



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“Compilación de material didáctico para las
asignaturas del Área Ambiental impartidas en la
Facultad de Química”**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

PAULINA JACINTO QUINTANA

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN I. MARÍA RAFAELA GUTIÉRREZ LARA



Ciudad Universitaria, CDMX, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: María Rafaela Gutiérrez Lara

VOCAL: José Agustín García Reynoso

SECRETARIO: Gema Luz Andraca Ayala

1^{er.} SUPLENTE: Sergio Adrián García González

2^o SUPLENTE: Claudia Inés Rivera Cárdenas

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: *Cubículo 1,
Sótano del Edificio A, Facultad de Química, UNAM*

ASESOR DEL TEMA

SUSTENTANTE

M. en I. María Rafaela Gutiérrez Lara

Paulina Jacinto Quintana



AGRADECIMIENTOS

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO** por ser mi Alma Máter, por darme la oportunidad de desarrollarme como profesional dándome las mejores herramientas para lograrlo e inspirándome a ser una persona trabajadora, humilde y hacer lo mejor para retribuir a la sociedad con mis conocimientos.

A la **Facultad de Química** por ser la mejor escuela para guiarme en el desarrollo de mi carrera profesional, y a *los profesores*, por darme las mejores herramientas.

Al proyecto PAPIME 107018 “*Compilación de Problemas en el área de Ingeniería Química para la Protección del Ambiente*” por darme la oportunidad de realizar mi tesis, por el apoyo, por lo aprendido y por el tiempo que me brindaron. Muchas gracias.



ÍNDICE

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE	3
LISTADO DE TABLAS	6
LISTADO DE FIGURAS Y ESQUEMAS	8
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
ENSEÑANZA A TRAVÉS DE COMPETENCIAS	10
CONOCIMIENTOS	11
TEMAS AMBIENTALES	11
ATMÓSFERA O AIRE	12
RUIDO	12
AGUA	13
SUELO	13
RESIDUOS	14
DESARROLLO SUSTENTABLE	15
OBJETIVOS	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS PARTICULARES	16
DESARROLLO TEMÁTICO	17
ETAPA 1	17
ETAPA 2:	17
ETAPA 3:	22
ETAPA 4:	23
A. AIRE/ATMÓSFERA	24



A.1. ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	25
A.2. DETERMINACIÓN DE CO ₂ , CO Y O ₂ EN LOS GASES DE COMBUSTIÓN	35
A.3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS GASES QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO.	38
A.4. MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS (PLUMAS DE CHIMENEAS)	39
A.5. SISTEMAS DE CONTROL DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN AIRE	48
B. AGUA	53
B.1. CALIDAD, CANTIDAD DEL AGUA: CLASIFICACIÓN, FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y EFECTOS AMBIENTALES	54
B.3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO FÍSICO PARA AGUA Y AGUAS RESIDUALES	58
B.4. SISTEMAS FÍSICOQUÍMICOS CONVENCIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA Y AGUAS RESIDUALES	61
B.5. SISTEMAS BIOLÓGICOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	63
B.6. SISTEMAS DE TRATAMIENTO AVANZADO	67
B.7. CARACTERIZACIÓN, TRATAMIENTO, REUTILIZACIÓN Y/O DISPOSICIÓN DE LODOS	69
C. RUIDO	72
C.1. TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN / SISTEMAS DE MEDICIÓN	74
C.2. MEDIDAS DE CONTROL Y PREVENCIÓN	77
C.3. EFECTOS DEL RUIDO EN LOS SERES HUMANOS	81
D. SUELO / RESIDUOS PELIGROSOS	87
D.1. DEFINICIÓN, CARACTERIZACIÓN, MUESTREO, GENERACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y SUELOS CONTAMINADOS	88
D.2. COMPOSICIÓN Y TIPO DE SUELOS. ORIGEN Y TIPO DE CONTAMINANTES EN EL SUELO	90
D.3. AFECTACIÓN DEL SUELO, PREVENCIÓN Y CONTROL.	90
D.4. DEFINICIÓN Y TIPO DE RESIDUOS. MINIMIZACIÓN, MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE SUSTANCIAS Y RESIDUOS PELIGROSOS.	95
D.5. REUTILIZACIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.	98
RESULTADOS. MATERIAL DIDÁCTICO PROPUESTO	105
ATMÓSFERA/AIRE	105



AGUA _____	106
RUIDO _____	110
SUELO/RESIDUOS PELIGROSOS _____	110
CONCLUSIONES _____	113
BIBLIOGRAFÍA _____	116



LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i> Asignaturas del área Ambiental en la Facultad de Química	17
<i>Tabla 2.</i> Matriz de tema afines en materia de Agua en las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.....	18
<i>Tabla 3.</i> Matriz de tema afines en materia de Aire/Atmósfera en las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.....	18
<i>Tabla 4.</i> Matriz de tema afines en materia de Suelo en las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.....	19
<i>Tabla 5.</i> Matriz de tema afines en materia de Ruido en las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.....	19
<i>Tabla 6.</i> Matriz de tema afines en materia de Estudios Ambientales en las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.....	20
<i>Tabla 7.</i> Matriz de temas más relevantes en materia de Agua para las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.....	21
<i>Tabla 8.</i> Matriz de temas más relevantes en materia de Aire/Atmósfera para las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.....	21
<i>Tabla 9.</i> Matriz de temas más relevantes en materia de Suelo para las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.....	21
<i>Tabla 10.</i> Matriz de temas más relevantes en materia de Ruido para las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.....	22
<i>Tabla 11.</i> Matriz de temas más relevantes en materia de Estudios Ambientales para las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.....	22
<i>Tabla A. 1.</i> Temas más importantes relacionados con el tema de AIRE/ATMÓSFERA...24	
<i>Tabla A. 2.</i> Composición química de la atmósfera.....	25
<i>Tabla A. 3.</i> Contaminantes atmosféricos clasificados por su composición.....	26
<i>Tabla A. 4.</i> Contaminantes atmosféricos clasificados por su estado físico:.....	26
<i>Tabla A. 5.</i> Contaminantes atmosféricos clasificados por su fuente de origen:.....	26
<i>Tabla A. 6.</i> Gases de efecto invernadero clasificados por su origen.....	31
<i>Tabla A. 7.</i> Reacciones de combustión equilibrada para compuestos orgánicos seleccionados.....	37
<i>Tabla A. 8.</i> Clases de atmósfera según su estabilidad (Turner,1970).....	41
<i>Tabla A. 9.</i> Factores establecidos por Pasquill-Gifford- Turner:.....	46
<i>Tabla A. 10.</i> Coeficientes de corrección de la velocidad del viento.....	47
<i>Tabla A. 11.</i> Valores típicos de los coeficientes de dispersión en función de la distancia a la fuente.....	47



<i>Tabla B. 1.</i> Temas más importantes relacionados con el tema de AGUA	53
<i>Tabla B. 2.</i> Distribución del agua en la tierra.....	54
<i>Tabla B. 3.</i> Parámetros físicos de la calidad del agua.....	55
<i>Tabla B. 4.</i> Parámetros químicos de la calidad del agua.....	55
<i>Tabla B. 5.</i> Tipos de aguas residuales.....	57
<i>Tabla B. 6.</i> Contaminantes presentes en las Aguas Residuales domésticas	57
<i>Tabla B. 7.</i> Concentración de microorganismos en aguas residuales. (Número de microorganismos por 100 mL).	64
<i>Tabla C. 1.</i> Temas más importantes relacionados con el tema de RUIDO.....	72
<i>Tabla C. 2.</i> Tabla de fuentes de ruido y medidas de atenuación.....	80
<i>Tabla C. 3.</i> Nivel de intensidad de algunos ruidos de origen diverso; Valores típicos	81
<i>Tabla C. 4.</i> Escala de Decibeles (dB).	84
<i>Tabla C. 5.</i> Ejemplos de valores sonoros y los efectos que tienen sobre el organismo.....	85
<i>Tabla C. 6.</i> Límites máximos permisibles y horarios permitidos.	86
<i>Tabla D. 1.</i> Temas más importantes relacionados con el tema de SUELO/RESIDUOS PELIGROSOS	87
<i>Tabla D. 2.</i> Tipos de roca	88
<i>Tabla D. 3.</i> Principales contaminantes primarios del suelo derivados de la actividad humana.	90
<i>Tabla D. 4.</i> Principales técnicas de remediación de suelos.....	92
<i>Tabla D. 5.</i> Actividades que se realizan en una evaluación.	94
<i>Tabla D. 6.</i> Composición de los RSU en México.....	98
<i>Tabla D. 7.</i> Operaciones Unitarias para la eliminación de contaminantes.....	100



LISTADO DE FIGURAS Y ESQUEMAS

<i>Figura 1.</i> Generalización sobre competencias	10
<i>Figura 2.</i> Inversión Térmica (Los cationes, 2016).....	35
<i>Figura 3.</i> Pluma de espiral (Circulación vertical y estabilidad atmosférica, s.f.).....	43
<i>Figura 4.</i> Pluma de abanico (Circulación vertical y estabilidad atmosférica, s.f.).....	44
<i>Figura 5.</i> Pluma de cono (Circulación vertical y estabilidad atmosférica, s.f.).....	44
<i>Figura 6.</i> Pluma de flotación (Circulación vertical y estabilidad atmosférica, s.f.).....	45
<i>Figura 7.</i> Cámara de Sedimentación (Católica, TECNOLOGÍAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS A CARBÓN, s.f.).....	49
<i>Figura 8.</i> Ciclón (Católica, TECNOLOGÍAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS A CARBÓN, s.f.)	50
<i>Figura 9.</i> Lavador de gases. (ENQUIOL, s.f.)	51
<i>Figura 10.</i> Precipitadores electrostáticos (Católica, TECNOLOGÍAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS A CARBÓN, s.f.).....	52
<i>Figura 11.</i> Organismos que se utilizan como indicadores de la presencia de algún contaminante	56
<i>Figura 12.</i> Clasificación de procesos para el tratamiento de aguas	59
<i>Figura 13.</i> Tratamientos físicos	60
<i>Figura 14.</i> Tratamientos químicos.....	61
<i>Figura 15.</i> Tratamientos biológicos	63
<i>Figura 16.</i> Partes del oído	73
<i>Figura 17.</i> Partículas en orden decreciente en varios grados	89
<i>Figura 18.</i> Principales etapas involucradas en el estudio y limpieza de un sitio contaminado	93
<i>Figura 19.</i> Clasificación de los residuos peligrosos (CRETIB).	97
<i>Figura 20.</i> Residuos sólidos por fuente.....	99
<i>Ecuación 5. 1.</i> Balance de DQO (o é).....	65
<i>Diagrama 1.</i> Temas destacados del Área Ambiental.....	115



RESUMEN

El presente trabajo de tesina tuvo como objetivo principal hacer una compilación de material didáctico para aplicarse en las asignaturas del área Ambiental (Ingeniería Ambiental, Protección Ambiental I, Protección Ambiental II, Protección Ambiental III y Química Ambiental) las cuales se imparten en 2 carreras de la Facultad de Química enfocados a la enseñanza de los estudiantes de las Licenciaturas Química e Ingeniería Química.

Es importante mencionar que se habla como parte introductoria la enseñanza a través de competencias y conocimientos como punto clave de aplicar una enseñanza a partir de técnicas y formas que ayuden a facilitar la comparación entre los diversos niveles de desempeño; además, se debe mencionar el tema de Desarrollo Sustentable, hoy en día, es un tema que debe abarcarse y que debe estar presente en temas ambientales.

En general, este trabajo presenta un análisis de los contenidos temáticos de las asignaturas involucradas en el área Ambiental para la elaboración de diferentes matrices con el objetivo de indentificar los temas afines más importantes de cada asignatura para el desarrollo del material didáctico (preguntas y casos de estudio) propuesto con la finalidad de que el lector tenga mayor herramienta para la comprensión y facilidad del desarrollo de los temas.

Se realizó una investigación y revisión bibliográfica, artículos y casos de estudio de los temas seleccionados. Dentro de las etapas, se presenta un apartado para cada tema ambiental propuesto:

- ✓ Atmósfera/Aire
- ✓ Agua
- ✓ Suelo/Residuos Peligrosos
- ✓ Ruido

en los cuales se tendrá un marco teórico amplio con el fin de profundizar la información de cada tema.



