineral	Acuífero	Emplazamiento de escorias	Derrames y fugas
	Calidad del agua					2/2	1/1		2/2
Calidad atmosférica						2/3			
Erosión					1/1			2/2	
Sedimentación					2/2			2/2	
Arbustos					1/1				
Pastos					1/1				
Plantas acuáticas					2/2			2/3	1/4
Peces					2/2			2/2	1/4
Campismo y excursión					2/4				
Vista escénica	2/3	2/1	2/3		3/3		2/1	3/3	
Calidad silvestre	4/4	4/4	2/2	1/1	3/3	2/5	3/5	3/5	
Especies raras y únicas		2/5		5/10	2/4	5/10	5/10		
Salud y seguridad							3/3		

Problema ejemplo 6.4

El Cuadro 6.9 muestra una matriz del tipo Leopold preparada para la evaluación de la operación de una mina de fosfato en el parque nacional "Los Padres" en Ventura, California. Como puede verse, las acciones con más impactos fueron "excavación subterránea" y "emplazamiento de escorias". Las características ambientales más importantes fueron el "paisaje" (vista escénica), "calidad silvestre" y "especies raras y únicas". La razón por la que estas últimas fueron consideradas tan importantes (factores de importancia de 10), fue que se localizó un santuario del cóndor de California a 15 millas al Este del sitio propuesto para la mina. La magnitud de los posibles impactos fue considerada moderada, pero cualquier efecto sobre estas aves extremadamente raras se pensó que sería muy importante. Las cualidades "vista escénica" y "calidad silvestre" son impactadas por muchas acciones y fueron consideradas de moderada importancia debido al uso del área como refugio recreativo para mucha gente. En un parque nacional estas cualidades son importantes.

6.4.2 Matriz de evaluación de impactos ambientales

Como se ha mencionado antes, el sistema descrito es subjetivo debido a la elección de una escala numérica para magnitud e importancia, y por la decisión de si el impacto es benéfico o adverso. La matriz que se describe a continuación pretende evitar el inconveniente de asignar valores numéricos, proponiendo un sistema de evaluación cualitativo.

El impacto ambiental constituye el efecto de las actividades humanas y su trascendencia deriva de la vulnerabilidad del ambiente donde se desarrollará el proyecto. Esta vulnerabilidad presenta múltiples facetas que deben ponerse de manifiesto al evaluar los impactos. En la Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales, los impactos correspondientes a cualquier faceta de la vulnerabilidad o fragilidad del ambiente, se individualizan por una serie de características que han de evaluarse. Con respecto a la estructura de la Matriz de Evaluación de Impactos mostrada en el Cuadro 6.10, se tiene que:

- El carácter (columna 1) hace referencia a su consideración benéfica o adversa respecto al estado previo a la acción; indica si en lo que se refiere a la faceta de vulnerabilidad que se esté teniendo en cuenta, la obra o actividad es benéfica o perjudicial.
 - El tipo de acción del impacto (columna 2) se refiere a la relación causa-efecto; describe el modo de producirse el efecto de la obra o actividad sobre los componentes ambientales: si el impacto es directo o indirecto.
 - La duración del impacto (columna 3) se refiere a sus características temporales: si el efecto es a corto plazo y luego cesa (temporal), o si es permanente.
-

IMPACTO AMBIENTAL

- Las columnas 4 y 5 informan sobre la dilución de la intensidad del impacto en el mosaico espacial y puede ser localizado o extensivo, y próximo o alejado de la fuente. Debido a la existencia de este mosaico esta dilución no siempre tendrá relación lineal con la distancia a la fuente del impacto.
- La reversibilidad del impacto (columna 6) toma en cuenta la posibilidad, dificultad o imposibilidad de retornar a la situación previa a la obra o actividad. De esta manera se hablará de impactos reversibles o irreversibles.
- La posibilidad de recuperación (columna 7) indica si la pérdida de calidad en el factor ambiental puede ser recuperable, reemplazable, o irrecuperable.
- Los impactos pueden ser mitigables o no (columna 8).
- El riesgo del impacto (columna 9) mide la probabilidad de ocurrencia (alta, media o baja), sobre todo de aquellas circunstancias no periódicas pero de excepcional gravedad.

Todas estas circunstancias y características descritas definen la mayor o menor gravedad y el mayor o menor beneficio que se deriva de las obras y actividades del proyecto evaluado. Todas ellas deben intervenir en la evaluación de los impactos ambientales. La expresión de esta evaluación, para cada faceta de la vulnerabilidad que se contemple, se concreta normalmente con la utilización de alguna escala de niveles de impacto (columna 10), de manera que facilite la utilización de la información adquirida en la formulación de medidas de mitigación.

La escala de niveles de impacto que se muestra en el Cuadro 6.10 es la siguiente:

Impacto compatible.- Tratándose de impactos adversos, es la carencia de impacto o la recuperación inmediata del factor ambiental tras el cese de la actividad. Para este caso no se necesitan medidas de mitigación.

En el caso de impactos benéficos, éstos son compatibles cuando se presentan de manera inmediata a la actividad que los origina y son muy significativos.

Impacto moderado.- Tratándose de impactos adversos, es cuando la recuperación de las condiciones iniciales requiere de cierto tiempo. No se precisan medidas de mitigación.

En el caso de impactos benéficos, son los que se presentan cierto tiempo después de realizada la obra o actividad y son poco significativos.

Impacto severo.- Es cuando la magnitud del impacto exige, para la recuperación de las condiciones del medio, la implantación de medidas de mitigación. La recuperación, aún con estas medidas, es a largo plazo.

Cuadro 6.10
MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL
MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES

MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL		ETAPAS DEL PROYECTO																									
MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES		ACTIVIDADES EN EVALUACION:							5. P. P. 7.																		
ELEMENTOS Y CARACTERISTICAS AMBIENTALES SUSCEPTIBLES DE SER IMPACTADOS		CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS							DETERMINACION				EVALUACION														
		1	2	3	4	5	6	7	8		9		10														
		GENERO	AMBITO	DIRECCION	INDIRECTO	TEMPORAL	PERMANENTE	LOCALIZADO	EXTENSIVO	PROXIMO A LA FUENTE	ALEJADO DE LA FUENTE	REVERSIBLE	IRREVERSIBLE	RECUPERABLE	IRRECUPERABLE	SE	NO	A	B	COMPLIBLE	NO COMPLIBLE	SEVERO	GRUPO	ALTERNAS ALTERNAS DE IMPACTOS	OPERA O ACTIVIDAD OPERACIONAL DE IMPACTO		
ATMOSFERA																											
CLIMA O CLIMA LOCAL																											
SUELO																											
AGUA SUPERFICIAL																											
AGUA SUBTERRANEA																											
VEGETACION																											
FAUNA																											
BIODIVERSIDAD																											
PAISAJE																											
USO DEL SUELO																											
RECURSOS SOCIALES																											

Cuadro 6.11
MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL
MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES

MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES		ETAPAS DEL PROYECTO															
		ACTIVIDADES EN EVALUACION:				1. DESMONTE Y DESPALLE 2. EXCAVACION, CORTES Y RELLENOS 3. TRANSPORTE DE MATERIAL Y MOVIMIENTO DE EQUIPO 4. SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE			5. SUMINISTRO DE AGUA CALIDA 6. TALLERES Y ALMACENES 7. INFRAESTRUCTURA								
ELEMENTOS Y CARACTERISTICAS AMBIENTALES SUSCEPTIBLES DE SER IMPACTADOS		CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS							DETERMINACION					EVALUACION			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
		SEÑALADO	ADERSO	DIRECTO	INDIRECTO	TEMPORAL	PERMANENTE	LOCALIZADO	ACUMULADO	ALTERNATIVO	ALFADO DE LA FUENTE	INVERTIBLE	RECUPERABLE	PREDECIBLE	1	2	3
TIERRAS	MOROCOLIMA																
	CALIDAD DEL AIRE																1, 2, 4
	NIVEL DE RUIDO																2, 3
VEGETACION	PLATA AMENUSA																
	LLANURA DE MATERIAL CONSOLIDADO																2
	LLANURA DE MATERIAL NO CONSOLIDADO																3
SUELO	PANAJE																
	BOLDMOHAK QLEYICOQLEYISOL MILOO																1, 2, 3
	TENDONAS																1, 2, 3, 4, 5
HEREDONAS	SUPERKUAL																1, 2, 6, 7
	SUBTSFRANILA																1, 2, 4, 5, 6
	COFRMENTES																
OCEANO GRANA	SATMETRA																
	TRANSPORTE UTONAL																
	SILVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA BUCEMONAL																1
VEGETACION	ACARRIALES Y POTIERNOS																1
	MANGLAR																1
	DE DUNA																
FAUNA	MARIPONAS																1, 2, 3
	AVES																1, 2, 3
	REPTILES																1, 2, 3
MARNAS	PECES																
	AMPHIBIOS																
	PASTOS																
SOCIOECONOMIA	EMPLEO																1, 2, 3, 7
	VIVIENDA, EQUIPAMIENTO Y SERVICIOS																1, 2, 3, 7
	ECONOMIA REGIONAL																1, 2, 3, 7
	ACTIVIDADES PRODUCTIVAS																1, 2, 3, 7

Impacto crítico.- Es cuando la magnitud del impacto es superior al umbral aceptable. En este caso se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin posible recuperación, incluso con la adopción de medidas de mitigación.

En los renglones de la matriz se incluyen las componentes ambientales desglosadas en sus subcomponentes. La evaluación se realiza para las diferentes etapas del proyecto resultando una matriz para la etapa de preparación del sitio, otra para la de construcción y una más para la de operación y mantenimiento. En cada matriz se analizan las actividades propias de cada etapa que fueron identificadas y se anotan, mediante un número asociado en la columna 12, en el caso de generar un impacto sobre la subcomponente (renglón) en estudio.

Las Matrices de Evaluación de los Impactos Ambientales se complementan con una descripción de los procesos de cambio que se manifestarán en los factores ambientales por las acciones del proyecto. Los resultados permiten prever las medidas de prevención y mitigación, que deberán ser implantadas para el desarrollo del proyecto.

En el Cuadro 6.11 se presenta un ejemplo de Matriz de Evaluación de Impactos elaborada para la etapa de preparación del sitio en un proyecto turístico en el caribe mexicano.

6.5 Redes

Los métodos de redes son una expansión del tema de matrices que introducen una red de causa-condición-efecto que permite la identificación de efectos acumulativos indirectos. La red se plantea en forma de diagrama de árbol, por lo que también se llama árbol de impactos relevantes, y es usada para relacionar y registrar efectos secundarios, terciarios y otros efectos ulteriores.

La Figura 6.4 muestra un marco conceptual de dicho árbol debido a J. Sorensen. Para elaborar una red de este tipo se requiere responder a una serie de preguntas relativas a cada una de las actividades del proyecto tales como: ¿cuáles son las áreas primarias de impacto?; ¿cuáles son los impactos primarios dentro de estas áreas?; ¿cuáles son las áreas secundarias de impacto?; ¿cuáles son los impactos secundarios dentro de estas áreas?; y así sucesivamente. La Figura 6.5 proporciona un ejemplo ilustrativo de este proceso para el caso de la construcción de una nueva vialidad en una ciudad establecida, bajo la consideración de dos impactos primarios principales, que son: 1) demolición de casas y, 2) demolición de comercios y oficinas.

El método de redes es interesante debido a que trata de modelar la forma compleja en que opera el ambiente. Una acción causa uno o más cambios en las condiciones ambientales, los cuales en su momento producirán uno o más cambios subsecuentes que, finalmente, producirán uno o más efectos terminales. Por ejemplo, los cortes y terraplenes para la construcción de una carretera podrían provocar erosión del suelo de los taludes, y los sedimentos podrían llegar a ríos o arroyos cercanos. El material acarreado podría incrementar la turbiedad del agua, azolvar los canales, alterar el régimen hidráulico de las corrientes de agua y todos estos efectos podrían alterar el hábitat de la biota acuática.

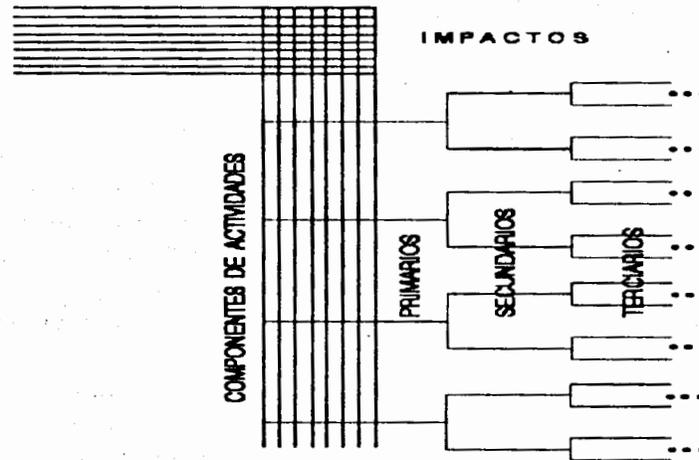


Figura 6.4 Marco conceptual de una red de impactos

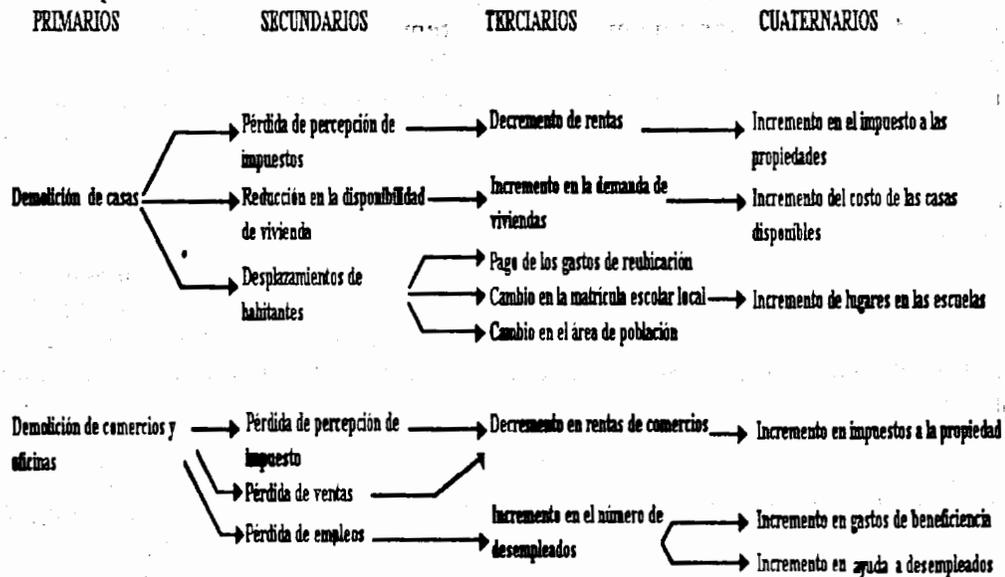


Figura 6.5 Ejemplo de una red de impacto para la construcción de una vialidad en una ciudad

Desafortunadamente, al construir una red puede ocurrir que ciclos de efectos se repitan al irse expandiendo el árbol. Esto es de esperarse cuando se presenten interacciones complejas entre efectos y sus correspondientes reacciones en cadena.

