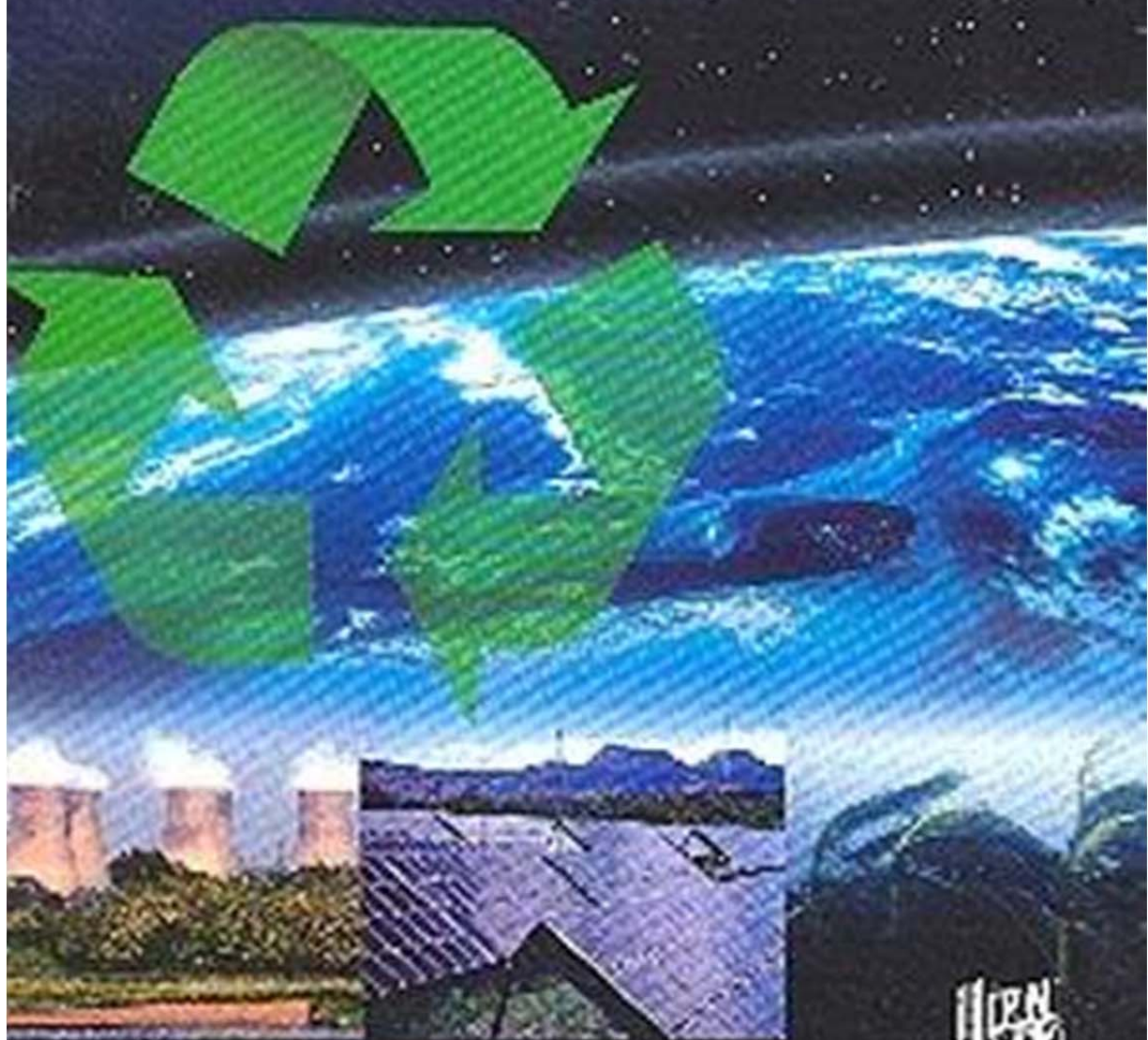



Introducción a la **INGENIERÍA AMBIENTAL**

Javier Arellano Díaz



 **Alfaomega**



Introducción a la
INGENIERÍA AMBIENTAL

Introducción a la INGENIERÍA AMBIENTAL

JAVIER ARELLANO DÍAZ



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Dirección de Publicaciones

Arturo Salcido Beltrán
DIRECTOR

Jesús Espinosa Morales
DIVISIÓN EDITORIAL

Alicia Lepre Larrosa
CUIDADO EDITORIAL

Consuelo Andrade Gil
CORRECCIÓN DE ESTILO

Inés Mendoza Hernández
FORMACIÓN

Primera edición: 2002

D.R. © Instituto Politécnico Nacional
Dirección de Publicaciones
Tresguerras 27, 06040, México, D.F.

ISBN: 970-18-7961-9

© 2002 ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V.
Pitágoras 1139, Col. Del Valle, 03100 México, D.F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana
Registro No. 2317

Internet: <http://www.alfaomega.com.mx>
Email: ventas1@alfaomega.com.mx

ISBN 970-15-0783-5

Derechos reservados

Esta obra es propiedad intelectual de su autor y los derechos de publicación en lengua española han sido legalmente transferidos a los editores. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito de los propietarios de los derechos del copyright.

Impreso en México - Printed in Mexico

CONTENIDO

Prólogo	13
Introducción	15

CONCEPTOS BÁSICOS

Ecología	17
Ciclos bioquímicos	19
Contaminación ambiental	22
Ingeniería ambiental	24
Cuestionario	25

AGUA

Generalidades	27
Parámetros físicos de la calidad del agua	27
Contaminación del agua	29
Tratamiento de aguas	31
Tratamiento de aguas residuales	41
Cuestionario	47

SUELO

Generalidades	49
Contaminación del suelo	51
Residuos sólidos	53
Manejo general de los residuos sólidos	57
Sistemas de ingeniería para manejo de residuos sólidos	59
Relleno sanitario	63
Sistemas de ingeniería para reciclado y aprovechamiento de materiales	66

Residuos nucleares	70
Cuestionario	72

AIRE

Marco histórico general	73
Contaminación del aire y los riesgos a la salud humana	75
Contaminantes del aire	79
Sistemas de ingeniería para prevenir y controlar la contaminación del aire	81
Conceptos básicos sobre el ruido	84
Control de la contaminación por ruido	87
Cuestionario	88

REMEDIACIÓN

Restauración de zonas afectadas	89
Biorremediación	92
Cuestionario	97

TECNOLOGÍA NO CONTAMINANTE

Energía solar	99
Energía eólica	102
Generación de energía por biomasa	103
Diferentes alternativas de producción de energía	104
Cuestionario	105

FACTORES SOCIALES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO Y APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL

Impacto ambiental	107
Factores económicos y políticos	107
Factores demográficos	109
Cuestionario	110

MARCO LEGAL DE LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

<i>Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos</i>	112
<i>Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente</i>	113
<i>Reglamentos de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente</i>	114
Normas oficiales mexicanas para la protección ambiental	114
Atribuciones federales y locales	115
Evaluación del impacto ambiental	123
<i>Normatividad internacional (ISO-14000)</i>	124
Cuestionario	127
Bibliografía	129
Índice	131

Dedico este libro a todas las personas que de alguna forma y día con día contribuyen con mucho o poco a la preservación del medio ambiente. También a todas las especies de plantas y animales que han desaparecido por causa del hombre, a la naturaleza misma por la gran cantidad de materiales y de riqueza que nos provee. Pero sobre todo, quiero hacer esta dedicatoria a nuestro planeta, por permitirnos habitarlo y gozar de la magia de sus mares, desiertos, selvas y atardeceres, del olor de las plantas y los bosques, del murmullo de los ríos y del canto de los pájaros, y de todo aquello que permitió al hombre concebir el concepto de paraíso.

PRÓLOGO

En la actualidad, la enseñanza de las ciencias ambientales ha comenzado a ser imprescindible en todos los niveles educativos, ya que la formación de nuevas generaciones conscientes del grave deterioro que sufre nuestro planeta, será de vital importancia para que en un futuro exista una sociedad más participativa en la prevención de la contaminación ambiental. Es por ello que la mayoría de las universidades e instituciones de educación superior han incluido en su oferta educativa licenciaturas y posgrados relacionados con este campo.

En el caso de las ramas de la ingeniería, se ha comenzado desde hace algunos años a impartir la disciplina que se conoce como ingeniería ambiental, la cual se encarga del diseño de tecnologías encaminadas a evitar y controlar la contaminación, así como revertir sus efectos.

La ingeniería ambiental puede ser también un complemento para la formación de profesionistas de diferentes áreas tecnológicas, pues la mayoría de los estudiantes al ejercer su profesión serán responsables del diseño de máquinas, equipos o procesos industriales que pueden tener repercusión en el medio ambiente. Por tal razón es necesario incluir en sus programas académicos diversos temas sobre esta disciplina para que contribuyan con su labor cotidiana a prevenir la contaminación ambiental, y en forma gradual a revertir sus efectos.

El presente texto se desarrolló con la finalidad de brindar al estudiante que recién comienza el estudio de esta área, un panorama general y sencillo de lo que es la ingeniería ambiental, por lo que comenzamos con el estudio de los conceptos básicos y tópicos relacionados con las ciencias ambientales que serán de gran utilidad para entender aspectos más profundos de esta rama de la ingeniería. Después, se analizan los aspectos concernientes a la contaminación del agua, los métodos de control y los tratamientos primario, secundario y terciario de las aguas residuales; de estos últimos mencionamos los más avanzados como son los tratamientos biológicos y la ósmosis inversa. Posteriormente veremos los aspectos del suelo, en lo referente a su composición fisicoquímica; los métodos para su análisis, y una amplia clasificación de los diferentes contaminantes sólidos

para poder definir y estudiar lo que es un relleno sanitario, los métodos de tratamiento de los residuos sólidos, así como las alternativas de reciclaje de basura y el composteo de desechos orgánicos.

Con respecto al aire abordamos los fenómenos naturales que influyen de manera importante en la contaminación y los métodos de control de las partículas sólidas, de los gases y vapores, así como también el control de los olores que emiten algunas industrias.

Para nosotros es importante que todo ingeniero ambiental conozca los aspectos relacionados con uno de los contaminantes más nocivos para la salud humana que no es sólido, líquido o gaseoso. Se trata del ruido, que incluimos en el tema sobre el aire porque es a través de éste como se transmite. Además de las fuentes que lo generan, los efectos que tiene sobre la salud humana y sus métodos de control.

En algunos países desarrollados, se están aplicando nuevas tecnologías de remediación, que sirven para limpiar y restaurar áreas que han sido afectadas por la acumulación de diferentes contaminantes, por lo que se incluye un apartado sobre este tema para que el estudiante obtenga un panorama general sobre el mismo.

Un aspecto que no debe pasar inadvertido y que se debe considerar como parte de la ingeniería ambiental, es el desarrollo de procesos industriales y fuentes de energía no contaminantes, ya que no sólo se debe evitar que las tecnologías y fuentes de energía ya existentes contaminen sino tratar de desarrollar y hacer viables las que no lo hacen, razón por la cual es necesario que el ingeniero ambiental o el profesionista interesado en el cuidado ambiental se familiarice con estas tecnologías alternativas.

Sin lugar a dudas una situación muy importante en el campo de las ciencias ambientales, es la relación que hay entre la contaminación y el deterioro del ambiente con los aspectos sociales, económicos, demográficos y políticos. Un ejemplo representativo es el crecimiento desproporcionado de la población que acarrea una serie de problemas que finalmente repercuten en la destrucción de selvas y bosques para adaptarlos como tierras de cultivo y crear nuevas zonas habitacionales, por lo que también incluimos un análisis sobre la influencia de situaciones sociales en el desarrollo y la aplicación de la ingeniería ambiental. Finalmente es primordial que el estudiante conozca el marco legal que regula la protección al ambiente en nuestro país para que pueda abordar de manera integral (tanto técnica como legalmente) los problemas que puedan presentarse durante el ejercicio de su profesión como ingeniero ambiental.

INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre existe en la tierra, sus actividades han dejado huella en el medio que lo rodea. Entre los seres vivos es el único capaz de modificar su entorno natural para adaptarlo a sus necesidades debido a su capacidad de raciocinio y a medida que ha crecido la población humana también ha ido creciendo esta capacidad de adaptación que se consolida con el desarrollo de nuevas tecnologías.

Esta modificación del entorno ha traído consigo daños y alteraciones a la naturaleza desde épocas muy antiguas pero se han vuelto más severos y en algunas circunstancias hasta irreversibles a medida que se desarrollan los procesos industriales, que se concentra la población en las ciudades, que la agricultura se tecnifica y se introducen gran cantidad de sustancias químicas en el ambiente como consecuencia del desarrollo urbano, agrícola e industrial.

Actualmente se vive en la era de los productos petroquímicos como los plásticos, pesticidas, aditivos para alimentos, detergentes, solventes y combustibles, los cuales al final de su ciclo de vida (elaboración, utilización y disposición final) generan una serie de problemas que tienen un impacto significativo en los recursos naturales y el ambiente.

Muchos de los problemas que por contaminación padecemos son resultado de acciones que eran aceptadas en el pasado por el poco conocimiento que se tenía entonces de sus efectos en el ambiente. El DDT se aplicaba indiscriminadamente en áreas de cultivo y residenciales para controlar mosquitos y otros insectos. Los compuestos utilizados como refrigerantes conocidos con el nombre de clorofluorocarbonos (CFC) se consideraban casi mágicos debido a que no eran ni tóxicos ni combustibles. Sin embargo, en la década de los setenta se descubrió que la destrucción de la capa de ozono que protege nuestro planeta de la radiación ultravioleta se debía precisamente esta clase de compuestos.

Sin embargo, para evitar que este tipo de problemas se sigan presentando y que en un futuro se tornen incontrolables, en diversos países desde hace ya algunos años se han comenzado a aplicar políticas que tienen

como finalidad la protección del entorno natural. Paralelamente se han desarrollado tecnologías encaminadas a prevenir, controlar y evitar la generación y emisión de sustancias nocivas en el ambiente y éste es el campo que compete a la ingeniería ambiental.

CONCEPTOS BÁSICOS

OBJETIVO: definir los principales términos de ecología y los ciclos bioquímicos, así como los conceptos de contaminación e ingeniería ambiental.

Ecología

Los *organismos* son todos los seres vivientes, desde la bacteria más sencilla hasta los animales racionales como el hombre, pasando por todo tipo de vida vegetal. Éstos no existen de manera aislada, ya que interactúan entre sí y con los componentes físicos y químicos de la naturaleza como son la luz, el calor, el agua, el suelo y el aire. Todo lo que rodea o afecta a un organismo es lo que se conoce como *ambiente*, y la unidad básica de interacción entre un organismo y su ambiente en un área determinada se le define como *ecosistema*. A la ciencia que estudia la relación entre los seres vivos y su ambiente se le llama *ecología*, que proviene de las palabras griegas *oikos* y *logos*, que significan casa y estudio respectivamente.

Ahora bien, el hombre está inmerso en el ambiente, no es de ninguna forma ajeno a éste, por lo que también se estudia la interacción entre ambos en una rama de la ecología denominada *ecología humana*. La cual resulta compleja porque involucra muchas disciplinas científicas, naturales y sociales como la química, la economía, la política, la ética y la biología.

Las personas que se dedican al estudio de la ecología han acomodado sus conocimientos de manera que entiendan mejor las interacciones que se llevan a cabo en la naturaleza, para lo cual han elaborado diferentes modelos sobre la organización natural entre los seres vivos (*componentes bióticos*) y las cosas inanimadas (*componentes abióticos*), dentro de los que existen una serie de términos que es necesario definir para entender lo que es la *organización biológica o natural*.

Si nos situáramos en algún punto en el espacio, fuera de nuestro planeta y lo pudiéramos observar, quizá lo percibiríamos como un sistema

cerrado que consta de diferentes capas. Una de ellas, la que soporta la vida se conoce como *biosfera* e incluye el agua, la tierra de la corteza terrestre y la *atmósfera*. La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la tierra; el agua en la biosfera se puede encontrar en el aire como vapor, en la superficie de la tierra en su estado líquido como ríos lagos y océanos y en los poros del subsuelo como mantos freáticos. Estos componentes de la biosfera proveen las condiciones para sostener la vida. Dentro de la atmósfera se encuentran los *ecosistemas* los cuales pueden ser variados porque poseen diferentes tipos de climas, suelos, vegetación y fauna que se relacionan entre sí de manera tal, que mantienen un balance dentro del ecosistema.

Algunos ejemplos de ecosistemas son los desiertos, montañas, lagos océanos y pastizales; sin embargo, cuando son terrestres y ocupan grandes áreas se les conoce como *biomasa*, los cuales se identifican por sus tipos de suelo, clima, flora y fauna similares. Como ejemplos de biomasa podemos mencionar los desiertos, las selvas y la tundra; aunque los ecosistemas pueden ser tan pequeños como una pecera o tan grandes como un pantano pero sean del tamaño que sean, en todos existe lo que se conoce como *comunidad* que está conformada por los grupos de diferentes organismos y que existen en un área determinada. Como ejemplo podemos mencionar la gran variedad de organismos que encontramos en un lago que abarca desde los peces y las plantas hasta los microorganismos, los cuales perecerían si las condiciones físicas o químicas del lago fuesen cambiadas; ya que si tan sólo uno de esos organismos fuera afectado de manera inmediata por los cambios, los otros al depender de éste tal vez como alimento, también perecerían. Las variaciones en las condiciones de un ecosistema por muy pequeñas que sean pueden afectar a la comunidad entera.

Dentro de una comunidad, los organismos se reproducen con los de su mismo tipo; y a todo grupo de organismos que es capaz de engendrar descendencia con otro, pero no con miembros de otros grupos se le llama *especie*. Por ejemplo los leones sólo pueden reproducirse con otros leones. Y a los miembros de una misma especie que comparten un área específica se les llama *población*.

Así pues, resumiendo la organización natural tenemos que una agrupación de especies forma las poblaciones, las diferentes poblaciones a su vez forman las comunidades, las comunidades junto con el medio abiótico conforman los ecosistema y los diferentes ecosistemas en su conjunto a la biosfera.

El *flujo de energía* en un ecosistema es muy importante, ya que las

interacciones de las comunidades o poblaciones con los factores abióticos se encuentran determinadas en cierta forma por este flujo, lo que a su vez produce cierto orden. Ilustrando con un ejemplo de cadena alimenticia, observamos que en un bosque un conejo se alimenta de pasto, del cual obtiene cierta cantidad de energía y de la cual sólo un pequeño porcentaje es almacenado en el animal, lo demás es utilizado para sus funciones metabólicas como son el poder respirar, digerir la comida o para moverse. Cuando un carnívoro como un lobo o un coyote se comen al conejo ocurre lo mismo, la mayor cantidad de energía la utilizan para sus funciones vitales y sólo un pequeño porcentaje es almacenado.

Por lo que la cadena alimenticia es un buen ejemplo del flujo y la pérdida de energía. Los vegetales que son el primer eslabón de la cadena son los que contienen la mayor cantidad de energía. Los herbívoros contienen menos energía que el nivel anterior y así en forma decreciente hasta llegar a los carnívoros finales. Este ejemplo sobre la cadena nos ayuda a entender por qué hay una mayor cantidad de productores de energía que consumidores finales como los carnívoros. Otro ejemplo sobre flujo de energía es la razón por la cual en la sabana africana existe una mayor cantidad de cebras con respecto a la de leones.

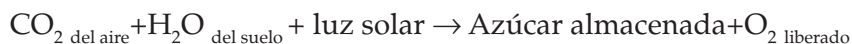
Ciclos bioquímicos

El ciclo del carbono y el oxígeno

Los ciclos naturales que relacionan a los organismos vivos con el ambiente físico son otro componente esencial de las relaciones de los ecosistemas. A estos ciclos se les conoce como *ciclos bioquímicos*. En esencia, durante estos procesos se transfieren algunos elementos y compuestos entre los componentes bióticos y abióticos.

El carbono es un elemento esencial en los organismos vivos. Más de 80% de los compuestos conocidos en la actualidad contienen carbono. Los carbohidratos que actúan como combustible para los organismos vivientes están compuestos de carbono. El bióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera es uno de los componentes del proceso de la fotosíntesis. El *ciclo del carbono* es el término que se utiliza para describir la manera como el carbono circula a través del aire, plantas, animales y el suelo. Para explicarlo, empezaremos con el proceso de la *fotosíntesis*.

Durante la fotosíntesis las plantas toman el CO_2 de la atmósfera a través de sus hojas y obtienen agua del suelo por sus raíces. Combinan el CO_2 y el agua usando la luz solar para elaborar glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), molécula que es la fuente de energía potencial para la planta y para los organismos que la consuman. En otras palabras, la molécula de azúcar almacena energía solar en forma de energía química y el oxígeno es liberado como un coproducto de la fotosíntesis. El proceso de la fotosíntesis puede resumirse en la siguiente reacción:



La molécula de azúcar producida durante la fotosíntesis es el material básico para otros compuestos que la planta utiliza para mantenerse a sí misma y seguir creciendo. Cuando los vegetales crecen, almacenan más y más carbono en los compuestos que los conforman. Los herbívoros obtienen el carbono que necesitan sus cuerpos consumiendo plantas. Por lo que el carbono se mueve hacia arriba en la cadena alimenticia de plantas a herbívoros y de herbívoros a carnívoros.

Cuando las plantas y los animales desprenden energía de sus moléculas en el proceso de respiración, utilizan oxígeno para quemar estas moléculas y exhalan CO_2 y agua como productos. La respiración permite a los organismos capturar la energía química almacenada en la comida y producir energía para mantener sus funciones vitales como son el crecimiento y la reproducción. El proceso de la respiración puede resumirse como sigue:



Las bacterias obtienen su materia y energía de los productos de desecho de los organismos y de animales o vegetales muertos en el mismo proceso de la respiración, así que el carbono y los residuos de los organismos muertos pueden ser reciclados.

En algunas ocasiones la materia biológica no se descompone debido a que los organismos que se encargan de esta función no están presentes, o no pueden vivir en ciertas condiciones. Lo cual ocurre con frecuencia cuando la materia orgánica proveniente de árboles o musgos es enterrada, y no tiene acceso al oxígeno, y se lleva a cabo en pantanos o en las profundidades de lagos u océanos. Como se necesita oxígeno para que las bacterias de

descomposición puedan respirar, el carbono de estos organismos enterrados no se reincorpora a la atmósfera como CO_2 , y en estos depósitos, el calor y la presión pueden convertir esta materia orgánica en petróleo o gas natural, que son los combustibles fósiles.

El *ciclo del oxígeno* se refiere a la circulación del oxígeno a través de diferentes etapas o ambientes. Los seres vivos necesitan oxígeno el cual obtienen del aire y del agua por medio de la respiración. El oxígeno es desprendido hacia la atmósfera por las plantas verdes durante la fotosíntesis. Por su papel en estos dos procesos, la circulación del oxígeno está íntimamente relacionada con el ciclo del carbono.

El ciclo del nitrógeno

A la circulación del nitrógeno a través de plantas y animales se le conoce como el *ciclo del nitrógeno*. Corresponde al nitrógeno 78% en volumen de la mezcla de gases del aire, el cual es uno de los elementos esenciales para la vida. El nitrógeno es necesario para las plantas ya que les permite la construcción de proteínas y otras moléculas que lo contienen y que son esenciales para el crecimiento y la reproducción. También juega un papel importante en la producción de ácido nucleico, un componente esencial en la síntesis del ADN y el ARN.

A pesar de que el nitrógeno es el elemento más abundante en la atmósfera, en su estado gaseoso no puede ser utilizado por los organismos vivos ya que sólo pueden hacerlo mediante el proceso conocido como *fijación del nitrógeno*, en donde se combina con otros elementos para formar el amoníaco, los nitritos y los nitratos.

Aunque la formación del nitrógeno puede ocurrir de diversas maneras, ésta se realiza frecuentemente en forma biológica. Como sucede con las bacterias, algas y líquenes que viven en el suelo y que transforman el nitrógeno del aire en amoníaco y otros compuestos similares. Algunas de estas bacterias de fijación del nitrógeno viven en las raíces de algunas plantas como la del frijol, otras bacterias del suelo transforman el amoníaco en nitrito (NO_2) y en nitrato (NO_3). Las raíces de las plantas utilizan estos compuestos para construir proteínas. Las plantas proveen a las bacterias de carbohidratos como comida y las bacterias transforman el nitrógeno para que las plantas puedan utilizarlo. Cuando los animales se comen las plantas obtienen el nitrógeno que requieren las proteínas de los animales.

Los compuestos de nitrógeno regresan al suelo mediante los residuos de los animales o a través de sus cadáveres. El nitrógeno puede regresar a la atmósfera por la acción de las bacterias de desnitrificación, que pueden convertir los nitritos en gas nitrógeno.

El ciclo hidrológico

El ciclo más conocido es quizá el *ciclo hidrológico*. El agua en sus tres estados de segregación (sólido, líquido y gaseoso) constantemente está en movimiento en el ambiente. Hay una gran cantidad de componentes en este ciclo.

La precipitación involucra el movimiento del agua desde la atmósfera hasta la superficie de la tierra en forma de nieve, granizo o lluvia. Mientras que la evaporación es el movimiento del agua de la superficie de la tierra de lagos, suelo y océanos hacia la atmósfera. Cuando se lleva a cabo este fenómeno, el agua no sólo está en movimiento sino que también está cambiando su estado: el agua líquida se transforma en vapor de agua y en esta forma se incorpora a la atmósfera.

El agua que termina sobre la superficie de la tierra puede retornar hacia la atmósfera por el proceso llamado de transpiración. Como el agua se filtra a través del suelo, ésta se puede volver útil para las plantas. Aproximadamente 2% del agua absorbida por las raíces de las plantas se utiliza para la fotosíntesis, casi toda el agua viaja por las plantas hasta sus hojas donde es transpirada hacia la atmósfera comenzando nuevamente el ciclo.

El agua que continúa fluyendo o filtrándose por el subsuelo se convierte en agua subterránea que alimenta los lagos, ríos y eventualmente termina en el océano. Las plantas y los animales absorben temporalmente esas moléculas de agua, aunque de manera constante las intercambian con el ambiente. En la figura 1 podemos ver resumido el ciclo hidrológico.

Contaminación ambiental

La *contaminación ambiental* se define como la presencia de sustancias, energía u organismos extraños en un ambiente determinado en cantidades, tiempo y condiciones tales que pueden causar desequilibrio ecológico.