INTRODUCCIÓN

ENSEÑANZA A TRAVÉS DE COMPETENCIAS

Vivimos en una época en la cual la información aplicada a las esferas de la producción, de la distribución y de la gestión está revolucionando las condiciones de la economía, el comercio, las bases de la política, la comunicación cultural mundial y la forma de vida y de consumo de las personas. Este nuevo ciclo ha sido denominado sociedad de la información, debido a que es la información la que ahora dirige la economía global que está surgiendo. El entorno social y laboral influido por la revolución del conocimiento y el desarrollo de las tecnologías de la informática y la comunicación ha llevado a la necesidad de estrechar la brecha entre la educación y el mundo laboral, por esa razón el ser humano necesita elaborar un proyecto de vida muy claro para alcanzar todas sus metas, o bien, aquello que anhela o espera construir y responder por ello. Para que esto sea posible que exista una disciplina, un desarrollo en las habilidades y en las competencias de desempeño y sobre todo una madurez de los hábitos mentales y/o conductuales. Como una parte del crecimiento en el ser humano, el aprender se ha convertido en un proceso continuo que ocurre a lo largo de toda la vida y se extiende en múltiples espacios, tiempos y formas; por eso al hablar de “competencias” se engloban combinaciones del *saber*, *con el saber hacer y estar del mismo*, para poder seleccionar, movilizar y dominar conocimientos, habilidades o actitudes que faciliten la resolución a una situación determinada. En la Figura 1 podemos observar las diferentes competencias relacionadas con el saber hacer, estar, ser, querer y poder hacer.



Figura 1. Generalización sobre competencias

Fuente: Gavilán García. I. C. 2017.



CONOCIMIENTOS

En general, el incremento de las problemáticas existentes en la sociedad, han logrado que en el nivel Superior se enfoque a los alumnos egresados con la finalidad de prepararlos para nuevos retos a los que se vean expuestos haciendo uso de una correcta toma de decisiones a partir de un buen análisis y elección de información para la creación de nuevos procesos y técnicas que ayuden a satisfacer necesidades de aprendizajes que ya están considerados como distintos y permanentes.

El punto clave de aplicar una enseñanza basada en competencias radica en hacer de éstas una parte significativa en las técnicas y formas de enseñanza que permitan el establecimiento de estándares que ayuden a facilitar la comparación entre los diversos niveles de desempeño en muchas áreas, además de definir con claridad todos aquellos niveles de competencia para los amplios sectores que constituyen nuestra sociedad (alumnos, profesores, docentes, etcétera), pero lo más importante que se obtiene es que permiten darle sentido a todo el aprendizaje visto provocando en los estudiantes una mente más amplia, estructurada y ágil para el alcance de metas a corto y largo plazo.

TEMAS AMBIENTALES

Durante miles de años el ser humano habitó la Tierra, nuestro mundo, coexistiendo en equilibrio junto a todas las otras formas de vida. En la Época Contemporánea junto con el avance de los procesos de industrialización y el desarrollo de la tecnología, comienzan los procesos de degradación ambiental a gran escala. Hoy, a las puertas del siglo XXI, sabemos que el deterioro y la contaminación son consecuencia de nuestra civilización, la que pone en peligro la supervivencia de muchas especies, incluyendo la humana. Son numerosas las señales que indican que, en muchas regiones, ciudades y localidades del país, nuestra calidad de vida se deteriora cada día, debido a la contaminación. Este fenómeno adopta diversas formas, pero, en todos los casos, nos priva de algo que necesitamos para vivir con alegría y sin temor la llegada del nuevo milenio.

Entre los principales retos que enfrenta la humanidad está la satisfacción de las necesidades presentes y futuras de las sociedades, conservando, al mismo tiempo, los recursos naturales y manteniendo los procesos ecológicos que sustentan la vida en el planeta. La problemática ambiental que estamos viviendo tiene su origen en



el encuentro de los seres humanos modernos con la naturaleza. El humano, de pronto se dió cuenta de la enorme riqueza de recursos naturales y de los vastos territorios que le hicieron pensar que existían grandes posibilidades de explotación de tantos recursos supuestamente ilimitados y que permitirían, posteriormente, la expansión y dominio económico de algunas regiones. Al pasar de los años, muchos de esos recursos y riquezas hicieron notar que su disponibilidad es completamente limitada, y peor aún, la naturaleza misma nos ha mostrado que todas las actividades que el ser humano realice en su desarrollo económico e industrial, en cualquier espacio y tiempo y por el motivo que sea, altera las condiciones naturales de nuestro medio ambiente.

ATMÓSFERA O AIRE

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la tierra y que comúnmente llamamos aire. La capa más cercana a la tierra es la **tropósfera**. Se extiende aproximadamente 15 km sobre la superficie de la tierra, con la que está en contacto directo y su temperatura disminuye a medida que se aleja de ella. La **estratósfera** se extiende desde el límite superior de la tropósfera, aproximadamente a 25 km de altura, y su temperatura se mantiene prácticamente sin variaciones.

La contaminación atmosférica se puede producir por combustión de fósiles como el carbón, el gas o el petróleo en cualquiera de sus derivados, tales como la bencina o la parafina. Otras fuentes de contaminación son la emisión de partículas sólidas por las industrias; el ruido derivado del funcionamiento de máquinas y motores; las ondas electromagnéticas (de radar, computadoras, microondas, torres de alta tensión, artefactos electrónicos, etc.). El origen de la contaminación puede provenir de la actividad del ser humano, o puede ser resultado de la acción de la naturaleza, como, por ejemplo, una erupción volcánica. (UNIÓN, LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO, 2018)

RUIDO

Los sonidos pueden ser señales de vida: al moverse, todo ser o elemento de la naturaleza emite vibraciones, algunas imperceptibles para nuestros oídos. Los sonidos se miden en frecuencias de vibraciones por segundo o en una unidad de tiempo determinada. Los seres humanos oímos ciertos tonos o frecuencias. De ellas sólo algunas son molestas y nos pueden causar daño físico.

El ruido es todo aquel sonido que puede interferir con el ser humano en su armonía psicosomática y en su vida de relaciones, produciendo contaminación acústica. Éste



es un problema muy común, al que la mayor parte de las personas no le da importancia, salvo en casos extremos. El daño que cause depende de la frecuencia de la onda, de su periodicidad, y también de las características de las personas. El ruido es provocado, la mayor parte del tiempo, por los seres humanos, pero también puede provenir de procesos industriales o naturales.

Este contaminante no deja residuos. Produce un efecto acumulativo en el ser humano cuando éste es sometido constantemente a un alto nivel de sonidos molestos. Es un hecho conocido que la gente de la ciudad escucha menos que la gente del campo. (SEGOB, 2018)

AGUA

El azul del agua de los océanos hace que la tierra se vea de ese color desde el espacio exterior. Por eso, los primeros astronautas llamaron a la tierra el “Planeta azul”. La hidrósfera es la envoltura “acuosa” del planeta, que interactúa con la atmósfera (el aire) y con la litósfera (el suelo) y posibilita la vida. Los océanos cubren más del 70% de la superficie de la tierra. No importa si vivimos en el aire, en el suelo o en los mares: todos los seres vivos necesitamos del agua. La contaminación del agua se produce por la introducción directa o indirecta de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, así como de energía calórica, entre otras, interrumpiéndose el normal desarrollo de su ciclo natural. (Unión, 2016)

Principales contaminantes del agua:

- Compuestos orgánicos biodegradables
- Sustancias peligrosas
- Contaminación térmica
- Agentes tensoactivos
- Partículas sólidas en suspensión
- Nutrientes en exceso: eutrofización
- Gérmenes patógenos
- Sustancias radioactivas

SUELO

El suelo es una delgada capa que se extiende sobre la superficie de la corteza terrestre, llamada también litósfera, y está en permanente interacción con la hidrósfera y la atmósfera. En el suelo hay millones de pequeños habitantes que constituyen la micro fauna y la micro flora, que no podemos ver a simple vista, existiendo bacterias, hongos, protozoos, levaduras, todos seres que sólo podemos



ver a través del microscopio y también las lombrices que permiten airear y mezclar el suelo. El uso humano del suelo ha creado un desequilibrio entre la destrucción del suelo y su proceso de recuperación. Esto significa que cada vez se producen menos alimentos y menos seres vivos pueden encontrar ahí su sustento. Entre los problemas que afectan más gravemente a los suelos están la contaminación, la erosión, la desertificación, la pérdida de suelo agrícola por el avance de la urbanización y la disminución de la fertilidad. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018)

RESIDUOS

Un Residuo es un material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la LGPGIR y demás ordenamientos que de ella deriven.

Existen 4 tipos de residuos de acuerdo a como lo establece la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2018):

Residuos Sólidos Urbanos: son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.

Los Residuos Sólidos Urbanos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Residuo orgánico:** todo desecho de origen biológico, que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, por ejemplo: hojas, ramas, cáscaras y residuos de la fabricación de alimentos en el hogar, etc.
- **Residuo inorgánico:** todo desecho de origen no biológico, de origen industrial o de algún otro proceso no natural, por ejemplo: plástico, telas sintéticas, etc. (Naturales, s.f.)

Residuos peligrosos: Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes,



embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley

Residuo de manejo especial: Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

Residuos Incompatibles: Aquellos que al entrar en contacto o al ser mezclados con agua u otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos. (UNIÓN, LGPGIR, 2018)

DESARROLLO SUSTENTABLE

“El proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras”. (UNIÓN, LGEEPA, 2018)

El concepto de desarrollo sustentable es el resultado de una acción concertada de las naciones para impulsar un modelo de desarrollo económico mundial, compatible con la conservación de medio ambiente y con la equidad social; Es el resultante de un conjunto de decisiones y procesos que deben llevarse a cabo por generaciones de seres humanos para su propio bienestar, dentro de condiciones de vida siempre cambiantes, en donde una sociedad debe ser capaz de negociar dentro de su territorios, ya que la gestión para el desarrollo sustentable es una gestión de conflictos entre metas sociales, económicas y ambientales.

Cabe mencionar que existe una diferencia temporal entre los conceptos *sustentable* y *sostenible*. El término *sustentable* es aplicable al derecho que tienen las generaciones presentes en hacer uso de los recursos naturales para cubrir sus necesidades o tener el sustento necesario para vivir, y lo *sostenible* considera el derecho que tienen las generaciones venideras para cubrir sus necesidades; esto es en un horizonte de tiempo constante en el futuro.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Compilar material didáctico para aplicarse en las asignaturas del área Ambiental (Ingeniería Ambiental, Protección Ambiental I, Protección Ambiental II, Protección Ambiental III y Química Ambiental) las cuales se imparten en 2 carreras de la Facultad de Química enfocados a la enseñanza de los estudiantes de las Licenciaturas Química e Ingeniería Química.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar contenidos temáticos de las asignaturas involucradas en el área Ambiental (Ingeniería Ambiental, Protección Ambiental I, Protección Ambiental II, Protección Ambiental III y Química Ambiental).
- Elaborar una matriz para identificar los temas afines más importantes de cada asignatura con la finalidad de desarrollar material didáctico (ejemplos, ejercicios y casos de estudio).
- Realizar una investigación y revisión bibliográfica, artículos y casos de estudio de los temas seleccionados.
- Proponer una serie de preguntas y casos de estudio de los temas seleccionados para las asignaturas de Protección Ambiental I, Protección Ambiental II, Química Ambiental e Ingeniería Ambiental.



DESARROLLO TEMÁTICO

Este apartado fue desarrollado en 4 etapas las cuales se describen a continuación:

ETAPA 1

Para la etapa 1 se recopiló la información curricular de las diferentes asignaturas del área Ambiental que actualmente se imparten en la Facultad de Química, siendo estas las descritas en la Tabla 1.

Tabla 1. Asignaturas del área Ambiental en la Facultad de Química

Asignatura	Clave	Carrera
Ingeniería Ambiental	1742	Ingeniería Química
Protección Ambiental I	0273	
Protección Ambiental II	0274	
Protección Ambiental III	0275	
Química Ambiental	0033	Química

Esta información fue descargada de la página oficial de la Facultad de Química, se deja el siguiente link para corroborar, considerando las dos carreras (Ingeniería Química y Química):

<https://quimica.unam.mx>

ETAPA 2:

Para la etapa 2 se realizaron diferentes matrices con la ayuda del Software Excel de los temas afines de las asignaturas del área Ambiental con el objetivo de elaborar un comparativo y un análisis de los temas de cada asignatura para poder recopilar lo más importante.

En las Tablas 2 a la 6 se presentan los temas afines en materia del tema de Agua, Aire, Suelo, Ruido y Estudios Ambientales de las asignaturas ya mencionadas. Para facilidad del lector, se utilizaron colores específicos para identificar las asignaturas involucradas en cada matriz propuesta.