Otro aspecto importante que debe tomarse en cuenta al elaborar una red, es la probabilidad de que se presenten todos los impactos esperados. Por ejemplo, una planta de tratamiento de aguas residuales puede liberar un efluente altamente nitrificado (acción del proyecto) dentro de un estuario. El incremento en la concentración de nutrientes (cambio de la condición inicial), estimulará el crecimiento excesivo de fitoplancton en el estuario. Un impacto potencial como consecuencia del crecimiento explosivo del fitoplancton sería el incremento de sedimentos en el estuario por la acumulación de organismos muertos. La sedimentación del estuario podría entonces hacer decrecer su profundidad del estuario. Al decrecer la profundidad, se puede incrementar la penetración de luz solar, proliferar las plantas en el fondo y aumentar la temperatura del agua.

La pregunta que debe plantearse es si el crecimiento explosivo del fitoplancton puede incrementar con alta probabilidad la tasa de sedimentación en un estuario, al grado de que ocurra un decremento significativo en la profundidad del agua. Si el efecto de sedimentación del fitoplancton muerto será un decremento imperceptible de la profundidad del agua en varios años, el impacto no debe incluirse en la red.

Una red de impactos proporciona en forma resumida un panorama de los impactos causados y/o inducidos por el proyecto y sus actividades relacionadas; por esta razón es una herramienta muy útil. Sin embargo, es sólo un resumen cualitativo que puede usarse para generar una puntuación global del impacto, como se hace con las matrices. Para llevar a cabo esto, se requiere: 1) estimar la probabilidad de ocurrencia de la cadena individual de eventos en una rama del árbol y 2) agregar para cada posible rama la puntuación del impacto usando una medida del tipo sugerido en la sección de métodos matriciales.

Para ilustrar esta técnica, considérese el árbol de impacto de la Figura 6.6, en el que hay dos actividades básicas del proyecto, A y B. En la Figura 6.6a la actividad A tiene dos impactos primarios, tres secundarios y dos terciarios. La actividad B tiene dos impactos primarios, cuatro secundarios y cuatro terciarios. Hay diez ramas de este árbol dadas por las cadenas de eventos mostradas en la Figura 6.6b.

Ahora sea

p_i = probabilidad de que ocurran los eventos de la rama i para $i = 1, 2, \dots, 10$.

Además, para cada impacto x , se define

$M(x)$ = (+ ó -) magnitud del impacto x , e

$I(x)$ = importancia ponderal del impacto x ,

donde ambos, $M(x)$ e $I(x)$ tienen valores en un rango de escala arbitrario (por ejemplo de 1 a 10). Entonces definimos el marcador de impacto de una rama del árbol de impacto por:

$$\sum M(x) I(x)$$

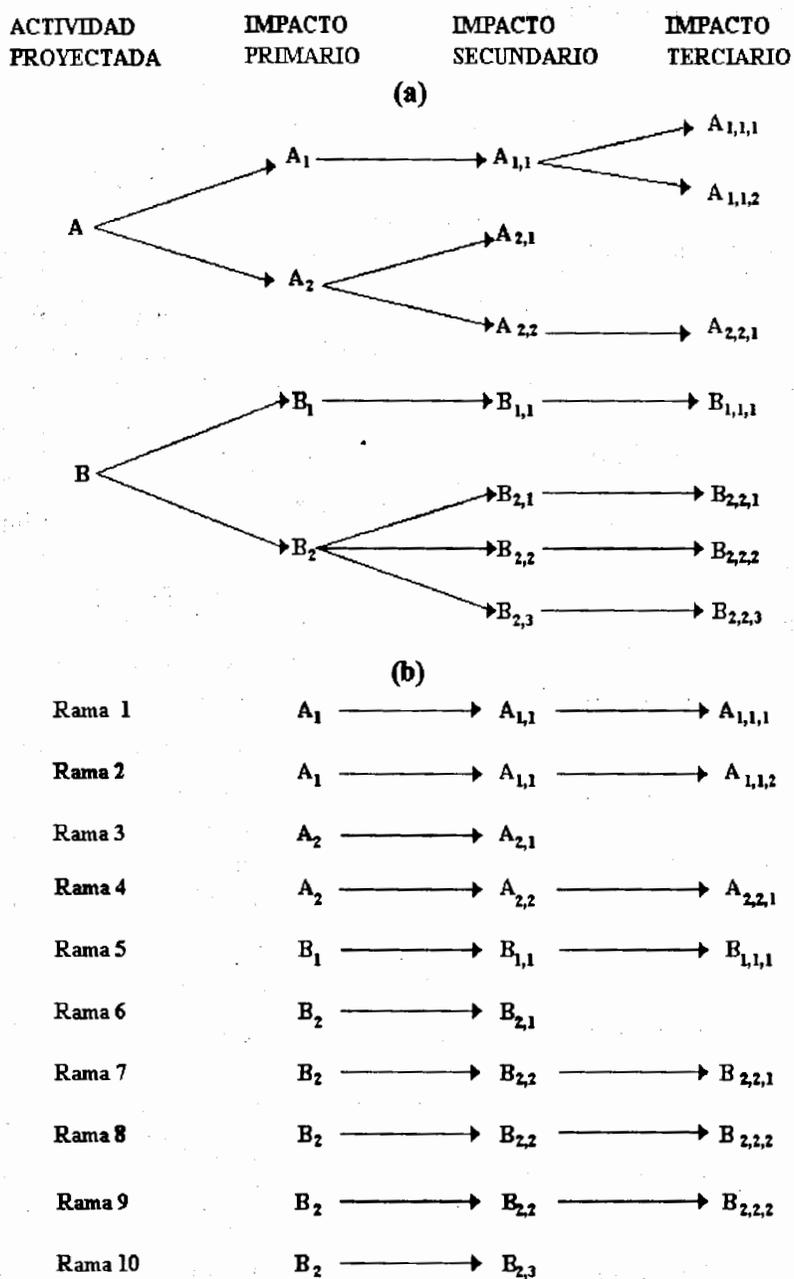


Figura 6.6 Arbol de impacto ilustrativo (a) y ramas correspondientes (b) donde la sumatoria es sobre todos los impactos (eventos) x sobre la rama.

Cuadro 6.12
**Valores ilustrativos de probabilidad, magnitud e importancia del impacto
de la construcción de un viaducto en una ciudad.**

IMPACTO	Probabilidad de ocurrencia	Magnitud	Importancia
-Demolición de casas.	1.0	-2.0	4.0
-Pérdida de las contribuciones (impuestos) de las casas demolidas.	1.0	-1.5	5.0
-Decrementos en la percepción de rentas de residencias.	1.0	-0.5	10.0
-Incremento en el impuesto de las propiedades.	0.3	-1.0	3.0
-Reducción en la disponibilidad de viviendas en la zona.	1.0	-0.25	2.0
-Incremento en la demanda de vivienda.	0.4	-3.0	3.0
-Incremento en el precio de venta de las casas disponibles.	0.2	-1.2	1.0
-Desplazamiento de gente.	1.0	-1.0	7.5
-Pago de gastos de reubicación.	1.0	-0.7	0.5
-Cambio en el número de inscripciones de escuelas locales.	0.8	+2.2	1.0
-Incremento de lugares en las escuelas.	0.8	+1.5	3.5
-Cambio en la población del área.	0.95	+0.2	1.5
-Remoción de negocios.	1.0	-4.0	5.0
-Pérdida de las contribuciones de los comercios removidos.	1.0	-4.8	6.0
-Decrementos en la percepción de rentas de comercios.	0.2	-1.5	10.0
-Pérdida de impuestos de las ventas.	0.2	-2.5	10.0
-Pérdidas de empleos.	0.9	-3.0	6.0
-Incremento en el número de desempleados.	0.9	-0.5	7.0
-Incremento en gastos de asistencia social.	0.1	-0.8	0.7
-Incremento en ayuda a desempleados.	0.2	-0.1	0.2

Nota: La convención empleada es la siguiente: "-" denota un impacto adverso a la comunidad como un todo y "+" denota un impacto benéfico a la comunidad como un todo.

Por ejemplo, la puntuación del impacto para la rama 1 sería:

$$M(A_1) I(A_1) + M(A_{1,1}) I(A_{1,1}) + M(A_{1,1,1}) I(A_{1,1,1})$$

De la misma forma se calcula la puntuación del impacto de las otras nueve ramas. Ahora, dado que hay alguna incertidumbre de si ocurrirán o no los impactos primarios, secundarios y terciarios, se pueden ponderar estas puntuaciones de las ramas multiplicándolas por su probabilidad de ocurrencia. Agregando estas puntuaciones ponderadas en todas las ramas se obtiene una "puntuación esperada del impacto ambiental", dada por:

$$\text{Impacto ambiental esperado} = \sum_{i=1}^{10} p_i \{ \text{puntuación del impacto para la rama } i \}$$

Problema ejemplo 6.5

Considérese el ejemplo presentado en la Figura 6.5 para el caso de los impactos típicos provocados por la construcción de una nueva vialidad en una ciudad. Supóngase que se ha determinado que las puntuaciones de magnitud e importancia de estos impactos son las mostradas en el Cuadro 6.12.

Hay nueve ramas en el árbol de impacto de la Figura 6.5. La probabilidad de ocurrencia de los impactos sobre la rama:

IMPACTO AMBIENTAL

Demolición de casas -->pérdida del ingreso por impuesto de las residencias --->Decremento en las rentas --->incremento del impuesto de las propiedades,

es igual a: $(1.0)(1.0)(1.0)(0.3) = 0.3$

y la puntuación total de la rama de impacto es igual a:

$$(-2)(4) + (-1.5)(5) + (-0.5)(10) + (-1)(3) = -23.5$$

La puntuación ponderada del impacto sería:

$$(0.3)(-23.5) = -7.05$$

De la misma forma, la probabilidad de ocurrencia de los impactos sobre la rama:

Demolición de negocios -->pérdida de empleos --> incremento en el número de desempleados --> incremento en ayuda a desempleados ,

es igual a:

$$(1.0)(0.9)(0.9)(0.2) = 0.162,$$

y la puntuación total de la rama de impacto es igual a:

$$(-4)(5) + (-3)(6) + (-0.5)(7) + (-0.1)(0.2) = -41.52$$

De aquí que la puntuación de impacto ponderada es

$$(0.162)(-41.52) = -6.73$$

Repitiendo estos cálculos para las otras 7 ramas y agregando las puntuaciones de impacto ponderadas de las nueve ramas, se obtiene:

Impacto ambiental esperado = - 54.93, lo que significa un impacto adverso significativo.

6.6 Modelos

Los modelos son los métodos de predicción más empleados en la evaluación de impactos físicos. A lo largo de estos apuntes se ha enfatizado la necesidad de utilizar modelos físico-matemáticos y simulaciones por computadora en la evaluación del impacto ambiental, con el fin de obtener resultados cuantitativos que reproduzcan las características y condiciones de un ecosistema real para llegar a la percepción y comprensión del funcionamiento del sistema. En el Capítulo 2 se estudió un modelo para la evaluación de impactos físicos en el agua: el modelo de Streeter y Phelps, que determina la concentración del oxígeno disuelto en distintos puntos de una corriente de agua. En el Capítulo 4 se estudiaron dos modelos para la evaluación de impactos físicos en el aire: el "modelo de caja" y un modelo gaussiano de dispersión atmosférica, el de Pasquill-Gidfford.

6.7 Sobreposiciones

Este método es muy útil para trabajos de evaluación de impactos ambientales ligados a la planificación y ordenación del territorio. Proyectos como el trazado de una autopista, un ferrocarril, líneas eléctricas de alta tensión, oleoductos y gasoductos, aeropuertos, canales, etcétera, son los que en una primera aproximación, son evaluados por este método o por los de Mc. Harg, Hills, Lewis, Johns y otros semejantes, todos ellos enfocados más hacia la localización de usos en el territorio, para las distintas actividades sociales y económicas. Tales métodos tienen en cuenta las características del territorio, pero sin llegar a una evaluación profunda de los impactos, en el sentido que la contemplan las metodologías que se han descrito en los apartados anteriores. Lo que sí se hace en las sobreposiciones es una identificación e inventario de recursos.

Las técnicas que se emplean en sobreposiciones tienen también otra escala, pues se opera con macromagnitudes, como es natural; los fotogramas aéreos, las técnicas de teledetección, por ejemplo, se utilizan casi siempre.

El sistema de sobreposiciones también llamado de coberturas o transparencias efectúa una división del territorio afectado por la totalidad del proyecto mediante el trazado de retículas. Así se obtienen una serie de unidades geográficas, en cada una de las cuales se estudia un conjunto de factores ambientales y se aplican indicadores de impacto, previamente establecidos. Se utilizan transparencias y en cada una de ellas se marcan los resultados obtenidos en el estudio. Se superponen después los resultados de las distintas transparencias y, con lo que se llega a las conclusiones finales.

6.8 Criterios de selección de métodos

En principio, todos los métodos han sido elaborados para aplicarse en sociedades con niveles de desarrollo distintos al de México, y por consiguiente con diferentes lineamientos que norman la selección de planes, proyectos y programas de desarrollo. No obstante esto, dichos métodos siguen un principio de racionalidad y sistematización en el análisis de los impactos ambientales, por lo que su aplicación, dentro de las limitaciones que presentan y adecuándose a los objetivos de desarrollo del país, es de utilidad. Lo anterior implica, de hecho, el adaptar los métodos elaborados en otros países, para seleccionar una técnica propia que permita un análisis objetivo del impacto ambiental de los proyectos, enmarcada dentro de los objetivos de desarrollo del país.

El uso de un método para el análisis de los impactos ambientales, depende de las necesidades específicas del responsable del proyecto y del mismo proyecto en cuestión. Para realizar la selección de métodos se han desarrollado criterios que pueden servir de base para quienes están elaborando la evaluación de impacto ambiental.

En 1977, R.K. Jain, K.V. Urban y G.S. Stancey presentaron siete consideraciones clave de selección, las cuales son:

1. Finalidad del análisis de impactos

Es necesario definir si el análisis es para toma de decisiones o con fines de difusión. Un documento de decisión es vital para determinar el mejor curso de acción; mientras que uno de difusión revela, en principio, las implicaciones de las alternativas elegidas. Un documento de decisión generalmente requiere mayor énfasis en la identificación de aspectos clave, la cuantificación y la comparación directa de alternativas. Un documento de difusión requiere un análisis más integral y se concentra en interpretar la trascendencia del espectro más amplio de posibles impactos.

2. Alternativas del proyecto

Se requiere considerar si las alternativas difieren sólo en magnitud o en esquema conceptual. Si difieren en cuanto a su conceptualización, como el caso de la prevención de inundación mediante construcción de bordos en contra de la zonificación de áreas de inundación, entonces la magnitud del impacto deberá evaluarse con base en un patrón absoluto, puesto que los impactos serán diferentes tanto en tipo como en tamaño. Por otro lado, los grupos de alternativas que difieren sólo en magnitud permiten una comparación de impactos y un mayor grado de cuantificación.