Como ejemplo de contaminación podemos mencionar la presencia de diversos compuestos gaseosos en el aire de la ciudad de México como el

dióxido de carbono, los óxidos de azufre y de nitrógeno y las partículas sólidas suspendidas. También podemos mencionar las sustancias líquidas que se vierten en lagos, ríos y océanos o los residuos sólidos provenientes de las ciudades los cuales son depositados en diversas áreas donde causan severos daños al suelo.

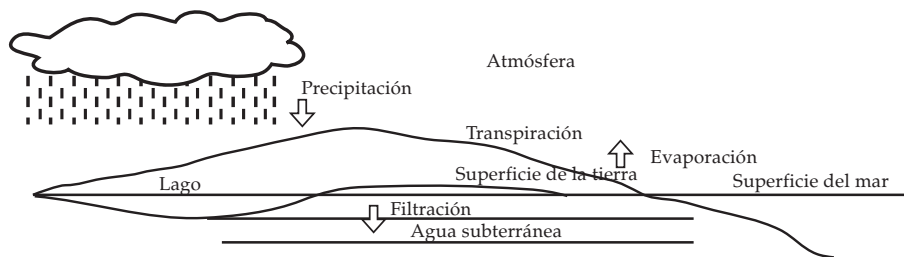


FIGURA 1. Ciclo hidrológico.

En el caso de la energía contaminante, podemos mencionar como ejemplo el vertido de aguas residuales con altas temperaturas a un lago, río o laguna, pues el aumento de la temperatura del agua, provoca que se escape el oxígeno disuelto en la misma, lo que impide que los peces y demás animales que habitan este ecosistema respiren.

Tipos de contaminación

Existen diversas clasificaciones de la contaminación, pero sólo mencionaremos las dos principales:

Por su origen se clasifica en dos tipos:

Contaminación natural: que se debe a fenómenos naturales como la erosión y las erupciones volcánicas y está relacionada con la composición de suelos, aguas y los componentes de algunos alimentos pero que no es tan grave como la antropogénica.

Contaminación antropogénica: que es generada por las actividades que realiza el hombre como son las industriales, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas y es más grave por su naturaleza y la gran variedad de contaminantes que genera.

Por el tipo de contaminante que generan se clasifica en:

Contaminación biológica: se presenta cuando un microorganismo (virus, hongo o bacteria) se encuentra en un ambiente que no le corresponde y causa daños a los demás organismos que lo habitan. Con frecuencia es provocada por las deficiencias de los servicios de saneamiento como drenajes y alcantarillado, abastecimiento de agua potable, sistemas de tratamiento de aguas negras o por malos hábitos higiénicos. Sin embargo, es relativamente fácil de prevenir y controlar, ya que si se llevan a cabo las medidas de recolección oportuna y adecuada de la basura, su confinamiento en lugares acondicionados para tal fin y campañas de educación para la salud, se podrán prevenir muchas de las enfermedades debidas a esta fuente de contaminación.

Contaminación física: es la provocada por agentes físicos como las radiaciones ionizantes, energía nuclear, ruido, presiones extremas, calor y vibraciones. Se presenta tanto en ambientes cerrados como los laborales, como en abiertos donde provocan daños a la población en general. Una característica de este tipo de contaminación es que en ocasiones sus efectos pueden presentarse a largo plazo; por ejemplo, en el caso del ruido, que después de que una persona está expuesta a este agente de manera permanente y prolongada, presentará problemas en su sistema auditivo como sordera y provocar la muerte de la flora y la fauna, cáncer y mutaciones entre otros.

Contaminación química: es provocada por diferentes sustancias de uso industrial y doméstico que se encuentran dispersas en el ambiente. Se considera como la más grave de las tres, pues dichas sustancias suelen encontrarse en los tres estados de la materia (líquido, sólido y gaseoso) y por lo tanto quedar depositadas en el agua, suelo y aire y por esta razón entrar más fácilmente en los organismos vivos. También pueden incorporarse de manera fácil a los ciclos bioquímicos, provocando daños severos en el ambiente.

Ingeniería ambiental

La *ingeniería ambiental* se define como la rama de la ingeniería que se encarga del diseño de tecnologías encaminadas a evitar y controlar la conta-

minación del medio ambiente provocada por las actividades del hombre, así como a revertir sus efectos. Esta área tecnológica es relativamente nueva a pesar de que la ingeniería sanitaria, hidráulica, química y civil ya se encargaban de la solución de muchos de los problemas provocados por la contaminación ambiental. Sin embargo en la ingeniería ambiental se abarcan de manera integral los aspectos relacionados con la prevención y control de la contaminación en el aire, suelo o agua. Por lo que afirmamos que en esta disciplina convergen gran número de áreas del conocimiento de las ciencias naturales como la biología, la química o la física.

También contempla la restauración y limpieza de los ecosistemas que han sido afectados de manera importante por uno o varios contaminantes y el desarrollo de tecnología menos contaminante, tanto de procesos industriales como de fuentes alternas de energía más limpias y seguras.

En la ingeniería ambiental se adaptan los principios de los mecanismos naturales a los sistemas de ingeniería para el control de la contaminación cuando se construyen grandes chimeneas para dispersar y diluir los contaminantes del aire, cuando se diseñan instalaciones de tratamiento biológico para remover compuestos orgánicos de las aguas residuales o al utilizar diferentes compuestos químicos para oxidar y precipitar metales en instalaciones de suministro de agua. En suma, en esta disciplina se usan todas las herramientas tecnológicas disponibles para diseñar dispositivos de tratamiento y control de la contaminación. Lo anterior la hace sumamente importante en nuestros días y la convierte quizá en el último eslabón que se necesita para cerrar un círculo importante: preservar el ambiente de los efectos adversos provocados por la actividad humana y por lo tanto a los humanos de los efectos adversos de un ambiente contaminado (figura 2).

Cuestionario

1. Defina los siguientes conceptos: ecología, ecología humana, ecosistema, biosfera, componentes bióticos y componentes abióticos.
2. Explique el flujo de energía.
3. ¿Cuál es la diferencia entre comunidad y población?
4. ¿Qué se entiende por especie?
5. ¿Cuántos y cuáles son los ciclos bioquímicos?, explique cada uno de ellos.

6. ¿Qué es la contaminación ambiental?
7. Mencione los diferentes tipos de contaminación.
8. ¿Qué es la contaminación antropogénica?
9. Defina contaminación biológica, física y química.
10. Explique ampliamente el concepto de ingeniería ambiental.



FIGURA 2. Planta de tratamiento de residuos sólidos en la ciudad de México.

AGUA

OBJETIVO: conocer los conceptos de calidad de agua, parámetros de su medición, contaminación de agua, y en qué consisten los tratamientos de agua y aguas residuales.

Generalidades

El agua es uno de los compuestos más abundantes en la naturaleza ya que cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie total de la tierra. Sin embargo, a pesar de esta aparente abundancia, existen diferentes factores que limitan la cantidad de agua disponible para el consumo humano (figura 3).

Como se puede observar en el cuadro 1, cerca de 97% del total de agua disponible se encuentra en los océanos y otros cuerpos de agua salina y no se puede utilizar para diversos propósitos. Del restante 3%, casi 2% se encuentra distribuida en los témpanos de hielo, glaciares, en la atmósfera o mezclada con el suelo, por lo que no es accesible. De tal forma que para el desarrollo y sostenimiento de la vida humana con sus diversas actividades industriales y agrícolas, se dispone aproximadamente de 0.62% del agua restante, que se encuentra en lagos de agua fresca, ríos y mantos freáticos.

Para poder definir la contaminación del agua, es necesario conocer primero cuáles son los parámetros fisicoquímicos que la definen para su uso y cuales para los procesos de tratamiento de aguas y aguas residuales, lo que resulta de gran importancia para su estudio en la ingeniería ambiental.

Parámetros físicos de la calidad del agua

Son los que definen las características del agua que responden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato como pueden ser los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura.



FIGURA 3. Imagen del Océano Pacífico.

CUADRO 1. Distribución del agua en la tierra

<i>Localización</i>	<i>Volumen, × 1012 m³</i>	<i>Porcentaje del total</i>
<i>Área continental</i>		
Lagos	125.00	0.0090
Lagos salados y mares continentales	104.00	0.0080
Ríos (volumen promedio instantáneo)	1.25	0.0001
Mezclada con el suelo	67.00	0.0050
Agua subterránea (a una profundidad cercana a los 4000m)	8 350.00	0.6100
Témpanos de hielo y glaciares	29 200.00	2.1400
Total de agua continental	37 800.00	2.8000
<i>Atmósfera</i>		
Disuelta en la atmósfera (como vapor de agua)	13.00	0.0010
Océanos	1 320 000.00	97.3000
Total de agua en la tierra	1 360 000.00	100.0000

FUENTE: *Environmental Engineering*. International Edition, Mc Graw Hill, Company.

Parámetros químicos de la calidad del agua: el agua es llamada el solvente universal y los parámetros químicos están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias entre las que podemos mencionar a los sólidos disueltos totales, alcalinidad, dureza, fluoruros, metales, materia orgánica y nutrientes.

Parámetros biológicos de la calidad del agua: el agua es un medio donde literalmente miles de especies biológicas habitan y llevan a cabo su ciclo vital. El rango de los organismos acuáticos en tamaño y complejidad va desde el muy pequeño o unicelular hasta el pez de mayor tamaño y estos miembros de la comunidad biológica son en algún sentido parámetros de la calidad del agua, dado que su presencia o ausencia pueden indicar la situación en que se encuentra un cuerpo de agua. Por ejemplo si en algún río donde la presencia de algún pez como la carpa o la trucha sirven de parámetro sobre el estado de ese cuerpo de agua. Los biólogos a menudo utilizan la diversidad de especies como parámetro cualitativo en ríos y lagos. Un cuerpo de agua con una gran cantidad de especies en proporción balanceada se puede considerar como un sistema saludable. Según esta situación, con base en nuestro conocimiento sobre los diferentes contaminantes, ciertos organismos se pueden utilizar como indicadores de la presencia de algún contaminante, entre los que podemos mencionar las bacterias, virus y protozoarios.

Requerimientos de la calidad del agua: los requerimientos de la calidad del agua varían de acuerdo con el uso que se les vaya a dar, por ejemplo para agricultura, pesca, propagación de vida silvestre, usos recreativos o industriales específicos o generación de energía. Algunas características del agua adecuadas para un fin pueden no serlo para otro. Es importante mencionar que no se deben confundir los *requerimientos de la calidad del agua* con los *estándares de la calidad del agua*. Los primeros están basados en la experiencia de uso y los segundos son cantidades establecidas por instituciones gubernamentales que regulan al respecto.

Contaminación del agua

La *contaminación del agua* se define como la presencia de sustancias u organismos extraños en un cuerpo de agua en tal cantidad y con tales caracte-

rísticas que impiden su utilización con propósitos determinados. La contaminación puede ser natural o antropogénica como ya antes mencionamos. Sin embargo, existen dos tipos de tratamientos de aguas: el *tratamiento de aguas para su acondicionamiento al consumo humano*, ya que el agua tal y como se encuentra en la naturaleza no puede ser utilizada por el hombre, dado que puede contener sustancias que provocan daños en la salud, y el *tratamiento de aguas residuales*, que se aboca a disminuir la gran cantidad de contaminantes del agua una vez que fue utilizada por el hombre para actividades agrícolas, industriales o domésticas. Ambos tratamientos tienen los mismos principios pero el tratamiento de aguas residuales es más complejo debido a que la cantidad de contaminantes contenidos es más alta.

Entre 1991 y 1992 se realizaron diversos estudios en algunos estados de la Unión Americana sobre la situación que guardan diversos cuerpos de agua como ríos, lagos y lagunas en relación con la contaminación. En dichos estudios se encontró que 40% de las aguas estudiadas no reunían la calidad necesaria para actividades tales como la pesca o para practicar la natación. De hecho, más de 10% de las fuentes de abastecimiento de agua en esa nación se encontraron seriamente contaminadas (figura 4).



FIGURA 4. Aspecto de un río contaminado por aguas residuales.

En los sistemas de suministro del agua potable se encontraron también problemas de contaminación. De hecho, en más de 10% de estos sistemas en Estados Unidos se determinó que existen concentraciones de plomo que están por encima de los límites máximos permisibles y que por

lo tanto pueden ocasionar problemas en la salud. Estos niveles de plomo son especialmente peligrosos para los niños pequeños, dado que pueden dañar severamente su sistema nervioso. Existen dos tipos de fuentes de abastecimiento de agua:

Aguas superficiales: son las que se encuentran a la altura de la superficie de la tierra como son ríos, lagos y lagunas.

Aguas subterráneas: son las que se encuentran en el subsuelo por filtración y son el resultado del ciclo hidrológico, por ejemplo, los mantos freáticos.

Pero el agua proveniente de fuentes de abastecimiento, ya sea subterránea o superficial, debe ser tratada de cualquier manera, en virtud de que contiene concentraciones de contaminantes que pueden causar daños en la salud de la población en general.

Tratamiento de aguas

El tratamiento de aguas es una de las formas más antiguas de protección para la salud pública. Desde hace muchos años, el hombre ha tratado el agua para eliminar residuos, reducir los riesgos a la salud y mejorar su calidad en cuanto a su apariencia, olor, color y sabor. Desde épocas muy antiguas se trataba el agua hirviéndola, exponiéndola al sol, depositándola en recipientes para su sedimentación o filtrándola a través de arena o grava para purificarla (figura 5). En la actualidad muchas de estas técni-

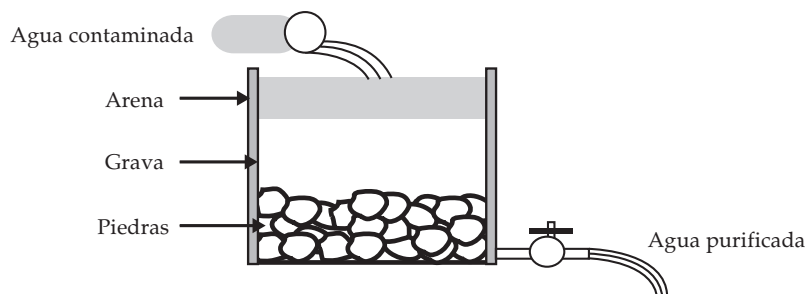


FIGURA 5. Sistema antiguo de tratamiento de aguas contaminadas.

cas son utilizadas para tratamiento de las aguas ya sean de abastecimiento o aguas residuales y se complementan con las técnicas físicas y químicas modernas.

El tratamiento de aguas se aboca al acondicionamiento de las mismas para el abastecimiento humano. El *suministro de agua* es el procedimiento por el cual se transporta el agua, mediante instalaciones de transporte, desde su fuente a instalaciones de almacenamiento y finalmente al destino donde será utilizada. De esta manera se provee de agua a hogares, granjas, industrias, comercios y para recreación. Los tres factores importantes para establecer el suministro de agua adecuado son la calidad del líquido, la cantidad y la localización del suministro de agua en relación con los lugares donde será utilizada.

Como ya hemos mencionado, las fuentes naturales de agua contienen una gran cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas, dependiendo de la localización de las fuentes y su contacto con diferentes contaminantes durante el ciclo hidrológico. Precisamente las plantas de tratamiento han sido diseñadas para mejorar la calidad del agua antes de que sea utilizada por los consumidores. En las que se eliminan microorganismos que pudieran originar enfermedades como pueden ser los compuestos orgánicos, los sólidos suspendidos totales, los minerales que provocan la dureza y las sustancias que provocan mal aspecto y olores y sabores desagradables.

Desde mediados del siglo pasado, los científicos descubrieron que muchas enfermedades específicas como el cólera, se transmitían a través del agua. Esta enfermedad causó la muerte a quince mil personas en Londres en 1849. La relación entre algunas enfermedades y su transmisión a través del agua permitió desarrollar métodos para eliminar organismos patógenos en el agua para potabilizarla, lo cual ha permitido reducir considerablemente la incidencia de enfermedades tales como la tifoidea el cólera y la hepatitis.

Existe una cantidad considerable de procesos para el tratamiento de aguas, los cuales se pueden clasificar en tres categorías:

Tratamientos físicos: son los que no generan sustancias nuevas sino que concentran los contaminantes al evaporar el agua o filtran los sólidos de tamaño considerable. Los tratamientos físicos más comunes son: *filtración, adsorción, aereación, floculación y clarificación o sedimentación.*

Tratamientos químicos: dan como resultado la formación de nuevas sustancias, los más comunes son la *coagulación*, *desinfección*, *ablandamiento* y *oxidación*.

Tratamientos biológicos: utilizan organismos vivos para provocar cambios químicos, este tipo de tratamientos puede ser visto como una modalidad de tratamiento químico, entre los que podemos mencionar la *digestión aerobia* y la *anaerobia*.

Estos tratamientos tienen lugar en lo que se conoce como planta de tratamiento, cuya finalidad es acondicionar el agua para el consumo humano (figura 6).

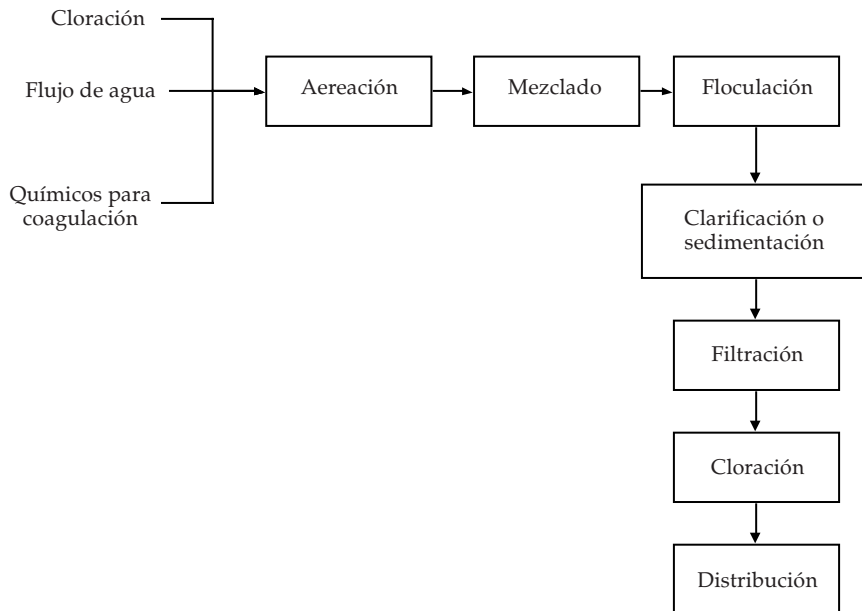


FIGURA 6. Etapas del tratamiento de aguas para consumo humano.

Cribado y filtración

El *cribado* es una técnica que se utiliza para capturar una gran cantidad de partículas sólidas del agua. Los materiales muy grandes son removidos al hacer pasar el agua entre mallas con separaciones de entre 2.5 a 5 cm. La *fil-*

tración es el método más común para remover partículas pequeñas transportando el agua a través de material poroso. Por ejemplo, cuando el agua pasa a través de lechos de arena, las partículas son retenidas en los espacios que hay entre los granos o en la superficie de los mismos en el proceso llamado *adsorción*.

La filtración con camas de arena remueve partículas cuyo diámetro oscila entre 0.001 y 50 micras, que es mucho menor que el espacio existente entre los granos. Este fenómeno se debe principalmente a la superficie total de la cama de arena utilizada. Las partículas se detienen en la superficie de los granos y éstas son retenidas por las fuerzas de adsorción.

De esta manera la filtración ayuda a controlar la contaminación biológica y la turbiedad, que es la medida de la opacidad del agua causada por materia suspendida y que reduce la efectividad de los compuestos para su desinfección. En algunos sistemas de filtración se forman en el material poroso capas que contienen microorganismos, algas, bacterias y materia orgánica. Este proceso de filtración ocurre de manera natural cuando las aguas superficiales se mueven a través del material poroso del suelo para recargar los mantos freáticos y son removidas las partículas contenidas por lo que el agua del subsuelo no requiere de ningún tratamiento posterior.

Las tecnologías de filtración comúnmente utilizadas para el tratamiento de aguas son la filtración lenta a rápida en lechos de arena, sistemas de empaque para filtración. Los *sistemas rápidos* o *lentos* se refieren a la cantidad de flujo por unidad de área. Los filtros se clasifican en función del material granular utilizado, como carbón-antracita o arena-carbón; en función de si son filtros por gravedad o por presión. Los sistemas de filtración se clasifican por la dirección del flujo de agua a través del filtro, en *flujo ascendente* y *descendente*.

Desinfección

Desinfección con cloro: es un proceso químico que mata organismos patógenos, existen dos tipos de desinfección por cloro: la *primaria*, donde se matan los organismos y la *secundaria* que mantiene un desinfectante residual para prevenir el crecimiento de más microorganismos en el sistema de distribución de agua. Desde hace años, el cloro en diferentes combinaciones como $(Ca(ClO)_2)$, líquido (NaClO) o como gas (Cl_2), se ha utilizado como desinfectante en diversos países. Esto en virtud de su efectividad y

su bajo costo y de que se obtiene como desinfectante residual para los sistemas de distribución. Sin embargo, bajo diferentes circunstancias, la cloración puede producir subproductos peligrosos como el triclorometano.

Los sistemas grandes de tratamiento de aguas normalmente utilizan gas-cloro suministrado en forma líquida mediante cilindros presurizados. Los sistemas menores normalmente utilizan hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio, dado que son sencillos de utilizar y no representan un riesgo como el gas-cloro. El hipoclorito de sodio provee entre 5 y 15% de cloro disponible y es muy sencillo de manejar; es corrosivo y debe almacenarse lejos del equipo y material susceptible a la corrosión. El hipoclorito de calcio contiene 65% de cloro disponible, empacado es muy estable; sin embargo, si no se tiene el cuidado suficiente puede reaccionar con la humedad del medio ambiente y liberar cloro gaseoso, en virtud de que es higroscópico.

Desinfección con otros productos: existen diferentes productos como el *ozono* (O_3) para desinfectar el agua, éste es utilizado en diferentes países y requiere de un periodo de contacto más corto que el cloro para eliminar los patógenos, es un gas tóxico que se puede obtener haciendo pasar el oxígeno que se encuentra en el aire a través de dos electrodos, es un compuesto inestable que puede ser generado en el mismo lugar donde se encuentra y tiene una baja solubilidad en el agua, por lo que se debe obtener la máxima eficiencia al estar en contacto con el líquido. Una desventaja que presenta es que debe utilizarse un desinfectante secundario, ya que éste no mantiene residuos en el agua, además de que su costo es muy elevado.

Radiación ultravioleta (UV): es otro sistema utilizado y muy efectivo para eliminar las bacterias y virus, pero también necesita de un desinfectante secundario por las mismas razones que el ozono. La radiación ultravioleta es útil para sistemas pequeños de tratamiento de aguas porque tiene una disponibilidad inmediata, no produce residuos tóxicos, su tiempo para contacto es corto y su equipo es sencillo para operar y darle mantenimiento. Una desventaja importante de esta técnica es que no se puede utilizar para agua con altos niveles de sólidos suspendidos, turbiedad, color o materia orgánica, ya que las sustancias que generan estas propiedades pueden reaccionar o absorber la radiación ultravioleta reduciendo la eficiencia de la desinfección.

Tratamiento de contaminantes orgánicos e inorgánicos

Existen diferentes sustancias orgánicas sintéticas que se han depositado en las fuentes de abastecimiento de agua, algunas de ellas son el tricloroetileno que forma parte de los *compuestos orgánicos volátiles (COV)*. Las fuentes de suministro han sido contaminadas por la disposición inadecuada de residuos, depósitos de gasolina, uso de insecticidas y efluentes industriales.

La contaminación inorgánica en las fuentes de abastecimiento de agua se debe principalmente a las sustancias que se encuentran en forma natural en el agua como el arsénico, el bario, radón, azufre y selenio. La industria contribuye con el depósito de metales que se filtran en el subsuelo.

Los químicos inorgánicos también se presentan en el agua potable debido a la corrosión, que es el deterioro o destrucción de los sistemas de bombeo y distribución de agua por la acción química o física, cuyo producto se deposita en el agua. Estos sistemas están hechos de metales como el plomo, cadmio, zinc, cobre y hierro liberados como productos de la corrosión y pueden causar problemas a la salud. La corrosión también puede afectar la vida útil de los sistemas de distribución y bombeo y proporcionar un campo de cultivo ideal para microorganismos que provocan sabores y olores desagradables.

Para remover este tipo de contaminantes existen tecnologías tales como la coagulación, ósmosis inversa, intercambio iónico, alúmina activada y aireación, las cuales se discutirán en los siguientes apartados.

Aireación y oxidación

En el tratamiento de aguas, *aireación* se refiere a cualquier proceso donde el agua y el aire se ponen en contacto para remover sustancias volátiles dentro y fuera del agua. En estas sustancias volátiles podemos incluir el oxígeno, bióxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, metano y otros compuestos que provoquen olores y sabores desagradables.

La fuente de abastecimiento de agua es un factor importante a tomar en cuenta para decidir si la aireación es necesaria. Las aguas superficiales no requieren este tipo de tratamientos en virtud de que contienen altas concentraciones de oxígeno. Sin embargo las aguas subterráneas contienen altas concentraciones de bióxido de carbono, metano, sulfuro de hidróge-

no, fierro y manganeso, por lo que se recomienda este tratamiento para precipitar los últimos dos elementos.

En el tratamiento de aguas se utiliza la oxidación para varios propósitos, ya que es una reacción en la cual las sustancias pierden electrones e incrementan su carga. Las sustancias oxidantes se utilizan para eliminar olores y sabores desagradables para remover el fierro y el manganeso y para clarificar el agua.

Las sustancias químicas utilizadas más comúnmente como oxidantes y que resultan más efectivas en el tratamiento de aguas son: el dióxido de cloro, el ozono y el permanganato de potasio y cloro de las cuales las más utilizadas son las dos últimas.

Tratamiento por métodos de adsorción

La *adsorción* se define como la atracción y acumulación de una sustancia sobre la superficie de otra. En el tratamiento de aguas los materiales de adsorción más utilizados son el carbón y la alúmina activados, que se utilizan para remover arsénico y contaminantes orgánicos. En esta técnica el uso del carbón activado ha sido recurrente como práctica común para eliminar contaminantes desde hace muchos años ya que es muy efectiva para absorber material por su superficie de gran tamaño, cada una de sus partículas contiene gran cantidad de poros donde éstas son retenidas y absorbidas; especialmente las sustancias orgánicas como los hidrocarburos.