**Tabla 2.** Matriz de tema afines en materia de Agua en las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.

Ingeniería Ambiental	Agua	3.2	Calidad del agua: Clasificación de los contaminantes en agua, fuentes de contaminación y efectos ambientales.
		3.4	Sistemas de tratamiento físico para aguas residuales: Cálculo de sistemas de cribado, sedimentación, filtración y flotación
		3.5	Sistemas fisicoquímicos convencionales para el tratamiento de agua y aguas residuales: Precipitación química, coagulación-floculación, ablandamiento químico del agua.
		3.6	Sistemas biológicos para el tratamiento de aguas residuales. Cinéticas de proliferación microbiológica. Balances de materia en sistemas de tratamiento biológico. Modelación de procesos biológicos de biomasa fija (biopelículas) y en suspensión. Distribución de tiempos de residencia en reactores.
		3.7	Sistemas de tratamiento avanzado: Intercambio iónico, adsorción, oxidación avanzada, procesos de membrana.
		3.8	Tratamiento, reutilización y/o disposición de lodos generados por la depuración de agua (potabilización) y aguas residuales.
Protección Ambiental II	Agua	1.1	Tratamientos fisicoquímicos
		1.2	Tratamientos biológicos
		1.3	Tratamientos fisicoquímicos avanzados
	Lodos fisicoquímicos	2.1	Caracterización de lodos
		2.2	Técnicas de manejo y disposición
Química Ambiental	Química del agua	2.2	Calidad y cantidad
		2.4	Principales contaminantes del agua
		2.5	Tecnologías de tratamiento de aguas

Tabla 3. Matriz de tema afines en materia de Aire/Atmósfera en las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.

Protección Ambiental I	Inventario de emisiones gaseosas (Teoría y práctica)	2.2	Determinación de CO ₂ , CO y O ₂ en los gases de combustión.
		2.3	Determinación del contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto. Método gravimétrico.
Ingeniería Ambiental	Atmósfera	2.2	Origen de la contaminación atmosférica: clasificación de contaminante atmosféricos, fuentes de contaminación y efectos ambientales (Efecto Invernadero, Inversión térmica, lluvia ácida, adelgazamiento de la capa de ozono. Ozono troposférico.
		2.4	Modelos de dispersión de contaminantes gaseosos (plumas de chimeneas): Modelos matemáticos de dispersión de contaminantes en la atmósfera. Dimensionamiento de chimeneas.
		2.5	Sistemas de control de partículas contaminantes en aire: Modelación de los procesos de separación de partículas. Cálculo de cámaras de sedimentación , ciclones, lavadores de gases, colectores de bolsas y precipitadores electrostáticos.
Química Ambiental	Química atmosférica	3.2	Reacciones atmosféricas
		3.3	Principales contaminantes en la atmósfera
		3.4	Tecnologías de muestreo y control de emisiones



Tabla 4. Matriz de tema afines en materia de Suelo en las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.

Protección Ambiental I	Substancias y residuos peligrosos	4.1	Definición, generación, muestreo y caracterización
		4.2	Minimización y manejo
		4.3	Práctica: Prueba CRETIB de un residuo
Residuos sólidos			
Minimización y manejo			
Ingeniería Ambiental		4.2	Definición y clasificación de suelos contaminados. Principales contaminantes en suelo y subsuelo. Tratamientos fisicoquímicos y biológicos para la recuperación de suelos contaminados.
		4.5	Técnicas analíticas empleadas para caracterizar y cuantificar contaminantes en suelos.
		5.4	Reutilización, tratamiento y disposición final de residuos sólidos. Ejemplos industriales de reciclaje y reúso de residuos sólidos: vidrio, papel, plásticos, metales ferrosos y no ferrosos.
		5.5	Manejo, tratamiento y disposición de sustancias y residuos peligrosos. Clasificación CRETIB
Protección Ambiental II		3.1	Características y uso del suelo
		3.2	Afectación del suelo, prevención y control
Química Ambiental		4.1	Composición y tipos de suelos
		4.3	Origen y tipo de contaminantes en el suelo
		4.4	Técnicas de muestreo de suelos
		4.5	Tecnologías de remediación de suelos contaminados
		5.1	Definición y tipos de residuos
		5.2	Fuente de generación de residuos
	5.4	Tecnologías de tratamiento de residuos	

Tabla 5. Matriz de tema afines en materia de Ruido en las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.

Protección Ambiental I	Contaminación por ruido	12.1	Técnicas de cuantificación
		12.2	Medidas de control y prevención
Ingeniería Ambiental	Temas selectos de Ingeniería Ambiental (Ejemplo: ruido y radiaciones)	7.2	Efecto del ruido en los seres humanos
		7.3	Sistemas de medición

**Tabla 6.** Matriz de tema afines en materia de Estudios Ambientales en las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.

Ingeniería Ambiental	Estudios ambientales	6.2	Estudios de Impacto ambiental: Informe preventivo de Impacto Ambiental y Manifestación de Impacto Ambiental. Técnicas de identificación de impactos ambientales (Matriz de Leopold, Técnica Battelle Columbus, Suspensión de mapas)
		6.3	Estudio de Riesgo Ambiental (Técnicas de cuantificación de riesgos: What If, Hazop, Árbol de fallas)
		6.4	Auditorías Ambientales
		6.5	Sistemas de calidad. Introducción a los sistemas ISO 9000 (ISO 9000 y sus variantes)
		6.6	Introducción al ISO 14000 y sus nuevas variantes
Protección Ambiental III	Análisis de riesgo	1.3	Métodos de identificación del peligro (Árbol de fallas, Hazop)
	Auditorías ambientales	2.3	Planeación de auditorías ambientales
		2.4	Coordinación de auditorías ambientales
		2.6	Elaboración del reporte de auditoría ambiental
	ISO 9000	3.2	Norma ISO 9000 y su correlación con las normas mexicanas NMX-CC
	Sistemas de gestión ambiental	4.2	Fundamentos de la norma ISO 14000/ NMX-CC
		4.3	Normas ISO 14000 y su correlación con las normas mexicanas NMX-CC

Una vez elaboradas las matrices, las cuales representan los temas afines y más relevantes que se imparten en las diferentes asignaturas en el área Ambiental de la Facultad de Química, el objetivo de estas matrices es demostrar que existen varios temas que se relacionan y son impartidos en diferentes asignaturas relacionadas con el Medio Ambiente.

En las Tablas 7 a la 11 se presentan matrices resumidas de los temas afines en materia del tema de Agua, Aire, Suelo, Ruido y Estudios Ambientales de las asignaturas ya mencionadas involucradas con el Medio Ambiente. El criterio para la selección de los temas fue hacer un comparativo y una selección de los temas que coinciden y con ello determinar los temas más importantes.



Tabla 7. Matriz de temas más relevantes en materia de Agua para las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.

1	Calidad, Cantidad del agua: Clasificación de los contaminantes en agua, fuentes de contaminación y efectos ambientales
2	Principales contaminantes del agua
3	Sistemas de tratamiento físico para agua y aguas residuales: Cálculo de sistemas de cribado, sedimentación, filtración y flotación
4	Sistemas fisicoquímicos convencionales para el tratamiento de agua y aguas residuales: Precipitación química, coagulación-floculación, ablandamiento químico del agua
5	Sistemas biológicos para el tratamiento de aguas residuales. Cinéticas de proliferación microbiológica. Balances de materia en sistemas de tratamiento biológico. Modelación de procesos de biomasa fija (biopelículas) y en suspensión. Distribución de tiempos de residencia en reactores biológicos. Cálculo de sistemas de tratamiento biológico aerobio, anaerobio y anóxico
6	Sistemas de tratamiento avanzado: Intercambio iónico, adsorción, oxidación avanzada, procesos de membrana
7	Caracterización, Tratamiento, reutilización y/o disposición de lodos generados por la depuración de agua (potabilización) y aguas residuales

Tabla 8. Matriz de temas más relevantes en materia de Aire/Atmósfera para las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.

1	Origen de la contaminación atmosférica: Clasificación de contaminantes atmosféricos, fuentes de contaminación y efectos ambientales (Efecto invernadero, Inversión térmica, Lluvia ácida, Adelgazamiento de la capa de ozono, Ozono troposférico). Reacciones atmosféricas
2	Determinación de CO ₂ , CO y O ₂ en los gases de combustión.
3	Determinación del contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto. Método gravimétrico
4	Modelos de dispersión de contaminantes gaseosos (plumas de chimeneas): Modelos matemáticos de dispersión de contaminantes en la atmósfera. Dimensionamiento de chimeneas.
5	Sistemas de control de partículas contaminantes en aire: Modelación de los procesos de separación de partículas. Cálculo de cámaras de sedimentación, ciclones, lavadores de gases, colectores de bolsas y precipitadores electrostáticos

Tabla 9. Matriz de temas más relevantes en materia de Suelo para las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.

1	Definición, caracterización, muestreo, generación y clasificación de suelos y suelos contaminados. Principales contaminantes en suelo y subsuelo. Tratamientos fisicoquímicos y biológicos para la recuperación de suelos contaminados
2	Composición y tipo de suelos. Origen y tipo de contaminantes en el suelo
3	Afectación del suelo, prevención y control. Técnicas analíticas empleadas para caracterizar y cuantificar contaminantes en suelos. Tecnologías de remediación
4	Definición y tipo de residuos. Minimización, manejo, tratamiento y disposición de sustancias y residuos peligrosos. Clasificación CRETIB
5	Reutilización, tratamiento y disposición final de residuos sólidos. Ejemplos industriales de reciclaje y reúso de residuos sólidos: Vidrio, papel, plásticos, metales ferrosos y no ferrosos. Fuente de generación de residuos.



Tabla 10. Matriz de temas más relevantes en materia de Ruido para las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.

1	Técnicas de cuantificación / Sistemas de medición
2	Medidas de control y prevención
3	Efectos del ruido en los seres humanos

Tabla 11. Matriz de temas más relevantes en materia de Estudios Ambientales para las diferentes materias impartidas en el área Ambiental.

1	Estudios de Impacto ambiental: Informe preventivo de Impacto Ambiental y Manifestación de Impacto Ambiental. Técnicas de identificación de impactos ambientales (Matriz de Leopold, Técnica Battelle Columbus, Suspensión de mapas)
2	Estudio de Riesgo Ambiental (Técnicas de cuantificación de riesgos: What If, Hazop, Árbol de fallas). Métodos de identificación del peligro (Hazop, Árbol de fallas)
3	Auditorías Ambientales, Planeación, Coordinación y Elaboración de Reportes
4	Sistemas de calidad. Introducción a los sistemas ISO 9000 (ISO 9000 y sus variantes). Normas ISO 9000 y su correlación con las normas mexicanas NMX-CC
5	Introducción al ISO 14000 y sus nuevas variantes. Normas ISO 14000 y su correlación con las normas mexicanas NMX-CC

ETAPA 3:

Para esta etapa se realizó una investigación y revisión bibliográfica, artículos y caso de estudio respecto a los temas involucrados y una vez hecho esto, se desarrolló a fondo los temas para la elaboración del material didáctico que se requiere para la aplicación en las asignaturas involucradas en el área Ambiental.

Se realizó una investigación teórica de los temas seleccionados para complementar el material didáctico propuesto. El contenido se dividió en diferentes secciones para el desarrollo de cada tema.



ETAPA 4:

Material didáctico

Finalmente, para esta etapa se propuso una serie de preguntas y casos de estudio como material didáctico para complementar los temas directamente relacionados al Medio Ambiente los cuales son: Aire/Atmósfera, Agua, Ruido y Suelo (Residuos), estos tienen como finalidad complementar y reforzar los conocimientos para los estudiantes de las licenciaturas de Química e Ingeniería Química.

El material didáctico que se desarrolló se presenta en el apartado de Resultados para comodidad y facilidad del lector.



A. AIRE/ATMÓSFERA

En la Tabla A.1 se enlistan los temas más importantes relacionados con el tema de AIRE/ATMÓSFERA que se encuentran en las materias que están relacionadas con el medio ambiente impartidas en la Facultad de Química.

Tabla A. 1. Temas más importantes relacionados con el tema de AIRE/ATMÓSFERA

1	Origen de la contaminación atmosférica: Clasificación de contaminantes atmosféricos, fuentes de contaminación y efectos ambientales (Efecto invernadero, Inversión térmica, Lluvia ácida, Adelgazamiento de la capa de ozono, Ozono troposférico). Reacciones atmosféricas
2	Determinación de CO ₂ , CO y O ₂ en los gases de combustión.
3	Determinación del contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto. Método gravimétrico
4	Modelos de dispersión de contaminantes gaseosos (plumas de chimeneas): Modelos matemáticos de dispersión de contaminantes en la atmósfera. Dimensionamiento de chimeneas.
5	Sistemas de control de partículas contaminantes en aire: Modelación de los procesos de separación de partículas. Cálculo de cámaras de sedimentación, ciclones, lavadores de gases, colectores de bolsas y precipitadores electrostáticos

A continuación, se presenta la información sobre los temas desarrollados relacionados al tema de Aire/Atmósfera.