3. Participación social

Es necesario definir si la participación de la comunidad en el análisis será activa o sólo de revisión. La participación activa permite el uso de técnicas más sofisticadas, tales como el análisis por computadora o estadístico que resulta difícil de explicar a un público interesado pero que no ha participado anteriormente. El papel de una participación activa también permite un mayor grado de cuantificación o ponderación de la magnitud de los impactos mediante la incorporación directa de los valores públicos.

4. Información existente y recursos disponibles para el análisis.

Un aspecto fundamental para seleccionar el método es la información existente, así como los recursos disponibles para su análisis. Los métodos más sofisticados y que proporcionan resultados más confiables requieren necesariamente mayor información y recursos para su aplicación.

5. Conocimiento del área de estudio por el grupo de análisis

El conocimiento o familiaridad que tenga el grupo que realiza el estudio aumentará la validez de un análisis subjetivo de la magnitud de los impactos.

6. Trascendencia del proyecto o acción

La trascendencia que tenga el proyecto, o una acción específica, tanto en su magnitud física, como un efecto social, es otro factor importante en la selección del método por emplear. Mientras más importante es una acción, mayor es la necesidad de explicitarla, cuantificarla

o identificar sus aspectos clave. Las ponderaciones y relaciones arbitrarias para comparar un tipo de impacto (ecológico) contra otro (económico), llegan a ser poco apropiados.

7. Consideraciones institucionales

Es necesario tomar en cuenta si los métodos seleccionados están limitados por los procedimientos de la dependencia responsable o por requerimientos de formato. Las políticas o lineamientos específicos de la dependencia pueden excluir algunas técnicas al especificar por ejemplo, ámbitos de impactos y el tiempo disponible para realizar el análisis.

Folden presentó en 1980 nueve criterios para seleccionar el método apropiado:

1. Integridad

El método seleccionado debe comprender todas las alternativas, y puntos de vista significativos. Sin un enfoque integral es casi seguro que las decisiones no sean óptimas.

2. Aplicabilidad

El método debe de ser simple para ser aprendido y aplicado por un grupo pequeño con conocimientos limitados, con un presupuesto reducido y en un tiempo corto, si así se requiere.

3. Descriptibilidad

Los resultados y conclusiones obtenidas deben permitir la visualización del problema y sus soluciones de manera tal que permitan el entendimiento y confianza del público y aseguren su participación.

4. Ampliabilidad

Debe permitir la evaluación preliminar de alternativas y debe ser fácilmente ampliable para proporcionar mayor detalle en aspectos clave. De esta manera, el mismo método debe permitir un análisis superficial o un examen detallado.

5. Aspectos relevantes

La técnica debe incluir un informe explícito de todos los aspectos relevantes, sistemáticamente ordenados y ponderados para reflejar su importancia relativa.

6. Sistema único

El método debe reflejar un entendimiento del sistema ambiental socioeconómico como un todo y las principales interrelaciones entre los diversos factores.

7. Discriminación de efectos

IMPACTO AMBIENTAL

El método debe reflejar cambios que ocurrirían en el futuro "sin el proyecto" y "con el proyecto" y debe permitir la cuantificación de la diferencia entre conjuntos de alternativas.

8. Uniformidad

Diversos factores son medidos convencionalmente con una amplia variedad de unidades objetivas y subjetivas (pesos, biomasa, días de recreación, bueno-malo, empleos, etc). Es recomendable emplear medios para transformar estas mediciones en unidades uniformes como un elemento para facilitar la comparación.

9. Sistematización de información.

La factibilidad para recabar y alimentar la información requerida por un método es un criterio clave para la implantación exitosa de cualquier modelo. Técnicas potencialmente excelentes pueden ser imprácticas por la dificultad en la colección de datos.

El empleo de una técnica adecuada permite definir los impactos existentes y su magnitud relativa. Una vez hecho esto, se requiere caracterizar los mismos, definiendo para cada uno de ellos:

- Durabilidad. Si es temporal ó permanente el impacto.
- Plazo y frecuencia. Si el impacto se presenta en el corto o mediano plazo, si éste es intermitente.
- Probabilidad de ocurrencia. Define la probabilidad de que se presente el impacto, a mayor información la incertidumbre se reduce.
- Facilidad de mitigación. Si es posible eliminar o reducir el impacto.

Por último, una vez que se han identificado y caracterizado los impactos, y si entre éstos existen impactos adversos de significación, es necesario proceder a la evaluación detallada tanto de los impactos en forma específica como del proyecto en forma global, para contar con elementos suficientes que permitan una decisión objetiva sobre la implantación del proyecto.

En principio lo ideal sería evaluar la totalidad de los impactos registrados tanto positivos como negativos, pero el número de éstos hará por lo general poco factible y práctico el proceso. De esta manera se recomienda evaluar en principio todos los impactos identificados como severos y los considerados como más relevantes, de entre los no severos.

APENDICE

A

Técnicas para tratar las aguas generadas durante la construcción del túnel de desvío y la cortina de una presa

Como ejemplo, a continuación se tratarán algunas medidas de mitigación para tratar las aguas generadas durante la construcción del túnel de desvío y la cortina.

Se sugieren tres técnicas para el tratamiento de las aguas generadas durante la construcción: sedimentación, floculación y filtración.

La sedimentación es una operación en la que las partículas suspendidas se asientan por acción de la gravedad. Se usan para este efecto estanques y algunos agentes químicos, si son necesarios, como el sulfato de aluminio, para permitir la sedimentación de las partículas coloidales (Figuras A.1, A.2 y A.3)

En la floculación se diseña un dispositivo para producir una fuerza de agitación e inducir la coagulación. Se fomenta la aglomeración de partículas coloidales que tengan un tamaño suficientemente grande para sedimentarse. El crecimiento de estos flóculos -así se llaman las partículas que se asientan-, depende de dos factores: 1) fuerzas químicas intermoleculares y 2) acción física inducida por agitación. El proceso de mezclado es empleado para dispersar los agentes químicos en el fluido logrando así la floculación.

La filtración es una operación para separar materia suspendida en el agua por el paso de ella a través de un material poroso. Comúnmente se trata de filtros de arena, antracita y tierra de diatomeas (Figura A.4).

El tipo de cortina que será construido es otro factor que debe ser considerado antes de la selección de la técnica de tratamiento. Las cortinas de concreto (tipo gravedad) requieren un tratamiento más exigente del agua, que las de corazón de arcilla (materiales graduados). El agua que se requiere para lavar los agregados y para bacheo y curar el concreto origina aguas residuales muy contaminadas, cuyo efecto inmediato es la alteración del pH del agua natural de la corriente.

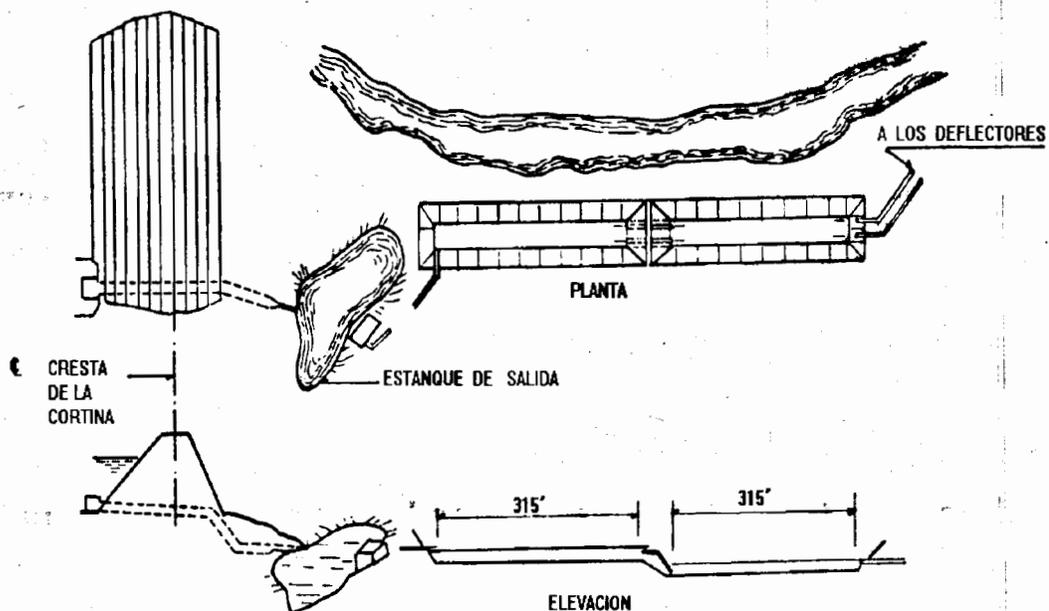


Figura A.1 Disposición de un sistema de tratamiento de agua durante la construcción de una cortina.

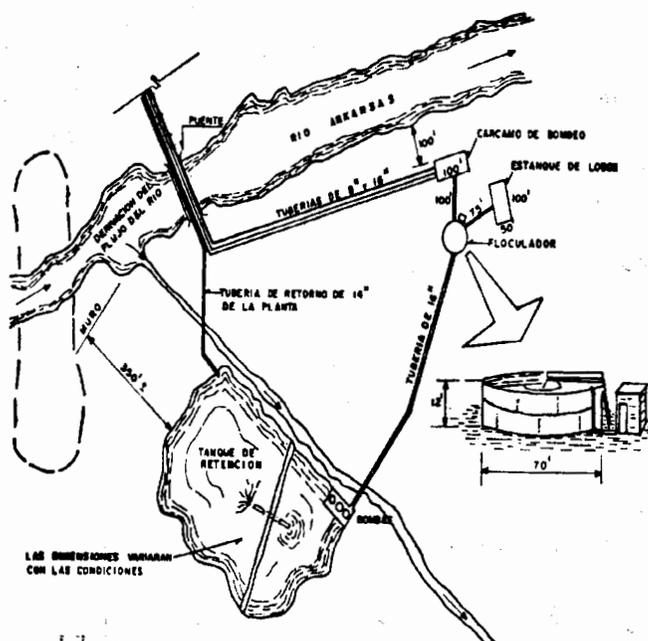


Figura A.2 Disposición del sistema de tratamiento de agua en la construcción de la cortina Pueblo, sobre el río Arkansas, E.U.

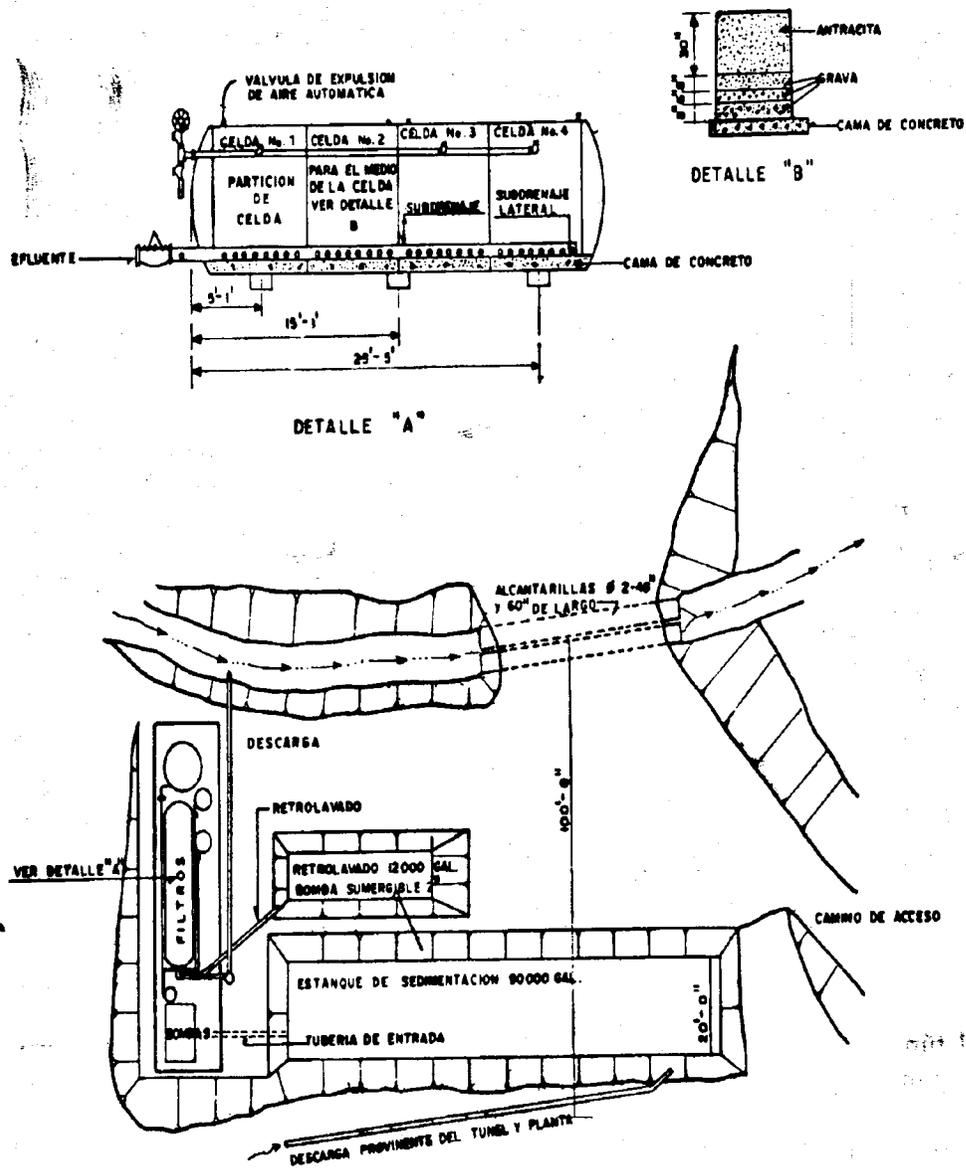


Figura A.3 Disposición del sistema de tratamiento de agua en el túnel Cunningham, E.U.