En el tratamiento de aguas se utiliza el carbón activado en forma de polvo y granular. En *forma de polvo* es insoluble y de color negro y se usa para controlar sabor y olor, se agrega en cualquier etapa del tratamiento de aguas a través de filtros. El *carbón activado granular* debe remplazarse periódicamente con carbón regenerado, los ciclos de reemplazo pueden variar en periodos de uno a tres años. Para remoción de sustancias orgánicas los ciclos de reemplazo van de tres a seis semanas.

La *alúmina activada* es un alótropo del óxido de aluminio, en forma de material granular altamente poroso. En el tratamiento de aguas se utiliza para remover arsénico y exceso de iones de flúor. El procedimiento consiste en hacer pasar el agua a través de una columna rellena con este material, la remoción es una combinación entre adsorción con intercambio iónico. La utilización de la alúmina activada para remover arsénico y iones de flúor, requiere de periodos de regeneración. Cuando la alúmina se satura

con arsénico y los iones de flúor, puede regenerarse haciendo pasar sosa caústica (NaOH) a través del material.

Intercambio iónico

El *intercambio iónico* se define como la transferencia de iones entre un medio sólido (resina) y una solución. Esta técnica es utilizada para remoción de cationes, lo que se conoce como *ablandamiento*. Como ya se había mencionado, la *dureza* del agua es causada principalmente por la presencia de iones de calcio y magnesio; también contribuyen el fierro, bario, aluminio y el estroncio. Las resinas utilizadas para intercambio iónico contienen elementos que intercambian iones de sodio. El ion hidronio está disponible en resinas, pero éste no es utilizado para ablandar aguas en fuentes de abastecimiento. Las resinas que generan cationes de sodio reemplazan los iones que provocan la dureza, por lo que la disminuyen, pero incrementan el contenido de iones de sodio.

La *desmineralización* es un proceso de intercambio iónico que remueve los sólidos disueltos en las fuentes de suministro de agua. Estos sólidos disueltos contienen tanto aniones como cationes, por lo que requieren los dos tipos de resinas. Las resinas utilizadas con propósitos de desmineralización presentan intercambio de iones hidronio y se dividen en ácidos fuertes y ácidos débiles. Lo mismo sucede con los iones oxhidrilo que se dividen en bases fuertes y débiles.

El agua blanda que se genera en este proceso, puede ser mezclada con otra con un mayor contenido de sales, para obtener la calidad del agua requerida en cuanto a su contenido de sales.

El *proceso de desmineralización* se utiliza para remover arsénico, bario, cadmio, cromo, flúor, plomo, mercurio, nitratos, selenio, plata, cobre, fierro, manganeso, sulfatos y zinc. Este proceso presenta muchas ventajas como son la baja inversión que se requiere y la simplicidad del proceso. Su mayor desventaja es el alto requerimiento químico para regenerar las resinas y disponer los residuos de estos procesos. Estos factores hacen que el intercambio iónico sea más adecuado para sistemas reducidos de tratamiento de agua.

Los compuestos orgánicos disueltos, agentes oxidantes fuertes y sólidos suspendidos totales (SST) son contraproducentes en los sistemas de intercambio iónico. Los compuestos orgánicos pueden ser absorbidos en las

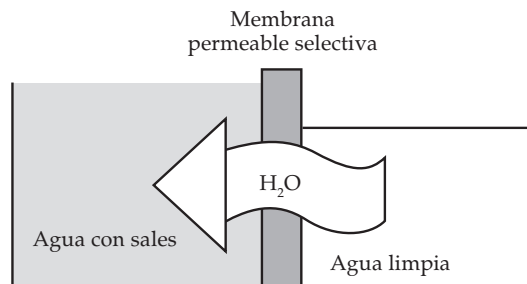
resinas, el cloro puede ser removido por el carbón activado y los sólidos suspendidos pueden inhibir la transferencia de agua a través de la unidad de intercambio iónico y evitar así el contacto apropiado entre el agua y la resina de intercambio.

Procesos de membrana

Existen dos tratamientos que involucran procesos de membrana y que son utilizados normalmente para remover sales (desmineralización) del agua: *ósmosis inversa* y *electrodialisis*.

Ósmosis normal (véase la figura 7): dos soluciones que contienen diferentes concentraciones de minerales son separadas por una membrana semipermeable. El agua se mueve a través de la membrana del lado donde la solución está más diluida hacia la parte de mayor concentración. Este fenómeno continúa hasta que la presión hidrostática en la solución de mayor concentración es suficiente para detener el flujo.

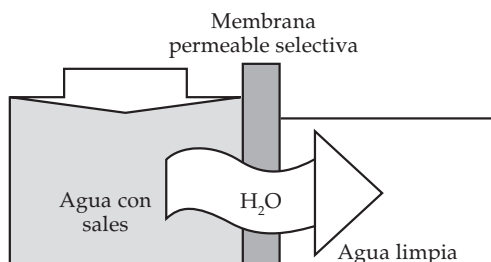
FIGURA 7. Ósmosis normal.



El agua se mueve del lado de menor concentración hacia el de mayor concentración.

Ósmosis inversa (figura 8): el flujo de agua que pasa a través de la membrana semipermeable es inverso por la aplicación de presión externa que contrarresta la presión hidrostática. Esto trae como resultado mayor concentración de minerales de un lado y menor concentración y agua pura en el otro lado.

FIGURA 8. Ósmosis inversa.



El proceso de ósmosis normal se invierte debido a la aplicación de presión externa.

Electrodiálisis: es la desmineralización de agua utilizando los principios de la ósmosis, pero con la influencia de un campo eléctrico de corriente directa. Los minerales se disocian en cationes y aniones cuando entran en el agua. El electrodo positivo llamado ánodo (+), atrae los aniones y el electrodo negativo llamado cátodo (-), atrae los cationes.

Existen dos tipos de membrana semipermeable selectiva utilizada en la electrodiálisis. Una que puede permear los cationes pero no los aniones y la otra puede permear los aniones pero no los cationes. Estas membranas se acomodan en capas, alternando las que permear cationes con las que permear aniones. El agua se alimenta en los espacios entre las membranas y se aplica un campo eléctrico de corriente directa entre las diferentes capas, lo que causa la migración de los iones hacia los electrodos opuestos y trae como consecuencia que los iones se concentren entre los espacios de membranas alternadas y en los demás espacios el agua desmineralizada, la cual es posteriormente extraída en diferentes chorros, uno que contiene los iones y el otro libre de los mismos.

El elemento esencial en el método de ósmosis inversa es la *membrana semipermeable*. Existen diferentes tipos de membranas semipermeables que serán utilizadas dependiendo de las características del agua que vaya a ser tratada. Los sólidos suspendidos, los disolventes orgánicos, el sulfuro de hidrógeno, el hierro, el manganeso y los agentes oxidantes pueden dañar las membranas. Las *membranas de celulosa* son susceptibles de ser atacadas por bacterias pero son resistentes al cloro. Las *membranas de poliamida* (nylon) no son blanco de ataques biológicos pero son sensibles al cloro. Por lo anterior, es necesario que el agua que entra a las unidades de electrodiálisis sea sometida a un tratamiento previo para eliminar los constituyentes indesea-

bles. Se aconseja que el agua antes de este tipo de tratamiento tenga un pH entre 5.0 y 6.5 para prevenir formación de hidróxidos y carbonatos, y que tenga niveles bajos de fierro y manganeso y agregar polifosfatos para inhibir la formación de sulfato de calcio (CaSO_4).

Estabilización

El agua potable que salga de una planta de tratamiento y que entre al sistema de distribución debe estabilizarse. Esto significa que no debe formar depósitos de sales o ser corrosiva bajo las temperaturas en que será distribuida. La manera más común de ajustar el pH del agua es adicionando polifosfatos o silicatos. La *estabilización del agua* se asocia al ajuste del pH para controlar la corrosión; por lo que debe haber suficientes iones de calcio para que se forme carbonato de calcio. En el agua con esta última característica se debe agregar hidróxido de sodio para que no haya un incremento de la dureza.

Tratamiento de aguas residuales

Hasta ahora hemos aprendido que las aguas para abastecimiento humano deben ser tratadas, con mucho más razón las *aguas residuales*, que resultan después de que el agua es utilizada para satisfacer las necesidades humanas, ya sean domésticas, agrícolas o industriales porque contienen compuestos y organismos que son altamente peligrosos para la salud humana. Además de que su aspecto y olor resultan desagradables también pueden contaminar cuerpos de agua que se utilizan para la pesca, para practicar la natación o como fuentes de abastecimiento de agua potable. En virtud de que los microorganismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales consumen el oxígeno disuelto que se encuentra en las mismas, el parámetro que se utiliza para medir esta característica es la *demanda bioquímica de oxígeno (DBO)* que nos sirve también para medir la carga de materia orgánica que entra en las plantas de tratamiento y la efectividad de las mismas.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan gran variedad de métodos para remover los contaminantes. Los más comunes son una combinación de métodos físicos, químicos y biológicos. Existen tres nive-

les de tratamiento de aguas residuales en las plantas: primario, secundario y terciario. El *tratamiento primario* es el primer paso que involucra tratamientos físicos como la filtración y la sedimentación que se utilizan para remover sólidos de gran tamaño. El *tratamiento secundario* utiliza microorganismos para llevar a cabo la digestión de la materia orgánica y eliminar este tipo de residuos (figura 9).



FIGURA 9. Planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de México, D.F.

Los procesos más utilizados en los tratamientos secundarios son las lagunas aireadas, filtros de lodos activados y contactores biológicos rotatorios. Con relación a las bacterias, éstas se dividen en *aerobias* y *anaerobias*, las primeras son las que utilizan oxígeno para activar su metabolismo y las segundas no toleran el oxígeno libre, pero utilizan agentes oxidantes y reductores como alimento para su metabolismo.

En las plantas modernas de tratamiento, las aguas que se obtienen después de los tratamientos biológicos deben desinfectarse por cloración o por cualquier otro método para este fin, dado que las bacterias que se utilizan para estos tratamientos, una vez que han cumplido su función de destruir la materia orgánica no hay garantía de que no puedan ocasionar enfermedades.

En una comparación entre los diferentes métodos, es importante analizar en qué cantidad se reduce la *demanda bioquímica de oxígeno (DBO)* y los

sólidos suspendidos (SS). En la sedimentación se reduce la DBO 35% y los SS 50%. En los tratamientos biológicos en ambos parámetros se obtiene una reducción de 85%. Lo anterior es importante mantenerlo presente en virtud de que en cualquier tratamiento lo que se busca es la reducción de la DBO, de los sólidos suspendidos, del nitrógeno total, del fósforo y del amoníaco.

De los tratamientos de aguas se obtienen como productos secundarios los lodos residuales. El manejo de estos lodos y su disposición es un problema grave que tiende a incrementarse dado que varía considerablemente su composición. Algunos se encuentran libres de sustancias tóxicas y pueden ser utilizados como abono para el suelo, otros contienen altas concentraciones de materia orgánica, inorgánica, contaminantes tóxicos y organismos patógenos, por lo que resulta difícil su disposición final.

También es importante mencionar que las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales no están diseñadas para remover ciertos contaminantes, por lo que las industrias deben eliminarlos a través de un pretratamiento. Uno de los contaminantes difíciles de remover es el plomo proveniente de baterías y cianuros que, además, puede dificultar el tratamiento de las aguas residuales porque interfiere en algunas reacciones de remoción de contaminantes e incrementa los costos por su difícil disposición.

Los problemas que se pueden evitar aplicando un pretratamiento son la corrosión, explosiones e incendios, interferencia en la remoción de sustancias, exposición de los empleados y dificultad para la disposición de lodos.

Tratamiento secundario de aguas residuales

Sistema de filtros: pueden ser utilizados para tratamiento aeróbico de aguas residuales industriales y domésticas, y su efectividad es de 85% para reducir la *demanda bioquímica de oxígeno (DBO)* y los *sólidos suspendidos totales (SST)*. Requieren de supervisión técnica mínima y sus costos de operación comparados con otros tratamientos (sistemas de lodos activados) son mucho más bajos. El sistema de filtros consta de los siguientes componentes en el orden en que se enlistan: cribas, tanques de remoción de arena, clarificador primario, filtro, clarificador secundario, sistema de desinfección y tratamiento y disposición de lodos.

Después de la sedimentación primaria, el agua residual es bombeada a una cama de arena y se le hace pasar a través de ésta. En esta forma, una

cama de bacterias se forma a la mitad y se remueve la materia orgánica del agua residual. El agua residual y los sólidos son transportados a un tanque de sedimentación secundaria en donde son separados. Una porción del agua residual tratada es reciclada nuevamente al filtro para mejorar la calidad del efluente final.

El lodo producido en el sistema de filtros proviene de la clarificación primaria y los sólidos, que incluyen la biomasa y son recolectados en los clarificadores finales. Este lodo es digerido aeróbica o anaeróbicamente y después se dispone en rellenos sanitarios.

Sistema de lodos activados: es un proceso de tratamiento biológico donde O_2 adicional es utilizado para activar las bacterias aerobias. Estos lodos activados se adicionan en los sólidos residuales sedimentados que serán tratados. La mezcla se agita utilizando aire comprimido del centro del tanque la cual maximiza la absorción del oxígeno de la atmósfera. Los microorganismos en los lodos activados oxidan la materia orgánica soluble y capturan partículas sólidas para convertirlas en otras de mayor tamaño en presencia de oxígeno molecular disuelto. La mezcla de microorganismos, partículas sólidas y aguas residuales es aireada y después sedimentada para separar los sólidos biológicos del agua tratada. La mayor porción de los sólidos biológicos son removidos por la sedimentación y reciclados a los recipientes de aireación para ser combinados con el agua residual entrante.

Una variación del proceso de lodos activados que es aplicable en situaciones donde el flujo es muy grande es la *oxidación continua*. El sistema recircula el agua de manera continua en canales cerrados donde se lleva a cabo la aireación. El agua residual se circula de 18 a 24 horas y se utilizan aireadores mecánicos para mezclar y mover el agua, y no sólo provee el oxígeno necesario para la oxidación sino que también remueven los sólidos remanentes.

Lagunas: son los métodos que se utilizan con más frecuencia en el tratamiento de aguas residuales. Pero no pueden tratar residuos al nivel requerido legalmente sin tener que utilizar procesos adicionales. Todas las lagunas funcionan bajo un mismo principio, utilizando las propiedades naturales de las bacterias o las algas para reducir el contenido de materia orgánica en las aguas residuales. Durante el día, la fotosíntesis de las algas proveen el oxígeno necesario para la respiración de las bacterias. Existen

diferentes tipos de tratamientos que incorporan sistemas de aireación adicional.

Sistemas de lagunas de estabilización: se clasifican en dos tipos; 1) las *lagunas de estabilización*, que no tienen una profundidad mayor a 1.8 metros, trabajan con bacterias aerobias y se llevan más de 30 días en destruir los residuos, y 2) las *lagunas de aireación*, que pueden procesar mayor volumen de aguas residuales y requieren de menor tiempo para destruir los contaminantes. Este tipo de lagunas tiene una profundidad entre 1.2 y 1.8 metros. El agua que se encuentra cerca de la superficie es aeróbica debido al oxígeno en la atmósfera y la respiración de las algas, la parte del fondo es anaerobia y contiene sólidos sedimentados y a la parte de la mitad se le llama *zona facultativa*. Las algas que se encuentran cerca de la superficie toman el dióxido de carbono y lo transforman en oxígeno y este fenómeno hace que se eleve el pH arriba de 10, lo cual ayuda a volatilizar el amoníaco de la laguna. El oxígeno producido por las algas es utilizado por las bacterias para destruir el material orgánico de la superficie. Estas lagunas se mezclan utilizando aireadores flotantes de superficie. La remoción efectiva de materia orgánica soluble se puede conseguir con el tiempo apropiado de mezclado. El siguiente paso después del proceso de aireación es la descarga del efluente en los *receptores del agua* que están conformados por grandes estanques o secciones de la laguna de aireación aislados por diques. En algunos casos, estas lagunas se utilizan como dispositivos de pretratamiento. La diferencia principal entre este proceso y el de lodos activados es que la biomasa no es reciclada entre la etapa de sedimentación y la de aireación.

Remoción de los compuestos orgánicos biodegradables: en las lagunas de aireación depende de muchos factores, como el tiempo de retención, temperatura y la naturaleza del residuo. Este proceso reduce considerablemente la demanda bioquímica de oxígeno y se pueden tratar aguas residuales con una gran variedad de compuestos orgánicos presentes si se diseñan adecuadamente. Los problemas que llegan a presentarse con las lagunas de aireación son el excesivo crecimiento de algas, olores desagradables por la presencia de sulfatos y el poco oxígeno disuelto.

Filtración: los filtros intermitentes de arena se utilizan como tratamiento adicional para los efluentes de las lagunas o de los sistemas de tan-

ques sépticos. Esta operación se puede realizar sólo en una ocasión cuando el agua residual se mueve a través del filtro de arena o en más de una ocasión cuando es recirculada. En cualesquiera de los casos, el sistema de filtración consiste en una cama de arena con un grosor de aproximadamente tres pies instalándose una bomba debajo de la grava para que drene. El área total de la cama de arena se divide en dos o más filtros. El agua residual se pasa en ciclos alternados que permiten que el lecho de arena drene completamente, lo cual es necesario para mantener las condiciones aeróbicas.

Métodos de tratamiento por tierra: existen gran cantidad de sistemas de aplicación por tierra que pueden ser utilizados como sistema de disposición de efluentes o como un tratamiento avanzado de efluentes. Este tipo de sistemas de tratamiento tiene grandes beneficios como la recuperación de nutrientes, la recarga del agua subterránea y la conservación del agua por irrigación de las distintas áreas. Estos sistemas son muy recomendables en áreas donde los requerimientos de descarga en la superficie del agua son estrictos y la tierra es relativamente barata. El tipo de suelo y su textura deben ser adecuados para el tratamiento de tierra. La aplicación por tierra es un método avanzado pero sencillo de tratamiento de aguas residuales. El agua residual pretratada, se aplica a la tierra por infiltración, flujo o métodos de irrigación y se lleva a cabo a través de un proceso natural en el que el efluente fluye a través de la vegetación y el suelo, el nitrógeno es removido por las plantas a través del ciclo del nitrógeno. Cierta cantidad del agua residual se pierde por transpiración y evaporación, pero la mayoría se reincorpora al agua a través de la percolación del suelo.

Algunas veces en este tipo de tratamiento por tierra, el agua residual se aplica en las áreas de terreno altas y se colecta en el centro de la colina, después, se desinfecta y se descarga a un cuerpo de agua. En este proceso los sólidos suspendidos que contiene el agua se dispersan en la vegetación y se descomponen. Las bacterias del pasto y del suelo consumen la materia orgánica y los nutrientes consumidos por la vegetación. El efluente resultante reduce notablemente los contaminantes más que los sistemas de tratamiento secundario. La *demanda bioquímica de oxígeno (DBO)* y los *sólidos suspendidos totales (SST)* se remueven entre 85 y 92%, el nitrógeno entre 60 y 80% y el fósforo entre 20 y 50%. Este tipo de sistema es muy efectivo y requiere de un equipo mínimo.

Una variación del sistema de tratamiento por tierra es la irrigación de

suelos, en el cual el agua residual se bombea a diferentes áreas en suelos con alta permeabilidad. En este sistema convergen diferentes tratamientos como la filtración, adsorción y actividad microbiana cuando se percola el agua a través del suelo.

Disposición de lodos: como se ha mencionado previamente, la mayoría de los tratamientos de aguas residuales generan lodos que deben ser tratados de forma apropiada para su disposición final; sin embargo, antes deben estabilizarse, lo que removerá organismos patógenos y reducirá el contenido de materia orgánica. Después de la estabilización, en algunas ocasiones se elimina el agua de los lodos para eliminar su volumen total y son depositados en la tierra como disposición final. La estabilización es complementada por digestión aerobia o aplicación de lime, donde los lodos son bombeados a un digestor y retenido por un periodo de entre 20 y 30 días para reducir los sólidos suspendidos y los patógenos. Durante esta etapa de estabilización, los lodos son aireados y mezclados de manera rutinaria. En el método de aplicación de lime, éste se le agrega para aumentar el valor del pH a más de 12, lo cual reduce los organismos patógenos. La eliminación del agua se complementa de manera sencilla utilizando camas de arena para filtración.

Algunos lodos limpios se pueden utilizar como acondicionadores del suelo en virtud de que contienen nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio. Esto hace a los lodos un excelente complemento a los fertilizantes comerciales. También los lodos pueden ser aplicados debajo de la tierra por inyección o cuando se les ha eliminado el agua se pueden esparcir sobre la superficie de la tierra.

Cuestionario

1. Mencione los parámetros físicos de la calidad del agua.
2. Mencione los parámetros químicos de la calidad del agua.
3. Explique los parámetros biológicos de la calidad del agua.
4. Explique los requerimientos de la calidad del agua.
5. Explique el concepto de contaminación del agua.
6. ¿Cuáles son los tipos de abastecimiento de agua?
7. Explique la diferencia entre tratamiento de aguas y tratamiento de aguas residuales.

8. Explique los tratamientos de aguas físicos, químicos y biológicos.
9. Esquematice las etapas de tratamiento de aguas para consumo humano.
10. Explique lo que es el cribado y la filtración, y su finalidad.
11. Mencione las técnicas de desinfección y los productos utilizados para ello.
12. Explique brevemente el tratamiento de contaminantes orgánico e inorgánicos.
13. Explique los propósitos de la aireación y la oxidación.
14. Explique el tratamiento por métodos de adsorción.
15. Explique el intercambio iónico y los procesos de membrana.
16. Explique el tratamiento de aguas residuales.
17. ¿Cuáles es el método secundario de aguas residuales?
18. Explique los métodos de tratamiento por tierra y la forma como se lleva a cabo la disposición de lodos.

SUELO

OBJETIVO: conocer y comprender los principales términos que se utilizan para definir los aspectos relacionados con la contaminación del suelo, contaminantes sólidos y los métodos para minimizar, controlar y prevenir la contaminación provocada por éstos.

Generalidades

Es necesario entender los principios básicos relacionados con la naturaleza del suelo para conocer el movimiento de los contaminantes en este medio. El *suelo* es la delgada capa de corteza terrestre en la que habitan los seres humanos y que es afectada por los cambios climatológicos y la descomposición de los organismos. En el suelo se han desarrollado bajo diferentes condiciones climáticas una gran variedad de material rocoso de diversos orígenes. Los distintos tipos de suelo varían en su color, grosor, en el número de capas, en la cantidad de arcilla, sales y material orgánico que contienen. Estos factores afectan la movilidad de los contaminantes a través del suelo. Algunas predicciones sobre qué tan profundo puede llegar un contaminante en el suelo se pueden hacer con base en el conocimiento de las características del mismo y de su contenido de arcilla.

El suelo es esencial para la vida, las plantas toman de ahí su alimento a través de la cadena alimenticia, y todos los animales dependen del mismo. El suelo está formado por roca que a lo largo de grandes periodos se ha ido pulverizando por la acción del ambiente. Existen tres tipos de roca que conforman la corteza de la tierra: la *roca ígnea* que es material de lava solidificado, la *roca sedimentaria* que es el resultado de la acción del clima sobre las rocas ya existentes y la *roca metamórfica* que originalmente fue roca sedimentaria o ígnea pero que fue modificada por la temperatura, la presión y fluidos químicos activos. Estas rocas conforman lo que comúnmente llamamos *subsuelo* o *tierra*.

La formación del suelo es un proceso continuo en el que intervienen

los organismos y las condiciones climáticas. Por ejemplo el congelamiento o derretimiento del agua en las diferentes estaciones del año trae como consecuencia la expansión y contracción de las rocas provocando que se quiebran en piezas más pequeñas al paso del tiempo. Los organismos vivos producen sustancias ácidas que pueden provocar también el rompimiento de las rocas. En resumen, existe gran cantidad de actividades físicas, químicas y biológicas que van dando forma al suelo y cambiando sus características, el suelo es más que pequeños pedazos de roca.

Los científicos distinguen el suelo de otros materiales geológicos por sus cuatro componentes principales que son las partículas minerales (roca y arcilla), el material orgánico, el agua y el aire. Los suelos más oscuros indican que tienen mayor cantidad de materia orgánica.

La descomposición de animales y plantas provee al suelo de materia orgánica, las bacterias trabajan constantemente para transformar este material en uno más rico en nutrientes, conocido como *humus*. El proceso de descomposición de la materia orgánica libera minerales esenciales y nutrientes en el suelo donde pueden ser utilizados por las plantas.

La principal característica del suelo es la textura, que se refiere al tamaño de las partículas que lo conforman. Estas partículas se clasifican en orden decreciente en varios grados: grava, arena y arcilla. La textura del suelo es importante ya que determina cuánta agua puede retener y la facilidad con que otras sustancias se pueden mover en el mismo. Es por esta razón que cuando se realiza una investigación sobre la contaminación del suelo, se debe realizar un análisis sobre sus características para indicar la profundidad y el grosor de las capas del suelo.

Otras propiedades del suelo como su estructura y distribución de la porosidad son importantes para conocer la forma como el agua y otros líquidos se mueven a través de éste. La materia orgánica aumenta la capacidad del suelo para manejar el agua, así como su capacidad de infiltración. Por otra parte, las capas con menor permeabilidad, como la arcilla, reducen sustancialmente el movimiento del agua.

Cuando un contaminante líquido es vertido en la superficie del suelo, empiezan a desarrollarse una serie de fenómenos. Si se trata de una sustancia volátil, parte de ésta escapará hacia la atmósfera. Las porciones líquidas se moverán a través de los poros del suelo y continuarán su movimiento por la fuerza de gravedad hasta que sea atenuado o detenido por la reducción de la concentración por la adherencia de los líquidos a las partículas del suelo. En otras palabras, si se tuvieran 500 litros de gasolina en un tan-

que subterráneo y éste tuviera una grieta por donde se escapara el líquido hasta que se vaciara, dependiendo del tipo de suelo el líquido se movería sólo algunos metros o cientos de ellos; por ejemplo, si se tratara de un tanque relativamente pequeño el líquido se movería hasta una profundidad de 45 metros donde el suelo está formado principalmente por rocas de gran tamaño.

Hasta el momento se han mencionado las características y propiedades del suelo, así como las sustancias que pueden contaminarlo; sin embargo, no hemos establecido el concepto de *residuo* que es una sustancia o material al que ya no se le va a dar ningún uso. En el caso de la contaminación del suelo, el tipo de residuos más problemáticos es el de los residuos sólidos, ya que aunque algunos no son peligrosos por los volúmenes que se manejan, resulta difícil su disposición final que normalmente es en el suelo, como veremos más adelante.