A.1. ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

“La presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza.” (BOE, 2007)

Para que exista contaminación atmosférica es necesario que se produzca una emisión de sustancias nocivas a la atmósfera. Estas emisiones pueden ser producidas de forma natural como pueden ser las erupciones volcánicas y los incendios naturales, o de forma antropogénica, es decir producida por actividades humanas, siendo esta la principal responsable de la generación de contaminación atmosférica.

Aunque estas emisiones son producidas en todo el mundo, es en los países industrializados, como el caso de España, donde las emisiones son máximas. En estos países, la causa de la contaminación atmosférica procede principalmente de las emisiones de los medios de transporte (coche, autobús, camiones, etc...) y de la actividad industrial. Hasta nuestra actividad más normal y cotidiana, como cuando usamos electricidad, plásticos, medios de transporte, productos de limpieza; o encendemos la calefacción, se produce directa o indirectamente sustancias que originan contaminación. (MALLORCA, s.f.)

En las Tablas A.2 a la A.5 se presenta un resumen de la información más relevante en materia de Aire, desde la composición química hasta la clasificación de los contaminantes atmosféricos.

Tabla A. 2. Composición química de la atmósfera.

Gas	Fórmula	Volumen (%)
Nitrógeno	N ₂	78
Oxígeno	O ₂	21
Argón	Ar	0.93
Dióxido de carbono	CO ₂	0.039
Neón	Ne	0.0008
Helio	He	0.0005
Metano	CH ₄	0.00017
Kriptón	Kr	0.0001
Óxido nitroso	N ₂ O	0.00003
Bajo nivel de ozono (tropósfera)	O ₃	0.000001 a 0.00005
Alto nivel de ozono (estratósfera)	O ₃	0.000004 a 0.00002
Vapor de agua	H ₂ O	Variable

Fuente: SEMARNAT, 2013.



✓ Clasificación de contaminantes atmosféricos

Se pueden clasificar de 3 maneras los contaminantes atmosféricos: En las Tablas A.3 a la A.5 están las clasificaciones por su composición, por su estado físico y por su origen.

Tabla A. 3. Contaminantes atmosféricos clasificados por su composición.

Orgánicos	Inorgánicos	
Alcanos, alquenos, alquinos	Nitrógeno	NO _x , NO, NO ₂ , NO ₃ , N ₂ O ₅ , HONO, HNO ₃ , NH ₃ , PAN
Alcoholes	Azufre	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, H ₂ SO ₄
Cetonas, aldehídos	Carbono	CO, CO ₂ , CH ₄
Ácido carboxílico	Metales pesados	Pb, Cd, Hg, Mn, Cr
Aromáticos	Halogenados	HCl, CFC's

Tabla A. 4. Contaminantes atmosféricos clasificados por su estado físico:

<i>Gases y Vapor</i>	Ej. CO ₂ , SO ₂ , vapor de agua
<i>Partículas (sólidas y líquidas)</i>	Ej. Humos, polvos, neblinas

Tabla A. 5. Contaminantes atmosféricos clasificados por su fuente de origen:

Naturales	Primarios	Emitidos directamente a la atmósfera	SO ₂ , CO, NO
Antropogénicos	Secundarios	Creados a través de reacciones y procesos que se dan en la atmósfera	Aldehídos, HNO ₃ , H ₂ SO ₄ , PAN (nitratos de peroxiacilo)

Dentro de las fuentes antropogénicas también se generan por las actividades del hombre:

- Industria
- Fuentes misceláneas
- Quema de combustibles en fuentes estacionarias
- Uso de solventes



- Almacenamiento y transporte de derivados de petróleo
- Vehículos que circulan por carretera
- Vehículos que no circulan por carretera
- Agropecuaria
- Manejo de residuos

También existen los contaminantes fotoquímicos los cuales son contaminantes secundarios ya que se producen debido a reacciones donde intervienen contaminantes primarios y la luz; entre estos tenemos el ozono (O_3).

- ✓ Fuentes de contaminación

Gases contaminantes en la atmósfera

CFC's

Desde los años 1960, se ha demostrado que los clorofluorocarbonos (CFC's, también llamados "freones") tienen efectos potencialmente negativos: contribuyen de manera muy importante a la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera, así como a incrementar el efecto invernadero. El protocolo de Montreal puso fin a la producción de la gran mayoría de estos productos.

- Utilizados en los sistemas de refrigeración y de climatización por su fuerte poder conductor, son liberados a la atmósfera en el momento de la destrucción de los aparatos viejos.
- Utilizados como propelente en los aerosoles, una parte se libera en cada utilización. Los aerosoles utilizan de ahora en adelante otros gases sustitutivos, como el CO_2 y gas LPG.

Monóxido de carbono (CO)

Es uno de los productos de la combustión incompleta. Es peligroso para las personas y los animales, puesto que se fija en la hemoglobina de la sangre, impidiendo el transporte de oxígeno en el organismo. Además, es inodoro, y a la hora de sentir un ligero dolor de cabeza ya es demasiado tarde. Se diluye muy fácilmente en el aire ambiental, pero en un medio cerrado, su concentración lo hace muy tóxico, incluso mortal. Cada año, aparecen varios casos de intoxicación mortal, a causa de aparatos de combustión puestos en funcionamiento en una habitación mal ventilada. Los motores de combustión interna de los automóviles emiten monóxido de carbono a la atmósfera por lo que en las áreas muy urbanizadas tiende



a haber una concentración excesiva de este gas hasta llegar a concentraciones de 50-100 ppm, tasas que son peligrosas para la salud de las personas.

Dióxido de carbono (CO₂)

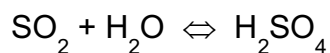
La concentración de CO₂ en la atmósfera está aumentando de forma constante debido al uso de carburantes fósiles como fuente de energía y es teóricamente posible demostrar que este hecho es el causante de producir un incremento de la temperatura de la Tierra - Efecto invernadero. La amplitud con que este efecto puede cambiar el clima mundial depende de los datos empleados en un modelo teórico, de manera que hay modelos que predicen cambios rápidos y desastrosos del clima y otros que señalan efectos climáticos limitados. La reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera permitiría que el ciclo total del carbono alcanzara el equilibrio a través de los grandes sumideros de carbono como son el océano profundo y los sedimentos.

Monóxido de nitrógeno (NO)

También llamado óxido de nitrógeno (II) es un gas incoloro y poco soluble en agua que se produce por la quema de combustibles fósiles en el transporte y la industria. Se oxida muy rápidamente convirtiéndose en dióxido de nitrógeno, NO₂, y posteriormente en ácido nítrico, HNO₃, produciendo así la lluvia ácida.

Dióxido de azufre (SO₂)

La principal fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera es la combustión del carbón que contiene azufre. El SO₂ resultante de la combustión del azufre se oxida y forma ácido sulfúrico, H₂SO₄ un componente de la llamada lluvia ácida que es nocivo para las plantas, provocando manchas allí donde las gotitas del ácido han contactado con las hojas.



El SO₂ también ataca a los materiales de construcción que suelen estar formados por minerales carbonatados, como la piedra caliza o el mármol, formando sustancias solubles en el agua y afectando a la integridad y la vida de los edificios o esculturas.



Metano (CH₄)

El metano, CH₄, es un gas que se forma cuando la materia orgánica se descompone en condiciones en que hay escasez de oxígeno; esto es lo que ocurre en las ciénagas, en los pantanos y en los arrozales de los países húmedos tropicales. También se produce en los procesos de la digestión y defecación de los animales herbívoros.

El metano es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra ya que aumenta la capacidad de retención del calor por la atmósfera.

Ozono (O₃)

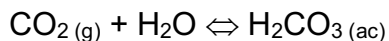
El ozono O₃ es un constituyente natural de la atmósfera, pero cuando su concentración es superior a la normal (0.1 ppm_v) se considera como un gas contaminante.

Su concentración a nivel del mar, puede oscilar alrededor de 0.01 ppm_v. Cuando la contaminación debida a los gases de escape de los automóviles es elevada y la radiación solar es intensa, el nivel de ozono aumenta y puede llegar hasta 0.1 ppm_v.

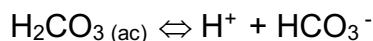
Las plantas pueden ser afectadas en su desarrollo por concentraciones pequeñas de ozono. El hombre también resulta afectado por el ozono a concentraciones entre 0.05 y 0.1 ppm_v, causándole irritación de las fosas nasales y garganta, así como sequedad de las mucosas de las vías respiratorias superiores.

Lluvia ácida

La lluvia ácida se genera por la precipitación natural de la lluvia que reacciona con partículas ácidas que se encuentran en el aire las cuales son emisiones de óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre; normalmente se da la presencia de CO₂ atmosférico.



Donde el H₂CO₃ se ioniza parcialmente para liberar un ión hidrógeno, lo cual ocasiona una reducción de pH en el sistema:



Se considera lluvia cuando el pH < 5.



La lluvia ácida se forma cuando la humedad en el aire se combina con el óxido de nitrógeno o el dióxido de azufre emitido por fábricas, centrales eléctricas y automotores que queman carbón o aceite. Esta combinación química de gases con el vapor de agua forma el ácido sulfúrico y el ácido nítrico, sustancias que caen en el suelo en forma de precipitación o lluvia ácida. Los contaminantes que pueden formar la lluvia ácida pueden recorrer grandes distancias, y los vientos los trasladan miles de kilómetros antes de precipitarse con el rocío, la llovizna, o lluvia, el granizo, la nieve o la niebla normales del lugar, que se vuelven ácidos al combinarse con dichos gases residuales.

Existen 2 tipos de partículas atmosféricas las cuales provienen de diferentes fuentes; las partículas se definen como cualquier material disperso sólido o líquido.

Partículas gruesas:

- Contaminantes minerales, los cuales en áreas rurales, se da su origen en suelo y roca, donde se dan concentraciones elevadas de Al, Ca, Si y O₂, en forma de aluminosilicatos.
- Encima de los océanos concentraciones elevadas de NaCl
- Polen emitido por algunas plantas
- Cenizas de los volcanes
- Hollín
- Partículas inorgánicas

Partículas finas: Se forman básicamente de reacciones químicas y de la coagulación de otras especies más pequeñas incluyendo moléculas en estado de vapor; usualmente son ácidas debido a la presencia de ácidos no neutralizados.

- Combustión incompleta de combustibles a base de carbono como el carbón, petróleo, gasolina y diesel
- Escapes de los vehículos
- Compuestos inorgánicos de azufre y nitrógeno
- Hollín
- Aerosoles de sulfato o nitrato

Efecto invernadero

Uno de los factores más importantes que se están produciendo en la actualidad es la acumulación de CO₂ atmosférico, además de que el CO₂ adicional proviene de la quema de combustibles fósiles, tala de bosques y el desgaste del suelo; esto puede ocasionar que la acumulación que se esté generando tenga como



consecuencia un cambio en el clima, en especial a temperaturas más altas afectando a la economía mundial.

La acumulación de gases de efecto invernadero inevitablemente influye en la temperatura de la atmósfera y de la superficie terrestre. El CO₂ emite y absorbe radiación a longitudes de ondas típicas del planeta y de la atmósfera; si su concentración aumenta, la atmósfera ofrece mayor resistencia al escape necesario de la radiación hacia el espacio. En la Tabla A.6 se presentan los gases de efecto invernadero (GEI) clasificados por su origen.

Tabla A. 6. Gases de efecto invernadero clasificados por su origen.

Natural y Antropogénico		Antropogénico	
Vapor de agua	H ₂ O	Hexafluoruro de azufre	SF ₆
Dióxido de carbono	CO ₂		
Óxido nitroso	N ₂ O	Hidrofluorocarbonos	HFC's
Metano	CH ₄		
Ozono	O ₃	Perfluorocarbonos	PFC's

Adelgazamiento de la capa de ozono

El adelgazamiento de la capa de ozono ha adquirido relevancia mundial a partir de la publicación en el año 1985 de los datos que mostraban una substancial disminución de los valores de la columna de ozono en la estación Halley Bay de la Antártida (Farman et al., 1985). La importancia de este problema ambiental se debe a que afecta todo el planeta siendo el Protocolo de Montreal, firmado en 1987, el primer tratado global para la protección del medio ambiente. Desde entonces, el fenómeno del adelgazamiento en los polos, llamado 'agujero' de ozono, tiene una gran cobertura periodística y también ha sido incluido en la enseñanza escolar.