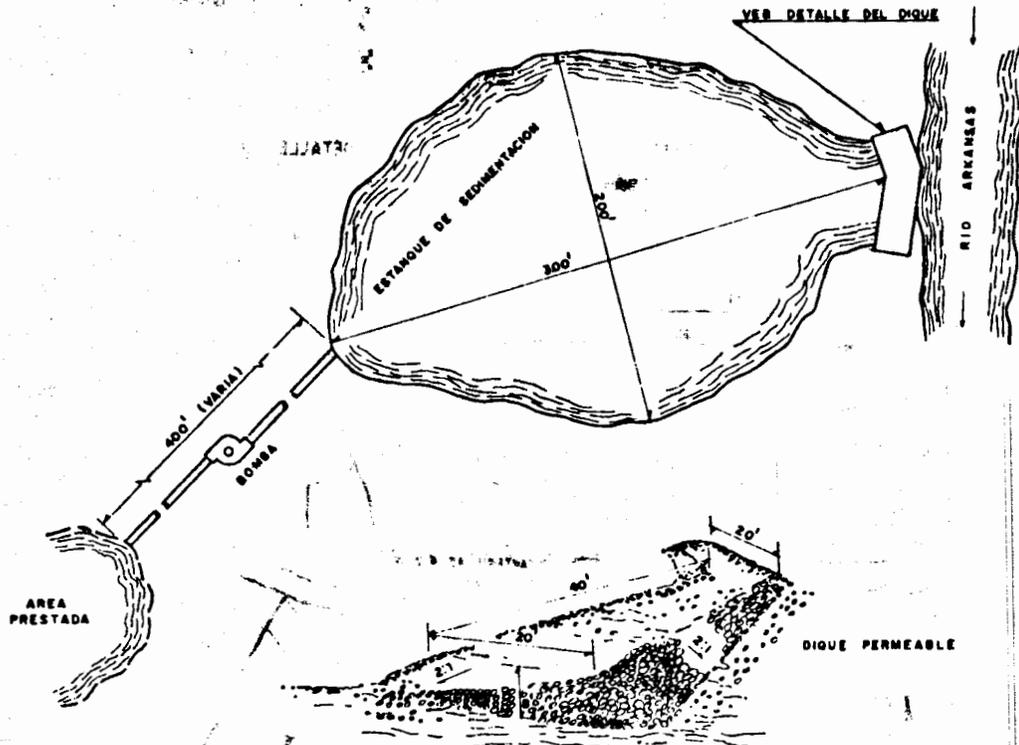


Figura A.4 Disposición de un dique permeable para un estanque de sedimentación.

Para el túnel de desvío (que puede ser la obra de toma de acuerdo con el proyecto), el empleo de maquinaria para túneles origina residuos de aceite que también pueden llegar a la corriente.

La localización física de la cortina y el túnel puede influir en la selección del método de tratamiento. Por ejemplo, en un cañón muy abrupto puede ser físicamente imposible localizar una serie de estanques de sedimentación para el tratamiento y puede no ser suficiente el espacio disponible para el número y tamaño de los estanques necesarios. En el proyecto debe estudiarse este problema y, en su caso, proponer alternativas.

La proximidad con un poblado puede también influir en el tipo de tratamiento elegido. Por ejemplo, la existencia de una fuente municipal de abastecimiento de agua potable en las cercanías, debe incrementar la eficiencia del tratamiento.

**APENDICE
B**

Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1988

**Ley General del Equilibrio Ecológico
y la Protección al Ambiente
(extracto)**

TITULO PRIMERO

Disposiciones Generales

Capítulo I

Normas Preliminares

ARTICULO 1o. 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 establecer las bases para:

- I. Definir los principios de la política ecológica general y regular los instrumentos para su aplicación;
- II. El ordenamiento ecológico;
- III. La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente;
- IV. La protección de las áreas naturales y la flora y fauna silvestres y acuáticas;
- V. El aprovechamiento racional de los elementos naturales de manera que sea compatible la obtención de beneficios económicos con el equilibrio de los ecosistemas;
- VI. La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo;
- VII. La concurrencia del gobierno federal, de las entidades federativas y de los municipios, en la materia, y
- VIII. La coordinación entre las diversas dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, así como la participación corresponsable de la sociedad, en las materias de ese ordenamiento.

Extracto:

Sección V
Evaluación del Impacto Ambiental

ARTICULO 28. La realización de obras o actividades públicas o privadas, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger el ambiente, deberán sujetarse a la autorización previa del Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría o de las entidades federativas o municipios, conforme a las competencias que señala esta Ley, así como al cumplimiento de los requisitos que se les impongan una vez evaluado el impacto ambiental que pudieren originar, sin perjuicio de otras autorizaciones que corresponda otorgar a las autoridades competentes.

Cuando se trate de la evaluación del impacto ambiental por la realización de obras o actividades que tengan por objeto el aprovechamiento de recursos naturales, la Secretaría requerirá a los interesados que en la manifestación del impacto ambiental correspondiente, se incluya la descripción de los posibles efectos de dichas obras o actividades en el ecosistema de que se trate, considerando el conjunto de elementos que lo conforman y no únicamente los recursos que serían sujetos de aprovechamiento.

ARTICULO 29. Corresponderá al Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría, evaluar el impacto ambiental a que se refiere el artículo 28 de esta Ley, particularmente tratándose de las siguientes materias:

- I. Obra pública federal.
- II. Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos y carbo ductos;
- III. Industria química, petroquímica, siderúrgica, papelera, azucarera, de bebidas, del cemento, automotriz y de generación y transmisión de electricidad;
- IV. Exploración, extracción, tratamiento y refinación de sustancias minerales y no minerales, reservadas a la Federación;
- V. Desarrollos turísticos federales;
- VI. Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como residuos radioactivos, y
- VII. Aprovechamientos forestales de bosques y selvas tropicales y de especies de difícil regeneración en los casos previstos en el segundo párrafo del artículo 56 de la Ley Forestal.

ARTICULO 30. En la realización de estudios y en otorgamiento de permisos y autorizaciones para los aprovechamientos forestales, cambio de uso de terrenos forestales y extracción de materiales de dichos terrenos, deberán considerarse los dictámenes generales de impacto ambiental por regiones, ecosistemas territoriales definidos o para especies vegetales, que emita la Secretaría en los términos previstos por el artículo 23 de la Ley Forestal.

ARTICULO 31. Corresponde a las entidades federativas y a los municipios evaluar el impacto ambiental en materias no comprendidas en el artículo 29 de este ordenamiento ni reservados a la Federación en ésta u otras leyes.

ARTICULO 32. Para la obtención de la autorización a que se refiere el artículo 28 del presente ordenamiento, los interesados deberán presentar ante la autoridad correspondiente una manifestación de impacto ambiental. En su caso, dicha manifestación deberá ir acompañada de un estudio de riesgo de la obra, de sus modificaciones o de las actividades previstas, consistente en las medidas técnicas preventivas y correctivas para mitigar los efectos adversos al equilibrio ecológico durante su ejecución, operación normal y en caso de accidente.

La Secretaría establecerá el registro al que se inscribirán los prestadores de servicios que realicen estudios de impacto ambiental y determinará los requisitos y procedimientos de carácter técnico que dichos prestadores de servicios deberán satisfacer para su inscripción.

ARTICULO 33. Una vez presentada la manifestación de impacto ambiental y satisfechos los requerimientos por la autoridad competente, cualquier persona podrá consultar el expediente correspondiente. Los interesados podrán solicitar que se mantenga en reserva información que haya sido integrada al expediente, y que de hacerse pública, pudiera afectar derechos de propiedad industrial o intereses lícitos de naturaleza mercantil.

ARTICULO 34. Una vez evaluada la manifestación de impacto ambiental, la Secretaría en los casos previstos en el artículo 29 de esta Ley, o en su caso el Departamento del Distrito Federal, dictará la resolución correspondiente.

En dicha resolución podrá otorgarse la autorización para la ejecución de la obra o la realización de la actividad de que se trate, en los términos solicitados; negarse dicha autorización u otorgarse de manera condicionada a la modificación del proyecto de obra o actividad, a fin de que se eviten o atenúen los impactos ambientales adversos susceptibles de ser producidos en la operación normal y aun en caso de accidente. Cuando se trate de autorizaciones condicionadas, la Secretaría o en su caso el Departamento del Distrito Federal señalará los requerimientos que deban observarse para la ejecución de la obra o la realización de la actividad prevista.

ARTICULO 35. El Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría, prestará asistencia técnica a los gobiernos estatales y municipales que así lo soliciten, para la evaluación de la manifestación de impacto ambiental o del estudio de riesgo en su caso.

APENDICE
C

**Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico
y la protección al Ambiente
en Materia de Impacto Ambiental**

Diario Oficial de la Federación del 7 de junio de 1988

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos. Presidencia de la República.

MIGUEL DE LA MADRID H., Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, en ejercicio de la facultad que me confiere el artículo 89, Fracción I, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y con fundamento en los artículos 1o, 4o fracción I, 8o. fracción IX, 9o Sección A, fracción XII, 15 fracción X, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 45, 95, 104 y 154 de la Ley General del Equilibrio Ecológico, y la Protección al Ambiente, y

CONSIDERANDO

Que la prevención y el control de los desequilibrios ecológicos y el deterioro del ambiente, son indispensables para preservar los recursos naturales de la Nación y asegurar el bienestar de la población;

Que la acción ecológica ha sido prioridad de esta Administración y constituye una de las principales demandas de la sociedad mexicana;

Que el 1o. de marzo de 1988 entró en vigor la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1988, que entre otros objetos, define los principios de la política ecológica general y regula los instrumentos para su aplicación;

Que uno de los instrumentos más eficaces con que cuenta el Estado para la aplicación de la política general de ecología es la evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades de carácter público o privado, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señaladas en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger el equilibrio ecológico y el ambiente;

Que es necesario establecer los mecanismos y procedimientos administrativos para asegurar la debida observancia de las disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente conforme a las cuales habrá de llevarse a cabo la evaluación del impacto ambiental;

Que de conformidad a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, el desarrollo del Procedimiento para la presentación y evaluación de las manifestaciones de impacto ambiental corresponde al Ejecutivo Federal por lo que he tenido a bien expedir el siguiente:

**REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO
Y LA PROTECCION AL AMBIENTE EN MATERIA
DE IMPACTO AMBIENTAL**

**Capítulo I
Disposiciones Generales**

ARTICULO 1. El presente ordenamiento es de observancia en todo el territorio nacional y las zonas donde la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, y tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en lo que se refiere a la materia de impacto ambiental.

ARTICULO 2. La aplicación de este Reglamento compete al Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, sin perjuicio de las atribuciones que corresponde a otras dependencias del propio Ejecutivo Federal de conformidad con las disposiciones legales aplicables, y a las autoridades del Distrito Federal, de los Estados y de los Municipios, en la esfera de su competencia.

Las autoridades del Distrito Federal, de los Estados y de los Municipios podrán participar como auxiliares de la Federación en la aplicación del presente Reglamento para la atención de asuntos de competencia federal, en los términos de los instrumentos de coordinación correspondientes.

ARTICULO 3. Para los efectos de este Reglamento se estará a las definiciones de conceptos que se contienen en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como a las siguientes:

- I. Dictámenes generales de impacto ambiental en materia forestal: Conjunto de políticas y medidas que emite la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, con base en criterios y estudios técnicos y científicos, para mantener la relación de interdependencia entre los elementos naturales que se presentan en una región, ecosistema territorial definido o en el hábitat de una especie determinada, con el propósito de preservar el equilibrio ecológico y proteger al ambiente, y que habrán de considerarse por las autoridades competentes, en la realización de estudios y el otorgamiento de permisos para llevar a cabo aprovechamientos forestales, cambio de uso de terrenos forestales, extracción de materiales de dichos terrenos y, en general, aquellas acciones que alteren la cubierta de suelos forestales, conforme al artículo 30 de la Ley;
- II. Estudio de riesgo: Documento mediante el cual se da a conocer, a partir del análisis de las acciones proyectadas para el desarrollo de una obra o actividad, los riesgos que dichas obras o actividades representen para el equilibrio ecológico o el ambiente, así como las medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas, tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar los efectos adversos al equilibrio ecológico en caso de un posible accidente, durante la ejecución y operación normal de la obra o actividad de que se trate;
- III. Ley: La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente;
- IV. Medidas de prevención y mitigación: Conjunto de disposiciones y acciones anticipadas, que tienen por objeto evitar o reducir los impactos ambientales que pudieran ocurrir en cualquier etapa de desarrollo de una obra o actividad;
- V. Secretaría. La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, y
- VI. Reglamento: El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Impacto Ambiental.

ARTICULO 4. En materia de impacto ambiental, compete a la Secretaría:

- I. Autorizar la realización de las obras o actividades públicas o de particulares a que se refieren los artículos 5 y 36 del Reglamento;
- II. Emitir dictámenes generales de impacto ambiental en materia forestal por regiones, ecosistemas territoriales definidos o para especies vegetales determinadas en los términos previstos por el artículo 30 de la Ley, para los efectos del artículo 50 de la Ley Forestal;
- III. Promover ante la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y las demás dependencias y autoridades competentes, la realización de estudios de impacto ambiental, previos al otorgamiento de autorizaciones para efectuar cambios de uso del suelo,

cuando existan elementos que permitan prever grave deterioro, de conformidad con la norma técnica ecológica aplicable, de los suelos afectados y del equilibrio ecológico;

- IV. Solicitar a la Secretaría de Pesca la realización de estudios de impacto ambiental, previos al otorgamiento de concesiones, permisos y en general, autorizaciones para la realización de actividades pesqueras, cuando el aprovechamiento de las especies ponga en peligro su preservación o pueda causar desequilibrio ecológico;
- V. Establecer los procedimientos, de carácter administrativo, necesarios para la consulta pública de los expedientes de evaluación de impacto ambiental en asuntos de su competencia, en los casos y con las modalidades previstas en el Reglamento;
- VI. Tener a su cargo el registro de los prestadores de servicios que realicen estudios de impacto ambiental y determinar los requisitos y procedimientos de carácter técnico que éstos deberán satisfacer para su inscripción;
- VII. Expedir los instructivos necesarios para la adecuada observancia del Reglamento;
- VIII. Prestar asistencia técnica a los gobiernos del Distrito Federal; de los Estados y de los Municipios, cuando así lo soliciten, para la evaluación de manifestaciones de impacto ambiental;
- IX. Vigilar el cumplimiento de las disposiciones del Reglamento y la observación de las resoluciones y dictámenes previstos en el mismo, en la esfera de su competencia e imponer las sanciones y demás medidas de control y de seguridad necesarias, con arreglo a las disposiciones legales y reglamentarias aplicables, y
- X. Las demás previstas en el Reglamento y en otras disposiciones aplicables.

ARTICULO 5. Deberán contar con previa autorización de la Secretaría, en materia de impacto ambiental, las personas físicas o morales que pretendan realizar obras o actividades, públicas o privadas, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger al ambiente, así como cumplir los requisitos que se les impongan, tratándose de las materias atribuidas a la Federación por los artículos 5o. y 29 de la Ley, particularmente las siguientes:

- I. Obra Pública federal, como la definen la Ley de Obras Públicas y el Reglamento de la Ley de Obras Publicas, que se realicen por administración directa o por contrato, con las siguientes excepciones:
 - a) Construcción, instalación y demolición de bienes inmuebles en áreas urbanas;
 - b) Conservación, reparación y mantenimiento de bienes inmuebles, y
 - c) Modificación de bienes inmuebles, cuando ésta pretenda llevarse a cabo en la superficie del terreno ocupada por la instalación o construcción de que se trate.