Contaminación del suelo

Desde siempre, el suelo ha sido utilizado para depositar los residuos, incluyendo los que han sido removidos del aire y de la tierra. En los últimos años, la mayor parte de los esfuerzos en cuanto a la protección ambiental se han abocado a limpiar el aire y el agua, así como en evitar que se sigan contaminando, esto porque su relación con los problemas de salud en la población es más directa. Sin embargo, no se deben descuidar los aspectos de contaminación del suelo, ya que amenazan no sólo a los usos futuros del mismo sino también la calidad de aire circundante, el agua superficial y el agua subterránea, debido a que los contaminantes en la superficie de la tierra se transportan hacia el aire como pueden ser las bacterias o virus que se propagan en los tiraderos a cielo abierto o cuando un relleno sanitario no cumple con las características idóneas de diseño y puede provocar que los lixiviados se transfieran hacia el agua subterránea.

En algunas ocasiones la contaminación es el resultado de la aplicación directa de plaguicidas o fertilizantes en la tierra o puede deberse al almacenamiento, manejo o disposición inadecuados de sustancias tóxicas. Por otra parte los residuos provenientes de fuentes industriales pueden poner en peligro la salud humana y el ambiente; por ejemplo, la filtración provocada por el derrame de sustancias químicas puede provocar la contaminación del suelo y del agua subterránea. Así como, una situación que re-

sulta muy peligrosa, es la mala disposición de los aceites usados de motor porque provocan que se contaminen miles de cientos de litros de agua a niveles alarmantes debido a la relación que existe entre la tierra, el agua atmosférica en forma de lluvia y el agua subterránea dentro del ciclo hidrológico.

Algo bastante común es lo que provocan los residuos domésticos, ya que si no son depositados en forma adecuada, causan problemas de contaminación por su mal aspecto y propician la proliferación de fauna nociva como ratas, cucarachas y moscas. Los residuos orgánicos de la basura o productos de papel en descomposición generan gas metano que por ser más ligero que el aire tiende a subir a través del suelo hacia la atmósfera. Sin embargo, la principal fuente de contaminación del suelo es la disposición de los residuos municipales, la disposición ilegal de residuos peligrosos y los sitios abandonados con residuos peligrosos o tanques subterráneos.

Se estima que existen más de dos millones de tanques subterráneos en Estados Unidos que contienen sustancias de uso común como la gasolina o diesel o hasta sustancias tóxicas más peligrosas. En un estudio realizado en Canadá sobre tanques subterráneos, se encontró que estos tanques elaborados con acero que tenían una expectativa de vida de 15 años en promedio, debido a la corrosión acelerada y por estar colocados bajo tierra, a pesar de tener protección anticorrosión, ocasionaba que duraran mucho menos tiempo. Así pues, una pequeña filtración puede causar que una sustancia se libere en la superficie donde se encuentran los contenedores. Además del peligro potencial de contaminar las fuentes de agua potable existe la amenaza de que exploten debido a que contienen sustancias inflamables como la gasolina.

En cuanto a los residuos industriales éstos presentan diferentes tipos de problemas, mucha gente no sabe que los procesos industriales usados para generar los productos de uso diario generan grandes cantidades de residuos peligrosos, como se muestra en el cuadro 2. Muchos de los compuestos de estos residuos como las dioxinas representan un riesgo a la salud y al ambiente; otros se vuelven peligrosos cuando se combinan con otras sustancias.

Los efectos potenciales para la salud van desde dolores de cabeza, náuseas, daños a los riñones y a las funciones del hígado, cáncer y daños genéticos.

CUADRO 2. Productos de uso común y los residuos peligrosos que generan.

<i>Producto</i>	<i>Residuo peligroso generado</i>
Plásticos.	Compuesto órgano-clorados, solventes orgánicos.
Plaguicidas.	Compuesto órgano-clorados, compuesto órgano-fosforados.
Medicinas.	Solventes orgánicos, metales pesados (zinc y mercurio).
Pinturas.	Metales pesados, pigmentos, solventes, residuos orgánicos.
Productos de petróleo.	Aceite, fenoles, metales pesados, amoníaco, sales ácidas y cáusticas.
Metales.	Metales pesados, fluoruros, cianuros, solventes, pigmentos, abrasivos, sales de plata, aceites, fenoles.
Artículos de piel.	Metales pesados, solventes orgánicos.
Textiles.	Metales pesados, colorantes, compuestos órgano-clorados, solventes.

FUENTE: *Preserving the Legacy, Introduction to Environmental Technology*, John Wiley y Sons.

Residuos sólidos

En general, se les puede clasificar en tres tipos: residuos municipales, residuos industriales y residuos peligrosos.

Residuos municipales

Son los residuos generados en las casas habitación; comercios (tiendas, restaurantes o mercados); áreas abiertas (parques o jardines) y en instalaciones de plantas de tratamiento de aguas (figura 10).

Residuos industriales

Son generados por la actividad industrial como los plásticos, cenizas, residuos de demolición y construcción (figura 11).



FIGURA 10. Residuos municipales.



FIGURA 11. Residuos plásticos.

Residuos peligrosos

Son los que por sus propiedades fisicoquímicas pueden provocar serios daños en el ambiente, en la salud y a la seguridad de los seres humanos. Estos tipos de residuos a su vez pueden clasificarse en corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables y biológico-infecciosos (figuras 12 y 13). Estos residuos son generados en su gran mayoría por las actividades



FIGURAS 12 y 13. Residuos peligrosos biológico-infecciosos.

industriales y por su generación, lo importante es identificar la cantidad y tipo de residuos peligrosos de cada fuente, poniendo especial interés en los lugares donde se genera en cantidades considerables.

Propiedades de los residuos sólidos

La información sobre las propiedades de los residuos sólidos es importante en la evaluación de las necesidades de equipamiento, sistemas, planes y programas de manejo, especialmente con respecto a la disposición e implementación de un sistema de recuperación de energía. Para el caso de la *composición física* se deben identificar los componentes individuales, analizar el tamaño de las partículas, el contenido de la mezcla y la densidad de los materiales.

El conocimiento de la *composición química* también es importante para establecer alternativas de procesamiento y opciones de recuperación de energía. Por ejemplo, si los residuos sólidos se van a utilizar como combustibles, las cuatro propiedades más importantes que se deben conocer son: la cantidad de material volátil, cenizas totales, porcentaje de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y poder calorífico (contenido de energía).



FIGURA 14. Reciclado de cartón.

Manejo general de los residuos sólidos

Si reconocemos que nuestro mundo es finito y que si lo seguimos contaminando de manera indiscriminada será difícil rectificarlo en el futuro, de la misma forma el manejo de los residuos sólidos. En este caso el objetivo principal es minimizar los efectos adversos al ambiente ocasionados por la disposición indiscriminada de los residuos sólidos, especialmente los peligrosos. Para evaluar las posibilidades de manejo es importante considerar lo siguiente:

Flujo de materiales en la sociedad: los residuos sólidos son generados al comienzo del proceso, desde las materias primas, después se van generando en cada etapa del proceso cuando se van transformando en productos o bienes de consumo. La mejor manera de reducir la generación de residuos es reduciendo la cantidad de materias primas utilizadas e incrementando su reutilización y recuperación de material residual. Aunque el concepto es simple para llevarlo a cabo en la sociedad moderna resulta extremadamente difícil.

Reducción de la cantidad de materias primas: pueden cuantificarse relativamente para satisfacer la ley de la conservación de la materia; es decir, que lo que entra es igual a lo que sale, por lo que lógicamente si se utiliza menor cantidad de materia prima debe reducirse la cantidad que sale. Por ejemplo, podemos mencionar, que derivado de las restricciones sobre la cantidad de material que se utiliza en la fabricación de autos en Estados Unidos, observamos que son en promedio 20% menores que los autos en las décadas de los cincuenta y sesenta. Esta reducción en el tamaño trajo una reducción de 20% en la demanda de acero lo que provocó que también la explotación del hierro que se utiliza para producirlo se redujera. Mientras algunas personas están de acuerdo con esta medida de reducción de materias primas, otras no lo están porque argumentan que esta situación hace que disminuyan la cantidad de empleos en este tipo de industrias, lo que está relacionado con las políticas de cada país.

Reducción en la cantidad de residuos sólidos: puede ocurrir en diferentes formas: 1) en la cantidad de material utilizado para fabricar un producto que puede reducirse, 2) incrementando la vida útil de un produc-

to, y 3) disminuyendo la cantidad de material para empaque y comercialización.

Reciclaje: en la actualidad ocurre comúnmente cuando un producto se usa en más de una ocasión. Por ejemplo, las bolsas de papel o de plástico que se utilizan para llevar los alimentos de los supermercados a las casas se utilizan para almacenar los residuos en nuestras casas. Lo mismo ocurre con las botellas o contenedores de bebidas que son de cristal, las cuales pueden utilizarse infinidad de ocasiones.

Recuperación de materiales: una gran cantidad de materiales presentes en los residuos sólidos y municipales se pueden reciclar y recuperar, entre los más comunes están el cartón, el vidrio, los plásticos, los metales no ferrosos y ferrosos, de los cuales todos se recuperan actualmente a excepción del plástico.

Recuperación de energía: debido a que casi 70% de los componentes que conforman los residuos sólidos son orgánicos, el potencial de recuperación de energía es alto. Esta energía contenida se puede transformar a una forma donde su utilización sea más sencilla. De las opciones más comunes podemos mencionar la incineración de materia orgánica como combustible.

Consolidar el manejo diario de los residuos sólidos: los temas que hasta el momento hemos mencionado son de gran importancia y proveen una perspectiva sobre el manejo del problema de los residuos en general. Sin embargo, se debe poner atención en la manera de optimizar y mejorar el manejo cotidiano de los residuos que resulta también complejo y costoso debiendo poner especial cuidado en la velocidad de generación, almacenamiento en sitio, recolección, transferencia, transporte, procesamiento y disposición final. Estas actividades de administración del manejo de los residuos sólidos implican otras situaciones como el financiamiento, operación, equipamiento, administración del personal, elaboración de guías y comunicados.

Sistemas de ingeniería para manejo de residuos sólidos

En este apartado se presentan las actividades inherentes al manejo de los residuos sólidos desde su generación hasta su disposición final.

Etapas para el manejo de los residuos sólidos

Las actividades que se llevan a cabo en el manejo de los residuos sólidos desde su generación hasta la su disposición final, se pueden clasificar en seis etapas principales (figura 15):

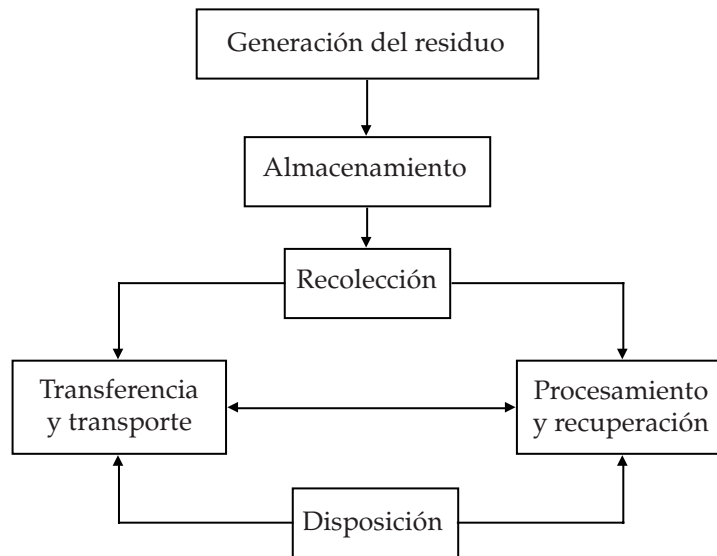


FIGURA 15. Etapas para el manejo de los residuos sólidos.

Generación del residuo: en esta etapa se deben analizar la cantidad y la composición general del material residual para el diseño de los sistemas de manejo y tratamiento, así como la cantidad y el volumen del mismo. También se deben contemplar los factores que afectan estos parámetros como la localización geográfica, época del año, frecuencia de la recolección, características de la población y legislación.

Manejo en sitio: o (almacenamiento y procesamiento) en esta etapa se deben hacer consideraciones para el almacenamiento que involucra el tipo de contenedores a utilizar dependiendo de los residuos, la localización de los mismos, la salud pública, aspectos estéticos y los métodos de recolección. El procesamiento en sitio de residuos se lleva a cabo para *recuperar materiales* que puedan tener alguna utilidad, para reducir su volumen o para alterar su forma física. Las operaciones más comunes son la *separación manual, compactación e incineración*.

Recolección: en esta etapa que es la más costosa de todas, se deben tomar en consideración los siguientes aspectos:

Tipos de servicios de recolección: se dividen en servicios de *recolección municipales*, que son los que proporcionan los gobiernos locales y los sistemas de *recolección comercial o industrial* que normalmente son privados;

Tipos de sistemas de recolección: su clasificación se basa en el tipo de operación que puede ser por *sistemas de contenedores móviles y sistemas de contenedores estacionarios*, los primeros son utilizados para transportar los residuos al lugar de disposición final y devueltos a su posición original; esto incluye en el sistema un camión de transporte y mecanismos de compactación. Los segundos se utilizan cuando el contenedor permanece en el lugar de generación del residuo, excepto cuando es movido para su carga o descarga de los residuos.

Rutas de recolección: una vez que el equipo y las actividades han sido determinados, se deben establecer para aprovechar al máximo el equipo, el tiempo y el personal. Para tal fin se deben realizar *trazados de las rutas y establecer horarios* con la finalidad de evitar conglomeraciones que son tan comunes en las zonas urbanas.

Transferencia y transporte: la etapa de transferencia y transporte se refiere a los accesorios e instalaciones que se utilizan para transportar los residuos de vehículos relativamente pequeños a vehículos de mayor tamaño hasta los centros de procesamiento o sitios de disposición final. Las acciones de transferencia y transporte son necesarias cuando la distancia entre las instalaciones de procesamiento o los sitios de disposición con relación a los puntos de generación es muy grande y no es económicamente factible. En esta etapa son muy importantes las *estaciones de transferencia* las cuales para ser diseñadas requieren de los siguientes parámetros: tipo de opera-

ción de transferencia, requerimientos en cuanto a la capacidad, equipos, medio ambiente y medios de transporte (en algunas partes del mundo los residuos son transportados por tren, por embarcaciones o por vehículos automotores.

Procesamiento de los residuos sólidos: son utilizadas para mejorar la eficiencia de los sistemas de disposición final de residuos y para recuperar recursos (materiales reutilizables) y energía. Entre las y técnicas que se utilizan comúnmente en los sistemas municipales tenemos:

Compactación o reducción mecánica del volumen: que es quizá el factor más importante en la operación de los sistemas de manejo de los residuos sólidos. Por mencionar uno de los beneficios de esta operación podemos afirmar que la vida útil de los rellenos sanitarios se incrementa de manera significativa con la compactación de los residuos, ya que al disminuir su volumen lleva más tiempo llenarlos. Cuando se compactan los residuos su densidad final llega a ser de $1100\text{kg}/\text{m}^3$; la operación se puede llevar a cabo con vehículos equipados con mecanismos de compactación en la recolección de los residuos o con equipo fijo.

Incineración: el volumen de los residuos sólidos puede ser reducido en más de 90% por la incineración. En el pasado ésta era la más común, sin embargo, con las restricciones actuales en cuanto al control de la contaminación del aire, el costo de los equipos se ha elevado considerablemente ya que deben contar con mecanismos para reducir los contaminantes que se emitan a la atmósfera. Sin embargo, el aumento de los residuos y la escasez de rellenos sanitarios, así como las distancias que se recorren para transportar los residuos, ha hecho que los incineradores vuelvan a considerarse como una opción viable para solucionar parte de la problemática de los residuos sólidos.

Separación manual de los componentes: esta operación se puede llevar a cabo desde el lugar donde se generan, en una estación de transferencia o en el sitio de disposición final. Para recuperar la mayor parte de los materiales reciclables, la separación debe realizarse desde donde se generan. La cantidad y variedad del material recuperado son muy amplias, entre los más importantes podemos mencionar el cartón, papel de alta calidad, metales, madera, papel periódico, latas de aluminio y envases de vidrio. Las oportunidades de reciclado y reventa dependerán de la localidad y del tipo de industrias que haya en la misma, por ejemplo el papel reciclado se puede utilizar para fabricar papel sanitario o para elaborar cuadernos de menor ca-

lidad. La reutilización de latas de aluminio en muchos países se ha vuelto una práctica común que deja grandes beneficios económicos a las empresas que se dedican a esta actividad y a las comunidades porque reducen la cantidad de residuos.

Disposición final de los residuos: la disposición final sobre el suelo es el único método viable para el manejo a largo plazo de los residuos sólidos recolectados que no tendrán un uso en el futuro, de la materia residual proveniente de la elaboración de productos o generación de energía. Para la disposición de los residuos sólidos existen tres métodos principales: el tratamiento por suelos, la inyección profunda y el relleno sanitario. Los dos primeros se utilizan para tratar residuos industriales y el tercero para disposición de residuos sólidos municipales:

Tratamiento por suelos: es un método de disposición de residuos sólidos en el que los procesos fisicoquímicos y biológicos que tienen lugar en la superficie del suelo se utilizan para tratar los residuos industriales biodegradables, los cuales se disponen en la parte superior del suelo que ha sido previamente preparado con ese fin. Cuando los residuos orgánicos son depositados en el suelo, están sujetos de forma simultánea a los procesos de *descomposición química y bacteriológica; lixiviación del contenido de agua de los residuos y de los líquidos producidos por su descomposición; volatilización de diversos componentes de los residuos y, de su descomposición.* Para la aplicación de este tratamiento se deben tomar en consideración diferentes factores como la composición del residuo, compatibilidad de los residuos con la microflora y fauna del suelo, requerimientos del ambiente como oxígeno, temperatura, pH y nutrientes orgánicos así como el contenido de la mezcla de los residuos sólidos. El tratamiento por suelos se aplica para los residuos que contienen constituyentes orgánicos que son biodegradables y que no generan gran cantidad de lixiviados cuando el proceso de la transformación biológica tiene lugar; por ejemplo, los residuos de petróleo y lodos con aceites son ideales para ser tratados por este método y todos los residuos con características similares. Una ventaja que presenta este tratamiento es que los sitios utilizados pueden ser usados para ocasiones posteriores sin efectos adversos en el suelo, dejando intervalos de tiempo.

Inyección profunda: se utiliza para la disposición de líquidos provenientes de residuos sólidos y consiste en inyectarlos en formaciones de roca permeable o en cavernas subterráneas. La instalación de pozos profundos

para la inyección de los residuos es similar a la tecnología utilizada para perforar los pozos petroleros. Para aislar y proteger las fuentes subterráneas de agua potable se deben realizar operaciones como agregar cemento en ciertas partes del pozo. Esta operación se utiliza principalmente para residuos líquidos cuyo tratamiento y disposición resulta difícil bajo los métodos convencionales de tratamiento de residuos peligrosos. Los residuos farmacéuticos, petroquímicos o químicos son lo que se disponen bajo este método. Desde luego que el residuo debe ser líquido, pero los gases o los sólidos peligrosos se pueden disolver en un líquido para inyectarlos en el pozo.

Relleno sanitario: al espacio construido en el manto superior de la tierra para la disposición final de residuos sólidos municipales, con características especiales para evitar la contaminación de mantos freáticos y de las áreas cercanas, se le conoce como relleno sanitario. Dicho espacio normalmente se localiza en las afueras de las grandes ciudades y debe de guardar ciertas características tanto en el diseño como en la operación.

Relleno sanitario

Controla la disposición de los residuos sólidos en el manto superior de la tierra. Los aspectos importantes que se deben considerar para la implementación de los residuos son:

Selección del sitio: los factores que se deben considerar para la evaluación del sitio potencial de disposición se resumen en el cuadro 3. Pero la selección final de un sitio de disposición final se basa usualmente en los resultados de una inspección preliminar al sitio, en los resultados de los diseños de ingeniería y estudio de costos y en la evaluación del impacto ambiental.

Diseño y operación de los rellenos sanitarios

Las consideraciones más importantes en el diseño y operación de los rellenos sanitarios incluye los requerimientos del terreno, el tipo de residuos que se van a manejar, evaluación de la filtración potencial, diseño del drenaje e instalaciones para controlar la filtración, desarrollo de un plan general de operación, diseño de un plan de llenado con los residuos sólidos y

CUADRO 3. Factores que deben considerarse en la evaluación de un sitio potencial para relleno sanitario

<i>Factor</i>	<i>Observaciones</i>
Área de tierra disponible.	El sitio seleccionado debe tener una vida útil mayor a un año.
Distancia de transporte.	Debe ser de tamaño tal que no tenga impacto significativo en los costos de operación.
Condiciones del suelo y topografía.	Los materiales de recubrimiento deben estar disponibles cerca del sitio.
Agua superficial e hidrología.	Se deben especificar los requerimientos de drenaje.
Condiciones geológicas.	Éste es probablemente el factor más importante para el establecimiento del sitio del relleno sanitario. Especialmente con respecto a la preparación del sitio.
Condiciones climatológicas.	Se deben prevenir las situaciones ocasionadas por la lluvia.
Condiciones ambientales del sitio.	Se deben establecer los requerimientos de control del ruido, olores, viento y factores estéticos.
Utilización final del sitio.	Se deben prever usos futuros del sitio.

FUENTE: *Environmental Engineering*, International Edition, Mc Graw Hill.

determinación de los requerimientos de equipamiento; también se deben tomar en consideración factores individuales que estarán en función de las áreas seleccionadas y de actividades preventivas como la protección de aguas subterráneas, comunicaciones, instalaciones de empleados, equipo contra incendio y tirado clandestino de basura en el relleno sanitario. De esos factores, los más importantes son los planes de operación y de llenado del relleno sanitario. En el primero se deben tomar en consideración los caminos de acceso, las escalas en el traslado, el almacenamiento para los residuos especiales y las plantaciones. Para el llenado del relleno sanitario se deben considerar la cantidad de material, la topografía, geología e hidrología locales.

Generación y control de gases y lixiviados

Cuando los residuos sólidos son depositados en un relleno sanitario ocurren una serie de fenómenos químicos, físicos y biológicos, como la descomposición aeróbica y anaeróbica de materia orgánica con la evolución de gases y líquidos; oxidación química de los residuos; escape de gases del relleno; movimiento de líquidos ocasionado por las diferencias del terreno; disolución y lixiviación de materiales orgánicos e inorgánicos por agua; movimiento del material disuelto por gradientes de concentración o por ósmosis y asentamientos desiguales de los residuos en los espacios vacíos. Los gases que se encuentran dentro de los rellenos sanitarios están el amoníaco, bióxido de carbono, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, metano, nitrógeno y oxígeno, de los cuales los más abundantes son el *bióxido de carbono* y el *metano* ya que son producidos por la descomposición anaerobia de los *residuos orgánicos*.

El control de los gases en los rellenos sanitarios se lleva a cabo construyendo respiraderos, barreras de grava o través de sistemas de recuperación de gas. Para los respiraderos se instalan tuberías a través de las capas de grava en el centro de los rellenos sanitarios.

Los *lixiviados* son los líquidos que se han percolado a través de los residuos sólidos y de los que se han extraído materiales suspendidos y disueltos. En la mayoría de los rellenos sanitarios se forman por la descomposición de los residuos y por los líquidos que han entrado en los rellenos provenientes de fuentes externas como drenaje superficial, filtración de agua de lluvia y agua subterránea. En condiciones normales se encuentran en el centro de los rellenos sanitarios moviéndose en forma vertical a través de los diferentes estratos; sin embargo, en algunas ocasiones pueden presentar movimiento lateral, dependiendo de las características del material circundante. En el primer caso, algunos de los constituyentes químicos y biológicos serán removidos por la acción de filtración y absorción del material que compone las capas. En general esta acción depende de las características del suelo; especialmente por su contenido de arcilla. De manera que el uso de este material es la manera más eficaz para eliminar o reducir la percolación de los lixiviados. También se utilizan líneas de membrana pero son más caras y requieren de especial cuidado durante el llenado del relleno sanitario para que no se dañen.

Sistemas de ingeniería para reciclado y aprovechamiento de materiales

Las técnicas y métodos de recuperación de materiales, la conversión de productos y energía de los residuos sólidos de estos sistemas pueden clasificarse en:

Procedimientos físicos: los métodos físicos ya presentados tienen la finalidad de aumentar la eficiencia de los sistemas de procesamiento de los residuos sólidos. En este caso se utilizan para recuperar materiales que todavía pueden ser utilizados. Los cuales provienen de la alteración mecánica del tamaño, separación mecánica de los componentes, separación magnética y electromagnética y eliminación de la humedad.

Separación mecánica de los componentes: tiene como finalidad facilitar el manejo y procesamiento de los residuos y normalmente se lleva a cabo con filtros mecánicos rotatorios y es la etapa previa para procedimientos como la trituración, además de evitar que se mezclen entre sí.

Alteración mecánica del tamaño: su objetivo es obtener un producto uniforme para el mejor manejo del mismo lo que se puede conseguir con desfibradoras, prensas, y trituradoras. Un ejemplo ilustrativo de este procedimiento es el procesamiento que se le da al papel o al cartón para su reutilización debido a que son triturados para volverlos a utilizar.

Separación magnética y electromecánica: la separación magnética se aplica para la separación de materiales ferrosos, que serán reutilizados en la industria de metales. En años recientes, se están comenzando a aplicar técnicas electromecánicas para separar materiales no ferrosos.

Eliminación de la humedad: algunos materiales que se encuentran entre los residuos contienen cantidades considerables de humedad que puede dificultar su reprocesamiento, por tanto, es necesario aplicarles técnicas de calentamiento para eliminar esa humedad, lo cual se puede conseguir hornos especiales. Esta técnica se utiliza para el cartón y el papel.

Sistemas de recuperación de materiales: son los procesos individuales que se pueden combinar con diferentes alternativas para la recupera-

ción de materiales y la preparación de residuos combustibles. Sin embargo, se deben considerar tres situaciones importantes:

Especificación de los materiales a procesar: como el cartón, papel, plásticos, fierro, vidrio, metales ferrosos y no ferrosos son los principales materiales que se encuentran en los residuos sólidos municipales que se pueden recuperar. En alguna situación determinada, se debe tomar la decisión de reciclar alguno de estos materiales, la cual se debe basar en una evaluación económica, las características de los materiales y de la situación local.

Sistemas de reciclado: una vez que se tomó la decisión de reciclar materiales o de recuperar energía, se deben desarrollar diagramas de flujo para ilustrar y determinar el camino que seguirán los materiales a recuperar, que estarán en función (de la misma forma que en el punto anterior) de las características de los materiales y de la localidad.