Se llama capa de ozono a la región de la atmósfera que tiene la mayor concentración de este gas, el que mediante reacciones fotoquímicas absorbe gran parte de la radiación ultravioleta que recibe la Tierra. El ozono se encuentra desde hace millones de años en un estado de equilibrio dinámico, ya que este gas continuamente se produce y se destruye manteniéndose constante su proporción en la atmósfera. Este estado de equilibrio ha sido alterado con la introducción en la atmósfera de unos gases artificiales, los clorofluocarbonos (CFC's), ya que el átomo de cloro que forma parte de estas sustancias destruye el ozono. Los CFC's se disocian en presencia de la radiación ultravioleta liberando un átomo de cloro, el que pasa a formar parte de compuestos inertes llamados 'depósitos de cloro'. Estos compuestos, como el resto de los gases, se desplazan por toda la atmósfera. Las

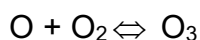
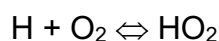
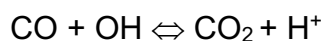


particulares condiciones atmosféricas de los polos, fundamentalmente las del polo sur, favorecen la formación de las nubes estratosféricas polares y los procesos químicos que ocurren en ellas donde estos 'depósitos de cloro' reaccionan liberando el cloro que destruye al ozono; la columna total de ozono ha descendido significativamente en las latitudes medias (25°-60°) entre 1979 y 1991. La tendencia en la disminución global ha sido estimada en 4.0, 1.8, y 3.8% por década respectivamente para las latitudes medias del hemisferio norte durante el invierno/primavera, verano/otoño y latitudes medias del hemisferio sur durante todo el año (WMO, 1998). El Protocolo de Montreal restringe el uso de los gases CFCs para así proteger la capa de ozono.

Ozono troposférico

El ozono troposférico (O₃) al igual que el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) es un gas de efecto invernadero "natural" pero que tiene un tiempo de residencia troposférico corto. El ozono (O₃) se forma en la tropósfera como consecuencia de la contaminación generada por centrales de energía, motores de vehículos e incendios forestales, así como procesos naturales. Probablemente como resultado de las actividades antropogénicas, los niveles de ozono en la tropósfera se han incrementado desde tiempos preindustriales; además, se asocia que aproximadamente el 10% del aumento del potencial de calentamiento global de la atmósfera sea consecuencia de los aumentos del ozono troposférico.

Reacciones para la formación de Ozono (O₃):

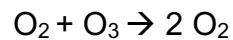
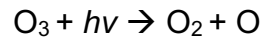
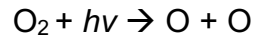


Ozono estratosférico

El mecanismo o ciclo de Chapman Descubierto por Chapman en el año 1930, es un ciclo de formación y destrucción del ozono en la estratósfera, de una manera natural, producido por las radiaciones solares en el espectro UV.



Es un mecanismo teórico simple basado en la evolución en la estratósfera de las principales especies en las que se puede encontrar el oxígeno y las velocidades de las correspondientes reacciones químicas y fotoquímicas que las transforman las unas en las otras. Estas reacciones son:



donde M es una molécula inerte (principalmente N₂ u O₂) cuya “función” en la tercera reacción es llevarse parte de la energía liberada en la formación de la molécula de ozono y permitir con ello su estabilización.

Inversión térmica

Las inversiones térmicas ocurren normalmente en invierno en muchas partes del mundo, tanto en las ciudades como en el campo, sin ninguna consecuencia. El problema en la cuenca de México es que los altos niveles de contaminación ambiental pueden alcanzar durante eventos de inversión térmica niveles severamente dañinos para la salud humana. El riesgo, entonces, no es la inversión, que ocurre normalmente en muchas partes, sino la inversión en un área donde las concentraciones de contaminantes son muy elevadas.

En condiciones normales, el aire se hace más frío a medida que asciende en altura. La razón de este fenómeno se debe a que a mayores alturas la capa atmosférica sobre el observador es menor y, por lo tanto, la presión atmosférica se hace más baja.

La velocidad a la cual una masa de aire se enfría cuando se descomprime, se conoce como el “gradiente adiabático” del aire. El valor del gradiente adiabático varía según la humedad de la atmósfera, con valores cercanos a 1°C cada 100 metros, en atmósferas muy secas, hasta valores de 0.6°C a 0.3°C cada 100 metros en atmósferas saturadas de humedad. Se conoce como “perfil térmico” del aire a los valores reales que tiene la temperatura del aire a distintas alturas sobre el suelo, a una cierta hora del día.



En mediodías soleados de verano, los rayos del sol calientan tanto el suelo como la capa de aire cercana al mismo. Esta capa de aire caliente a nivel del suelo (responsable, entre otras cosas, de los “espejismos” que vemos en las carreteras), se encuentra en situación inestable desde el punto de vista físico. A medida que nos acercamos al suelo, el perfil térmico se calienta más rápidamente de lo que predice el gradiente adiabático. Si una pequeña masa de esta capa sube, se enfriará según el gradiente adiabático (cerca de 1°C cada 100 metros), pero como estaba sobrecalentada originalmente, tendrá más temperatura que el aire que la rodea. Al estar más caliente estará más expandida, será más liviana y tenderá a subir como un globo aerostático. En días así hay propensión a formarse torbellinos y la atmósfera en general es turbulenta. Sobre las partes de suelo más caliente tienden a formarse corrientes de aire ascendente, conocidas como “corrientes térmicas”. Estas corrientes térmicas son, en días soleados, las responsables de dispersar los contaminantes sobre la ciudad de México. El calor del sol sobre el concreto y el asfalto de la ciudad, genera corrientes ascendentes que se llevan los contaminantes hacia arriba, donde se dispersan gracias a la circulación general de la atmósfera.

En las noches frías, en cambio, la situación se invierte, ya que la Tierra no recibe radiación solar, pero emite calor (radiación infrarroja) hacia las capas superiores de la atmósfera y hacia el espacio exterior. Como consecuencia, el suelo se enfría, y se enfrían también las capas de aire más cercanas a la tierra. El perfil térmico, al revés que en días soleados, se invierte y las capas más frías se encuentran ahora cercanas al suelo. Por esa razón, el fenómeno ha sido descrito como “inversión térmica”. La capa de aire frío a nivel del suelo se encuentra ahora en una situación estable, desde el punto de vista físico. Si una pequeña masa de esta capa sube, se enfriará según el gradiente adiabático, pero como estaba fría originalmente, tendrá menos temperatura que el aire que la rodea. Al estar más fría estará menos expandida, será más densa, y tenderá a bajar nuevamente. En noches de inversión térmica la atmósfera se mantiene quieta, desaparecen la turbulencia y los movimientos verticales del aire. Los contaminantes no se dispersan hacia las capas superiores de la atmósfera, sino que se acumulan sobre la ciudad. Durante la mañana siguiente, el sol calentará nuevamente el suelo y con él, las capas de aire más bajas. En algún momento se invertirá el perfil térmico y el aire volverá a mezclarse por movimiento turbulento. El Sol iniciará su rutina diaria de elevación de los contaminantes y la ciudad podrá respirar nuevamente aire menos contaminante. A las 11 de la mañana, aproximadamente, en los días de inversión térmica los servicios de información ambiental avisan que se ha “roto la inversión”. En la Figura 2 se presenta como se ve la Inversión térmica en la ciudad.

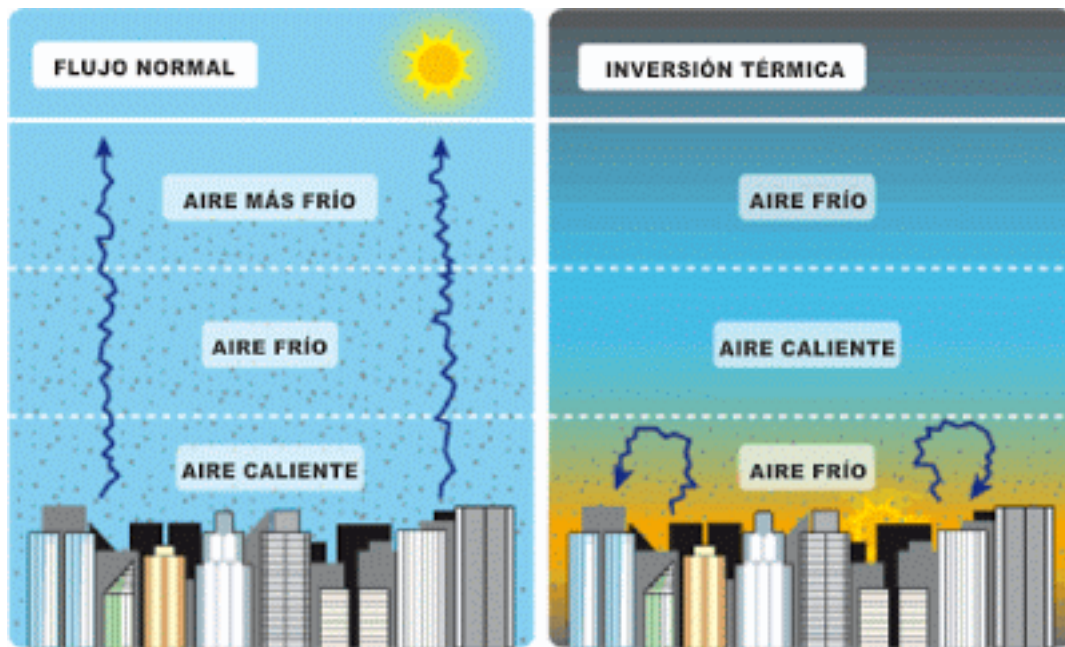


Figura 2. Inversión Térmica (Los cationes, 2016)

A.2.DETERMINACIÓN DE CO₂, CO Y O₂ EN LOS GASES DE COMBUSTIÓN

La combustión es la reacción química más ampliamente utilizada y, sin embargo, una de las menos comprendidas a nuestra disposición. La combustión se define como la unión rápida de una sustancia con oxígeno acompañada por la evolución de la luz y el calor.

Las economías de las naciones altamente industrializadas dependen en gran medida de la combustión. Gran parte del transporte en automóvil, ferrocarril y aerolíneas se basa en motores de combustión interna que queman gasolina o Diesel. Los pequeños motores de combustión interna son engañosamente fuentes importantes de contaminantes del aire. De hecho, con el advenimiento de vehículos de baja emisión (LEV), el uso de la cortadora de césped durante 1 h emite casi tanto como conducir un automóvil a 100 millas (650 millas para un vehículo fabricado antes de 1990). Un cortacésped emite tanta contaminación por hora como 11 autos y una cortadora de césped emite hasta 34 autos.

Como el uso de motores pequeños excede los tres mil millones de horas por año en los Estados Unidos, la EPA de los EE. UU. implementó una norma en 2007 la cual fue actualizada en el 2010 para reducir el escape de los motores pequeños de hidrocarburos en un 35% y las emisiones de óxidos de nitrógeno en un 60%. Además, se espera que las emisiones evaporativas de hidrocarburos disminuyan



en un 45 %; para cumplir con los estándares de emisión de gases de escape, se espera que los fabricantes usen convertidores catalíticos por primera vez en numerosos equipos pequeños para embarcaciones, césped y jardines. La regla también establece estándares de evaporación de combustible, estándares nacionales para buques propulsados por motores dentro fueraborda o intraborda, y estándares de CO para motores a gasolina utilizados en embarcaciones recreativas.

Además, la Norma Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2017, establece los límites máximos permisibles de emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no metano (HCNM), hidrocarburos no metano más óxidos de nitrógeno (HCNM + NO_x), partículas (Part), e incluso de amoníaco (NH_3), conforme a lo especificado en las Tablas 1, 2, 3 y 4 de la presente norma oficial mexicana; todos ellos, contaminantes provenientes del escape de motores nuevos que utilizan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos, así como del escape de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipados con este tipo de motores.

Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable en todo el territorio nacional y es de observancia obligatoria para los fabricantes e importadores de los motores nuevos que usan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos, así como para los vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipados con este tipo de motores. (Gobernación, 2018)

La combustión es el fenómeno relativamente simple de oxidar una sustancia en presencia de calor. Químicamente, la combustión eficiente es:



La mayoría de los procesos térmicos, sin embargo, no alcanzan la combustión completa. Las reacciones de combustión más complejas se muestran en la Tabla A.7. Por lo general, tienen un límite de oxígeno, lo que lleva a la generación de una amplia variedad de compuestos, muchos de ellos tóxicos.

Otras reacciones además de la combustión también producen contaminantes del aire; la descomposición de una sustancia en ausencia de oxígeno se conoce como **pirólisis**. De hecho, un solo incendio puede tener focos de procesos de combustión y pirolíticos.

Esta falta de homogeneidad da como resultado temperaturas que varían tanto en el espacio como en el tiempo; los fuegos de plástico, por ejemplo, pueden liberar más

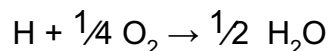
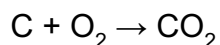


de 450 compuestos orgánicos diferentes. La cantidad relativa de combustión y pirólisis en un incendio afecta las cantidades reales y los tipos de compuestos liberados. En la Tabla A.7 se presentan las reacciones de combustión equilibrada para compuestos orgánicos seleccionados.