Las excepciones previstas en los incisos anteriores sólo tendrán efecto cuando para la realización de tales actividades, se cuente con el permiso, licencia o autorización necesaria que provenga de autoridad competente;

- II. Obras hidráulicas, con las siguientes excepciones:
 - a) Presas para riego y control de avenidas con capacidad menos de quinientos mil metros cúbicos;
 - b) Unidades hidroagrícolas menores de cien hectáreas;
 - c) Pozos (aislados);

IMPACTO AMBIENTAL

- d) Bordos;
 - e) Captación a partir de cuerpos de aguas naturales, con la que se pretenda extraer hasta el diez por ciento del volumen anual;
 - f) Las que pretendan ocupar una superficie menor a cien hectáreas;
 - g) Las de rehabilitación, y
 - h) Cuando se trate de obras previstas en el artículo 56 fracción I de la Ley de Obras Públicas;
- III. Vías generales de comunicación, únicamente en los siguientes casos:
- a) Puentes, escolleras, puertos, viaductos marítimos y rellenos para ganar terrenos al mar, actividades de dragado y bocas de intercomunicación lagunar marítimas;
 - b) Trazo y tendido de líneas ferroviarias, incluyendo puentes ferroviarios para atravesar cuerpos de agua;
 - c) Carreteras y puentes federales, y
 - d) Aeropuertos.
- IV. Oleoductos, gasoductos y carboconductos;
- V. Industrias química y petroquímica, siderúrgica, papelera, azucarera de bebidas, del cemento, automotriz y de generación y transmisión de electricidad;
- VI. Exploración, extracción, tratamiento y refinación de sustancias minerales y no minerales reservadas a la Federación, con excepción de las actividades de prospección gravimétrica, geológica superficial, geotérmica, magnetotérmica de susceptibilidad magnética y densidad;
- VII. Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos;
- VIII. Desarrollos turísticos federales;
- IX. Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos radioactivos, con la participación que corresponda a la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal;
- X. Aprovechamientos forestales de bosques y selvas tropicales y especies de difícil regeneración, de conformidad con lo previsto en los artículos 28, 29 fracción VII, y 30 de la Ley;
- XI. Obras o actividades que por su naturaleza y complejidad requieran de la participación de la Federación, a petición de las autoridades estatales o municipales correspondientes;
- XII. Actividades consideradas altamente riesgosas, en los términos del artículo 146 de la Ley, y
- XIII. Cuando la obra o actividad que pretenda realizarse pueda afectar el equilibrio ecológico de dos o más entidades federativas o de otros países o zonas de jurisdicción internacional.

Las excepciones enunciadas en este artículo no tendrán efecto, si la obra o actividad se pretende desarrollar en áreas naturales protegidas de interés de la Federación, de las que se relacionan en el artículo 46 de la Ley o en zonas respecto de las cuales se hubieren expedido

las declaratorias a que se refiere el artículo 105 de la Ley.

En las materias de competencia local que prevén los artículos 6o, 9o y 31 de la Ley, las autorizaciones en materia de impacto ambiental serán expedidas por las autoridades competentes de los Estados, los Municipios o del Distrito Federal, en los términos de la Ley, las leyes locales y los demás ordenamientos aplicables.

Capítulo II

Del procedimiento de evaluación del impacto ambiental

ARTICULO 6. Para obtener la autorización a que se refiere el artículo 5o del Reglamento, el interesado, en forma previa a la realización de la obra o actividad de que se trate, deberá presentar a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental.

En el caso de obras o actividades consideradas como altamente riesgosas, además de lo dispuesto en el párrafo anterior, deberá presentarse a la Secretaría un estudio de riesgo en los términos previstos por los ordenamientos que rijan dichas actividades.

ARTICULO 7. Cuando quien pretenda realizar una obra o actividad de las que requieran autorización previa conforme a lo dispuesto por el artículo 5o del Reglamento, considere que el impacto ambiental de dicha obra o actividad no causará desequilibrio ecológico, ni rebasará los límites y condiciones señalados en los reglamentos y normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger al ambiente, antes de dar inicio a la obra o actividad de que se trate podrá presentar a la Secretaría un informe preventivo para los efectos que se indican en este artículo.

Una vez analizado el informe preventivo, la Secretaría comunicará al interesado si procede o no la presentación de una manifestación de impacto ambiental, así como la modalidad conforme a la que debe formularse, y le informará de las normas técnicas ecológicas existentes, aplicables para la obra o actividad de que se trate.

ARTICULO 8. El informe preventivo a que se refiere el artículo anterior se formulará conforme a los instructivos que para ese efecto expida la Secretaría, y deberá contener al menos, la siguiente información:

- I. Datos generales de quien pretenda realizar la obra o actividad proyectada o, en su caso, de quien hubiere ejecutado los proyectos o estudios previos correspondientes;
- II. Descripción de la obra o actividad proyectada, y
- III. Descripción de las sustancias o productos que vayan a emplearse en la ejecución de la obra o actividad proyectada, y los que en su caso vayan a obtenerse como resultado de dicha obra o actividad, incluyendo emisiones a la atmósfera, descargas de aguas residuales y tipo de residuos y procedimientos para su disposición final.

De resultar insuficiente la información proporcionada, la Secretaría podrá requerir a los interesados la presentación de información complementaria.

ARTICULO 9. Las manifestaciones de impacto ambiental se podrán presentar en las siguientes modalidades:

- I. General B
- II. Intermedia, o III
- III. Específica. VI

En los casos del artículo 5o del Reglamento, el interesado en realizar la obra o actividad proyectada, deberá presentar una manifestación general de impacto ambiental.

IMPACTO AMBIENTAL

La manifestación de impacto ambiental, en sus modalidades intermedia o específica, se presentará a requerimiento de la Secretaría, cuando las características de la obra o actividad, su magnitud o considerable impacto en el ambiente, o las condiciones del sitio en que pretenda desarrollarse, hagan necesarias la presentación de diversa y más precisa información.

Los instructivos que al efecto formule la Secretaría, precisarán el contenido y los lineamientos para desarrollar y presentar la manifestación de impacto ambiental, de acuerdo a la modalidad de que se trate.

ARTICULO 10. La manifestación de impacto ambiental en su modalidad general deberá contener como mínimo la siguiente información en relación con el proyecto de obra o actividad de que se trate:

- I. Nombre, denominación o razón social, nacionalidad, domicilio y dirección de quien pretenda llevar a cabo la obra o actividad objeto de la manifestación.
- II. Descripción de la obra o actividad proyectada, desde la etapa de selección del sitio para la ejecución de la obra en el desarrollo de la actividad; la superficie del terreno requerido; el programa de construcción, montaje de instalaciones y operación correspondiente; el tipo de actividad, volúmenes de producción previstos, e inversiones necesarias; la clase y cantidad de recursos naturales que habrán de aprovecharse, tanto en la etapa de construcción como en la operación de la obra o el desarrollo de la actividad; el programa para el manejo de residuos, tanto en la construcción y montaje como durante la operación o desarrollo de la actividad; y el programa para el abandono de las obras o el cese de las actividades;
- III. Aspectos generales del medio natural y socioeconómico del área donde pretenda desarrollarse la obra o actividad;
- IV. Vinculación con las normas y regulaciones sobre uso del suelo en el área correspondiente;
- V. Identificación y descripción de los impactos ambientales que ocasionaría la ejecución del proyecto o actividad, en sus distintas etapas, y
- VI. Medidas de prevención y mitigación para los impactos ambientales identificados en cada una de las etapas.

ARTICULO 11. La manifestación de impacto ambiental, en su modalidad intermedia, además de ampliar la información a que se refieren los fracciones II y III del artículo anterior, deberá contener la descripción del posible escenario ambiental modificado por la obra o actividad de que se trate, así como las adecuaciones que procedan a las medidas de prevención y mitigación propuestas en la manifestación general.

ARTICULO 12. La manifestación de impacto ambiental, en su modalidad específica, deberá contener como mínimo la siguiente información en relación con el proyecto de obra o actividad de que se trate:

- I. Descripción detallada y justificación de la obra o actividad proyectada, desde la etapa de selección del sitio, hasta la terminación de las obras o el cese de la actividad, ampliando la información a que se refiere la fracción II del artículo 10 del Reglamento;
- II. Descripción del escenario ambiental, con anterioridad a la ejecución del proyecto;
- III. Análisis y determinación de la calidad, actual y proyectada, de los factores ambientales en el entorno del sitio en que se pretende desarrollar la obra o actividad proyectada en sus distintas etapas;
- IV. Identificación y evaluación de los impactos ambientales que ocasionaría la ejecución del proyecto, en sus distintas etapas;

- V. Determinación del posible escenario ambiental resultante de la ejecución del proyecto, incluyendo las variaciones en la calidad de los factores ambientales, y
- VI. Descripción de las medidas de prevención y mitigación para reducir los impactos ambientales adversos identificados en cada una de las etapas de la obra o actividad, y el programa de recuperación y restauración del área impactada, al concluir la vida útil de la obra o al término de la actividad correspondiente.

ARTICULO 13. La Secretaría podrá requerir al interesado información adicional que complemente la comprendida en la manifestación de impacto ambiental, cuando esta no se presente con el detalle que haga posible su evaluación

Cuando así lo considere necesario, la Secretaría podrá solicitar además, los elementos técnicos que sirvieron de base para determinar tanto los impactos ambientales que generaría la obra o actividad de que se trate, así como las medidas de prevención y mitigación previstas.

La Secretaría evaluará la manifestación de impacto ambiental cuando esta se ajuste a lo previsto en el Reglamento y su formulación se sujete a lo que establezca el instructivo correspondiente.

ARTICULO 14. La Secretaría evaluará la manifestación de impacto ambiental en su modalidad general, y en su caso la información complementaria requerida, y dentro de los 30 días hábiles siguientes a su presentación, o los siguientes 45 días hábiles, cuando requiera el dictamen técnico a que se refiere el artículo 19 del Reglamento:

- I. Dictará la resolución de evaluación correspondiente, o
- II. Requerirá la presentación de nueva manifestación de impacto ambiental en su modalidad intermedia o específica.

ARTICULO 15. La Secretaría evaluará la manifestación de impacto ambiental en su modalidad intermedia o específica y en su caso la información complementaria requerida, y dentro de los 60 días hábiles siguientes, tratándose de la modalidad intermedia, o dentro de los siguientes 90 días hábiles, cuando se trate de la manifestación de impacto ambiental en su modalidad específica:

- I. Dictará la resolución de evaluación correspondiente, o
- II. Requerirá la presentación de una manifestación de impacto ambiental en su modalidad específica, cuando hubiere sido presentada una manifestación en su modalidad intermedia.

Los plazos para emitir la resolución a que se refiere este artículo, podrán ampliarse hasta en 30 días hábiles, cuando la Secretaría requiera el dictamen técnico a que se refiere el artículo 19 del Reglamento.

ARTICULO 16. En la evaluación de toda manifestación de impacto ambiental, se considerarán entre otros, los siguientes elementos:

- I. El ordenamiento ecológico;
- II. Las declaratorias de áreas naturales protegidas;
- III. Los criterios ecológicos para la protección de la flora y la fauna silvestres y acuáticas; para el aprovechamiento racional de los elementos naturales; y para la protección al ambiente;
- IV. La regulación ecológica de los asentamientos humanos, y
- V. Los reglamentos y normas técnicas ecológicas vigentes en las distintas materias que regula la Ley, y demás ordenamientos legales en la materia.

ARTICULO 17. En la evaluación de manifestaciones de impacto ambiental de obras o actividades que pretendan desarrollarse en áreas naturales protegidas de interés de la Federación, se considerará además de lo dispuesto en el artículo anterior, lo siguiente:

IMPACTO AMBIENTAL

- I. Lo que establezcan las disposiciones que regulen al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas;
- II. Las normas generales de manejo para áreas naturales protegidas;
- III. Lo establecido en el programa de manejo del área natural protegida correspondiente, y
- IV. Las normas técnicas ecológicas específicas, del área considerada.

ARTICULO 18. En el caso de que las obras o actividades a que se refiere el artículo 5o del Reglamento pretendan desarrollarse en áreas naturales protegidas de interés de la Federación en los términos del artículo 46 de la Ley, el instructivo que al efecto expida la Secretaría determinará los estudios ecológicos sobre el hábitat, la flora y la fauna silvestres y acuáticas y otros elementos del ecosistema, que deberán considerarse para la formulación de la manifestación de impacto ambiental.

ARTICULO 19. Para la evaluación de la manifestación de impacto ambiental de obras o actividades que por sus características hagan necesaria la intervención de otras dependencias o entidades de la Administración Pública Federal, la Secretaría podrá solicitar a éstas la formulación de un dictamen técnico al respecto.

ARTICULO 20. Una vez evaluada la manifestación de impacto ambiental de la obra o actividad de que se trate, presentada en la modalidad que corresponda, la Secretaría formulará y comunicará a los interesados la resolución correspondiente, en la que podrá:

- I. Autorizar la realización de la obra o actividad en los términos y condiciones señalados en la manifestación correspondiente;
- II. Autorizar la realización de la obra o actividad proyectada, de manera condicionada a la modificación o relocalización del proyecto, o
- III. Negar dicha autorización.

En los casos de las fracciones I y II de este artículo, la Secretaría precisará la vigencia de las autorizaciones correspondientes. La ejecución de la obra o la realización de la actividad de que se trate, deberá sujetarse a lo dispuesto en la resolución respectiva. En uso de sus facultades de inspección y vigilancia la Secretaría podrá verificar, en cualquier momento, que la obra o actividad de que se trate, se esté realizando o se haya realizado de conformidad con lo que disponga la autorización respectiva, y de manera que se satisfagan los requisitos establecidos en los ordenamientos y normas técnicas ecológicas aplicables.

ARTICULO 21. Todo interesado que desista de ejecutar una obra o realizar una actividad sometida a autorización en materia de impacto ambiental, deberá comunicarlo así en forma escrita a la Secretaría:

- I. Durante el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, previo al otorgamiento de la autorización correspondiente, o
- II. Al momento de suspender la realización de la obra o actividad, si ya se hubiere otorgado la autorización del impacto ambiental respectiva. En este caso, deberán adoptarse las medidas que determine la Secretaría, a efecto de que no se produzcan alteraciones nocivas al equilibrio ecológico o al ambiente.

ARTICULO 22. Si con anterioridad a que se dicte la resolución a que se refiere el artículo 20 del Reglamento, se presentaren cambios o modificaciones en el proyecto descrito en la manifestación de impacto ambiental, el interesado lo comunicará así a la Secretaría, para que ésta determine si procede o no la formulación de una nueva manifestación de impacto ambiental, y en su caso la modalidad en que deba presentarse. La Secretaría comunicará dicha resolución a los interesados a partir de haber recibido el aviso de cambio o modificación de que se trate, dentro de un plazo de:

- I. Quince días hábiles en el caso de una manifestación de impacto ambiental en su modalidad general;
- II. Treinta días hábiles, cuando la última manifestación de impacto ambiental presentada corresponda a la modalidad intermedia, o si fue requerido el dictamen técnico de otra dependencia o entidad a que se refiere el artículo 19 del Reglamento, y
- III. Cuarenta y cinco días hábiles cuando la última manifestación de impacto ambiental corresponda a la modalidad específica.