Diseño de rutas y sistemas para las instalaciones de la planta de procesamiento: se lleva a cabo fácilmente con la elaboración de diagramas de flujo. En esta etapa los factores que deben considerarse son la eficiencia de los procesos, factibilidad y flexibilidad, economía en la operación, condiciones estéticas y controles ambientales

Recuperación de productos biológicos aprovechables: la transformación de estos productos proveniente de los residuos sólidos e incluye la composta, metano, proteínas, alcoholes y una gran variedad de compuestos orgánicos. Los principales procesos utilizados son los que se muestran en el cuadro 4. El composteo y la digestión anaeróbica son los procesos utilizados más comúnmente.

Composteo o conversión aeróbica: si los materiales orgánicos (excluyendo los plásticos, hule y pieles) son separados de los residuos sólidos municipales son susceptibles de la descomposición bacteriológica, el producto que se obtiene después de la actividad bacterial es la *composta* o *humus*. Al proceso total que involucra la separación y transformación de la materia orgánica es el *composteo*. La descomposición de los residuos sólidos orgánicos se puede llevar a cabo en forma aeróbica o anaeróbica dependiendo de la disponibilidad de oxígeno. El composteo consta de tres pasos principales: la preparación de la materia orgánica; descomposición

CUADRO 4. Procesos biológicos para aprovechamiento de productos de los residuos sólidos.

<i>Proceso</i>	<i>Producto obtenido</i>	<i>Proceso previo</i>
Conversión aeróbica.	Composta (acondicionador del suelo).	Separación de la fracción orgánica, reducción del tamaño de partícula.
Hidrólisis alcalina.	Ácidos orgánicos.	Separación de la fracción orgánica, reducción del tamaño de partícula.
Digestión anaerobia (en el relleno sanitario).	Metano.	Ninguna, se lleva a cabo en las celdas del relleno sanitario.
Digestión anaerobia (fuera del relleno sanitario).	Metano.	Separación de la fracción orgánica, reducción del tamaño de partícula.
Fermentación (seguida de la hidrólisis ácida).	Etanol.	Separación de la fracción orgánica, reducción del tamaño de partícula, hidrólisis ácida para producir glucosa.

FUENTE: *Environmental Engineering*. International Edition, Mc Graw Hill.

de los residuos sólidos y preparación y comercialización del producto. Dentro del proceso de separación podemos contar con la recepción, clasificación, separación, reducción de tamaño y mezclado que son parte del proceso de separación. Una vez que los residuos sólidos se han convertido en *humus*, están listos para el tercer paso, la preparación para la comercialización del producto en el que se incluye el acondicionamiento con aditivos, granulación, empaque, almacenamiento, traslado y en algunos casos la comercialización directa.

Digestión anaerobia o fermentación anaerobia: es el proceso utilizado para la producción de metano de los residuos sólidos y para el cual existen tres pasos básicos: el primero, que consiste en la preparación de la fracción orgánica y en la recepción, clasificación, separación y reducción de tamaño. El segundo, se lleva a cabo adicionando agua y nutrientes, además de tener que ajustar el pH a un valor de 6.7 lo que se consigue aplicando calor hasta alcanzar una temperatura de entre 55 y 60°C; realizando la digestión

anaerobia en un reactor de flujo continuo, en el cual se mezcla el contenido por un periodo de entre 5 y 10 días. El tercero, se lleva a cabo a través de la captura, almacenamiento y, si es necesario, la separación de la mezcla de gases producto del proceso de digestión.

Aprovechamiento de productos combustibles de los residuos sólidos: algunos de los productos de la conversión térmica derivada de los residuos sólidos incluyen calor, gases, una gran variedad de aceites y algunos compuestos orgánicos. Los procesos más comunes para aprovechamiento térmico de los residuos sólidos se muestran en el cuadro 5. Los principales elementos de los residuos sólidos son el carbono, hidrógenos, oxígeno, nitrógeno y azufre. Bajo condiciones ideales, cuando los residuos sólidos son quemados los gases que se producen son el bióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), nitrógeno (N_2) y bióxido de azufre (SO_2). En la práctica, una gran variedad de compuestos gaseosos son formados y dependen de las condi-

CUADRO 5. Proceso para el aprovechamiento térmico de residuos sólidos.

<i>Proceso</i>	<i>Producto de la combustión</i>	<i>Proceso previo</i>
Combustión (incineración).	Energía.	No existe.
Gasificación.	Gas de baja energía.	Separación de la fracción orgánica.
Oxidación húmeda.	Ácidos orgánicos.	Separación de la fracción orgánica, reducción del tamaño de partícula.
Vapor.	Gases de energía media.	Separación de la fracción orgánica, reducción del tamaño de partícula.
Pirólisis.	Gases de energía media, combustible líquido y combustible sólido.	Separación de la fracción orgánica, reducción del tamaño de partícula.
Hidrogasificación o hidrogenación.	Gases de energía media, combustible líquido.	Separación de la fracción orgánica, reducción del tamaño de partícula.

FUENTE: *Environmental Engineering*. International Edition, Mc Graw Hill.

ciones de operación y del proceso de operación. Los cálculos de combustión están basados en la siguientes leyes fundamentales:

Conservación de la materia: la materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma.

Conservación de la energía: la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma.

Ley general de los gases: el volumen de los gases es directamente proporcional a la temperatura e inversamente proporcional a la presión.

Ley de combinación de masas: todas las sustancias se combinan de acuerdo con la relación simple con respecto a su masa relativa.

Para determinar la cantidad de oxígeno requerido para una combustión completa de los residuos sólidos, es necesario calcularlo de acuerdo con el contenido de carbono, hidrógeno y azufre que se encuentran en los residuos, de acuerdo a una relación estequiométrica.

Residuos nucleares

Los materiales radioactivos se utilizan ampliamente en nuestra sociedad para irradiar comida, generar energía eléctrica, en tratamientos y diagnósticos médicos, en aplicaciones industriales y para esterilización de diversos productos. La cantidad de residuos resultantes de estas actividades representa una fuente potencial de exposición a la población, ya que la exposición a la radiación incrementa el riesgo de contraer cáncer y causar daños genéticos.

Según el Departamento de Energía de Estados Unidos, cada año en ese país se manejan alrededor de tres millones de paquetes de material radiactivo que se utilizan para preservar alimentos, diagnóstico médico, agricultura, generación de energía e investigación. El crecimiento en el uso de materiales radioactivos representa en la actualidad una serie de problemas con relación al manejo y disposición de sus residuos, ya que además de poder contaminar el suelo y el agua subterránea que se encuentran cerca de los sitios donde se confinan pueden provocar problemas y accidentes durante su transportación.

Los residuos nucleares más comunes son los que provienen de las centrales nucleares como el combustible gastado y que está formado prin-

principalmente por óxido de uranio y otros elementos con radiación alta como plutonio, tecnecio o americio. Un gran porcentaje de las varillas con estos elementos y que se manejan en las centrales nucleares son reemplazadas cada año las cuales se almacenan temporalmente en piscinas de las propias centrales, pero esta actividad no puede considerarse como una solución final para este tipo de residuos. Una de las soluciones más aceptables en la actualidad es colocar el material radioactivo en contenedores metálicos, cápsulas y después enterrarlos en áreas especiales a profundidades de cientos de metros. Los túneles y cavidades donde se depositan los residuos que pueden ser de origen natural, deben rellenarse con material de tipo poroso como la arcilla porque ésta adsorbe agua, las entradas también deben sellarse. Para la fabricación de las cápsulas utilizan materiales resistentes a la corrosión aunque resulte muy costoso. En el caso del terreno se deben buscar áreas extremadamente áridas donde el agua se encuentra a varios centenares de metros de profundidad para colocar el depósito por encima.



FIGURA 16. Los residuos nucleares pueden generarse en hospitales.

En realidad la solución al problema de la disposición final de este tipo de residuos es parcial, ya que estudios recientes indican que los combustibles nucleares procesados requieren veinte mil años para que se desintegren y alcanzar un nivel seguro. Por tal razón la utilización de materiales

nucleares debe considerarse con detenimiento para evitar que provoquen daños de consideración al ambiente que bajo ciertas circunstancias pudieran ser irreversibles.

Cuestionario

1. Mencione los tres diferentes tipos de rocas que conforman la corteza de la tierra.
2. Explique el concepto de residuo.
3. Explique la razón por la cual es más severa la contaminación del suelo que la del aire y el agua.
4. Mencione la clasificación de los residuos sólidos.
5. Explique las propiedades de los residuos sólidos.
6. Explique las consideraciones para el manejo general de los residuos sólido.
7. Describa los sistemas de ingeniería para el manejo de residuos sólidos.
8. Mencione las etapas para el manejo de los residuos sólidos.
9. ¿Cuáles son las consideraciones principales para la construcción de un relleno sanitario?
10. Describa el procedimiento de composteo.
11. ¿Qué es la digestión anaerobia?
12. Describa brevemente la forma como se manejan los residuos.

AIRE

OBJETIVO: conocer y comprender los principales términos que se utilizan para definir los aspectos relacionados con la contaminación del aire, la clasificación de los contaminantes gaseosos y los métodos para minimizar, controlar y prevenir los problemas ocasionados por éstos.

Marco histórico general

Aunque la mayoría de la gente asocia la contaminación del aire con el desarrollo industrial, este problema, de una forma u otra, ha existido en nuestro planeta desde hace muchos años. Los primeros contaminantes que se depositaban en la atmósfera eran de origen natural, como es el caso del humo, ceniza y gases provenientes de volcanes e incendios forestales; polvo y arena de tormentas en las regiones áridas; niebla y humedad en áreas selváticas (figura 17).



FIGURA 17. Aspecto de la ciudad de México sin contaminación.

Sin embargo, con excepción de casos extremos como las erupciones volcánicas, la contaminación natural por sí misma no representa problemas de gran magnitud que pudieran dañar a la flora y la fauna pues en cierta forma existe la naturaleza que logra asimilar estos contaminantes consiguiendo un equilibrio en los ecosistemas. Desde que el hombre primitivo descubrió la utilización del fuego para calentarse o para cocinar, comenzó a generar contaminación, provocada por los gases de la combustión de madera cuando habitaba en las cavernas y después, en la medida que las sociedades se fueron desarrollando, se comenzó a sofisticar la forma en que el hombre se proveía de sus satisfactores, por ejemplo utilizando carbón mineral para cocinar en hornos en las cada vez más numerosas ciudades, las cuales, cuanto más pobladas fueran, mayores problemas por contaminación provocaban.

Esta situación comenzó a recrudecerse en épocas relativamente más recientes, como en los últimos años del siglo XIX y en la primera mitad del siglo XX, sobre todo en los países más industrializados. De estos sucesos, uno de los primeros y muy lamentable fue el ocurrido en Bélgica en 1930, donde una inversión térmica atrapó los contaminantes en un poblado ubicado en el valle de Meuse, lo que ocasionó la muerte de 63 personas. Otro fue el ocurrido en Estados Unidos, 18 años más tarde, en la localidad de Donora, Pensilvania, donde murieron 17 personas y 43% de la población padeció enfermedades por esta causa. Pero el más grave fue el ocurrido en la ciudad de Londres en 1952, donde cuatro mil personas perecieron por la alta concentración de contaminantes debida a las condiciones climatológicas que impedían la dispersión de los contaminantes (cuadro 6).

Ahora bien, es necesario mencionar un término que se acuñó hace muchos años y que en la actualidad es muy común para las personas que habitan en las grandes ciudades: se trata de la palabra *smog*, que sirve para definir un tipo de contaminación asociado con los asentamientos de niebla y el humo emitido por las industrias. La palabra es una mezcla de las dos palabras inglesas que significan *humo* y *niebla* respectivamente: *smoke* y *fog*. Este término fue utilizado por primera vez por un médico francés en una reunión de profesionales relacionada con la salud pública en el año de 1900 en Londres. En su presentación, el doctor H. A. des Voeux comentó que existía una mezcla de humo-niebla (*smoke* y *fog* en inglés) en las grandes ciudades, que no existía en el campo y a la que llamó *smog*. Un reportero de un diario londinense agradeció al médico por su aportación al establecer este

CUADRO 6. Casos graves de problemas ocasionados por contaminación en el aire.

<i>Año y mes</i>	<i>Localidad</i>	<i>Decesos reportados</i>
1930, diciembre	Valle de Meuse en Bélgica	63
1948, octubre	Donora, Pensilvania en EUA	17
1948, noviembre 26, diciembre 1	Londres, Inglaterra	700 a 800
1952, del 5 al 9 de diciembre	Londres, Inglaterra	4 000
1956, del 3 al 6 de enero	Londres, Inglaterra	1 000
1957, del 2 al 5 de diciembre	Londres, Inglaterra	700 a 800
1959, del 26 al 31 de enero	Londres, Inglaterra	200 a 250
1962, del 5 al 10 de diciembre	Londres, Inglaterra	700
1963, del 7 al 22 de enero	Londres, Inglaterra	700
1963, 9 de enero al 12 de febrero	Ciudad de Nueva York	200 a 400

FUENTE: *Preserving the Legacy*, Introduction to Environmental Technology, John Wiley y Sons.

nuevo término que se ajustaba a la perfección a la situación que prevalecía en su ciudad.

En la actualidad, el término *smog*, no se refiere exclusivamente a la mezcla de humo y niebla que lo originó, sino se aplica para definir también la contaminación del aire ocasionada por las *reacciones fotoquímicas* de algunos contaminantes que hacen que se forme el ozono. El prefijo *foto* significa luz; por lo tanto, este tipo de reacciones demanda energía en forma de luz solar para poder llevarse a cabo. La proliferación del ozono en las áreas urbanas es un problema que se ha vuelto muy común y que es muy difícil de manejar.

Contaminación del aire y los riesgos a la salud humana

La presencia o acumulación en la atmósfera de uno o más contaminantes como polvo, humos, gases, olores, nieblas o vapores, en cantidades y duración tales, que puedan causar daño a la salud humana, a sus bienes, a la flora, la fauna y al ambiente en general se conoce como *contaminación del aire*. Los efectos negativos a los bienes humanos incluyen el impacto económico por daños en las cosechas o a la propiedad como edificios u obras artísticas (figura 18).



FIGURA 18. Las fábricas son uno de los principales contaminantes del aire.

La contaminación del aire es en la actualidad uno de los mayores riesgos para la salud humana y el medio ambiente. La lista de problemas que ocasiona y agrava es muy amplia: problemas pulmonares como bronquitis química, enfisema pulmonar, cáncer pulmonar, problemas neurológicos que incluyen daño al cerebro; asma bronquial y gripe, que son muy comunes y persistentes en los lugares donde el grado de contaminación es muy alto; también causa irritación en ojos, nariz y garganta. A la vegetación y a los cultivos los daña por la emisión de vapores ácidos generados en las industrias que se incorporan al ciclo hidrológico ocasionando el fenómeno conocido como lluvia ácida, el cual también puede afectar a lagos y lagunas aumentando su grado de acidez, lo cual los vuelve incapaces de sostener cualquier forma de vida.

Definitivamente las actividades humanas son las responsables de los problemas de contaminación tales como que una porción considerable de la atmósfera terrestre se vuelva adversa para la vida. Ése es el caso de los agujeros en la capa de ozono que cubre una amplia región en la Antártida, ocasionada por el abuso en la utilización de los compuestos clorofluorocarbonados de los refrigerantes y los aerosoles. Así también, todos los procesos industriales, la transportación de bienes por vehículos automotores y

generación de energía como la termoeléctrica por combustión de hidrocarburos, generan diferentes problemas por contaminación de aire.

Unidades de medida de los contaminantes

Para el Sistema Global de Monitoreo Ambiental (GEMS por sus siglas en inglés: Global Environmental Monitoring System) del Programa Ambiental de las Naciones Unidas y para los programas de cada país de control de la contaminación del aire, las emisiones de contaminantes y sus concentraciones en el aire, deben ser comparadas con los estándares establecidos para regular la contaminación del aire. En el pasado, esto resultaba un poco difícil ya que no había estandarización de unidades, pero con la adopción del Sistema Métrico Decimal las cosas resultarían mucho más sencillas.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) recomienda la utilización de las siguientes unidades para los contaminantes del aire: la caída o lluvia de partículas deben expresarse en miligramos por centímetro cuadrado por intervalo de tiempo ($mg/cm^2/seg$); para partículas suspendidas o contaminantes gaseosos, la concentración se expresa en unidades de masa por unidades de volumen como microgramos por centímetro cúbico (mg/cm^3), pero la unidad que se utiliza con mayor frecuencia es las partes por millón (*ppm*).

Fuentes de los contaminantes

El aire incluso de manera natural contiene muchas sustancias como el polen, esporas, sales dispersas, humo y partículas de polvo de los incendios forestales y de las erupciones volcánicas. También contiene monóxido de carbono por la transformación del metano; hidrocarburos, hidrógeno y ácido sulfhídrico. El uso de combustibles fósiles para calentamiento, cocinar, transportación, la industria, transformación de energía, incineración de residuos industriales y municipales los cuales contribuyen a la contaminación del aire.

Clasificación de los contaminantes

Los contaminantes del aire se pueden clasificar de acuerdo con su origen, composición química o estado de agregación molecular. Con el propósito de facilitar el estudio de los parámetros para medir la contaminación del aire los mencionamos:

Por su origen: se clasifican en contaminantes *primarios* y *secundarios*: los contaminantes primarios como los óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos (HC), son emitidos directamente de la fuente a la atmósfera, se miden y se encuentran en la forma como fueron emitidos. Los contaminantes secundarios como el ozono (O₃) y el peroxiacetil nitrato (PAN) son los que se forman en la atmósfera por reacciones fotoquímicas o por hidrólisis u oxidación. A su vez se clasifican en *antropogénicos*, *geogénicos* y *biogénicos*, los antropogénicos son los generados por el hombre como la contaminación por gases industriales, los geogénicos son los que tienen su origen en fenómenos del subsuelo como los gases de los volcanes y los biogénicos que son los que tienen su origen en organismos vivos como la materia fecal en polvo.

Por su composición química: los contaminantes, ya sean primarios o secundarios se clasifican en *orgánicos* e *inorgánicos*. Los contaminantes orgánicos son los que contienen elementos como el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre. Entre los que podemos mencionar los hidrocarburos, aldehídos y cetonas entre otros. Los compuestos inorgánicos son los óxidos de carbono (CO_x), los óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y algunos compuestos que contienen halógenos como el fluoruro de hidrógeno y el cloruro de hidrógeno.

Por su estado de agregación molecular: existen dos categorías en esta clasificación; *partículas* y *gases*. Las partículas pueden ser sólidas o líquidas como el polvo, humos, neblinas o cenizas. Los contaminantes gaseosos son los que en condiciones normales de presión y temperatura no son ni líquidos ni sólidos como los óxidos de nitrógeno, carbono y azufre, así como los hidrocarburos.

Contaminantes del aire

Los principales contaminantes del aire en la actualidad se evalúan con diferentes técnicas:

Monóxido de carbono (CO)

El CO es un gas invisible e inodoro que se produce por la combustión incompleta, principalmente de los escapes de los vehículos automotores. Su mayor concentración se encuentra en áreas con gran cantidad de tráfico y especialmente en los meses de invierno. Los límites máximos de concentración establecidos por la EPA establecen $35ppm$ en promedio en una hora y $9ppm$ para un tiempo mayor a 8 horas. Este compuesto es de los más peligrosos por su especial capacidad para combinarse con la hemoglobina y causar asfixia química que ocasiona reducción del oxígeno en el corazón y en el cerebro, lo cual es crítico para las personas que tienen padecimientos en el corazón, en los pulmones o anemia ya que al exponerse a esta sustancia les ocasiona dolores de cabeza, fatiga y reflejos retardados. Para su detección y análisis, existen gran cantidad de métodos para muestreo tanto intermitentes como continuos, los cuales utilizan procesos gravimétricos, químicos, electroquímicos y colorimétricos. Los métodos para el monitoreo de la calidad del aire pueden ser infrarrojos no dispersivos y la cromatografía de gases.

Dióxido de azufre (SO₂)

Es producido principalmente por la combustión de carbón, aceite combustible y diesel. El estándar de la EPA es de $0.14ppm$ promedio para un tiempo mayor de 24 horas. El dióxido de azufre provoca constricción en las vías aéreas y representa un peligro particular para los asmáticos. Para la gente que suele realizar ejercicio es un problema ya que ocasiona irritación en la garganta. Para su detección y análisis se utilizan métodos intermitentes y continuos, de estos los más utilizados son el método colorimétrico y el conducto métrico.

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Es con frecuencia un producto de la combustión y sus principales fuentes de emisión son los vehículos y los calentadores industriales, es un gas irritante que puede incrementar la susceptibilidad a las infecciones, también provoca constricción de las vías aéreas, lo que es peligroso para los asmáticos. La familia de este compuesto es conocida como los óxidos de nitrógeno (NO_x) que son de los principales componentes del *smog* urbano y su concentración aumenta en los meses de invierno. La EPA establece una concentración de 0.053ppm en promedio para una año. Para su detección y análisis como el NO₂ se forma del NO, su concentración se determina indirectamente y se utiliza un método colorimétrico.

Hidrocarburos (HC)

Los hidrocarburos son compuestos que contienen sólo carbono e hidrógeno, la mayoría de los químicos en la gasolina y otros productos de petróleo son hidrocarburos, los cuales se dividen en alifáticos y aromáticos. Los *alifáticos* son los hidrocarburos saturados como los alcanos, alquenos y alquinos que no son activos en las reacciones fotoquímicas de la atmósfera. Los *aromáticos* son los hidrocarburos no saturados, son bioquímicamente activos y potencialmente carcinógenos, además de que están relacionados con el benceno. Son generados tanto por fuentes naturales como antropogénicas. Para su detección y análisis es necesario separar el metano de los demás componentes. La cromatografía de gases en combinación con la ionización de flama son los procedimientos más aceptables para llevar a cabo su análisis.

Oxidantes fotoquímicos

Para describir los niveles de oxidantes fotoquímicos se utilizan los términos *oxidantes* u *oxidantes totales* que generalmente indican la capacidad de oxidar que tiene el aire. El ozono es el mayor de los oxidantes (O₃); sin embargo, también podemos encontrar al oxígeno molecular cuando se encuentra en estado de excitación, al peroxiacetilnitrato (PAN) y al peróxido de hidrógeno (H₂O₂). Los efectos de estos contaminantes en la salud huma-

na son graves, ya que una exposición a concentraciones elevadas puede causar tos, molestias en la garganta, constricción de las vías respiratorias, laringitis, alteración de los glóbulos rojos e irritación en ojos y nariz. En las plantas también causan efectos adversos, por ejemplo el ozono y el peroxiacetilnitrato interfieren con el metabolismo de las plantas y dañan las cosechas. Sobre el daño a materiales, el ozono es muy activo pues ataca a los elastómeros y fibras textiles. Para la detección y análisis del ozono se utilizan el método de quimiluminiscencia y para los demás compuestos como el PAN se utiliza espectroscopía infrarroja y cromatografía de gases.

Partículas suspendidas

Las partículas son el resultado principalmente de la incineración de madera o de la combustión de energéticos como el diesel y se emiten directamente al aire, o se pueden producir a través de las reacciones fotoquímicas con los contaminantes del aire, pueden causar muchos problemas para la salud humana pero los más importantes se deben a las características que tienen estas partículas para introducirse en el cuerpo humano. Pues su tamaño es tan reducido que se pueden filtrar con facilidad a través del sistema respiratorio. Para su detección, análisis y captura se utilizan bombas gravimétricas, posteriormente se deben analizar en el laboratorio.

Sistemas de ingeniería para prevenir y controlar la contaminación del aire

Calidad del aire

El término *calidad del aire* se utiliza para describir las funciones que se requieren para controlar la calidad de la atmósfera mediante un programa con estrategias de regulación y control, con la debida autoridad legal para implementar el programa, los inventarios de emisiones, una red de vigilancia atmosférica, un sistema de manejo de información, un sistema para el análisis de cumplimiento y estrategias de monitoreo.

Monitoreo

Con la finalidad de mejorar la calidad del aire, es necesario realizar un buen monitoreo de los contaminantes, ya que éste es primordial en cualquier programa de control, porque nos ayuda a determinar, dónde, cuáles son y en qué concentraciones se encuentran los contaminantes, así como para determinar la efectividad de los programas. Existen dos áreas básicas donde el monitoreo actual tiene lugar: en el ambiente y en la fuente. Los contaminantes en el ambiente se encuentran en forma diluida. En la fuente de emisión, ya sea estacionaria o móvil, se encuentran más concentrados y en la medida que se van moviendo de la fuente, se diluyen más. El monitoreo también nos ayuda a visualizar la tendencia de la calidad del aire todo el tiempo. Con esto se conforma una base de datos que nos puede ayudar a desarrollar modelos matemáticos que después nos permiten predecir el curso que tomará la concentración de los contaminantes o para identificar los episodios potenciales de altas concentraciones de contaminantes para responder a situaciones de emergencia, así como también nos permite realizar investigaciones científicas, encontrando la correlación de altas concentraciones de un contaminante determinado con sus efectos en la salud humana y al medio ambiente.

Métodos para controlar la contaminación de fuentes móviles

En todos los países existen programas encaminados a controlar la contaminación emitida por fuentes móviles, en realidad éste es un problema complejo que estriba principalmente en la cantidad de vehículos que existen en la actualidad. En las grandes ciudades de los países ricos casi cada persona posee un auto, lo cual provoca que haya una gran cantidad de estos. En algunos países, sobre todo en las grandes ciudades, se busca incrementar la cantidad de transportes que no utilizan combustibles fósiles sino energía eléctrica y también mejorar la calidad de los combustibles buscando otros que sean menos contaminantes. También se han implementado los programas de inspección y mantenimiento en los vehículos automotores, en países como Japón se sacan de circulación los que tienen cierto tiempo de servicio.

Técnicas de control de la contaminación del aire

Como ya hemos mencionado los contaminantes del aire pueden ser gases o partículas. Para el control de las emisiones de gases existen cuatro categorías generales de equipo: la *adsorción* consiste en remover los contaminantes gaseosos de una corriente de aire, impregnando las moléculas del gas en una superficie sólida como carbón activado; la *absorción* es la disolución de un contaminante gaseoso en un solvente líquido; la *condensación* es el proceso en el cual un vapor o un gas contaminante se transforma en líquido incrementando la presión o enfriándolos, y en la *combustión* se elimina el contaminante utilizándolo como combustible de lo cual se obtiene como resultado energía en forma de calor o luz.