Tabla A. 7. Reacciones de combustión equilibrada para compuestos orgánicos seleccionados.

Compuestos	Reacciones
Tetracloroetano (TCE)	$C_2Cl_4 + O_2 + 2 H_2O \rightarrow 2 CO_2 + HCl$
Hexacloroetano (HCE)	$C_2Cl_6 + \frac{1}{2} O_2 + 3H_2O \rightarrow 2 CO_2 + 6 HCl$
Polivinilo pos clorado cloruro (CPVC)	$C_4H_5Cl_3 + 4 \frac{1}{2} O_2 \rightarrow 4 CO_2 + 3 HCl + H_2O$
Combustible de gas natural (Metano)	$CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$
PTEE Teflón	$C_2F_4 O_2 \rightarrow CO_2 + 4 HF$
Goma de butilo	$C_9H_{16} + 13 O_2 \rightarrow 9 CO_2 + 8 H_2O$
Polietileno	$C_2H_4 3 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + 2 H_2O$
Clorobenceno	$C_6H_5Cl + 7 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + HCl + 2 H_2O$

Por lo tanto, las reacciones de combustión son una simple combustión de carbono e hidrógeno:

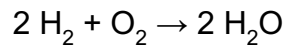
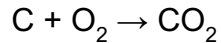


Utilizamos la combustión principalmente por la generación del calor al cambiar la energía química potencial del combustible a energía térmica. Hacemos esto en una planta de energía con combustibles fósiles, un horno doméstico o un motor de automóvil. También utilizamos la combustión como un medio de destrucción para nuestros materiales no deseados. Reducimos el volumen de un desecho sólido quemando los combustibles en un incinerador. Sometemos los gases combustibles,



con propiedades indeseables tales como olores, a altas temperaturas en un sistema de postcombustión para convertirlos en gases menos objetables.

La reacción eficiente se puede ver como dos ecuaciones de combustión que son simples:



Producen los productos dióxido de carbono y agua, que son inodoros e invisibles.

Los problemas con la reacción de combustión ocurren porque el proceso también produce muchos otros productos, la mayoría de los cuales se denominan contaminantes del aire. Estos pueden ser monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, humo, cenizas volantes, metales, óxidos metálicos, sales metálicas, aldehídos, cetonas, ácidos, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hexaclorobenceno, dioxinas, furanos, compuestos orgánicos volátiles (COV) y muchos otros. Solo en las últimas décadas los ingenieros de combustión se han preocupado por estas cantidades relativamente pequeñas de materiales emitidos por el proceso de combustión. Un ingeniero automotriz, por ejemplo, no estaba excesivamente preocupado por el 1% de monóxido de carbono en el escape del motor de gasolina. Al obtener este 1% para quemar al dióxido de carbono dentro de la cámara de combustión, el ingeniero podría esperar un aumento en el millaje de gasolina de algo menos de la mitad del 1%. Este 1% de monóxido de carbono (CO), sin embargo, es de 10 000 ppm por volumen, y un número de tales magnitudes no puede ser ignorado por un ingeniero que se ocupa de problemas de contaminación del aire.

A.3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS GASES QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO.

Para la determinación del contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto, se basan en la **Norma Mexicana NMX-AA-054-1978** la cual establece el método gravimétrico.

En el caso de corrientes gaseosas sobresaturadas de agua se determina el contenido total.



El fundamento de esta norma se basa en el pesado del agua obtenida por la condensación y adsorción del vapor de agua contenido en la corriente gaseosa. (Centro de Calidad Ambiental, s.f.)

Esta Norma se complementa con la Norma Oficial Mexicana en vigor, siguiente:

- ✓ NOM-AA-010-SCFI-2001 Norma Oficial Mexicana establece el procedimiento para determinar la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto. (DGN, 2001).

A.4. MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS (PLUMAS DE CHIMENEAS)

Hemos visto que, bajo ciertas condiciones idealizadas, la concentración media de una especie emitida desde una fuente puntual tiene una distribución gaussiana. Este hecho, aunque estrictamente cierto solo en el caso de la turbulencia estacionaria y homogénea, sirve de base para una gran clase de fórmulas de difusión atmosférica de uso común. La colección de fórmulas basadas en Gauss es lo suficientemente importante en la aplicación práctica. El enfoque de estas fórmulas es la expresión de la concentración media de una especie emitida desde una fuente puntual elevada y continua, la denominada ecuación de la pluma gaussiana.

Tipos principales de modelos de concentración de contaminantes

Son protocolos matemáticos que proporcionan estimaciones de concentraciones de contaminantes en función de una serie de parámetros meteorológicos, químicos, topográficos y de cantidad y velocidad de emisión.

Existen tres tipos de modelos de concentración: los de celda fija (adecuados para vertidos homogéneos), los de dispersión (para vertidos puntuales) y los combinados, como los de celda múltiple, que combinan los dos anteriores para determinar la concentración en una región definida. Todos ellos tienen en común la aplicación de un balance de materia en un elemento de volumen o celda

Modelo de celda fija estacionaria y no estacionaria

Estos modelos son los más simples y aquellos que se utilizan en el caso de estudiar una emisión difusa o no puntual. El caso típico es el de una ciudad donde la fuente principal de contaminación es el tráfico rodado.

Los modelos de celda fija parten de asumir las siguientes hipótesis esenciales:



- ✚ La ciudad es un rectángulo de dimensiones W y L , con uno de sus lados paralelo a la dirección del viento (L).
- ✚ La turbulencia atmosférica produce la mezcla completa de los contaminantes hasta la altura de mezclado (H), y no hay mezcla por encima de esa altura, con lo que se puede asumir que la concentración en la celda es homogénea en el espacio y de valor C .
- ✚ El viento sopla con velocidad u en la dirección x , con fuerza independiente del tiempo y de la elevación sobre el suelo.
- ✚ La concentración de contaminante que entra en la ciudad ($x=0$) es constante e igual a b (concentración de fondo).
- ✚ El índice de emisiones por unidad de área es q (por ejemplo, en $g \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$), con lo que la emisión total es $Q=q \cdot A$, siendo $A=W \cdot L$ el área de la ciudad. El índice de emisiones no varía ni con el tiempo ni con el viento.
- ✚ Ningún contaminante entra o sale por los lados perpendiculares a la dirección del viento.

Modelos de dispersión: Modelo Gaussiano

Son los que se utilizan para estimar la concentración de contaminación producida por una fuente puntual, por ejemplo, la chimenea de una fábrica o el escape de un depósito.

→ Evolución de un escape puntual y continuado por una chimenea

La combinación de la “fuerza” de emisión, la velocidad del viento y la turbulencia atmosférica da lugar a la formación de una estructura característica, que se denomina “pluma”.

→ Dispersión turbulenta: Teoría de la difusión

Difusión en una dimensión (Ley de Fick):

La ley de Fick implica una difusión *Gaussiana* de la concentración.

$$\text{Flujo} = -K \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\text{masa}}{\text{área} \times \text{tiempo}}$$

Donde K es la constante de dispersión turbulenta.

$$c(t) = \frac{M}{2(\pi t)^{1/2} K^{1/2}} e^{-\left(\frac{1}{4t}\right)\left(\frac{x^2}{K}\right)}$$

Donde M es la masa depositada ($t=0$).



El modelo de dispersión se expresa en términos de un coeficiente de dispersión turbulenta:

$$\sigma = (2Kt)^{1/2} = \left(2K \cdot \frac{x}{u}\right)^{1/2}$$

Donde:

u: velocidad del viento

x: distancia en sentido del viento

→ Dispersión en una dimensión: concentración en masa/longitud:

$$c = \frac{M}{(2\pi)^{1/2}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

El coeficiente de dispersión se mide en metros e indica cuanto se ha dispersado la masa inicial cuando la nube del escape o la pluma de la chimenea alcanzan una distancia dada desde la fuente de emisión.

Los coeficientes de dispersión dependen de la meteorología: clases de atmósfera según su estabilidad

La clase de atmósfera viene determinada por la cantidad de insolación, la humedad, las inversiones nocturnas y al viento (un fuerte viento produce estabilidad vertical). En la Tabla A.8 se presentan las clases de atmósfera según su estabilidad.

Tabla A. 8. Clases de atmósfera según su estabilidad (Turner,1970).

Viento de superficie (a 10m) /ms ⁻¹	Día			Noche o nublado	
	Radiación solar			Nubes ≥ 4/8	Nubes < 3/8
	Fuerte	Moderada	Débil		
0-2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
≥ 6	C	D	D	D	D

El fundamento para el modelo de Pasquill-Gifford es una dispersión gaussiana en los ejes horizontal y vertical. La fórmula normalizada para la dispersión de una fuente puntual elevada es:

$$C = \frac{G}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] + \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$



Siendo:

- C = Concentración en el punto x, y, z (kg/m^3)
- G = Intensidad de la emisión (kg/s)
- H = Altura de la fuente emisora sobre el nivel del suelo más la elevación de la pluma (m).
- $\sigma_y \sigma_z$ = Coeficientes de dispersión (m).
- u = Velocidad del viento (m/s).

La utilización de esta fórmula está limitada a distancias entre 100 m y 10 km y es aplicable para cortos periodos de tiempo, hasta unos diez minutos, que es el tiempo promediado o tiempo de muestreo normalizado. Para periodos de tiempo superiores a diez minutos, la concentración viento abajo de la fuente de emisión es en cierta manera inferior, debido a la alteración de la dirección del viento.

Modelos de celda múltiple

Son modelos que combinan los modelos de celda con los de dispersión, con lo que se pueden emplear para emisiones continuas y puntuales a la vez en regiones definidas. Consisten en dividir el volumen total en celdas en las que se almacena el valor numérico de la concentración de varios contaminantes. Posteriormente se establecen los balances de flujo entre las cajas y se consideran la cinética de los contaminantes. El protocolo de cálculo es muy simple:

1. Se determina la concentración en $t=0$ teniendo en cuenta las emisiones (puntuales o no) y las condiciones atmosféricas de viento, humedad e insolación.
2. A partir de modelos gaussianos se determina la dispersión de cada uno.
3. Se aplica si procede el efecto de la cinética.
4. Las concentraciones obtenidas en los pasos 2 y 3 se llevan de nuevo al

paso 1 para calcular las concentraciones en $t+dt$.

De esta manera podemos determinar la evolución de una serie de contaminantes a lo largo del tiempo, ver las relaciones entre los picos de concentración máximos de unos y otros y establecer qué factores los modifican o si alguno de ellos se autorregula.



Estabilidad, comportamiento y estimación de la elevación de la pluma

El grado de estabilidad atmosférica y la altura de mezcla resultante tienen un importante efecto en las concentraciones de contaminantes en el aire ambiental. Si bien en la discusión sobre la mezcla vertical no hemos abordado el movimiento horizontal del aire, o el viento, es importante saber que este se produce bajo condiciones de inversión. Los contaminantes que no se pueden dispersar hacia arriba lo pueden hacer horizontalmente a través de los vientos superficiales.

La pluma de espiral (Figura 3) se produce en condiciones muy inestables debido a la turbulencia causada por el acelerado giro del aire. Mientras las condiciones inestables generalmente son favorables para la dispersión de los contaminantes, algunas veces se pueden producir altas concentraciones momentáneas en el nivel del suelo si los espirales de la pluma se mueven hacia la superficie.

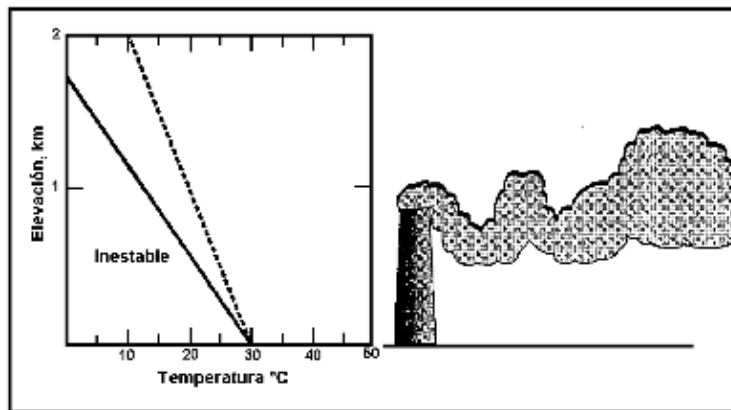


Figura 3. Pluma de espiral (Circulación vertical y estabilidad atmosférica, s.f.)

La pluma de abanico (Figura 4) se produce en condiciones estables. El gradiente de inversión inhibe el movimiento vertical sin impedir el horizontal y la pluma se puede extender por varios kilómetros a sotavento de la fuente. Las plumas de abanico ocurren con frecuencia en las primeras horas de la mañana durante una inversión por radiación.