ARTICULO 23. En los casos en que una vez otorgada la autorización de impacto ambiental a que se refiere el artículo 20 del Reglamento, por caso fortuito o fuerza mayor llegaren a presentarse causas supervenientes de impacto ambiental no previstas en las manifestaciones formuladas por los interesados, la Secretaría podrá en cualquier tiempo evaluar nuevamente la manifestación de impacto ambiental de que se trate. En tales casos la Secretaría requerirá al interesado la presentación de la información adicional que fuere necesaria para evaluar el impacto ambiental de la obra o actividad respectiva.

La Secretaría podrá revalidar la autorización otorgada y modificarla, suspenderla o revocarla, si estuviere en riesgo el equilibrio ecológico o se produjeran afectaciones nocivas imprevistas en el ambiente.

En tanto la Secretaría dicte la resolución a que se refiere el párrafo anterior, previa audiencia que otorgue a los interesados, podrá ordenar la suspensión temporal, parcial o total, de la obra o actividad correspondiente, en los casos de peligro inminente de desequilibrio ecológico, o de contaminación con repercusiones peligrosas para los ecosistemas, sus componentes o la salud pública.

ARTICULO 24. Sin perjuicio de lo establecido en la Ley Reglamentaria del artículo 27 Constitucional en materia nuclear, y en cumplimiento de lo que se previene en el artículo 154 de la Ley, la Secretaría realizará la evaluación de la manifestación del impacto ambiental de las obras o actividades relacionadas con la energía nuclear, que puedan causar desequilibrios ecológicos, o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger al ambiente, excepto en los casos de usos no energéticos cuando se trate de utilización de material radiactivo con propósitos industriales, médicos, agrícolas o de investigación.

ARTICULO 25. Quienes para la realización de las obras o actividades a que se refiere el artículo 5o del Reglamento, lleven a cabo por cuenta de terceros los proyectos o estudios previos necesarios, deberán prever en dichos proyectos o estudios, lo conducente, a efecto de que se dé cumplimiento a lo establecido en el Reglamento y en los demás ordenamientos y normas técnicas ecológicas para la protección al ambiente.

Capítulo III

Del impacto ambiental de los aprovechamientos forestales

ARTICULO 26. La Secretaría emitirá dictámenes generales de impacto ambiental en materia forestal en los términos del artículo 30 de la Ley, y los dará a conocer a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la que proveerá a su aplicación mediante los medios legales de que disponga para asegurar la observancia de las políticas y medidas que en los mismos se precisen, y los considerará en el otorgamiento de permisos y autorizaciones de aprovechamiento forestal, cambio de uso de terrenos forestales, extracción de materiales de dichos terrenos y en general, aquellas acciones que alteren la cubierta de los suelos forestales.

En los permisos y autorizaciones a que se refiere el párrafo anterior, deberán señalarse expresamente las medidas derivadas del dictamen general de impacto ambiental en materia forestal que resulten aplicables.

ARTICULO 27. Los dictámenes generales de impacto ambiental sobre aprovechamiento forestal, cambio de usos de terrenos forestales o extracción de materiales de dichos terrenos, se emitirán por regiones, ecosistemas territoriales definidos, o por especies vegetales determinadas.

ARTICULO 28. Los dictámenes generales de impacto ambiental en materia forestal deberán fundamentarse en los criterios y estudios técnicos y científicos que para el efecto formula la Secretaría y en los criterios que, en su caso, hubiese aportado o en los estudios que hubiese realizado la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, con arreglo a la legislación forestal y los demás ordenamientos que de ella se deriven, sobre la región, ecosistema o especie vegetal que se determine. Los dictámenes generales de impacto ambiental en materia forestal precisarán las medidas de prevención, mejoramiento, preservación, restauración y control que procedan para la región, ecosistema o especie de que se trate, así como la vigencia de las mismas.

ARTICULO 29. La Secretaría emitirá restricciones de protección ecológica para el aprovechamiento de los recursos forestales. Dichas restricciones se harán del conocimiento de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la que proveerá a su aplicación mediante los medios legales a su alcance, necesarios para asegurar la observación de las limitaciones que sobre aprovechamientos forestales en las propias restricciones de protección ecológica se precisen.

ARTICULO 30. Las restricciones de protección ecológica a que se refiere el artículo anterior se emitirán por la Secretaría tomando en consideración los estudios que elabore y los que se incorporen a los dictámenes generales de impacto ambiental que en su caso formule.

Dichas restricciones se darán a conocer a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en atención a los avisos de acción preliminar que deban presentar ante la Secretaría los interesados en obtener permisos o autorización para aprovechamientos forestales.

IMPACTO AMBIENTAL

ARTICULO 31. Recibidos los avisos de acción preliminar que le presenten los interesados en obtener permisos forestales de aprovechamientos persistentes, para productos no maderables, o para aprovechamientos especiales o únicos, y satisfechos los requerimientos adicionales de información que en su caso la Secretaría hubiere formulado, dicha Secretaría procederá a la evaluación correspondiente. En un plazo no mayor de 30 días a partir de la presentación del aviso preliminar de que se trate, o a partir de que le sea presentada la información complementaria requerida, la Secretaría dará a conocer al interesado las restricciones de protección ecológica aplicables al aprovechamiento forestal de que se trate, de acuerdo a los estudios que formule y los que se incorporen a los dictámenes generales de impacto ambiental que en su caso emita.

Las restricciones de protección ecológica comunicadas por la Secretaría conforme al párrafo que antecede, serán incorporadas por los interesados en el Programa de Manejo Integral Forestal o en los estudios técnicos justificados que presenten ante las autoridades correspondientes para la obtención de los permisos forestales de aprovechamiento de que se trate. Si transcurrido el plazo a que se refiere el párrafo anterior, la Secretaría no hubiere comunicado las restricciones ecológicas aplicables, se entenderá que los aprovechamientos forestales descritos en el aviso de acción preliminar podrán llevarse a cabo previo permiso de la autoridad forestal competente, siempre y cuando los interesados apliquen las medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales que se hubieren incluido en el aviso de acción preliminar respectivo, conforme a lo que establece la fracción VI del artículo 32 del Reglamento.

En las restricciones de protección ecológica se establecerán las limitaciones con arreglo a las cuales puedan llevarse a cabo los aprovechamientos forestales de manera que se haga un uso racional de esos recursos, se eviten alteraciones graves al equilibrio ecológico y no se causen daños al ambiente.

Los permisos y en general las autorizaciones de aprovechamiento forestal deberán expresar las normas técnicas y las restricciones de protección ecológica que rijan los aprovechamientos y la protección ecológica.

ARTICULO 32. Los avisos de acción preliminar deberán contener como mínimo la siguiente información:

- I. Datos generales de identificación del interesado;
- II. Descripción del aprovechamiento proyectado;
- III. Estudio dasonómico y socioeconómico del área donde pretenda realizarse el aprovechamiento de que se trate;
- IV. Identificación y descripción de los impactos ambientales que ocasionaría el aprovechamiento forestal correspondiente, en sus distintas etapas;
- V. Descripción del posible escenario ambiental modificado;
- VI. Medidas de prevención y mitigación para los impactos ambientales identificados en cada una de las etapas, y
- VII. El programa de recuperación y restablecimiento de las condiciones que propicien la evolución y continuidad de los procesos naturales.

ARTICULO 33. Cuando los avisos de acción preliminar correspondan a permisos de aprovechamiento forestal de bosques y selvas tropicales y especies de difícil regeneración, los interesados deberán presentar a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental en su modalidad general respecto de dicho aprovechamiento, en los términos previstos en el artículo 10 del Reglamento, adicionándole la información que para aprovechamientos forestales se precisa en el artículo 32 del propio Ordenamiento. La Secretaría podrá requerir a los interesados la presentación de información complementaria, cuando la proporcionada no fuere suficiente para llevar a cabo la evaluación correspondiente.

ARTICULO 34. Recibida la manifestación de impacto ambiental a que se refiere el artículo anterior y, en su caso, la información complementaria que hubiese requerido, la Secretaría procederá a su evaluación y dentro de los treinta días hábiles siguientes:

- I. Dictará la resolución de evaluación correspondiente, o
- II. Requerirá la presentación de nueva manifestación de impacto ambiental en su modalidad intermedia o específica.

Para la presentación y evaluación de la manifestación de impacto ambiental a que se refiere este artículo, serán aplicables en lo conducente las disposiciones contenidas en el capítulo II del Reglamento.

ARTICULO 35. No podrán autorizarse aprovechamientos forestales de bosques y selvas tropicales, ni de especies forestales de difícil regeneración, sin la previa autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental, otorgada en los términos de las disposiciones precedentes.

La Secretaría, considerando la opinión de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, determinará los bosques y selvas tropicales y las especies forestales de difícil regeneración que habrán de considerarse para efectos de lo establecido en este capítulo.

Capítulo IV

Del impacto ambiental en áreas naturales protegidas de interés de la Federación.

ARTICULO 36. Deberán contar con autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental las personas, físicas o morales, que con fines de naturaleza económica pretendan realizar actividades de exploración, explotación o aprovechamiento de recursos naturales, o de repoblamiento, traslocación, recuperación, trasplante o siembra de especies de flora o fauna, silvestres o acuáticas, en áreas naturales protegidas de interés de la Federación comprendidas en las fracciones I a VII del artículo 46 de la Ley, cuando conforme a las declaratorias respectivas corresponda a la Secretaría coordinar o llevar a cabo la conservación, administración, desarrollo y vigilancia de las áreas de que se trate.

ARTICULO 37. Los interesados en obtener la autorización a que se refiere el artículo anterior, en forma previa a la realización de la actividad de que se trate, presentarán a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental. Dicha manifestación se formulará de acuerdo a los instructivos que al efecto expida la Secretaría, conforme a lo previsto en el artículo 18 del Reglamento.

ARTICULO 38. La Secretaría evaluará la manifestación de impacto ambiental, y dentro de los sesenta días hábiles siguientes a su presentación, emitirá la resolución correspondiente conforme a lo dispuesto por el artículo 20 del Reglamento y para los efectos que en la misma disposición se prevén.

Capítulo V

De la consulta a los expedientes

ARTICULO 39. Presentada una manifestación de impacto ambiental de competencia federal y satisfechos los requerimientos de información que en su caso se hubiesen formulado, se publicará en la "Gaceta Ecológica" un aviso respecto de la presentación de la manifestación de que se trate. Los derechos que procedan por dicha publicación serán cubiertos previamente por quienes hayan solicitado la evaluación de impacto ambiental correspondiente.

Una vez integrada la documentación a que se refiere el párrafo anterior y hecha la publicación mencionada, cualquier persona podrá consultar el expediente correspondiente. Para efectos de lo dispuesto en este artículo, se entenderá por expediente la documentación consistente en la manifestación de impacto ambiental de que se trate, la información adicional que en su caso se hubiere presentado y la resolución de la Secretaría en la que comunique la evaluación respectiva.

La manifestación de impacto ambiental y sus anexos o ampliación de información se presentarán ante la Secretaría en original y tres copias. La copia para consulta del público contendrá únicamente la información que podrá ser consultada en los términos del artículo 33 de la Ley, manteniendo en reserva la información que, de hacerse pública, pudiera afectar derechos de propiedad industrial o intereses lícitos mercantiles. A solicitud del interesado dicha copia deberá ostentar en lugar visible la leyenda: "Para consulta del público".

La Secretaría podrá requerir al interesado justifique la existencia de los derechos de propiedad industrial o intereses lícitos mercantiles invocados para mantener en reserva información que haya sido integrada al expediente.

ARTICULO 40. La consulta de los expedientes podrá realizarse previa identificación del interesado, en horas y días hábiles, en el local que para dicho efecto establezca la unidad administrativa de la Secretaría que tenga a su cargo la atribución de evaluar la manifestación de impacto ambiental.

ARTICULO 41. Cualquier persona que considere que en la realización de obras o actividades que se estén llevando a cabo se excedan los límites y condiciones establecidas en los reglamentos y normas técnicas ecológicas emitidas para la protección del ambiente, podrá solicitar a la Secretaría, en materias de su competencia, que considere la procedencia de requerir a quienes lleven a cabo dicha obra o actividad, la presentación de una manifestación de impacto ambiental respecto de tales obras o actividades.

En la solicitud se incluirán los datos de identificación del solicitante, así como la información que permita localizar el lugar en que se está ejecutando la obra o realizando la actividad respectiva, e identificar a quien la lleve a cabo.

ARTICULO 42. Recibida la solicitud a que se refiere el artículo anterior, y calificada ésta como procedente por la Secretaría, esta última

IMPACTO AMBIENTAL

identificará al denunciante y, en su caso, hará tal solicitud del conocimiento de la persona o personas a quienes se imputen los hechos denunciados, y las requerirá para que en un plazo no mayor de quince días hábiles a partir de la notificación correspondiente manifiesten lo que a su derecho convenga en relación a la solicitud formulada, así como si son ciertos los hechos que en la misma se describan. La Secretaría podrá llevar a cabo verificaciones que procedan, y requerir a quienes realicen las obras o actividades denunciadas para que presenten un informe al respecto. Copia de los requerimientos se remitirá al denunciante, quien a partir de ese momento podrá consultar el expediente.

La Secretaría analizará la contestación y, en su caso, el informe que se prevé en el párrafo anterior y en un plazo no mayor de treinta días hábiles, comunicará a la persona requerida si procede o no la presentación de una manifestación de impacto ambiental, así como la modalidad y el plazo en que deba presentarse. En tanto la Secretaría comunique dicha resolución, previa audiencia de los interesados podrá ordenar como medida de seguridad, la suspensión de la ejecución de la obra o actividad denunciada, cuando exista riesgo inminente de desequilibrio ecológico, casos de contaminación con repercusiones peligrosas para los ecosistemas, sus componentes, o la salud pública o afectaciones graves al ambiente, independientemente de las sanciones administrativas que en su caso procedan, en los términos del Reglamento.

Capítulo VI

Del registro de los prestadores de servicios consistentes en la realización de estudios de impacto ambiental

ARTICULO 43. La Secretaría establecerá un registro nacional al que deberán inscribirse los prestadores de servicios que realicen estudios de impacto ambiental.

Los interesados en inscribirse en el registro a que se refiere el párrafo anterior presentarán ante la Secretaría una solicitud con información y documentos siguientes:

- I. Nombre, nacionalidad y domicilio del solicitante;
- II. Los documentos que acrediten la experiencia y capacidad técnica del interesado para la realización de estudios de impacto ambiental, y
- III. Los demás documentos e información que en su caso requiera la Secretaría.

La Secretaría podrá practicar las investigaciones necesarias para verificar la capacidad y aptitud de los prestadores de servicios para realizar las manifestaciones de impacto ambiental que establecen la Ley y el Reglamento.

ARTICULO 44. Recibida la solicitud a que se refiere el artículo anterior, la Secretaría, en un plazo que no excederá de quince días hábiles contados a partir de la fecha en que se presente la solicitud, resolverá sobre la inscripción en el registro del prestador de servicios de que se trate.