Los *sistemas de adsorción* pueden ser regenerativos y o no. Los regenerativos pueden reutilizarse. Los no regenerativos generalmente presentan problemas por el incremento en el volumen del residuo y del adsorbente, ya que cuanto más se utiliza, más se incrementa. Los *sistemas de absorción* aprovechan al máximo el sistema gas-líquido-mezcla. Algunos ejemplos de los equipos de absorción son las cámaras de dispersión, torres de dispersión y columnas empacadas. En los *sistemas de condensación*, ésta se lleva a cabo cuando se incrementa la presión o cuando se elimina la temperatura. El más económico de los dos es el abatimiento de la temperatura. Los condensadores normalmente se utilizan con otros dispositivos como quemadores, unidades de adsorción o absorción. Los *sistemas de combustión* incluyen flama directa, incineradores térmicos e incineradores catalíticos, como los que ya vimos en el tema sobre el agua los incineradores térmicos y los incineradores catalíticos.

Muchas preguntas hay que responder sobre los contaminantes y la técnica adecuada que se utilizaría para su control. Si se considera la combustión, los contaminantes se quemarán y se deberá llevar un registro de los productos. Para la absorción, es necesario saber cuáles de los contaminantes son solubles en agua o en algún otro solvente. La condensación requiere de un compuesto que sea fácilmente condensable. También se deben de considerar los factores económicos como son los costos de control, incluyendo equipo e insumos, los cuales deben de hacer rentable la operación. Las partículas pueden ser sólidas o líquidas, y con la finalidad de diseñar las técnicas de control por el tamaño de partícula, el flujo de gas, la temperatura, el contenido de la mezcla y las características relevantes tales como el grado de abrasión, acidez y explosividad. Los equipos cuentan con

diferentes eficiencias para remover partículas. La eficiencia de los dispositivos se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Eficiencia} = (\text{peso inicial} - \text{peso absorbido}) / \text{peso inicial}$$

Existen diferentes dispositivos para el control de las partículas como cámaras de asentamiento, ciclones, precipitadores electrostáticos y filtros de tela. El control de las partículas normalmente requieren de dos o más dispositivos para obtener la más alta eficiencia posible; por ejemplo un ciclón requiere de un colector de partículas seguido de un precipitador electrostático para recolectar las partículas pequeñas remanentes. En la actualidad, los investigadores están desarrollando colectores gaseosos y partículas después de que sean generados, y le están dando mayor énfasis a los procesos que generen una menor cantidad de emisiones de contaminantes. El bióxido de carbono es un contaminante que requiere de mayor interés, pues se considera como un producto inevitable de la combustión pero, además, benéfico, por lo que se están desarrollando técnicas para recuperar este compuesto, lo cual en algunas situaciones resulta difícil ya que se encuentra en altas concentraciones y mezclado en los asentamientos de los gases contaminantes en las grandes zonas urbanas. Un nuevo dispositivo que se está haciendo cada vez más común, es la boquilla de recuperación de gases, que se instala en las bombas de gasolina para reducir sus vapores cuando se vende este combustible en las gasolineras. Existen diferentes tipos de recuperadores de vapor en las estaciones de combustibles. En diferentes países la instalación de este tipo de dispositivos se ha vuelto obligatoria.

Conceptos básicos sobre el ruido

El *sonido* se define como cualquier variación de presión en el aire que pueda detectar el oído humano y como es una variante del sonido, lo incluimos en este tema porque el medio de propagación de este contaminante es el aire. Existen muchas definiciones sobre *ruido* pero para fines prácticos lo vamos a definir de la siguiente forma: todo sonido indeseable que moleste o perjudique a los seres humanos o especies animales sensibles. El ruido tiene su origen en las actividades humanas industriales, comerciales o es provocados por los medios de transporte como automóviles, ferrocarriles,

aviones e incluso algunas lanchas de motor y barcos grandes. Pero el ruido es un problema serio en las grandes conglomeraciones urbanas donde existe una gran cantidad de vehículos e industrias.

Como todos los contaminantes, disminuye la calidad de vida de las personas que lo padecen pues genera problemas serios a la salud. Estos trastornos pueden ser psicológicos, aumento en la presión sanguínea y disminución de la capacidad auditiva, así también tiene impactos ecológicos adversos pues afecta algunos animales sensibles al ruido o que basan sus sistemas de orientación o comunicación en los sonidos.

El ruido se emite desde *fuentes fijas* y *fuentes móviles*. Las *fijas* son aquellas donde el ruido que se genera proviene de una fuente estacionaria y puede ser *puntual* como el ruido de un ventilador, o *espacial* como el de una discoteca. Las *móviles* son las que provienen de una fuente en movimiento como los autos, camiones, o aviones que vuelan a baja altura. En términos generales podemos clasificar las fuentes de contaminación por ruido de la siguiente forma:

- Tránsito vehicular
- Fuentes industriales
- Actividades de la industria de construcción
- Actividades multitudinarias como manifestaciones o deportes
- Aviación
- Actividades recreativas

Al ruido lo podemos clasificar como *intermitente*, *continuo*, *fluctuante* o *de impacto*; de éstos el ruido continuo se tolera más que el intermitente.

Para la medición del ruido, se ha desarrollado una escala que se basa en la variación de presión, dado que el oído del hombre percibe una gama amplia de presiones sonoras. La proporción de la potencia más débil de sonido a la mayor, percibida sin dolor es aproximadamente de uno a un millón. Así también, el mecanismo auditivo responde en forma absoluta, no en forma relativa a los cambios de presión en el aire que producen el sonido. Por lo tanto, para poder medirlo se emplea una escala logarítmica que emplea como unidad el *decibel*, que se define como la décima parte del índice conocido como *bel*, que se emplea en la cuantificación de la diferencia de los logaritmos decimales de dos cantidades de presiones diferentes y equivale a:

$$dB = 20 \log \frac{P_{\text{existente}}}{P_{\text{mínima}}}$$

Medición del ruido

La medición de ruido se efectúa con un aparato llamado sonómetro que cuenta con un selector que envía el impulso de ruido a una frecuencia única para poder registrarlo y es necesario determinar con exactitud el área donde se va a realizar la medición y del tipo de ruido que queremos determinar. Para poder entender mejor podemos hablar de otra clasificación importante del ruido que se basa en los ámbitos donde éste se presenta y a la población que afecta: se trata de los ruidos *ambiental* y *laboral*. El ruido ambiental es el que se genera por fuentes fijas o móviles, se propaga de forma abierta y afecta principalmente a las comunidades aledañas a la fuente.

El ruido laboral es el que se genera en los centros de trabajo y se propaga en la empresa o industria donde fue generado y afecta principalmente a sus trabajadores. De acuerdo con estas definiciones podemos asegurar que el ruido laboral se puede transformar en ambiental siempre y cuando salga de los límites de la fábrica, industria o centro laboral donde se haya generado y empiece a afectar a la población cercana a la misma. Con base en lo anterior, es necesario tener claro qué tipo de ruido es el que se va a medir (ambiental o laboral) para poder establecer el área o las áreas que se van a estudiar. Una vez realizado este paso se debe considerar si es ruido continuo o intermitente, si se pretende analizar a un grupo específico de la población afectada (ya sea comunidad aledaña o población trabajadora) y finalmente se realiza la medición con el sonómetro calibrado de acuerdo con las técnicas y compara las con los estándares que establezcan las normas oficiales correspondientes. Así también es necesario tomar en cuenta las características direccionales de la fuente (que pueden depender de la frecuencia), ya que el sonido no se propaga de manera uniforme en todas las direcciones.

Control de la contaminación por ruido

El ruido se debe controlar considerando cualesquiera de los elementos involucrados que pueden ser la fuente, la trayectoria de transmisión o el receptor.

Fuente

Este elemento se puede modificar con un tratamiento acústico de las superficies en los equipos o cambios en los procesos como sustitución de maquinaria por otra menos ruidosa (en el caso de fuentes fijas), también se puede detener el funcionamiento de una fuente molesta de ruido o limitar su funcionamiento en diferentes etapas durante el día. En el caso de los vehículos se recomienda proporcionarles un mantenimiento constante para que su maquinaria no genere ruido o evitar que circulen los que son muy viejos o que generan mucho ruido.

Trayectoria de transmisión

Este elemento se puede modificar aislando la fuente con una barrera de ruido o colocando materiales absorbentes. Esta solución es muy común para las fuentes fijas sobre todo si se trata de ruido laboral donde se colocan casetas con material absorbente para aislar la maquinaria ruidosa.

Receptor

Las situaciones para el tercer elemento se presentan principalmente en el ruido laboral, ya que este ámbito es donde el receptor (que es el trabajador) se encuentra más vulnerable y donde debe permanecer la mayor parte del tiempo.

Aislamiento del ruido por las construcciones

Para el caso de las grandes ciudades, donde el ruido ocasionado por los vehículos es muy frecuente y elevado, se pueden presentar diferentes alternativas para evitarlo. Una de ellas ya se ha mencionado en el control de la fuente, pero si persiste el problema, se pueden plantear diferentes soluciones que están en función del sitio donde se ubique el receptor. Es el caso de la población en general que se encuentra laborando o viviendo en edificios rodeados por grandes avenidas repletas de autos o cerca de aeropuertos o muelles. En estos casos las viviendas o construcciones pueden ser una solución.

Dependiendo de las características de la construcción, serán los niveles de ruido los que se filtrarán, ya que no es lo mismo la atenuación que ofrece una casa de ladrillo a la de un edificio de concreto o una construcción que tenga muchas ventanas, ya que ésta es una trayectoria más débil o otra con menor cantidad. De igual manera, si nos referimos a dos construcciones que tengan igual número de ventanas, dependerá de las características del cristal con que estén hechas ya que hay unos con un recubrimiento y tratamiento especial que no permiten la entrada del sonido. Lo anterior, puede ser una opción más para controlar el ruido en los grandes asentamientos humanos.

Cuestionario

1. Mencione el concepto de contaminación del aire.
2. Reseñe el marco histórico de la contaminación del aire.
3. Mencione las principales unidades de medida de los contaminantes del aire.
4. ¿Cuáles son las fuentes de los contaminantes del aire?
5. Explique las diferentes clasificaciones de contaminantes del aire.
6. ¿Cuáles son los principales contaminantes del aire?
7. Mencione cada uno de los sistemas de ingeniería para prevenir y controlar la contaminación del aire.
8. Explique la diferencia entre sonido y ruido.
9. ¿Cuáles son las unidades de medida de ruido? Explique su concepto matemático.
10. Explique las técnicas para el control de ruido.

REMEDIACIÓN

OBJETIVO: comprender en términos generales, los procedimientos que se siguen para restaurar zonas afectadas y el concepto de biorremediación y sus categorías.

En ingeniería ambiental se conoce como *remediación* a las técnicas o procedimientos que se utilizan para restaurar zonas de suelo o diferentes cuerpos de agua (principalmente subterráneos), que han sido afectados en forma considerable por la acumulación de diferentes contaminantes.

Restauración de zonas afectadas

El proceso de contaminación

Como ya hemos dicho los rellenos sanitarios de residuos peligrosos no son la única fuente de contaminación del suelo y de las aguas subterráneas, también los son los residuos municipales, tanques sépticos y las actividades de minería y agricultura, así como los tanques de almacenamiento de combustibles como gasolina. En todos estos casos, el tratamiento que se debe realizar para la eliminación de los contaminantes dependerá de las condiciones geológicas e hidrológicas específicas. Las consideraciones generales que se deben seguir para llevar a cabo la remediación del subsuelo donde se encuentra el agua subterránea son las siguientes: cuando las sustancias químicas se filtran a través de diferentes zonas hidrológicas hasta llegar a los sistemas de agua subterránea; cuando los espacios porosos en las zonas no saturadas de las capas superiores del suelo se encuentran ocupados por aire y agua; cuando el flujo de los contaminantes se lleva a cabo por la acción de la gravedad; cuando la región superior de la zona no saturada es importante para la atenuación del contaminante; cuando algunos químicos son retenidos por adsorción dentro de material orgánico y partículas químicas activas del suelo, algunas son retenidas en los espacios de

los poros retenidos por la tensión de la superficie, estas sustancias químicas se descomponen por oxidación o por la actividad microbiana o son retenidas en las otras partículas. La precipitación lixiviará este material y los llevará a la zona del acuífero después que la fuente de contaminación haya sido removida y que la zona saturada haya sido purgada.

En la zona capilar, arriba de la zona saturada, los espacios entre las partículas del suelo son saturados por agua a través del fenómeno de capilaridad. Las sustancias químicas que sean más ligeras que el agua, flotarán en la misma y se transmitirán en diferentes direcciones que los contaminantes disueltos. Generalmente, la zona saturada tiene deficiencia de oxígeno, lo cual limita la oxidación de las sustancias químicas.

El flujo del agua subterránea es laminar, lo que provoca que la mezcla sea mínima, sin embargo, los químicos disueltos se dirigen hacia donde se encuentra el agua subterránea y se van acumulando en diferentes puntos de diferente tamaño, lo cual dependerá del asentamiento hidrológico, el flujo de agua, las características de los contaminantes y de las condiciones geológicas. Lo anterior dificulta predecir con precisión el movimiento y destino de los contaminantes químicos. Una característica decisiva es la densidad del contaminante, ya que si es más ligero y poco soluble en agua como la gasolina, se encontrará siempre en la parte superior del acuífero. Los contaminantes más solubles tienden a disolverse y permanecer en el agua subterránea; los más densos y menos solubles se precipitarán al fondo del acuífero y los ligeros y medianamente solubles formarán diferentes fases. Los *químicos orgánicos volátiles (VOC)* en el agua subterránea son extremadamente móviles, a diferencia de los metales que al ser absorbidos por la arcilla tienden a quedar fijos.

Procedimiento de remediación de agua subterránea de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos¹

El programa federal para limpiar los sitios contaminados siguen el siguiente procedimiento:

¹ Esta información fue tomada de *Introduction to Environmental Engineering*, pp. 709-713.

Evaluación preliminar

Lo primero en realizar es la identificación de los riesgos potenciales en el sitio a través de información proveniente de diferentes fuentes, incluyendo agencias ambientales oficiales o asociaciones civiles. La finalidad de este primer paso es establecer si existe un riesgo inmediato a las personas que viven o trabajan cerca del lugar, por lo tanto se establece si proceden o no acciones también inmediatas.

Inspección del sitio

Requiere de muestreo para determinar los tipos de sustancias que se encuentran presentes e identificar la extensión del área contaminada. Los objetivos de esta actividad son determinar si representa un peligro potencial para la salud humana y el ambiente y coleccionar datos para determinar si se considera o no como prioritario.

Diseño de acciones para remediación y su aplicación

Estas acciones se llevan a cabo sólo en las áreas que se consideran prioritarias, lo cual asegura que el dinero que se gaste en esta actividad en realidad será útil. En esta etapa lo primero es planear las acciones con base en el tipo y cantidad de los contaminantes y determinar la forma como éstos se mueven. Después las acciones que proceden son la *remoción inmediata* de los contaminantes si es que estos representan un peligro para la salud humana o para el ambiente. También se aplica la *remoción planeada*, que demanda acciones que no son apremiantes y por lo tanto se planean con meses de antelación. En esta etapa existe la *remoción permanente*, que puede ser tanto planeada como permanente pero que está en función de la gravedad del problema, ya que si ésta es muy alta, durante un largo periodo se estará tratando el área, sobre todo en las situaciones en que la fuente de contaminación no se haya eliminado en su totalidad.

Para la remoción de los contaminantes se utilizan diferentes tecnologías y procedimientos, uno de ellos es la *instalación de sistemas de bombeo* para transportar el agua contaminada en la superficie; otro es la *construcción de zanjas* para cortar el flujo de agua y un tercero es generar las condi-

ciones para estimular la *biodegradación de los contaminantes* que es parte de lo que se conoce como *biorremediación*.

Dentro de estas tecnologías también encontramos los *sistemas de pozos*, que son de utilidad para manipular el gradiente hidráulico en la superficie del agua subterránea. Estos se diseñan para controlar el movimiento del agua en el agua subterránea directamente, y en forma indirecta de los contaminantes. Todo esto requiere de sitios especiales para la instalación de los pozos. A veces es necesario llevar a cabo estudios hidrogeológicos para conocer las características de las zonas donde se asientan los contaminantes y del acuífero. Existen tres tipos de sistemas de pozos: *de punto*, *profundos* y *sistemas a presión*, los dos primeros sacan el agua del pozo mediante un sistema de bombeo y se aprovechan los espacios cerrado y los pozos poco profundos. En el primer caso se elimina el agua que se localiza a poca profundidad y el segundo para el agua con mayor profundidad.

El principio de funcionamiento de los sistemas a presión es totalmente inverso a los dos primeros, ya que en este caso se inyecta agua no contaminada que se mezcla con una cama de agua localizada a mediana profundidad formando una barrera que impide el flujo transversal del agua subterránea, por lo que el agua contaminada se mueve hacia la superficie y una vez afuera es tratada y se vuelve a inyectar para repetir el procedimiento, por esta razón el pozo de inyección también es llamado *pozo de recarga*.

De las tecnologías más avanzadas para limpiar de contaminantes podemos mencionar los *sistemas de inyección a presión* para eliminar los vapores contaminados y después utilizar un sistema de carbón activado para capturar el vapor. En algunas circunstancias, la solución más económica y razonable es tratar el agua hasta tal punto que su calidad sea la necesaria para un uso determinado. Una situación importante es conseguir el control de la fuente contaminante para evitar que la contaminación continúe, y en esta situación se deben considerar las implicaciones legales para ayudar a definir las estrategias.

Biorremediación

La *biorremediación* es un proceso que utiliza microorganismos para transformar sustancias peligrosas en compuestos no tóxicos o menos peligrosos, es una de las tecnologías nuevas más prometedoras para tratamiento

de derrames de sustancias químicas y problemas de residuos peligrosos. Con la finalidad de mejorar esta tecnología y entender mejor sus alcances, algunas instituciones promueven su uso para limpieza en sitio.

En la biorremediación se utilizan los organismos que de forma común existen en la naturaleza como bacterias o fungi, para degradar sustancias químicas peligrosas. Los microorganismos necesitan nutrientes (como el nitrógeno, fósforo y metales), carbono y energía para sobrevivir, por lo que ellos utilizan una gran variedad de compuestos que encuentran en la naturaleza para obtener energía para su crecimiento. Algunas especies de bacterias del suelo, por ejemplo, utilizan hidrocarburos de petróleo como alimento y fuente de energía, transformándolas en sustancias menos peligrosas o inofensivas como dióxido de carbono, agua y ácidos. La biorremediación aumenta este proceso natural cultivando microorganismos que pueden degradar contaminantes.

Los microorganismos expuestos a contaminantes desarrollan e incrementan su capacidad para degradar estas sustancias. Por ejemplo, cuando una bacteria del suelo es expuesta a contaminantes orgánicos, de forma natural, aparecen nuevas generaciones de las mismas bacterias que pueden destruir los contaminantes para obtener energía. En los sitios de disposición de residuos peligrosos, los microorganismos que degradan los compuestos orgánicos, incluyendo algunos químicos sintéticos como plaguicidas y solventes. Existe una gran variedad de condiciones ambientales que pueden disminuir o detener los proceso de biodegradación:

Si la concentración de las sustancias químicas es muy alta, puede ser tóxica para los microorganismos.

El número o tipo de los microorganismos puede ser inadecuado para la biodegradación.

La acidez o alcalinidad de los residuos puede afectar la biodegradación.

Los microorganismos pueden tener deficiencias de algún nutriente específico que ellos necesitan como fuente de alimento.

Las condiciones de la mezcla pueden ser desfavorables (muy húmedas o muy secas).

Los microorganismos pueden tener deficiencia de oxígeno, nitratos o sulfatos que ellos necesitan como fuente de energía.

En algunos casos, las condiciones del medio ambiente pueden ser alteradas para aumentar la biodegradación del proceso. Las muestras son

recolectadas en sitio y analizadas para determinar el tipo de microorganismos presentes, así como los nutrientes y condiciones ambientales, tales como el pH, mezcla, temperatura y niveles de oxígeno que aumentan la degradación microbiana; por ejemplo, si no hay niveles adecuados de nitrógeno o fósforo éstos nutrientes se deben agregar para incrementar el crecimiento de los microorganismos. Si la concentración de los residuos es muy alta, algunos otros químicos o suelo no contaminado se pueden agregar para reducir la toxicidad y que la biodegradación pueda ocurrir.

La biorremediación es una opción atractiva por muchas razones es un proceso ecológico netamente, ya que existen microorganismos que pueden aumentar su número cuando un contaminante está presente, pero cuando el contaminante que es su principal fuente de alimentación es degradado, la población microbiana muere de forma automática. Los residuos del tratamiento biológico son normalmente inofensivos (dióxido de carbono, agua y ácidos débiles).

De cualquier forma, el proceso de biorremediación se debe monitorear con mucho cuidado para evitar que se genere un producto que pudiera ser más tóxico que el contaminante original. A diferencia de otros procesos como la absorción, donde se transfiere el contaminante de un compartimiento a otro, la biorremediación destruye el contaminante químico en cuestión, es mucho más barata que otras tecnologías usadas para limpiar los residuos peligrosos y puede llevarse a cabo con frecuencia en el sitio donde se encuentra el contaminante. Esto elimina la necesidad de transportar grandes cantidades del residuo contaminante, así como los riesgos que representa para la salud humana y en el ambiente que dicha transportación implica. Se han realizado diversos estudios que nos muestran serias limitaciones de la biorremediación como tecnología para eliminar contaminantes, sin embargo, existen algunas opciones para mejorarla:

1. Se deben realizar investigaciones para desarrollar la ingeniería en biorremediación que son apropiadas para aplicarse en sitio con mezclas complejas de contaminantes.
2. La biorremediación normalmente toma más tiempo que otras técnicas de remediación tales como la excavación, remoción de suelos o incineración. Por lo tanto, deben desarrollarse técnicas para aumentar la velocidad con biocatalizadores.
3. En algunos casos, dependiendo de las mezclas de los residuos contaminantes, se pueden generar algunos coproductos que son muy

tóxicos. En estos casos se recomienda monitorear el proceso para asegurar la efectividad de la degradación.

Las tecnologías de biorremediación se pueden agrupar en dos categorías diferentes: *técnicas en sitio*, donde se tratan los contaminantes agregando los microorganismos en el lugar donde el agua o el suelo están contaminados; y las *técnicas en recipientes*, donde se lleva el agua o las porciones de suelo contaminados a cilindros o reactores donde se lleva a cabo el proceso. Los tratamientos en sitio incluyen la *biorremediación en superficie* y en la *biorremediación subterránea*. En el primer caso, el oxígeno se toma directamente de la atmósfera, mientras que en el segundo se debe aplicar a través del suministro de agua (que contenga oxígeno disuelto) o aire al material contaminado. La contaminación en la parte superior del suelo a unas seis o doce pulgadas se puede tratar cultivando el suelo para que se provea de aire o también adicionando nutrientes y agua para estimular el crecimiento de las bacterias. En forma natural, algunos microorganismos pueden degradar contaminantes volátiles bajo condiciones controladas, evitando que antes éstos se volatilicen.

Las técnicas de biorremediación, han probado también su efectividad para limpiar playas contaminadas o contenedores de petróleo. Cuando los nutrientes se aplican al petróleo, los microorganismos reducen significativamente su concentración, incluso esta tecnología ha demostrado ser más efectiva que los métodos de tratamiento físicos que se utilizan para limpiar petróleo o aceites en las riberas. Por ejemplo, se demostró su efectividad para limpiar las playas donde ocurrió el derrame del Exxon Valdez.

En muchos casos, las bacterias que pueden degradar los contaminantes, se encuentran presentes en el suelo y el agua subterránea. Esta bacteria puede comenzar a degradar el contaminante pero rápidamente puede consumir todo el oxígeno disponible. Para prevenir esta situación, es conveniente suministrar el oxígeno a la región contaminada, además, se deben agregar nutrientes para hacer las condiciones ambientales más adecuadas para la actividad microbiana.

El oxígeno se puede llevar al agua contaminada o a los suelos contaminados agregando una fuente de oxígeno (aire, oxígeno puro, ozono o peróxido de hidrógeno), agregándolo al agua y después inyectándolo a través de zanjas. Este tipo de drenes pueden incluso proporcionar los nutrientes y el oxígeno a profundidades mayores a 40 pies.

Los contaminantes en la superficie del suelo pueden ser biodegra-

dados en sitio, si éste es relativamente poroso y permeable al aire y al agua. A la superficie se puede agregar una solución de tratamiento que contenga nutrientes, utilizando irrigación dispersiva, inundaciones o zanjas. Se pueden instalar pozos de ventilación en distintos intervalos a través del área de suelo contaminada para proporcionar el oxígeno necesario.

Existe una gran variedad de procesos biológicos en superficie que pueden tratar con efectividad suelo y agua contaminados con residuos contaminantes orgánicos. El *composteo* es un método para tratar suelos con residuos orgánicos peligrosos. Los compuestos altamente biodegradables como madera en pequeños trozos que son combinados con un porcentaje bajo de materiales biodegradables residuales. El aire se puede proveer mezclando el material en forma de composta mediante sistemas de suministro de aire. El composteo se puede desarrollar incluso en birreactores cerrados. Algunos sitios donde existen residuos peligrosos contienen mezclas complejas de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos que no están preparados para ser biodegradados y que sólo pueden ser eliminados por la combinación de diferentes técnicas de tratamiento. Por ejemplo, el proceso de dechloración química puede remover el cloro de los PCB. Posteriormente se puede utilizar un tratamiento biológico que resulta mucho más efectivo después de la dechloración, lo que se puede utilizar para completar la limpieza.

En la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), se está trabajando para desarrollar métodos que sean una combinación de los procesos de tratamiento biológico, físico y químico para eliminar una gran variedad de residuos de contaminantes en los sitios donde éstos se encuentran. En la época actual, las preguntas básicas que debemos responder para evaluar la biorremediación como una tecnología viable para aplicarse en sitio son las siguientes:

¿Los químicos en sitio son potencialmente biodegradables?

¿Alguno de los contaminantes es potencialmente tóxico para el proceso de biodegradación?, si es así, ¿se puede modificar esta situación con un tratamiento previo?

¿A qué nivel se deben reducir los contaminantes para alcanzar los objetivos en los sitios donde éstos se encuentran?

¿Cuáles son las características microbiológicas que se deben considerar para el sitio?

¿El ambiente que se vaya a tratar es apropiado para la biorremediación o sus condiciones pueden ser ajustadas para ser más apropiadas para el tratamiento biológico?

¿Cuáles son las necesidades microbiológicas para el sitio; por ejemplo, agregar nutrientes o bacterias?