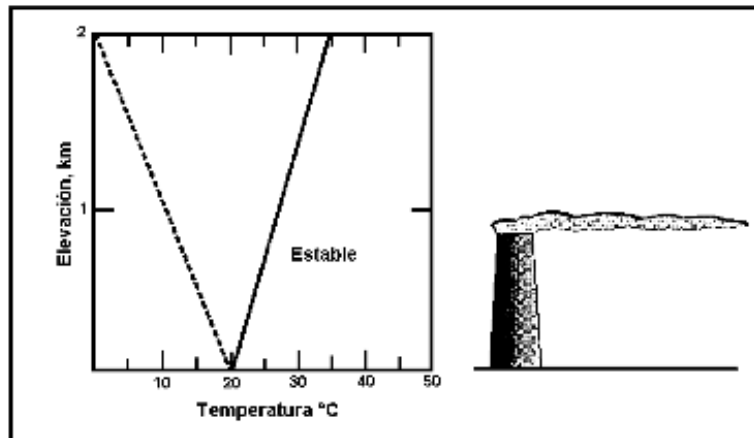


Figura 4. Pluma de abanico (Circulación vertical y estabilidad atmosférica, s.f.)

La pluma de cono (Figura 5) es característica de las condiciones neutras o ligeramente estables. Este tipo de plumas tiene mayor probabilidad de producirse en días nublados o soleados, entre la interrupción de una inversión por radiación y el desarrollo de condiciones diurnas inestables.

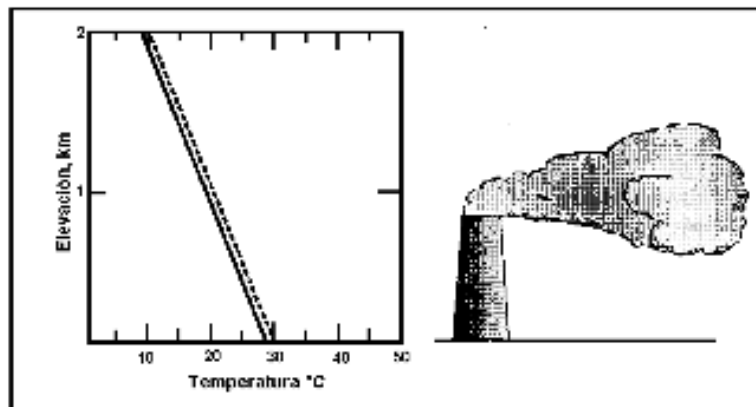


Figura 5. Pluma de cono (Circulación vertical y estabilidad atmosférica, s.f.)

Obviamente, un problema importante para la dispersión de los contaminantes es la presencia de una capa de inversión, que actúa como una barrera para la mezcla vertical. Durante una inversión, la altura de una chimenea en relación con la de una capa de inversión muchas veces puede influir en la concentración de los contaminantes en el nivel del suelo.



Cuando las condiciones son inestables sobre una inversión (Figura 6), la descarga de una pluma sobre esta da lugar a una dispersión efectiva sin concentraciones notorias en el nivel del suelo alrededor de la fuente. Esta condición se conoce como **pluma de flotación**.

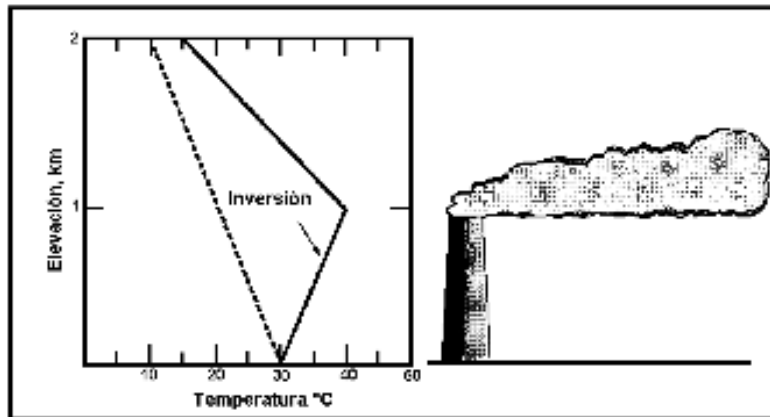


Figura 6. Pluma de flotación (Circulación vertical y estabilidad atmosférica, s.f.)

La elevación de la pluma (Δh) se define como la diferencia entre la altura de la línea central final de la pluma y la altura inicial de la fuente. Esta elevación está originada por la fuerza ascensional y el impulso vertical del efluente. La temperatura de salida del efluente en el caso de que supere en más de 50 °C la temperatura ambiental, tiene mayor influencia que el impulso vertical en la determinación de la altura que alcanzará el penacho.

Como regla general la elevación de la pluma es directamente proporcional al contenido calorífico del efluente y a la velocidad de salida del mismo, e inversamente proporcional a la velocidad local del viento.

Una de las fórmulas más empleadas para el cálculo de esta elevación es la de Holland:

$$\Delta h = \frac{V_s d}{u} \left(1.5 + 2.68 * 10^{-3} \cdot P \frac{T_s - T_a}{T_s} d \right)$$

Siendo:

- Δh = Elevación de la pluma por encima de la fuente emisora (m)
- V_s = Velocidad de salida del contaminante (m/s)
- d = Diámetro interior del conducto de emisión (m)



- u = Velocidad del viento (m/s)
- P = Presión atmosférica (mbar)
- T_s = Temperatura del contaminante (K)
- T_a = Temperatura ambiente atmosférica (K)
- $2,68 \cdot 10^{-3}$ es una constante expresada en $\text{mbar}^{-1} \text{m}^{-1}$

Los valores de Δh obtenidos con esta fórmula deben corregirse multiplicando por un factor, establecido por Pasquill-Gifford- Turner, que es función de las condiciones meteorológicas, que se describen más adelante. En la Tabla A.9 se presentan los factores establecidos por Pasquill-Gifford- Turner.

Tabla A. 9. Factores establecidos por Pasquill-Gifford- Turner:

Categorías de estabilidad (Clases)	Factores de corrección aplicado al Δh, calculado por la fórmula de Holland
A,B	1.15
C	1.10
D	1.00
E,F	0.85

La velocidad del viento se determina a 10 metros de altura. Esta velocidad, a niveles más bajos de 10 metros, se ve reducida notablemente debido a los efectos de rozamiento. Para niveles distintos de este valor, la velocidad del viento debe corregirse según la relación:

$$U_z = u_{10} \left(\frac{z}{10}\right)^p$$

Siendo:

- u_z = Velocidad del viento a la altura de la fuente emisora (m/s)
- u_{10} = Velocidad del viento a la altura de 10 m (m/s)
- z = Altura de la fuente emisora (m)
- p = Coeficiente exponencial

Los valores de p son función de la estabilidad atmosférica y la rugosidad del suelo. En la Tabla A.10 se presentan dichos valores.

**Tabla A. 10.** Coeficientes de corrección de la velocidad del viento.

Estabilidad	Coefficiente exponencial atmosférico (p)	
	Urbano	Rural
A	0.15	0.07
B	0.15	0.07
C	0.20	0.10
D	0.25	0.15
E	0.40	0.35
F	0.60	0.55

En la Tabla A.11 se presentan los valores típicos de los coeficientes de dispersión en función de la distancia a la fuente.

Tabla A. 11. Valores típicos de los coeficientes de dispersión en función de la distancia a la fuente.

Fórmulas para los coeficientes de dispersión de suelos urbanos		
Estabilidad	σ_y	σ_z
A-B	$0.32 \times (1 + 0.0004 x)^{-1/2}$	$0.24 \times (1 + 0.0001 x)^{-1/2}$
C	$0.22 \times (1 + 0.0004 x)^{-1/2}$	0.20 x
D	$0.16 \times (1 + 0.0004 x)^{-1/2}$	$0.14 \times (1 + 0.0003 x)^{-1/2}$
E-F	$0.11 \times (1 + 0.0004 x)^{-1/2}$	$0.08 \times (1 + 0.0015 x)^{-1/2}$

Generalmente:

$$\sigma_y (\text{urbano}) > \sigma_y (\text{rural})$$

$$\sigma_z (\text{urbano}) > \sigma_z (\text{rural})$$

La *estabilidad atmosférica* es un factor clave a la hora de estimar en qué grado los contaminantes se dispersan o “diluyen” en aire a partir de los lugares en los que se emiten. Se considera atmósfera inestable aquella en la que existe turbulencia, fuertes corrientes de convección, etc... Por el contrario, en una atmósfera estable el aire se encuentra básicamente en reposo, y la turbulencia y las corrientes de convección se reducen al mínimo. Es fácil comprender que, desde el punto de vista del técnico ambiental, una atmósfera inestable representa una situación más favorable, ya que en ese caso los contaminantes se “reparten” mejor y los niveles de concentración, sobre todo a ras de suelo, son menores.



A.5. SISTEMAS DE CONTROL DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN AIRE

Los equipos de control de contaminantes en gases se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Vía seca
- Vía húmeda
- Adsorción
- Incineración

Vía seca: Son equipos que no emplean agua para separar los contaminantes de la corriente gaseosa y emplean la gravedad, fuerzas centrífuga, electrostática o filtración para la separación

Entre los equipos se encuentran:

- Cámaras de sedimentación
- Ciclones
- Colectores que emplean filtros de bolsas
- Precipitadores electrostáticos

Vía húmeda: Se realiza la remoción de los contaminantes del aire por interceptación directa, inercia y difusión de los contaminantes al agua que se emplea en el sistema de control.

Entre los equipos se encuentran:

- Cámaras de aspección
- Burbujeadores
- Lecho empacado
- Venturis

Modelación de los procesos de separación de partículas

Todos los procesos de concentración y separación se basan en sus propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de acuerdo a sus estados de agregación de las fases presentes, tomando en cuenta la continuidad de las operaciones dentro de un proceso completo. Para seleccionar el proceso adecuado, se requieren hacer cálculos del dimensionamiento y diseño de equipo y la optimización del proceso.



Cámara de sedimentación

Para la de remoción de partículas de una corriente gaseosa, se puede emplear la fuerza de gravedad; en este tipo de equipo se realiza cuando la velocidad de sedimentación es baja. En la Figura 7 se muestra las partes de una cámara de sedimentación.

Se requiere para este tipo de equipo que tenga flujo laminar, con el objeto de que no se arrastren partículas durante el proceso.

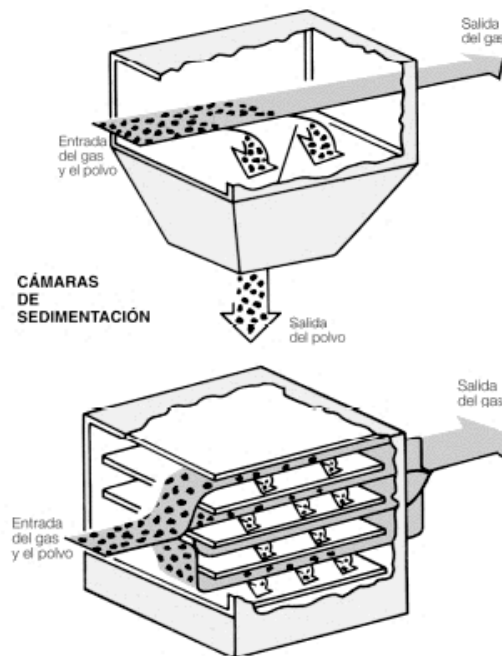


Figura 7. Cámara de Sedimentación (Católica, TECNOLOGÍAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS A CARBÓN, s.f.)

Ciclones

Remueven el material particulado de la corriente gaseosa, basándose en el principio de impactación inercial, generado por la fuerza centrífuga. Los ciclones son adecuados para separar partículas con diámetros mayores de 5 μm ; aunque partículas muchos más pequeñas, en ciertos casos, pueden ser separadas.

La fuerza centrífuga generada por los giros del gas dentro del ciclón puede ser mucho mayor que la fuerza gravitacional, ya que la fuerza centrífuga varía en magnitud dependiendo de la velocidad de giro del gas y del radio de giro. En la Figura 8 se muestra un ciclón.