ARTICULO 45. La Secretaría podrá cancelar el registro de los prestadores de servicios que realicen estudios de impacto ambiental por cualesquiera de las siguientes causas:

- I. Por haber proporcionado información falsa o notoriamente incorrecta para su inscripción en el registro nacional de prestadores de servicios en materia de impacto ambiental.
- II. Por incluir información falsa o incorrecta en los estudios o manifestaciones de impacto ambiental que realicen;
- III. Por presentar de tal manera la información de las manifestaciones o estudios de impacto ambiental que realicen, que se induzca a la autoridad competente a error la incorrecta apreciación en la evaluación a su inscripción.

ARTICULO 46. Se requerirá que el prestador de servicios esté inscrito en el registro nacional correspondiente para que la Secretaría reconozca validez y evalúa los estudios y manifestaciones de impacto ambiental que formulen.

Capítulo VII

Medidas de control y de seguridad y sanciones

ARTICULO 47. Las infracciones de carácter administrativo a los preceptos de la Ley y el Reglamento, serán sancionadas por la Secretaría en asuntos de competencia federal conforme a lo que establece el Reglamento, con una o más de las siguientes sanciones:

- I. Multa por el equivalente de veinte a veinte mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal en el momento de imponer la sanción;
- II. Clausura temporal o definitiva, parcial o total;
- III. Suspensión o revocación de la autorización en materia de impacto ambiental, otorgada para la realización de una obra o actividad de las previstas en los artículos 5 y 36 del Reglamento, y
- IV. Arresto administrativo hasta por treinta y seis horas.

Si una vez impuestas las sanciones a que se refieren los párrafos anteriores, y vencido el plazo, en su caso, concedido para subsanar la o las infracciones cometidas, resultare que dicha infracción o infracciones aún subsistieran, podrán imponerse multas por cada día que transcurra sin obedecer el mandato, sin que el total de las multas que en estos casos se impongan, excedan de veinte mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal en el momento de imponer la sanción.

En caso de reincidencia, el monto de la multa podrá ser hasta por dos veces el monto originalmente impuesto, sin exceder del doble del máximo permitido.

En los casos en que el infractor solucionare la causa que dio origen al desequilibrio ecológico o deteriore al ambiente, la Secretaría podrá modificar o revocar la sanción impuesta.

ARTICULO 48. La Secretaría podrá realizar los actos de inspección y vigilancia necesarios para verificar la debida observancia del Reglamento, así como de las restricciones de protección ecológica o las medidas derivadas de dictámenes generales de impacto ambiental que hubiere emitido, y que se encontraren vigentes en las áreas o zonas en donde se lleven a cabo aprovechamientos forestales. Para los efectos establecidos en este artículo, la Secretaría estará a lo que dispongan los ordenamientos contenidos en el Título Sexto de la Ley.

ARTICULO 49. Cuando por cualquier causa no se lleve a cabo una obra o actividad en los términos de la autorización otorgada en materia de impacto ambiental, la Secretaría ordenará o solicitará en su caso y para los efectos del artículo 172 de la Ley, la suspensión de la ejecución de la obra o de la realización de la actividad de que se trate, y procederá a evaluar las causas y consecuencias del incumplimiento a fin de, en su caso, imponer las sanciones administrativas que correspondan, sin perjuicio de otras acciones legales que procedan.

ARTICULO 50. El incumplimiento de las restricciones de protección ecológica emitidas por la Secretaría, y que se hubieren incorporado a los permisos de aprovechamiento forestal correspondientes, se sancionará en los términos de la Ley Forestal y su Reglamento, con la suspensión o revocación del permiso de que se trate, que llevará a cabo la autoridad forestal competente a solicitud de la Secretaría.

ARTICULO 51. Las infracciones en asuntos de competencia de las entidades federativas y de los municipios, serán sancionadas administrativamente por las autoridades estatales, municipales o del Distrito Federal dentro de sus respectivas circunscripciones territoriales, conforme a lo dispuesto por los ordenamientos locales aplicables.

Artículos Transitorios

ARTICULO PRIMERO. El presente Reglamento entrará en vigor al día siguiente al de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

ARTICULO SEGUNDO. Los procedimientos y recursos administrativos que estuvieren en curso al entrar en vigor el Reglamento, se continuarán conforme a las disposiciones que les dieron origen.

ARTICULO TERCERO. Hasta en tanto la Secretaría expida los instructivos a que se refiere el presente Reglamento, los interesados en llevar a cabo procedimientos conforme al mismo, presentarán por escrito además de la información que en este ordenamiento se señale la que en su oportunidad les requiera la Secretaría.

ARTICULO CUARTO. Cuando se estén llevando a cabo aprovechamientos forestales de bosques y selvas tropicales y especies forestales

IMPACTO AMBIENTAL

de difícil regeneración, en los que a juicio de la Secretaría exista un riesgo inminente de daños a los ecosistemas conforme a lo previsto por la fracción VII del artículo 29 de la Ley, dicha Secretaría requerirá a los titulares de los permisos o autorizaciones de aprovechamiento de que se trate, para que en un plazo no mayor de quince días hábiles a partir de la fecha en que surta efectos la notificación correspondiente, le presenten una manifestación de impacto ambiental en su modalidad general respecto del aprovechamiento correspondiente.

Presentada la manifestación de impacto ambiental y, en su caso, satisfechos los requerimientos de información que hubiere formulado, la Secretaría procederá a la evaluación correspondiente. En la resolución que formule, identificará y evaluará los impactos ambientales adversos que en forma inminente se vayan a ocasionar y señalará las medidas preventivas y correctivas que deban llevarse a cabo para evitar tales impactos, pudiendo solicitar ante las autoridades forestales competentes la revocación, modificación o suspensión del permiso de aprovechamiento de que se trate.

ARTICULO QUINTO. En los casos de obras o actividades que se estén realizando al momento de iniciarse la vigencia del presente ordenamiento, siempre que se trate de las comprendidas en el artículo 5o del Reglamento y que produzcan desequilibrios ecológicos o rebasen los límites y condiciones señalados en los reglamentos y normas técnicas ecológicas emitidos para proteger al ambiente, la Secretaría podrá requerir a quienes pertenezcan o las lleven a cabo, para que presenten una manifestación de impacto ambiental en su modalidad general, dentro de un plazo no mayor de treinta días hábiles a partir de la notificación del requerimiento respectivo.

Presentada la manifestación de impacto ambiental y, en su caso, satisfechos los requerimientos de información que hubiere efectuado, la Secretaría procederá a la evaluación correspondiente. En la resolución que formule, identificará y evaluará los impactos ambientales adversos que se ocasionen y señalará las medidas preventivas y correctivas que deban llevarse a cabo para reducir y abatir tales impactos.

ARTICULO SEXTO. Hasta en tanto las legislaturas locales dicten las leyes y, en su caso, los ayuntamientos las ordenanzas, reglamentos y bandos de policía y buen gobierno, para regular el impacto ambiental respecto de obras o actividades que conforme a la Ley son de competencia de Estados y Municipios, corresponderá a la Federación aplicar el Reglamento en el ámbito local, coordinándose para ello con las autoridades estatales y, con su participación, con los municipios que corresponda, según el caso.

Dada en la residencia del Poder Ejecutivo Federal, en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los seis días del mes de junio de mil novecientos ochenta y ocho. Miguel de la Madrid H. Rúbrica. El Secretario de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Fernando Hiriart Balderrama. Rúbrica. El Secretario de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Eduardo Pesqueira Olea. Rúbrica. El Secretario de Comunicaciones y Transportes, Daniel Díaz Díaz. Rúbrica. El Secretario de Desarrollo urbano y Ecología, Manuel Camacho Solís. Rúbrica. El Secretario de la Reforma Agraria, Rafael Rodríguez Barrera. Rúbrica. El Secretario de Turismo Antonio Enríquez Savignac. Rúbrica. El Secretario de Pesca, Pedro Ojeda Paullada. Rúbrica.

APENDICE D

RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS PUBLICADAS SOBRE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA

NO. DE LA NORMA	AMBIENTE DE LA NORMA	GRUPO DE LA NORMA
4-VIII-88	88-1111-V	MTE-CCA-004-88

APENDICE D

RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS PUBLICADAS SOBRE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA

NO. DE LA NORMA	AMBIENTE DE LA NORMA	GRUPO DE LA NORMA
88-1111-V	88-1111-V	MTE-CCA-004-88
88-1111-V	88-1111-V	MTE-CCA-004-88
88-1111-V	88-1111-V	MTE-CCA-004-88

APENDICE D

RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS PUBLICADAS SOBRE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
NTE-CCA-001-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de las centrales termoeléctricas convencionales.	4-VIII-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-002-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria productora de azúcar de caña.	4-VIII-88	NO. 2-VIII-89
NTE-CCA-003-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de refinación de petróleo crudo, sus derivados y petroquímica básica.	4-VIII-88	NO.2-VIII-89
NTE-CCA-004-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de las industrias de fabricación de fertilizantes excepto las que produzcan ácido fosfórico como producto intermedio.	4-VIII-88	No. 2-VII-89
NTE-CCA-005-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de las industrias de fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos.	4-VIII-88	No. 2-VIII-89
NTE-CCA-006-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de las industrias de fabricación de harinas.	6-VI-88	No. 2-VIII-89

APENDICE D

RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS PUBLICADAS SOBRE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
NTE-CCA-007-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de la cerveza y de la malta.	4-VIII-88	No. 2-VIII-89
NTE-CCA-008-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de las industrias de fabricación de asbestos de construcción.	6-VI-88	No. 2-VIII-89
NTE-CCA-009-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria elaboradora de leche y sus derivados.	4-VIII-88	No. 2-VIII-89
NTE-CCA-010-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de manufactura de vidrio plano.	6-VI-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-011-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de productos de vidrio prensado y soplado.	6-VI-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-012-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de fabricación de caucho sintético, llantas y cámaras.	6-VI-88	No.-2-VIII-89

APENDICE D (CONTINUACION)
 RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS PUBLICADAS SOBRE
 PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
NTE-CCA-013-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria del hierro y acero.	4-VIII-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-014-88	Limites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria textil.	4-VIII-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-015-88	Limites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de celulosa y papel.	4-VIII-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-016-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de bebidas gaseosas.	4-VIII-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-017-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de acabados metálicos.	19-X-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-018-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones.	6-VI-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-019-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de impregnación de productos de aserradero.	6-VIII-88	No.2-VIII-89

APENDICE D (CONTINUACION)
 RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS PUBLICADAS SOBRE
 PREVENION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
NTE-CCA-020-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de asbestos textiles, materiales de fricción y selladores.	6-VI-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-021-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria del curtido y acabado de pieles.	4-VIII-88	NO.2-VIII-89
NTE-CCA-022-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de matanza de animales y empaqueo de carnicos.	4-VIII-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-023-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de envasado de conservas alimenticias.	19-X-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-024-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de celulosa virgen.	14-XII-88	No.2-VIII-89
NTE-CCA-025-88	Límites máximos permisibles y procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos de agua provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de fibra celulosa reciclada.	14-XII-88	No.2-VIII-89

IMPACTO AMBIENTAL

**APENDICE D (CONTINUACION)
3. RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS PUBLICADAS SOBRE
PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA**

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
NTE-CCA-026-91	Límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes y las condiciones para las descargas de aguas residuales provenientes de restaurantes o de hoteles, a cuerpos receptores.	20-IX-91	
CE-CCA-001-89	Criterios ecológicos de calidad del agua.	13-XII-89	No.6-I-90
NTE-CCA-027-90	Límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes para las descargas de aguas residuales provenientes de la industria del beneficio del café a cuerpos receptores.	20-II-91	No.14
NTE-CCA-028-90	Límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes, para las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de preparación y envasado de conservas de pescado y mariscos y de la industria de producción de harina y aceite de pescado a cuerpos receptores.	20-II-91	No.14
NTE-CCA-029-91	Límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes, para las descargas de aguas residuales provenientes de hospitales a cuerpos receptores.	20-IX-91	
NTE-CCA-030-91	Límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes, para las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de jabones y detergentes a cuerpos receptores.	20-IX-91	

APENDICE D

RELACION DE LEYES Y REGLAMENTOS

	FECHA DE D.O.F	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
Ley General de Equilibrio Ecológico y la protección al ambiente.	28-I-88	No. 1-VI-89
Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al ambiente en materia de impacto ambiental.	7-VI-88	No. 1-VI-89
Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente en materia de residuos peligrosos.	25-XI-88	No. 1-VI-89
Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica.	25-XI-88	No. 1-VI-89
Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente para la prevención y control de la contaminación generada por vehículos automotores que circulan por el Distrito Federal y los municipios de su zona conurbada.	25-XI-88	No. 1-VI-89

ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS

	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
Primer listado de actividades altamente riesgosas.	28-III-90	No. 9-VII-90

APENDICE
E

RELACION DE NORMAS TECNICAS
ECOLOGICAS SOBRE PREVENCION
Y CONTROL DE LA CONTAMINACION
POR RESIDUOS PELIGROSOS

Table with multiple columns containing technical codes and descriptions, including entries like '00-IX-11', '00-IX-10', '00-IX-09', '00-IX-08', '00-IX-07', '00-IX-06', '00-IX-05', '00-IX-04', '00-IX-03', '00-IX-02', '00-IX-01'.