La biorremediación es una tecnología con un prominente futuro, no tiene consecuencias posteriores ni se traslada el problema de un ámbito a otro, es económicamente viable y se puede utilizar en situaciones donde existan casos de derrames. Si los científicos aprenden más sobre sus características y desarrollan técnicas para biodegradar el número de residuos, esta tecnología crecerá más para limpiar de manera más eficaz nuestro ambiente.

Cuestionario

1. Defina el concepto de remediación.
2. Explique el procedimiento de remediación que se sigue en Estados Unidos.
3. Explique el concepto de biorremediación.
4. Mencione las condiciones ambientales que pueden disminuir el proceso de biodegradación.
5. Explique las tecnologías de biorremediación.
6. A qué se refiere el composteo.
7. Mencione los cuestionamientos para evaluar si se puede o no realizar la biorremediación.

TECNOLOGÍA NO CONTAMINANTE

OBJETIVO: conocer las diferentes alternativas para generar energía limpia utilizando fuentes alternas como el sol, el viento, la biomasa y algunos fenómenos naturales.

Ahora presentaremos de manera general diferentes tecnologías para generar energía, las cuales se conocen como tecnologías limpias por la poca o nula cantidad de contaminantes que se forman durante el proceso de generación. Este apartado se incluyó para despertar en el lector la inquietud de investigar al respecto, ya que las tecnologías que se presentan están en la etapa de investigación y se piensa que en el futuro, cuando se agoten las actuales fuentes, serán las que nos cubran los requerimientos de energía que necesitará la humanidad.

Energía solar

La energía solar se origina en las reacciones de fusión termonuclear que ocurren en el sol; los productos químicos y radioactivos de estas reacciones son absorbidos en donde se originan por lo que es energía limpia, de la cual, la cantidad que alcanza a llegar a la superficie de la tierra es enorme. Haciendo un estimado, en treinta días soleados se emite a la tierra una cantidad equivalente al total de combustibles fósiles, tanto los que se han explotado como los que se pueden explotar, si toda la energía solar que llega a las áreas pavimentadas de Estados Unidos se capturara, sería suficiente para cubrir todas sus necesidades de energía; en una situación hipotética donde se utilizara toda la energía solar que llega a la tierra, no se alteraría el balance básico de energía de la atmósfera. La energía solar absorbida por el agua o la superficie terrestre se transforma en calor y después es emitida al espacio exterior. Incluso la que se absorbe por los vegetales para la fotosíntesis también se almacena en los alimentos que después serán utilizados por diversos consumidores. De manera similar, si el hombre capturara y

obtuviera trabajo útil de la energía solar, se convertiría en calor de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica.

El problema principal al utilizar la energía solar es encontrar una fuente de difusión (que se instala sobre un área vasta) para concentrarla en cantidad y forma como combustible o electricidad que se necesita para calentar o para mover vehículos, aparatos o maquinaria. De esto se deriva una situación lógica: ¿qué se debe hacer cuando no brilla el sol?, por lo que se plantea una problemática que se categoriza como: *colección, conversión, almacenamiento y distribución* con un análisis del costo beneficio.

Calentamiento solar de agua

El calentamiento solar del agua es común en climas templados y calientes donde se cuenta con sol la mayor parte del año. El colector solar para calentar agua consiste en una especie de caja con una cubierta de vidrio o de plástico transparente, con una superficie oscura en el centro y los tubos por donde circula el agua incrustados en dicha superficie. Estos colectores se llaman *colectores de plato liso*. Colocada hacia el sol, la superficie oscura se calienta absorbiendo la luz solar y la cubierta de plástico evita que el calor se escape (como sucede en los invernaderos). El agua circula a través de los tubos y de esta forma se calienta y es enviada hacia el tanque donde se almacena. Trasladar el agua hacia el tanque puede realizarse con una bomba o a través de un sistema que utilice la fuerza de gravedad, lo que hace que resulte más económico. Para evitar que se escape el calor del agua almacenada se debe diseñar el tanque con un compartimiento similar al de los calentadores de agua domésticos.

Calentamiento solar de construcciones

Los platos colectores planos como los que se utilizan en el calentamiento de agua se pueden utilizar para calentar diversas construcciones. Así, los colectores para espacios pueden ser mucho más económicos, ya que para esta situación sólo se hace circular el aire a través del colector y se puede aumentar la eficiencia si estos se colocan de tal forma que permitan la convección natural para que circule el aire caliente en el espacio que todavía no se calienta. En el caso de los edificios que vayan a contar con este

sistema, es necesario que al diseñarlos, para que tengan una mayor eficiencia, cuenten con su propio colector formado por ventanas que estén dirigidas hacia el sol, para que en invierno el calor pueda entrar por ahí y calentar el interior, en la noche se deben colocar cortinas para que retengan el calor que se capturó durante el día.

Producción solar de electricidad

La energía solar también se puede utilizar para producir energía eléctrica, lo que se vislumbra como una opción a la generación por nucleoelectricas o hidroelectricas. Existen dos métodos que pueden ser económicamente viables: las *celdas fotovoltaicas* que están conformadas por materiales reflejantes delgados en forma rectangular o circular con un alambre conectado al centro y otro en la parte superior. La luz solar brilla sobre la celda y de un sólo paso se transforma en energía eléctrica. Una de éstas celdas no es mayor de cinco centímetros de diámetro, por lo que para producir más energía se debe colocar una mayor cantidad de celdas juntas en un panel. Las celdas fotovoltaicas se utilizan en calculadoras de bolsillo, relojes y juguetes. Los paneles de las celdas fotovoltaicas proveen energía a hogares rurales, zonas de irrigación, semáforos, plataformas petroleras y otras instalaciones que estén alejadas de líneas de poder. En algunos países en desarrollo se están elaborando proyectos de electrificación rural basada en celdas fotovoltaicas donde la energía eléctrica no está disponible tan fácilmente.

Por lo anterior no es difícil imaginar en el futuro en donde los hogares y edificios cuenten con su propia fuente de energía no contaminante, basadas en la generación de energía eléctrica por arreglos de células fotovoltaicas en paneles localizados en los techos. Algunos futuristas plantean que los vehículos podrían ser impulsados por celdas fotovoltaicas colocadas en las orillas del pavimento a lo largo de las autopistas. Desde el punto de vista tecnológico quizá esto pueda ser posible, sin embargo, dependerá del desarrollo de la tecnología y de la alta eficiencia y bajos costos que tengan estas celdas fotovoltaicas.

Los sistemas de *colectores solares* consisten en arreglos de enormes láminas curvas de material reflejante que se colocan frente al sol y que en el centro se les coloca una tubería. La curvatura de las láminas es para que reflejen la luz solar directamente en la tubería del centro, dentro de ésta, se coloca aceite o algún otro fluido que es calentado a altas temperaturas. El

fluido caliente pasa a través de un intercambiador de calor para calentar agua hasta que genere vapores que activen un turbogenerador, es opcional incluir la figura de un sistema de colectores solares.

Energía eólica

La *energía eólica*, que en cierto modo fue olvidada durante la era de los hidrocarburos de bajo costo (1930-1970), es vista en la actualidad como otra opción viable de fuente de energía alterna. Desde hace siglos se ha utilizado de diversas formas, por ejemplo en la navegación se utilizó para mover los barcos de vela y en el campo se usó para los molinos de viento. A principios de siglo, se utilizó en Estados Unidos para bombear agua y para generar pequeñas cantidades de energía eléctrica. En las décadas de los años treinta y cuarenta cayó en desuso en virtud de que la distribución de energía eléctrica se hizo más común a través de líneas de transmisión más baratas. Fue hasta la década de los años setenta durante la crisis energética cuando volvió a considerarse como una opción viable de generación de energía. Se han realizado diferentes diseños de maquinaria que opera por energía eólica, pero lo más probado es el concepto de propulsión a través de aletas. Este propulsor es conectado directamente al generador (el *generador eólico* o *turbina de viento*). En estos casos el problema es el tamaño de la misma para determinar la cantidad de energía que se generará. En algunos países desarrollados se tiene la idea de que la eficiencia en la cantidad de energía generada está directamente relacionada con el tamaño de la turbina de viento, lo cual ha ocasionado que se construyan máquinas enormes con aletas de aproximadamente 100 metros en torres de 70 metros. La mayoría de estas máquinas con frecuencia sufren daños por la tensión a la que se someten los materiales de los cuales están construidas, por lo que en poco tiempo entran en desuso.

Sin embargo, en Dinamarca se han desarrollado turbinas de viento mucho más modestas y eficientes con aletas mucho más pequeñas (15m). La mayoría de las turbinas instaladas en la actualidad en California y en otras partes del mundo son importadas de Dinamarca. Como la factibilidad y eficiencia de las turbinas de viento ha aumentado, el costo de la generación de electricidad ha disminuido de forma considerable y lo que es mejor es que se trata de energía limpia y que por la cantidad generada comienza a ser competitiva con otras formas de generación.

La Asociación Americana de Energía Eólica calcula que las granjas de viento localizadas a lo largo del Medio Oeste podrían cubrir los requerimientos de energía de Estados Unidos. Existen aproximadamente 17 mil turbinas de viento que generan 1500MW (que equivale a lo generado por dos plantas nucleoelectricas) operando en California y otras miles operando en todo el mundo, lo que cual pudiera ser el principio de una era de generación de energía limpia.

Generación de energía por biomasa

Adicional a quemar madera en una estufa, existen diferentes métodos de bioconversión u obtención de energía por biomasa; por ejemplo, quemando el papel de los residuos municipales o alguno otro residuos orgánico; produciendo metano de la digestión anaeróbica o generando alcohol a través de la fermentación de granos.

Incineración de residuos municipales

Existen instalaciones para generar energía eléctrica a través de la incineración de residuos orgánicos. Algunos aserraderos y compañías que trabajan con madera están quemando sus residuos, así como en los ingenios azucareros están quemando el bagazo para subsanar su déficit de energía. En primera instancia, esta práctica lo que busca es la eliminación de los residuos; sin embargo, se considera una posibilidad para aprovechar la energía. Actualmente no se han desarrollado métodos para aprovechar al máximo la energía.

Producción de metano

En la digestión anaeróbica se manejan tres aspectos: la *eliminación de contaminantes*, la *utilización de los residuos orgánicos* como nutrientes y la *generación de energía*. Para el último de los casos, existen algunas técnicas que no han sido totalmente desarrolladas para el aprovechamiento del biogas metano. Esto se lleva a cabo en pequeña escala en algunas granjas donde se conjuntan los residuos orgánicos en un compartimiento donde se lleva a

cabo la digestión anaeróbica donde se genera el gas que se utiliza como combustible para cocinar. Quizá lo que falte es desarrollar complejos donde se pueda utilizar esta técnica a mayor escala o nivel industrial.

Producción de alcohol

El alcohol es producido por la fermentación de azúcar, para lo cual se utilizan caña de azúcar, granos y algunas frutas de las cuales se puede obtener azúcar y el mismo proceso para la producción de bebidas alcohólicas. La diferencia estriba en que en lugar de utilizar el producto para beber, se destila y se mezcla con gasolina para formar el combustible conocido como gasohol. El problema que se presenta en esta alternativa es que los países que opten por ella, deben tener un superávit en la producción de la caña de azúcar o la materia prima que se utilice, ya que debido al crecimiento de la población, se le da prioridad a utilizar dicha materia prima como alimento.

Diferentes alternativas de producción de energía

Existen diferentes alternativas para generar energía eléctrica: una es la tecnología experimental conocida como *conversión de energía térmica del océano* (OTEC por sus siglas en inglés), que aprovecha la diferencia de temperaturas para producir energía, ya que en la mayoría de los océanos del mundo existe un gradiente de aproximadamente 20°C entre la superficie que calienta el sol y el agua más fría que se encuentra en las profundidades. El agua que se evapora en la superficie se utiliza para calentar un líquido que tenga un punto de ebullición bajo como el amoníaco. El incremento en la presión del líquido será lo que haga funcionar los turbogeneradores. Cuando el amoníaco salga de la turbina se vuelve a condensar por agua fría que se bombea desde unos 100m de profundidad para comenzar con el ciclo nuevamente.

Otra alternativa es la utilización de la *energía geotérmica* donde se aprovecha el vapor que se genera por el agua caliente en los pequeños géiser que se localizan en zonas volcánicas como en Estados Unidos o en las Filipinas. El problema de esta tecnología es que el agua que proviene de estos cráteres lleva consigo una alta concentración de sales y compuestos de azufre que provienen de los minerales de los lechos rocosos. Estas sustancias

pueden ocasionar daños a la maquinaria porque se pueden incrustar o corroer las turbinas. Así también se pueden formar compuestos como el dióxido de azufre si no se controla el proceso adecuadamente, por lo que se deben plantear diferentes alternativas para solucionar este problema. En resumen, existen diferentes opciones que se deben explorar para utilizar la energía que se encuentra en la naturaleza; para citar otro ejemplo, en algunos lugares existen plantas eléctricas que aprovechan el movimiento de las olas para generar energía, sin embargo, no se considera que se pueda utilizar a gran escala, ya que las limitaciones tecnológicas son todavía muy altas.

Cuestionario

1. Mencione las diferentes tecnologías no contaminantes.
2. Explique la forma de utilizar la energía solar.
3. Explique brevemente la forma de producir energía eléctrica transformando la energía solar.
4. Explique la forma de utilizar la energía eólica.
5. Explique las diferentes etapas de generar energía por biomasa.
6. Explique las diferentes alternativas de producción de energía.

FACTORES SOCIALES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO Y APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL

OBJETIVO: conocer en forma general los factores políticos, económicos y demográficos que tienen repercusiones significativas para el desarrollo y aplicación de la ingeniería ambiental.

La aplicación o uso de las ciencias, artes o tecnologías no puede ser una situación aislada, pues está en función del grado de desarrollo de un país y de su situación política y económica. El caso de la ingeniería ambiental es muy representativo, pues está íntimamente ligado con las políticas establecidas sobre protección del ambiente. Desde luego, que esta rama de la ingeniería está más avanzada en los países industrializados, y es en éstos donde su vinculación con la política, economía y los aspectos demográficos es más evidente.

En cierta forma se piensa que para resolver los problemas ambientales se deben dirigir las acciones hacia la fuente de contaminación, pero la realidad es que estos problemas son complejos por sus dimensiones globales.

Impacto ambiental

Un término que resulta muy recurrente en la aplicación de la ingeniería ambiental y que por su relación con los factores sociales es lo que se conoce como *impacto ambiental*, y que se define como la repercusión significativa que tienen las actividades humanas sobre el ambiente.

Factores económicos y políticos

Tanto las naciones industrializadas como las que están en desarrollo contribuyen significativamente a la degradación del ambiente. Las desarrolla-

das saben que su prosperidad se ha conseguido a costa de la degradación y explotación del ambiente. Ahora lo que se debe plantear es como revertir dicha degradación y prevenir que se siga presentando. Todas las naciones están buscando respuesta a estas preguntas a través del desarrollo de la tecnología, y tratando de fortalecer el cuidado del ambiente para que les permita continuar con su prosperidad económica. En países como Estados Unidos se están presentando cambios graduales en su estructura económica para empatar sus necesidades con el cuidado del ambiente. Existen diferentes opiniones que sostienen que la balanza se debe inclinar más hacia la protección del ambiente que al progreso económico y las que sostienen lo contrario, pues afirman que no es posible producir satisfactores en cantidad y calidad si existen restricciones fuertes en cuanto a la protección del ambiente que hacen imposible competir en el mercado global. Un ejemplo que ha servido para sostener esta aseveración es el problema generado por el déficit de energía eléctrica que se presentó en el estado de California a finales del año 2000 y principios del 2001, debido en gran parte a las fuertes restricciones ambientales para instalar plantas generadoras de energía eléctrica. Establecer un alto número de restricciones en la industria es de hecho en parte porque los que toman las decisiones no quieren repetir los errores del pasado. Mucho del daño ambiental que ha ocurrido se debe en parte a las actividades que fueron prácticas aceptables hace muchos años pero que ahora sabemos que son nocivas al medio ambiente. Por ejemplo, ahora sabemos que si el aceite usado se dispone en forma inapropiada, se pueden contaminar miles de galones de agua fresca, ya que se puede filtrar a través del suelo y llegar hasta el agua subterránea, todo se debe a que cuando se comenzó a desarrollar esta práctica no se conocía el impacto que podía ocasionar, lo cual hace evidente que cuanto más se desarrolle la ciencia e incrementemos nuestros conocimientos se modificarán las disposiciones legales y las políticas que se establezcan para proteger el ambiente.

Adicionalmente a las actividades contaminantes que en algún momento fueron aceptables, también se sabe que la devastación ambiental en algunos casos es provocada por negligencia y actos deliberados. La mayoría de la población quiere que sus hijos e incluso sus nietos disfruten de las mismas cosas que ellos disfrutaron: aire, agua y suelo limpios y una vida libre de riesgos para la salud asociados con la contaminación ambiental. Por lo tanto, la productividad económica no será permanente si no se toman en cuenta los sucesos que afectan el ambiente, lo anterior ha traído como resultado leyes que determinan sanciones para los involucrados en activida-

des que lo dañan, sin embargo, esto sólo se consolidará cuando todos los sectores de la población tengan plena conciencia de las bondades de cuidar el ambiente.

Factores demográficos

En el pasado, los gobiernos de algunas naciones con economías en desarrollo, vendieron vastas tierras de bosques y selvas para utilizarlas en ganadería y en la explotación de sus bosques, estas tierras comenzaron a degradarse en cortos periodos de tiempo. El suelo que queda como consecuencia de ese tipo de explotación no puede soportar la agricultura y ha terminado por erosionarse.

Los bosques tropicales juegan un papel importante en la vida en nuestro planeta ya que contribuyen con el balance del oxígeno, el dióxido de carbono y la temperatura. Además de las miles de especies que los habitan representan un recurso inmenso de materias primas para la elaboración y desarrollo de nuevas medicinas. Los ambientalistas han influenciado a los diversos gobiernos, agencias, corporaciones e industrias para invertir en proyectos y enseñar a sus habitantes para replantar y reforestar sus tierras. Algunos gobiernos incentivan estas prácticas y aplican sanciones cuando se realizan prácticas claras que traen como consecuencia la deforestación. Con estos proyectos, sus vastos recursos se protegen y benefician también a quienes los habitan.

Estamos comenzando a comprender que muchos de los problemas que hoy enfrentamos como la pobreza, el crecimiento de la población, el desarrollo industrial y la destrucción del ambiente están íntimamente relacionados, de modo que no se pueden resolver en forma aislada sino con una visión integral. La protección de la tierra para proveer un nivel básico de bienestar para todos sus habitantes y la protección del ambiente son dos caras de la misma moneda: la supervivencia de la especie humana.

La población en el planeta se incrementa de manera alarmante. En la actualidad es cinco veces lo que era en 1800 y en tan sólo 40 años se duplicó de 2.5 billones a seis billones aproximadamente. De este crecimiento 90% ocurre en los países más pobres. Se estima que para el año 2030 llegará a los diez billones y aproximadamente treinta billones al final del siglo XXI. Estos niveles están muy cerca de la máxima *capacidad de soporte* del planeta entero, lo cual se refiere a la capacidad de una región de soportar a sus ha-

bitantes sin entrar en una situación de crisis ambiental, social e incluso política.

Quizá los factores determinantes en el crecimiento poblacional sean el desarrollo de la medicina y una mejor nutrición que incrementan los niveles de vida y la falta de políticas adecuadas para el control de la natalidad, así como la influencia de algunas religiones que sancionan el uso de técnicas de control natal. La población está relacionada directamente a una serie de aspectos ambientales, en la medida que esta crezca, habrá menos recursos como energía, agua y alimento, sin mencionar el impacto ambiental que provocan los residuos inherentes a sus actividades.

La población de Estados Unidos crece aproximadamente 2.2 millones cada año, lo que lo convierte en uno de los países industrializados con mayor crecimiento. Y aunque es un país rico en recursos naturales, a los actuales ritmos de consumo están utilizando dichos recursos más rápido de lo que son capaces de reemplazarlos. Debido a su alto nivel de vida, su población consume una desproporcionada cantidad de los recursos mundiales. Por ejemplo, la población de Estados Unidos representa aproximadamente 5% de la población mundial, pero utiliza 25% de sus recursos energéticos. Todo esto hace a las naciones plantearse como meta alcanzar el *desarrollo sustentable*, que se refiere al manejo y explotación de los recursos en forma racional, que no ponga en peligro las formas de vida existentes en el planeta y preservando el equilibrio ecológico.

Cuestionario

1. Explique cómo influyen los factores sociales en el desarrollo y aplicación de la ingeniería ambiental.
2. Defina el concepto de impacto ambiental.
3. Explique cómo influyen los factores económicos y políticos en la aplicación y desarrollo de la ingeniería ambiental.
4. Explique cómo influyen los factores demográficos en la aplicación y desarrollo de la ingeniería ambiental.
5. Explique diferentes casos que ejemplifiquen la relación de entre las situaciones políticas y la ingeniería ambiental.
6. Defina el concepto de desarrollo sustentable.

MARCO LEGAL DE LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

OBJETIVO: identificar el marco legal que regula la protección al ambiente en México; las competencias federales, estatales y municipales, así como lo correspondiente a las normas ISO-14000.

La legislación en materia de protección al ambiente es relativamente nueva, de hecho su desarrollo ha estado asociado con algunos hechos significativos que han marcado la sociedad por su impacto en el medio ambiente. En ocasiones la inclusión de nuevos artículos en la ley correspondiente y la aparición de nuevas *Normas oficiales mexicanas* obedecen a situaciones de tipo social, político y en ocasiones a los avances tecnológicos. En México, la protección ambiental desde el punto de vista legal obedece a la jerarquía jurídica que se maneja en la Pirámide de Kelsen:

1. *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.*
2. *Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.*
3. *Reglamentos de la Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.*
4. *Normas oficiales mexicanas en materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.*

Además, existen 31 leyes estatales y la *Ley del Distrito Federal*, la *Ley de aguas nacionales* y *reglamentos sobre vertimientos al mar*. Así también existe el *Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos*. Sin embargo, sólo describiremos en forma general los apartados y artículos sobre los instrumentos jurídicos que ya mencionamos.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La protección al ambiente se encuentra contemplada en los artículos 25, 27 y 73 de la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. El artículo 25 párrafo sexto dice:

Bajo criterios de equidad social y productividad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente.

El artículo 27 párrafo tercero dice:

La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicta el interés público, así como el de regular, en beneficio social el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico; para el fraccionamiento de los latifundios; para disponer, en los términos de la ley reglamentaria, la organización y explotación colectiva de los ejidos y comunidades; para el desarrollo de la pequeña propiedad rural; para el fomento de la agricultura, de la ganadería, de la silvicultura y de las demás actividades económicas en el medio rural, y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad.

El artículo 73, fracción XXIX-G, dice:

El Congreso tiene facultad para expedir leyes que establezcan la concurrencia del gobierno federal, de los gobiernos de los estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, *en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico*.

Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente

La *Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente* está conformada de la siguiente forma:

Título I. Disposiciones generales (artículos del 1 al 43).

Capítulo I. Normas preliminares.

Capítulo II. Distribución de competencias y coordinación.

Capítulo III. Política ambiental.

Capítulo IV. Instrumentos de la política ambiental.

Título II. Biodiversidad (artículos del 44 al 87 *bis* 2).

Capítulo I. Áreas naturales protegidas.

Capítulo II. Zonas de restauración.

Capítulo III. Flora y fauna silvestre.

Título III. Aprovechamiento sustentable de los elementos naturales (artículos del 88 al 109).

Capítulo I. Aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos.

Capítulo II. Preservación y aprovechamiento sustentable del suelo y sus recursos.

Capítulo III. De la exploración y explotación de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico.

Título IV. Protección al ambiente (artículos del 109 *bis* al 156).

Capítulo I. Disposiciones generales.

Capítulo II. Prevención y control de la contaminación de la atmósfera.

Capítulo III. Prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos.

Capítulo IV. Prevención y control de la contaminación del suelo.

Capítulo V. Actividades consideradas como altamente riesgosas.

Capítulo VI. Materiales y residuos peligrosos.

Capítulo VII. Energía nuclear.

Capítulo VIII. Ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, olores y contaminación visual.

Título V. Participación social e información ambiental (artículos del 157 al 159 *bis* 6).

Capítulo I. Participación social.

Capítulo II. Derecho a la información ambiental.

Título VI. Medidas de control y seguridad y sanciones (artículos del 160 al 159 *bis* 6).

Capítulo I. Disposiciones generales.

Capítulo II. Inspección y vigilancia.

Capítulo III. Medidas de seguridad.

Capítulo IV. Sanciones administrativas.

Capítulo V. Recurso de revisión.

Capítulo VI. De los delitos del orden federal.

Capítulo VII. Denuncia popular.

Reglamentos de la Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente

Reglamento de la prevención y control de la contaminación de la atmósfera.

Reglamento para la protección del ambiente contra la contaminación originada por la emisión de ruido.

Reglamento en materia de residuos peligrosos.

Reglamento en materia de impacto ambiental.

Reglamento para la prevención y control de la contaminación generada por vehículos automotores que circulan por el Distrito Federal y su zona conurbada.

Normas oficiales mexicanas para la protección ambiental

Normas para control de la contaminación atmosférica.

Industria.

Vehículos.

Monitoreo ambiental.

Calidad de combustibles.

Normas para control de residuos peligrosos.

Normas para control de la contaminación del agua.

Normas para la conservación de los recursos naturales.

Normas de ordenamiento ecológico e impacto ambiental.

Normas para el control de emisión de ruido.

Atribuciones federales y locales

Éstas se encuentran en el capítulo II de la *Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente* en el artículo 4 al artículo 14 bis:

Capítulo II. Distribución de competencias y coordinación.

Artículo 4º.

La Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios ejercerán sus atribuciones en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta Ley y en otros ordenamientos legales.

Artículo 5º. Son facultades de la Federación:

La formulación y conducción de la política ambiental nacional;

La aplicación de los instrumentos de la política ambiental previstos en esta Ley, en los términos en ella establecidos, así como la regulación de las acciones para la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente que se realicen en bienes y zonas de jurisdicción federal;

La atención de los asuntos que afecten el equilibrio ecológico en el territorio nacional o en las zonas sujetas a la soberanía y jurisdicción de la nación, originados en el territorio o zonas sujetas a la soberanía o jurisdicción de otros Estados, o en zonas que estén más allá de la jurisdicción de cualquier Estado;

La atención de los asuntos que, originados en el territorio nacional o las zonas sujetas a la soberanía o jurisdicción de la nación afecten el equilibrio ecológico del territorio o de las zonas sujetas a la soberanía o jurisdicción de

otros Estados, o a las zonas que estén más allá de la jurisdicción de cualquier Estado;

La expedición de las normas oficiales mexicanas y la vigilancia de su cumplimiento en las materias previstas en esta Ley;

La regulación y el control de las actividades consideradas como altamente riesgosas, y de la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos para el ambiente o los ecosistemas, así como para la preservación de los recursos naturales, de conformidad con esta Ley, otros ordenamientos aplicables y sus disposiciones reglamentarias;

La participación en la prevención y el control de emergencias y contingencias ambientales, conforme a las políticas y programas de protección civil que al efecto se establezcan;

El establecimiento, regulación, administración y vigilancia de las áreas naturales protegidas de competencia federal;

La formulación, aplicación y evaluación de los programas de ordenamiento ecológico general del territorio y de los programas de ordenamiento ecológico marino a que se refiere el artículo 19 *bis* de esta Ley;

La evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades a que se refiere el artículo 28 de esta Ley y, en su caso, la expedición de las autorizaciones correspondientes.

La regulación del aprovechamiento sustentable, la protección y la preservación de los recursos forestales, el suelo, las aguas nacionales, la biodiversidad, la flora, la fauna y los demás recursos naturales de su competencia;

La regulación de la contaminación de la atmósfera, proveniente de todo tipo de fuentes emisoras, así como la prevención y el control en zonas o en caso de fuentes fijas y móviles de jurisdicción federal;

El fomento de la aplicación de tecnologías, equipos y procesos que reduzcan las emisiones y descargas contaminantes provenientes de cualquier tipo de fuente, en coordinación con las autoridades de los estados, el Distrito Federal y los municipios; así como el establecimiento de las disposiciones que deberán observarse para el aprovechamiento sustentable de los energéticos;

La regulación de las actividades relacionadas con la exploración, explotación y beneficio de los minerales, substancias y demás recursos del subsuelo que corresponden a la nación, en lo relativo a los efectos que dichas actividades puedan generar sobre el equilibrio ecológico y el ambiente;

La regulación de la prevención de la contaminación ambiental origina-

da por ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica, radiaciones electromagnéticas y olores perjudiciales para el equilibrio ecológico y el ambiente;

La promoción de la participación de la sociedad en materia ambiental, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley;

La integración del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales y su puesta a disposición al público en los términos de la presente Ley;

La emisión de recomendaciones a autoridades federales, estatales y municipales, con el propósito de promover el cumplimiento de la legislación ambiental;

La vigilancia y promoción, en el ámbito de su competencia, del cumplimiento de esta Ley y los demás ordenamientos que de ella se deriven;

La atención de los asuntos que afecten el equilibrio ecológico de dos o más entidades federativas, y

Las demás que esta Ley u otras disposiciones legales atribuyan a la federación.

Artículo 7º. Corresponden a los estados, de conformidad con lo dispuesto en esta ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

La formulación, conducción y evaluación de la política ambiental estatal;

La aplicación de los instrumentos de política ambiental previstos en las leyes locales en la materia, así como la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente que se realice en bienes y zonas de jurisdicción estatal, en las materias que no estén expresamente atribuidas a la federación;

La prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, así como por fuentes móviles, que conforme a lo establecido en esta Ley no sean de competencia federal;

La regulación de actividades que no sean consideradas altamente riesgosas para el ambiente, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 149 de la presente Ley;

El establecimiento, regulación, administración y vigilancia de las áreas naturales protegidas previstas en la legislación local, con la participación de los gobiernos municipales;

La regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e in-

dustriales que no estén considerados como peligrosos de conformidad con lo dispuesto por el artículo 137 de la presente ley;

La prevención y el control de la contaminación generada por la emisión de ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica, radiaciones electromagnéticas y olores perjudiciales al equilibrio ecológico o al ambiente, proveniente de fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, así como, en su caso, de fuentes móviles que conforme a lo establecido en esta Ley no sean de competencia federal;

La regulación del aprovechamiento sustentable y la prevención y control de la contaminación de las aguas de jurisdicción estatal; así como de las aguas nacionales que tengan asignadas;

La formulación, expedición y ejecución de los programas de ordenamiento ecológico del territorio a que se refiere el artículo 20 *bis* 2 de esta Ley, con la participación de los municipios respectivos;

La prevención y el control de la contaminación generada por el aprovechamiento de las sustancias no reservadas a la federación, que constituyan depósitos de naturaleza similar a los componentes de los terrenos, tales como rocas o productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales para la construcción u ornamento de obras;

La atención de los asuntos que afecten el equilibrio ecológico o el ambiente de dos o más municipios;

La participación en emergencias y contingencias ambientales, conforme a las políticas y programas de protección civil que al efecto se establezcan;

La vigilancia del cumplimiento de las normas oficiales mexicanas expedidas por la federación, en las materias y supuestos a que se refieren las fracciones III, VI y VII de este artículo;

La conducción de la política estatal de información y difusión en materia ambiental;

La promoción de la participación de la sociedad en materia ambiental, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley;

La evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades que no se encuentren expresamente reservadas a la federación, por la presente Ley y, en su caso, la expedición de las autorizaciones correspondientes, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 35 *bis* 2 de la presente Ley;

El ejercicio de las funciones que en materia de preservación del equilibrio ecológico y protección al ambiente les transfiera la federación, conforme a lo dispuesto en el artículo 11 de este ordenamiento;

La formulación, ejecución y evaluación del programa estatal de protección al ambiente;

La emisión de recomendaciones a las autoridades competentes en materia ambiental, con el propósito de promover el cumplimiento de la legislación ambiental;

La atención coordinada con la federación de asuntos que afecten el equilibrio ecológico de dos o más entidades federativas, cuando así lo consideren conveniente las entidades federativas respectivas, y

La atención de los demás asuntos que en materia de preservación del equilibrio ecológico y protección al ambiente les conceda esta Ley u otros ordenamientos en concordancia con ella y que no estén otorgados expresamente a la federación.

Artículo 8°. Corresponden a los Municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

La formulación, conducción y evaluación de la política ambiental municipal;

La aplicación de los instrumentos de política ambiental previstos en las leyes locales en la materia y la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en bienes y zonas de jurisdicción municipal, en las materias que no estén expresamente atribuidas a la federación o a los estados;

La aplicación de las disposiciones jurídicas en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas que funcionen como establecimientos mercantiles o de servicios, así como de emisiones de contaminantes a la atmósfera proveniente de fuentes móviles que no sean consideradas de jurisdicción federal, con la participación que de acuerdo con la legislación estatal corresponda al gobierno del estado;

La aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 137 de la presente Ley;

La creación y administración de zonas de preservación ecológica de los centros de población, parques urbanos, jardines públicos y demás áreas análogas previstas por la legislación local;

La aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y

control de la contaminación por ruido, vibraciones, energía térmica, radiaciones electromagnéticas y lumínica y olores perjudiciales para el equilibrio ecológico y el ambiente, proveniente de fuentes fijas que funcionen como establecimientos mercantiles o de servicios, así como la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones que, en su caso, resulten aplicables a las fuentes móviles excepto las que conforme a esta Ley sean consideradas de jurisdicción federal;

La aplicación de las disposiciones jurídicas en materia de prevención y control de la contaminación de las aguas que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población, así como de las aguas nacionales que tengan asignadas, con la participación que conforme a la legislación local en la materia corresponda a los gobiernos de los estados;

La formulación y expedición de los programas de ordenamiento ecológico local del territorio a que se refiere el artículo 20 *bis* 4 de esta Ley, en los términos en ella previstos, así como el control y la vigilancia del uso y cambio de uso del suelo, establecidos en dichos programas;

La preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en los centros de población, en relación con los efectos derivados de los servicios de alcantarillado, limpia, mercados, centrales de abasto, panteones, rastros, tránsito y transporte locales, siempre y cuando no se trate de facultades otorgadas a la federación o a los estados en la presente Ley;

La participación en la atención de los asuntos que afecten el equilibrio ecológico de dos o más municipios y que generen efectos ambientales en su circunscripción territorial;

La participación en emergencias y contingencias ambientales conforme a las políticas y programas de protección civil que al efecto se establezcan;

La vigilancia del cumplimiento de las normas oficiales mexicanas expedidas por la federación, en las materias y supuestos a que se refieren las fracciones III, IV, VI y VII de este artículo;

La formulación y conducción de la política municipal de información y difusión en materia ambiental;

La participación en la evaluación del impacto ambiental de obras o actividades de competencia estatal, cuando las mismas se realicen en el ámbito de su circunscripción territorial;

La formulación, ejecución y evaluación del programa municipal de protección al ambiente, y

La atención de los demás asuntos que en materia de preservación del

equilibrio ecológico y protección al ambiente les conceda esta Ley u otros ordenamientos en concordancia con ella y que no estén otorgados expresamente a la federación o a los estados.

Artículo 9°. Corresponden al gobierno del Distrito Federal, en materia de preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, conforme a las disposiciones legales que expida la Asamblea Legislativa del Distrito Federal, las facultades a que se refieren los artículos 7 y 8 de esta Ley.

Artículo 10°. Los congresos de los estados, con arreglo a sus respectivas Constituciones y la Asamblea Legislativa del Distrito Federal, expedirán las disposiciones legales que sean necesarias para regular las materias de su competencia previstas en esta Ley. Los ayuntamientos, por su parte, dictarán los bandos de policía y buen gobierno, los reglamentos, circulares y disposiciones administrativas que correspondan, para que en sus respectivas circunscripciones, se cumplan las previsiones del presente ordenamiento.

En el ejercicio de sus atribuciones, los estados, el Distrito Federal y los municipios, observarán las disposiciones de esta Ley y las que de ella se deriven.

Artículo 11°. La federación, por conducto de la secretaría, podrá suscribir convenios o acuerdos de coordinación con el objeto de que los estados o el Distrito Federal asuman las siguientes funciones:

El manejo y vigilancia de las áreas naturales protegidas de competencia federal;

El control de los residuos peligrosos considerados de baja peligrosidad conforme a las disposiciones del presente ordenamiento;

La prevención y control de la contaminación de la atmósfera proveniente de fuentes fijas y móviles de jurisdicción federal;

El control de acciones para la protección, preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en la zona federal marítimo terrestre, así como en la zona federal de los cuerpos de agua considerados como nacionales;

La protección, preservación y restauración de los recursos naturales a

que se refiere esta Ley, y de la flora y fauna silvestre, así como el control de su aprovechamiento sustentable;

La realización de acciones operativas tendientes a cumplir con los fines previstos en este ordenamiento, y la realización de acciones para la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones de esta Ley.

Asimismo, los estados podrán suscribir con sus municipios convenios de coordinación, previo acuerdo con la federación, a efecto de que éstos asuman la realización de las funciones anteriormente referidas.

Artículo 12°. Los convenios o acuerdos de coordinación que suscriban la federación con el Distrito Federal y los estados, y éstos con los municipios, para los propósitos a que se refiere el artículo anterior, deberán ajustarse a las siguientes bases:

Definirán con precisión las materias y actividades que constituyan el objeto del convenio o acuerdo;

Deberá ser congruente el propósito de los convenios o acuerdos de coordinación con las disposiciones del Plan Nacional de Desarrollo y con la política ambiental nacional;

Se describirán los bienes y recursos que aporten las partes esclareciendo cuál será su destino específico y su forma de administración;

Se especificará la vigencia del convenio o acuerdo, sus formas de terminación y de solución de controversias y, en su caso, de prórroga;

Definirán el órgano u órganos que llevarán a cabo las acciones que resulten de los convenios o acuerdos de coordinación, incluyendo las de evaluación, y

Contendrán las demás estipulaciones que las partes consideren necesarias para el correcto cumplimiento del convenio o acuerdo.

Los convenios a que se refiere el presente artículo, deberán ser publicados en el *Diario Oficial de la Federación* y en el órgano oficial del gobierno local respectivo.

Artículo 13°. Los estados podrán suscribir entre sí y con el gobierno del Distrito Federal, en su caso, convenios o acuerdos de coordinación y colaboración administrativa, con el propósito de atender y resolver problemas ambientales comunes y ejercer sus atribuciones a través de las instancias que al efecto determinen, atendiendo a lo dispuesto en las leyes locales que resulten aplicables. Las mismas facultades podrán ejercer los municipios

entre sí, aunque pertenezcan a entidades federativas diferentes, de conformidad con lo que establezcan las leyes señaladas.

Artículo 14°. Las dependencias y entidades de la administración pública se coordinarán con la secretaría para la realización de las acciones conducentes, cuando exista peligro para el equilibrio ecológico de alguna zona o región del país, como consecuencia de desastres producidos por fenómenos naturales, o por caso fortuito o fuerza mayor.

Artículo 14 bis. Las autoridades ambientales de la federación y de las entidades federativas integrarán un órgano que se reunirá periódicamente con el propósito de coordinar sus esfuerzos en materia ambiental, analizar e intercambiar opiniones en relación con las acciones y programas en la materia, evaluar y dar seguimiento a las mismas, así como convenir las acciones y formular las recomendaciones pertinentes, particularmente en lo que se refiere a los objetivos y principios establecidos en los artículos primero y decimoquinto de esta Ley.

Evaluación del impacto ambiental

Este apartado se contempla en la Sección V de la Ley y comprende el artículo 28°.

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

Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos, carboductos y poliductos;

Industria del petróleo, petroquímica, química, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y eléctrica;

Exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la federación en los términos de las leyes minera y reglamentaria del artículo 27° Constitucional en materia nuclear;

Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como residuos radiactivos;

Aprovechamientos forestales en selvas tropicales y especies de difícil regeneración;

Plantaciones forestales;

Cambios de uso del suelo de áreas forestales, así como en selvas y zonas áridas;

Parques industriales donde se prevea la realización de actividades altamente riesgosas;

Desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros;

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

Obras en áreas naturales protegidas de competencia de la Federación;

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

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

Normatividad internacional (ISO-14000)

Se considera apropiado incluir en el presente libro lo que se vislumbra para el futuro en la protección al ambiente. La Organización Internacional de Estándares ha desarrollado la parte ambiental de las normas de calidad ISO 9000 que algunas compañías ya han estado aplicando en los últimos años. La *ISO 14000* es un estándar ambiental que ayuda a las compañías a cumplir con sus metas en cuanto a protección al ambiente y a cumplir con la normatividad local en la materia. El estándar ha sido diseñado en formato, que las compañías que lo utilicen pueden cumplir con lo establecido

por los gobiernos locales, permitiendo que hagan negocios tanto en el ámbito nacional como internacional.

En contraste con la mayoría de las regulaciones ambientales, la ISO 14000 se centra en la prevención de la contaminación, y en las cuestiones de la organización y procedimientos. Promueve la adopción de un sistema de administración de la protección ambiental que hace que las compañías automáticamente cumplan con las regulaciones ambientales, promoviendo la mejora continua. Las compañías que demuestran el cumplimiento con los estándares de la ISO 14000 ante auditores externos reciben la *certificación*.

Los estándares ISO 14000 incluyen el desarrollo y la implementación de un *Sistema de administración de la protección ambiental*, con los siguientes elementos:

1. Auditoría ambiental.
2. Evaluación del desempeño.
3. Identificación de los productos.
4. Evaluación de los ciclos de vida.

El *Sistema de administración de la protección ambiental* es la única parte de la ISO 14000 donde las compañías pueden ser certificadas. Los estándares para establecer el sistema incluye los siguientes requerimientos:

Un comité que provenga de los más altos niveles de la administración para mejorar el desempeño en ambiental de la compañía en sus actividades administrativas, en los servicios que preste o en los productos que realice.

Establecer procedimientos para identificar los aspectos ambientales de todas las actividades de la organización y analizar aquéllas que tengan un impactos significativos sobre en el medio ambiente.

Analizar la posición de la organización respecto de los requerimientos de la legislación, impacto ambiental y las responsabilidades correspondientes.

Establecer una política ambiental que lleve a la organización a cumplir con la legislación y a la mejora continua en cuanto a la prevención de la contaminación.

Desarrollar criterios y objetivos internos del desempeño de la protección ambiental.

Establecimiento y mantenimiento de procedimientos para identificar

todos los requerimientos legales aplicables a los aspectos ambientales de las actividades, productos o servicios de la compañía.

Establecimiento y mantenimiento de los procedimientos y controles operativos para capacitación de personal cuyo trabajo esté relacionado con los aspectos ambientales en lo que respecta a monitoreo y evaluación del desempeño de la protección ambiental, en congruencia con las políticas, metas y objetivos.

Documentación de la operación de los procesos y procedimientos, incluyendo la evaluación y el monitoreo del desempeño ambiental de la compañía y de los procesos que se utilicen para avanzar en sus objetivos ambientales.

Establecer planes de emergencia y procedimientos para asegurar un respuesta apropiada en los accidentes e incidentes y

Una revisión periódica del *Sistema de administración de la protección ambiental* para asegurar el mejoramiento en el desempeño de las actividades de protección ambiental.

El estándar de la ISO 14000 certifica los productos de las compañías que lo aplican, lo que trae beneficios grandes en el comercio internacional y provee las bases para la evaluación de todo el ciclo de vida. Esta evaluación es un análisis del impacto ambiental de un producto durante todo su ciclo de vida, desde su diseño, fabricación, empaquetado, uso y disposición.

En la actualidad, los estándares de la ISO 14000 se han vuelto una condición para realizar negocios en Europa. Países como el Reino Unido han adaptado la ISO 14000 como un equivalente de sus propios estándares ambientales. Otros países sin estándares ambientales están considerando adoptar la ISO 14000 como un requerimiento interno de regulación ambiental.

De forma similar, las instituciones de financiamiento y aseguradoras que necesitan información del desempeño ambiental de una compañía para apoyarla, requieren de que ésta esté certificada. Así también, en algunos estados de la Unión Americana y algunas de sus agencias federales proporcionan incentivos reduciendo las inspecciones para aquellas compañías que se encuentren certificadas. Por todo esto, las compañías que no cumplan con los estándares de las ISO 14000 y que por lo tanto no estén certificadas, estarán en desventaja en el mercado con las que sí lo estén. Lo que finalmente se transforma en beneficio para la población y para el ambiente, hablando en términos generales.

Cuestionario

1. Explique el marco legal de la protección al ambiente de acuerdo con la Pirámide de Kelsen.
2. ¿Cuáles son los artículos de la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* que se refieren a la protección al ambiente?
3. Menciona la estructura de la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*.
4. Mencione los *Reglamentos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*.
5. Mencione la clasificación de las *Normas Oficiales Mexicanas para la Protección al Ambiente*.
6. Mencione los artículos sobre las atribuciones federales y locales en cuanto a la Protección Ambiental.
7. ¿Qué artículo menciona la evaluación del impacto ambiental y cuáles son los principales puntos que toca?
8. Explique los principales elementos de los estándares ISO 14000 sobre el proceso de los *Sistemas de administración de la protección al ambiente*.
9. ¿Cuál es la importancia de la aplicación de los estándares ISO 14000?

BIBLIOGRAFÍA

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*, Porrúa, México, 1997.
- Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente (y disposiciones complementarias)*, 14ª edición, Porrúa, México, 1997.
- Environmental Engineering*, International Edition, Mc Graw Hill , Singapo-
re, 1986.
- The Nalco Water Handbook*, Nalco Chemical Co., 1979, Estados Unidos, 1979.
- ALBERT, A. LILIA, *Curso básico de toxicología ambiental*, Limusa, México, 1985.
- BOYCE, A., *Preserving the Legacy, Introduction to Environmental Technology*,
John Wiley y Sons, Estados Unidos, 1997.
- GLYNN, HENRY y HEINKE, G., *Ingeniería ambiental*, Prentice Hall, México,
1999.
- MCKENZIE L., DAVIS, *Introduction to Environmental Engineering*, McGraw
Hill, Estados Unidos, 1991.
- NEBEL, B. J. y WRIGHT, R. T., *The Way the World Works, Environmental Scien-
ce*, Prentice Hall, Estados Unidos, 1996.
- RAMÍREZ CORTINA, CLEMENTINA, *Tratamiento de aguas residuales industriales*,
Universidad Autónoma Metropolitana, México, 1991.
- RIGOLA LAPEÑA, MIGUEL, *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y
residuales*, Alfaomega-Marcombo, España, 1999.
- VIOLETA MÚGICA, A. y FIGUEROA LARA, J., *Contaminación ambiental, causas y
control*, Universidad Autónoma Metropolitana, México, 1996.
- STERN, A. C., *Fundamentals of Air Pollution*, Academic Press, Estados Uni-
dos, 1993.
- SUTTON, B., y HORMON, R., *Fundamentos de ecología*, Limusa, México, 1991.

ÍNDICE

- A**
- Ablandamiento, 38
 - Aire, 73
 - clasificación de los contaminantes, 78
 - contaminación del aire y los riesgos a la salud humana, 75
 - fuentes de los contaminantes, 77
 - marco histórico general, 73
 - unidades de medida de los contaminantes, 77
 - Aireación y oxidación, 36
 - Agua, 27
 - contaminación del, 29
 - generalidades, 27
 - parámetros físicos de la calidad del agua, 27
 - Ambiente, 17
 - Atmósfera, 18
- B**
- Biomasa, 18
 - Biorremediación, 92
 - Biosfera, 18
- C**
- Ciclos bioquímicos, 19
 - ciclo del carbono y el oxígeno, 19
 - ciclo del nitrógeno, 21
 - ciclo hidrológico, 22
 - Conceptos básicos sobre el ruido, 84
 - aislamiento del ruido por las construcciones, 88
 - control de la contaminación por ruido, 87
 - fuentes, 87
 - medición del ruido, 86
 - receptor, 87
 - trayectoria de transmisión, 87
- Componentes**
- abióticos, 17
 - bióticos, 17
- Contaminación ambiental, 22**
- Contaminantes del aire**
- dióxido de azufre, 79
 - dióxido de nitrógeno, 80
 - hidrocarburos, 80
 - monóxido de carbono, 79
 - oxidantes fotoquímicos, 80
 - partículas suspendidas, 81
- Cribado y filtración, 33**
- D**
- Desinfección, 34
 - con cloro, 34
 - con otros productos, 35
 - radiación ultravioleta, 35
 - Desmineralización, 38
 - electrodialisis, 40
 - procesos de membrana, 39
 - ósmosis inversa, 39
 - ósmosis normal, 39
 - Diseño y operación de los rellenos sanitarios, 63
- E**
- Ecología, 17
 - humana, 17
 - Ecosistema, 17
 - Estabilización, 41
 - Etapas para el manejo de los residuos sólidos, 59
 - disposición final de los residuos, 62

- generación del residuo, 59
manejo en sitio, 60
procesamiento de los residuos, 61
recolección, 60
transferencia y transporte, 60
Evaluación del impacto ambiental, 123
- F**
- Factores sociales que influyen en el desarrollo y aplicación de la ingeniería ambiental, 107
factores demográficos, 109
factores económicos y políticos, 107
impacto ambiental, 107
Flujo de energía, 18
- G**
- Generación y control de gases y lixiviados, 65
- I**
- Ingeniería ambiental, 24
Intercambio iónico, 38
- M**
- Marco legal de la protección al ambiente, 111
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 112
Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, 113
Normas oficiales mexicanas para la protección ambiental, 114
Manejo general de los residuos sólidos, 57
consolidar el manejo diario de los residuos sólidos, 58
flujo de materiales en la sociedad, 57
reciclaje, 58
recuperación de energía, 58
recuperación de materiales, 58
reducción de la cantidad de materias primas, 57
reducción de la cantidad de residuos sólidos, 57
- sistemas de ingeniería para manejo de residuos, 59
- N**
- Normatividad internacional (ISO-14000), 124
- O**
- Organización biológica o natural, 17
- P**
- Parámetros físicos de la calidad del agua, 27
Partículas suspendidas, 81
- R**
- Relleno sanitario, 63
selección del sitio, 63
Remediación, 89
restauración de zonas afectadas, 89
Requerimientos de la calidad del agua, 29
Residuos
industriales, 53
municipales, 53
nucleares, 70
peligrosos, 55
sólidos, 53
propiedades de los, 56
- S**
- Sistemas de ingeniería para prevenir y controlar la contaminación del aire
calidad del aire, 81
conceptos básicos sobre el ruido, 84
métodos para controlar la contaminación de fuentes móviles, 82
monitoreo, 82
técnicas de control de la contaminación del aire, 83
Sistemas de ingeniería para reciclado y aprovechamiento de materiales, 66
alteración mecánica del tamaño, 66
aprovechamiento de productos combustibles, 69

- composteo o conversión aeróbica, 67
 - digestión anaerobia o fermentación, 68
 - diseño de rutas y sistemas para la instalación de la planta de procesamiento, 67
 - eliminación de la humedad, 66
 - especificación de los materiales a procesar, 67
 - procedimientos físicos, 66
 - recuperación de productos biológicos aprovechables, 67
 - separación magnética y electromecánica, 66
 - separación mecánica de los componentes, 66
 - sistemas de reciclado, 67
 - sistemas de recuperación de materiales, 66
 - Suministro de agua, 32
 - Suelo, 49
 - contaminación del, 51
 - generalidades, 49
- T**
- Tecnología no contaminante, 99
 - diferentes alternativas de producción de energía, 104
 - energía solar, 99
 - calentamiento solar de agua, 100
 - calentamiento solar de construcciones, 100
 - producción solar de electricidad, 101
 - energía eólica, 102
 - generación de energía por biomasa, 103
 - incineración de residuos municipales, 103
 - producción de alcohol, 104
 - producción de metano, 103
 - Tipos de contaminación, 23
 - antropogénica, 23
 - biológica, 24
 - física, 24
 - natural, 23
 - química, 24
 - Tratamiento de aguas, 30
 - por métodos de adsorción, 37
 - residuales, 30, 41
 - Tratamiento de contaminantes orgánicos e inorgánicos, 36
 - Tratamiento secundario de aguas residuales, 43
 - disposición de lodos, 47
 - filtración, 45
 - lagunas, 44
 - métodos de tratamiento por tierra, 46
 - remoción de los compuestos orgánicos biodegradables, 45
 - sistema de filtros, 43
 - sistema de lodos activados, 44
 - sistemas de lagunas de estabilización, 45

Esta edición es una promoción especial para el
Instituto Politécnico Nacional
realizada por Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
Se terminó de imprimir en agosto de 2002,
la impresión se realizó en Impresos Naucalpan, S.A. de C.V.
Calle San Andrés Atoto No. 12, Naucalpan, Edo. de México.
Edición de: 2000 ejemplares.