APENDICE E

RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS SOBRE
PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION POR RESIDUOS
PELIGROSOS

ACION DE NORMAS TECNICAS

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
NTE-CRP-001-88	Criterios para la de terminación de resi duos peligrosos y el listado de los mismos.	6-VI-88	No.11-XI-90
NTE-CRP-002-88	Procedimientos para llevar a cabo la prue ba de extracción para determinar los consti tuyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al am biente.	14-XII-88	No.11-XI-90
NTE-CRP-003-88	Procedimientos para determinar la incompa tibilidad entre dos o más residuos conside rados como peligrosos por la norma técnica ecológica NTE-CRP-001 88.	14-XII-88	No.11-XI-90
NTE-CRP-008-88	Requisitos que deben reunir los sitios des tinados al confina miento controlado de residuos peligrosos excepto de los radio activos.	6-VI-88	No.5-XII-89
NTE-CRP-009-89	Que establece los re quisitos para el dise ño y construcción de las obras complementa rias de un confina miento controlado pa ra residuos peligro sos.	8-IX-89	No.5-XII-89
NTE-CRP-010-88	Requisitos que deben observarse en el dise ño, construcción, y operación de celdas de confinamiento con trolado para residuos peligrosos determina dos por la norma téc nica ecológica NTE- CRP-001-88	14-XII-88	No.5-XII-89
NTE-CRP-011-89	Que establece los re quisitos para la ope ración de un confina miento controlado de residuos peligrosos.	13-XII-89	No.5-XII-89

APENDICE F

RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS SOBRE
PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
NTE-CCAT-001-88	Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico en plantas productoras de ácido sulfúrico.	6-VI-88	No.5-XII-89
NTE-CCAT-002-88	Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas originadas en los hornos de calcinación de la industria del cemento. {abroga da por la NTE-CCAT-002/91 20-IX-91}.	6-VI-88	No. 12
NTE-CCAT-003-88	Niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos y monóxido de carbono provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que utilizan gasolina como combustible.	6-VI-86	No. 3
NTE-CCAT-004-88	Niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, provenientes del escape de vehículos automotores nuevos en planta que usan gasolina como combustible.	19-X-88	No. 12
NTE-CCAT-005-88	Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxido de nitrógeno, provenientes de procesos de combustión de diesel en fuentes fijas.	18-X-88	No.5-XII-89
NTE-CCAT-006-88	Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno provenientes de procesos de combustión del carbono en carboeléctricas.	14-XII-88	No. 5-XII-89

APENDICE F

RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS SOBRE
PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
NTE-CCAT-007-88	Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes de procesos de combustión de combustibles en fuentes fijas.	19-X-88	No.5-XII-89
NTE-CCAT-008-88	Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes de procesos de combustión de gas natural en fuentes fijas.	19-X-88	No.5-XII-89
NTE-CCAT-009-88	Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.	18-X-88	No.12
NTE-CCAT-010-88	Nivel máximo permisible de opacidad del humo, proveniente del escape de motores nuevos en planta que usan diesel como combustible, utilizados para la propulsión de vehículos automotores {abrogada por la NTE-CCAT-010/90 21-II-91}	14-XII-88	No.12
NTE-CCAT-011-88	Nivel máximo permisible de opacidad del humo, provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible {abrogada por la NTE-CCAT-011/90 16-I-91}	14-XII-88	No.14
NTE-CCAT-012-88	Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido de azufre, neblinas de trióxido de azufre y ácido sulfúrico.	14-XII-88	No.5-XII-89

APENDICE F

RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS SOBRE
PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA	NO. DE PUBLICACION
NTE-CCAT-013-89	Características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que utilizan gasolina como combustibles, cuyos límites máximos permisibles están determinados por las normas técnicas ecológicas correspondientes.	07-VI-89	No.5-XII-89	013-CCAT-89
NTE-CCAT-014-91	Niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos y monóxido de carbono provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, con peso bruto vehicular mayor a 3.000 kg.	20-IX-91	No.17	014-CCAT-91
NTE-CCAT-015-90	Niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono y humo, provenientes del escape de las motocicletas en circulación que usan gasolina o mezcla de gasolina, aceite como combustible.	19-X-90	No. 12	015-CCAT-90
NTE-CCAT-016-90	Que establece las características del equipo y procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de gases contaminantes provenientes de motocicletas en circulación, que utilizan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustibles, cuyos límites máximos permisibles están determinados por la norma técnica ecológica correspondiente.	23-X-90	No.12	016-CCAT-90

APENDICE F
 RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS SOBRE
 PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
NTE-CCAT-17-90	Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos y monóxido de carbono, provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo como combustible, con peso bruto vehicular mayor al que se indica.	25-II-91	No.14
NTE-CCAT-018-91	Que establece el límite máximo permisible de azufre en el combustible líquido que se consume por la industria en la zona metropolitana de la Ciudad de México.	31-XII-91	
	Acuerdo que establece los lineamientos para determinar el criterio que servirá de base para evaluar la calidad del aire en un determinado momento (Secretaría de Salud y Asistencia).	29-XI-82	
NTE-CCAM-001-88	Procedimiento para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire. (abrogada por la NTE-CCAM-001/91 24-IX-91)	19-X-88	No.12
NTE-CCAM-002-88	Procedimiento para determinar la concentración de partículas suspendidas en el aire. (abrogada por la NTE-CCAT-002-91 20-IX-91).	14-XII-88	No.12
NTE-CCAM-003-91	Métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración del equipo de medición.	03-X-91	
NTE-CCAM-004-91	Métodos de medición y procedimiento para determinar la concentración de dióxido de nitrógeno en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración del equipo de medición.	24-IX-91	

IMPACTO AMBIENTAL

APENDICE G RELACION DE CRITERIOS ECOLOGICOS DE ORDENAMIENTO ECOLOGICO PARA EL SECTOR ELECTRICO

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE D.O.F.	PUBLICACION GACETA ECOLOGICA
CE-OESE-001-88	Criterios ecológicos que deben observarse en la selección y preparación de sitios destinados a la instalación de sistemas para aprovechamientos hidroeléctricos así como para la construcción y operación de estos sistemas.	14-XII-88	No.5-XII-89
CE-OESE-002-88	Criterios ecológicos que deben observarse en la selección y preparación de sitios destinados a la instalación de centrales termoeléctricas convencionales, así como para la construcción de las mismas.	14-XII-88	No.5-XII-89
CE-OESE-003-89	Criterios ecológicos para la selección y preparación de sitios y trayectorias, construcción, operación y mantenimiento de líneas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión y de subestaciones eléctricas de potencia.	8-VI-89	No.5-XII-89
CE-OESE-004-89	Criterios ecológicos para la selección, exploración y preparación de sitios destinados a la instalación de sistemas geotérmicos, así como para la construcción de los mismos.	7-VI-89	No.5-XII-89

APENDICE

H

APENDICE H

RELACION DE NORMAS TECNICAS PUBLICADAS

RELACION DE NORMAS TECNICAS

RELACION DE NORMAS TECNICAS
ECOLOGICAS PUBLICADAS SOBRE
CONSERVACION ECOLOGICA DE LOS
RECURSOS NATURALES

FECHA DE PUBLICACION

NORMA

13-V-81

APENDICE

APENDICE H

RELACION DE NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS PUBLICADAS SOBRE
CONSERVACION ECOLOGICA DE LOS RECURSOS NATURALES

CLAVE DE LA NORMA	NOMBRE DE LA NORMA	FECHA DE PUBLICACION D.O.F.	GACETA ECOLOGICA
CT-CERN-001-91	Criterios ecológicos que determinan las especies raras, amenazadas, en peligro de extinción o sujetas a protección especial y sus endemismos, de flora y la fauna terrestres y acuáticas en la República Mexicana.	17-V-91	No. 15

LISTADO DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES EN EL

- 2. AMBIENTE
- 1. Temperaturas
- 9) Recursos minerales

APENDICE

I

LISTADO DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES EN EL METODO DE LA MATRIZ DE LEOPOLD

- 5. Agua
- 6) Recursos biológicos
- 3. Suelo y vegetación
- 4. Clima
- 7) Recursos biológicos
- 1. Flora
- 8) Recursos biológicos
- 2. Fauna
- 3. Recursos biológicos
- 4. Recursos biológicos

APENDICE I
LISTADO DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES EN EL
METODO DE LA MATRIZ DE LEOPOLD

CARACTERISTICAS AMBIENTALES

CATEGORIA	DESCRIPCION
A) Características físicas y químicas.	<p>1. Terrestre</p> <p>a) Recursos minerales b) Materiales para la construcción c) Suelos d) Perfiles del suelo e) Radiaciones f) Características físicas especiales</p> <p>2. Agua</p> <p>a) Superficial b) Oceános c) Subterránea d) Calidad e) Temperatura f) Recarga g) Nieve y hielo</p> <p>3. Atmósfera</p> <p>a) Calidad b) Clima c) Temperatura</p> <p>4. procesos</p> <p>a) Inundaciones b) Erosiones c) Sedimentación y precipitación d) Solución e) Absorción f) Compactación y acomodo g) Estabilidad h) Terremotos i) Movimientos eólicos</p>
B) Condiciones Biológicas	<p>1. Flora</p> <p>a) Arboles b) Arbustos c) Pasto d) Sembradíos e) Microflora f) Plantas acuáticas g) Especies en peligro h) Barreras i) Corredores</p> <p>2. Fauna</p> <p>a) Aves b) Animales terrestres c) Especies acuáticas d) Organismos bentónicos e) Insectos f) Microfauna g) Especies en peligro h) Barrera i) Corredores</p>

APENDICE I
 LISTADO DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES EN EL METODO DE LA MATRIZ DE LEOPOLD
 CARACTERISTICAS AMBIENTALES

CATEGORIA	DESCRIPCION
C) Factores culturales	1. Uso del subsuelo
	a) Espacios abiertos
	b) Zonas inundadas
	c) Bosques
	d) Pastizales
	e) Sembradíos
	f) Residencial
	g) Comercial
	h) Industrial
	i) Zonas mineras
	2. Recreación
	a) Caza
	b) Pesca
	c) Navegación
	d) Natación
	e) Campamento
	f) Días de campo
	g) Lugares de descanso
	3. Estética e interés humano
a) Panoramas	
b) Zonas apartadas	
c) Espacios abiertos	
d) Proyectos	
e) Características físicas especiales	
f) Parques	
g) Monumentos	
h) Especies raras	
i) Sitios históricos o arqueológicos	
4. Cultural	
a) Patrones culturales	
b) Salud y seguridad	
c) Empleos	
d) Densidad de población	
5. Facilidades y actividades creadas	
a) Estructuras	
b) Redes de transporte	
c) Beneficios	
d) Disposición de desperdicios	
e) Barreras	
f) Corredores	
D) Relaciones Ecológicas	a) Salinización de los recursos acuíferos.
	b) Eutroficación.
	c) Transmisión de enfermedades por medio de insectos.
	d) Alimentos
	e) Salinización de los materia

ESTE LIBRO
 NO SALE
 de la Biblioteca I

IMPACTO AMBIENTAL

les en la superficie terres
tre.

- f) Abusos.
- g) Otros.

C) Factores culturales

**LISTADO DE LAS ACCIONES AMBIENTALES EN EL METODO DE LA
MATRIZ DE LEOPOLD**

A C C I O N E S

CATEGORIA	DESCRIPCION
A) Modificación del régimen	a) Introducción de fauna diferente a la existente.
	b) Controles biológicos.
	c) Modificación del habitat.
	d) Alteración de las capas de suelo artificial.
	e) Alteración de la hidrología subterránea.
	f) Alteración de los escurrimientos.
	g) Modificación de los cauces.
	h) Canalización.
	i) Irrigación
	j) Modificación del clima.
	k) Incendios
	l) Pavimentación
	m) Ruido y vibraciones
B) Modificación del suelo y construcciones.	a) Urbanización.
	b) Zonas y edificaciones industriales
	c) Aeropuertos
	d) Carreteras y puentes
	e) Caminos y brechas
	f) Talado de bosques
F) Renovación de recursos	d) Paisajes
	e) Excavaciones portuarias
	f) Rellenos de marismas
F) Renovación de recursos	a) Reforestación
	b) Manadas
	c) Recarga subterránea
	d) Fertilización
	e) Tratamiento de basuras

- G) Cambios en el tráfico
- a) Automovilístico
 - b) Camionero
 - c) Ferroviario
 - d) Navegación

LISTADO DE LAS ACCIONES AMBIENTALES EN EL METODO DE LA MATRIZ DE LEOPOLD

A C C I O N E S

CATEGORIA

DESCRIPCION

- e) Aéreo
 - f) en ríos y canales
 - g) Navegación recreativa
 - h) Veredas
 - i) Cables
 - j) Comunicación
 - k) Tuberías
- H) Disposición y tratamiento de desperdicios
- a) Al océano
 - b) Rellenos
 - c) Localización de zonas sobrecargadas
 - d) Disposición subterránea
 - e) Disposición de metales
 - f) Pozos de petróleo
 - g) Pozos profundos
 - h) Descargas de agua empleada en refrigeración
 - i) Descargas Municipales
 - j) Descargas de líquidos
 - k) Lagunas de estabilización y oxidación
 - l) Fosas sépticas
 - m) Emisiones
 - n) Lubricantes
- I) Tratamientos químicos
- a) Fertilizantes
 - b) Descongelado de carreteras
 - c) Estabilización del suelo
 - d) Control de yerbas
 - e) Control de insectos

IMPACTO AMBIENTAL

J) Accidentes

- a) Explosiones Cambios en el tráfico
- b) Fugas
- c) Fallas en la operación

K) Otros.

LISTA DE LA EN EL METODO DE LA

DESCRIPCION CATEGORIA

- d) ...
- e) ...
- f) en rios y canales
- g) Investigación técnica
- h) ...
- i) ...
- j) ...
- k) ...
- l) ...
- m) ...
- n) ...
- o) ...
- p) ...
- q) ...
- r) ...
- s) ...
- t) ...
- u) ...
- v) ...
- w) ...
- x) ...
- y) ...
- z) ...

BIBLIOGRAFIA

- Ariel E. Lugo
Los Sistemas Ecológicos y la Humanidad
 Editado por la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, 1982
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe
Evaluaciones del Impacto Ambiental en América Latina y el Caribe
 Naciones Unidas, 1991
- Constantino Gutiérrez Palacios
Impacto Ambiental de las Obras de Ingeniería Civil
 Editado por el autor, 1980
- Control de la Contaminación del Agua en México
 Editado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 1989
- Criterios de Salud Ambiental 12, El ruido Publicación científica N°454
 Editado por Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, 1983
- David F. McMahon
Antropología de una Presa. Los Mazatecos y el Proyecto del Papaloapan
 Editado por el Instituto Nacional Indigenista, 1973
- Gilbert M. Masters
Introduction to Environmental Science and Technology
 Ed. John Wiley & Sons, 1974
- Henk Weitzenfeld
Manual Básico de Evaluación del Impacto en el Ambiente y la Salud de Proyectos de Desarrollo
 Editado por el Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, 1990
- Howard S. Peavy, Donald R. Rowe, George Tchobanoglous
Environmental Engineering
 Ed. McGraw-Hill International Editions, 1987

Jain R. R., Urban L. V., Stacey G. S.
Environmental Impact Analysis
Ed. Van Nostrand Reinhold Company, 1977

John G. Rav, Davis C. Wooten
Environmental Impact Analysis Handbook
Ed. McGraw-Hill Book Company, 1980

José A. Medina Gándara, Rubén Sánchez Silva
Impacto Ambiental de las Obras Hidráulicas
Editado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión del Plan Nacional Hidráulico

Mackenzie L. Davis, David A. Cornwell
Introduction to Environmental Engineering
Ed. McGraw-Hill International Editions, Second Edition, 1985

Manual del Curso sobre Impacto Ambiental
Editado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1981

María Teresa Estevan Bolea
Las Evaluaciones del Impacto Ambiental
Ed. Cuadernos del Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales, 1977

Martin P. Wanielista, Yousef A. Yousef, James S. Taylor, C. David Cooper
Engineering and the Environment
Ed. Books/Cole Engineering Division, 1985

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas
Manual de Normas de Proyecto para Desarrollos Industriales Vol. I y II
Editado por SAHOP

Steel Ernest W.
Abastecimiento de Agua y Alcantarillado
Ed. Gustavo Gili

VI Congreso Nacional. Saneamiento Ambiental, El Gran Reto. Memoria.
Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A. C., 1988

Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1988

Diario Oficial de la Federación del 7 de junio de 1988

Rowe, George

Esta obra se terminó de Imprimir
En junio de 1994.
Departamento de Publicaciones
de la Facultad de Ingeniería
Ciudad Universitaria, México, D.F.
C.P. 04510

Secretaría de Servicios Académicos

El tiraje consta de 1000 ejemplares
más sobrantes de reposición.

ESTE LIBRO
NO SALE
de la Biblioteca I

1
E
/
am