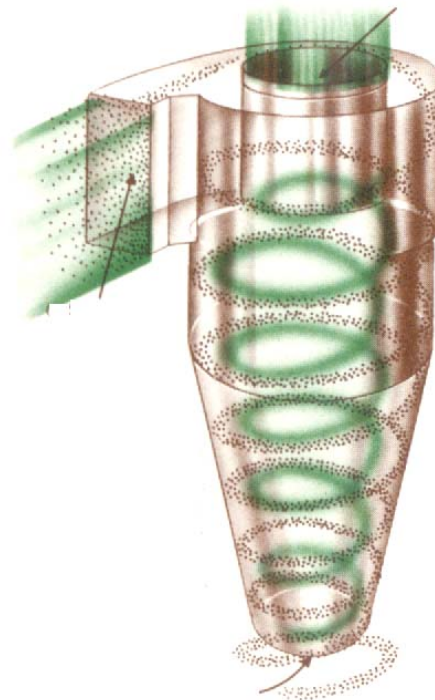


Figura 8. Ciclón (Catódica, TECNOLOGÍAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS A CARBÓN, s.f.)

Lavadores de gases

Los lavadores tipo venturi y orificio utilizan la velocidad del gas portador para dispersar el líquido y crear un contacto turbulento entre el mismo y el gas. Su eficacia depende del flujo y la presión del gas y de la relación de caudal de líquido con el caudal del gas. La energía cinética del gas se utiliza para dispersar la fase líquida. En la Figura 9 se presenta un lavador de gases.

Estos sistemas se suelen acompañar de un riego de las paredes y los impactadores que ayudan a arrastrar las partículas sólidas humectadas hasta el fondo del recipiente auxiliar para sacarlas del sistema.



Figura 9. Lavador de gases. (ENQUIOL, s.f.)

Precipitadores electrostáticos

La precipitación electrostática es un proceso en el cual la materia particulada en un gas se separa del mismo mediante fuerzas electrostáticas, depositándola sobre una superficie colectora de la que se separa posteriormente para sacarla del sistema.

Los precipitadores electrostáticos, o electrofiltros, se emplean para eliminar partículas de corrientes gaseosas que pueden ionizar fácilmente (O_2 , CO_2 , SO_2 , etc.), siendo uno de sus usos más habituales la depuración de gases en la industria química de cabecera, siderurgia y centrales térmicas, donde se requiere tratar grandes volúmenes de gases con alta eficacia y bajos consumos energéticos. Son sin embargo equipos que requieren elevadas inversiones y ocupan grandes espacios.

Tipos de precipitadores:

- Precipitadores de placas: este tipo de precipitador, es el de mayor uso industrial, están diseñados para velocidades del gas entre 100 a 600 ft/min. Consisten en placas paralelas espaciadas de 8 a 10 pulgadas entre una y otra y con alturas hasta de 40 ft en precipitadores muy grandes. La eficiencia de colección puede variar cuando no hay distribución uniforme del aire que entra al precipitador. Estos precipitadores son capaces de limpiar grandes volúmenes de aire contaminado a Temperaturas de $1000^{\circ}F$.



Precipitadores tubulares: El equipo consiste en tubos verticales a través de los cuales fluye el aire en dirección hacia arriba. En el centro de cada tubo está el electrodo de descarga. El material retenido se deposita en la pared interior de cada tubo y cuando se lava la pared con una película líquida delgada, se escapa muy poco material del captado. Su aplicación, se encuentra restringida a situaciones donde se manejan materiales adhesivos, radioactivos o extremadamente tóxicos y también cuando el aire debe ser procesado a presiones que requieran la construcción del recipiente a presión. Generalmente, el volumen tratado es mucho menor que el del precipitador de placas. En la Figura 10 se muestra como son los precipitadores electrostáticos.

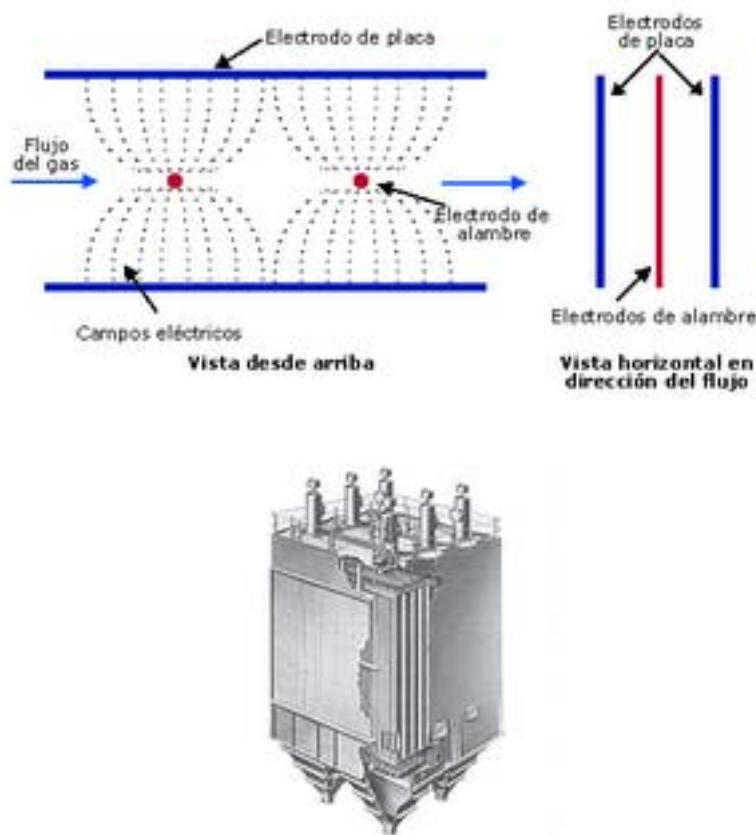


Figura 10. Precipitadores electrostáticos (Católica, TECNOLOGÍAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS A CARBÓN, s.f.)



B. AGUA

En la Tabla B.1. se enlistan los temas más importantes relacionados con el tema de AGUA en las materias que están relacionadas con el medio ambiente impartidas en la Facultad de Química.

Tabla B. 1. Temas más importantes relacionados con el tema de AGUA

1	Calidad, Cantidad del agua: Clasificación de los contaminantes en agua, fuentes de contaminación y efectos ambientales
2	Principales contaminantes del agua
3	Sistemas de tratamiento físico para agua y aguas residuales: Cálculo de sistemas de cribado, sedimentación, filtración y flotación
4	Sistemas fisicoquímicos convencionales para el tratamiento de agua y aguas residuales: Precipitación química, coagulación-floculación, ablandamiento químico del agua
5	Sistemas biológicos para el tratamiento de aguas residuales. Cinéticas de proliferación microbiológica. Balances de materia en sistemas de tratamiento biológico. Modelación de procesos de biomasa fija (biopelículas) y en suspensión. Distribución de tiempos de residencia en reactores biológicos. Cálculo de sistemas de tratamiento biológico aerobio, anaerobio y anóxico
6	Sistemas de tratamiento avanzado: Intercambio iónico, adsorción, oxidación avanzada, procesos de membrana
7	Caracterización, Tratamiento, reutilización y/o disposición de lodos generados por la depuración de agua (potabilización) y aguas residuales

A continuación, se presenta la información sobre los temas desarrollados relacionados al tema de Agua.

**B.1. CALIDAD, CANTIDAD DEL AGUA: CLASIFICACIÓN, FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y EFECTOS AMBIENTALES**

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. En la Tabla B.2 se presenta como está distribuida el agua en la Tierra.

Tabla B. 2. Distribución del agua en la tierra.

Localización	Volumen x 10¹² m³	Porcentaje del total (%)
<i>Área continental</i>		
Lagos	125	0.009
Lagos salados y mares continentales	104	0.008
Ríos (volumen promedio instantáneo)	1.25	0.0001
Mezclada con el suelo	67	0.005
Agua subterránea (a una profundidad cercana a los 4000 m)	8350	0.61
Témpanos de hielo y glaciares	29200	2.14
Total de agua continental	37800	2.8
<i>Atmósfera</i>		
Disuelta en la atmósfera (como vapor de agua)	13	0.001
Océanos	1,320,000	97.3
Total de agua en la tierra	1,360,000	100

Fuente: (Diaz, 2002)

Como se puede observar en en la Tabla B.2, 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.



✓ *Parámetros físicos de la calidad del agua:*

Estos parámetros son los que definen las características del agua que responden a nuestros sentidos (vista, tacto, gusto y olfato) los cuales se presentan en la Tabla B.3:

Tabla B. 3. Parámetros físicos de la calidad del agua.

Sólidos suspendidos totales	Color
Turbiedad	Sabor
Olor	Temperatura

✓ *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; para ello se utilizan diferentes parámetros los cuales se presentan en la Tabla B.4:

Tabla B. 4. Parámetros químicos de la calidad del agua.

Sólidos disueltos totales	Metales
Alcalinidad	Materia orgánica
Dureza	Nutrientes
Fluoruros	DBO ₅ , DQO

✓ *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. Con base en nuestro conocimiento sobre los diferentes contaminantes, ciertos organismos se pueden utilizar como indicadores de la presencia de algún contaminante, algunos de estos organismos se presentan en la Figura 11:



Figura 11. Organismos que se utilizan como indicadores de la presencia de algún contaminante

✓ Contaminación del agua

Se define como la presencia de sustancias u organismos extraños en un cuerpo de agua en tal cantidad y con tales características que impiden su utilización con propósitos determinados; la contaminación puede ser natural o antropogénica.

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.

El origen de las aguas residuales

La producción de residuos generados por las actividades humanas es inevitable; una parte significativa de estos residuos termina en las aguas residuales. La cantidad y calidad de las aguas residuales es determinada por varios factores, no todos los seres humanos o industrias generan la misma cantidad de residuos. La cantidad y tipo de residuos que se producen en los hogares se ve influenciada por el comportamiento, estilo y nivel de vida de los habitantes, así como por el marco técnico y jurídico en el que las personas se encuentran. En los hogares muchos residuos terminan como desechos sólidos y líquidos, y existen muchas posibilidades de cambiar las cantidades y composición de los dos flujos de residuos generados. El diseño adoptado para el sistema de alcantarillado afecta significativamente la composición de las aguas residuales; en la mayoría de los países en desarrollo se utilizan los sistemas de alcantarillado separados. En ellos, el agua de lluvia es transportada en zanjales, canales o tuberías. En algunos casos, las antiguas tramas urbanas combinan los sistemas de alcantarillado con diferentes tipos de aguas residuales las cuales se presentan en la Tabla B.5. En los sistemas combinados,



una parte (pequeña o grande) del total de las aguas residuales es descargada en cuerpos de agua locales, a menudo sin ningún tratamiento.

Tabla B. 5. Tipos de aguas residuales

<i>Aguas Residuales Urbanas</i>	<i>Aguas Residuales generadas internamente en las plantas de tratamiento</i>
Aguas residuales domésticas	Sobrenadante de espesores
Aguas residuales de instituciones	Sobrenadantes de digestores
Aguas residuales industriales	Aguas de rechazo de la deshidratación de lodos
Infiltración en el sistema de alcantarillado	Drenajes de lechos de secado de lodos
Pluviales	Agua drenada de lechos de secado de lodos
Lixiviados	Agua de limpieza de filtros
Aguas residuales de fosas sépticas	Agua de limpieza de equipos

Los contaminantes presentes en las aguas residuales se pueden dividir en diferentes categorías como se puede observar en la Tabla B.6. La contribución de cada contaminante puede variar de manera significativa.

Tabla B. 6. Contaminantes presentes en las Aguas Residuales domésticas

<i>Contaminantes de las Aguas Residuales</i>		
Microorganismos	Organismos patógenos como bacterias, virus y huevos de helminto.	Riesgo para actividades acuáticas, baños y el consumo de mariscos
Materia orgánica biodegradable	Disminución del oxígeno disuelto en ríos, lagos y fiordos.	Muerte de peces, olor.
Otros compuestos orgánicos	Detergentes, plaguicidas, grasas y aceites, colorantes, solventes, fenoles, cianuro.	Efectos tóxicos, inconvenientes estéticos, bio-acumulación en la cadena alimenticia
Nutrientes	Nitrógeno, fósforo, amoníaco	Eutrofización, agotamiento del oxígeno disuelto, efectos tóxicos.



Contaminantes de las Aguas Residuales		
Metales	Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni	Efectos tóxicos, bioacumulación.
Otros compuestos inorgánicos	Ácidos, por ejemplo sulfuro de hidrógeno, bases	Corrosión, efectos tóxicos.
Efectos térmicos	Agua caliente	Cambios en las condiciones de vida de la flora y fauna.
Olor (y gusto)	Sulfuro de hidrógeno	Inconvenientes estéticos, efectos tóxicos.
Radioactividad		Efectos tóxicos, acumulación

B.3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO FÍSICO PARA AGUA Y AGUAS RESIDUALES

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. En la actualidad muchas de estas técnicas son utilizadas para tratamientos de las aguas ya sean de abastecimiento o aguas residuales y se complementan con las técnicas de físicas y químicas modernas.

Existen dos tipos de tratamientos de aguas:

- ✚ 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.
- ✚ 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.



Los tres factores importantes para establecer el suministro de agua adecuado son:

- Calidad del líquido
- Cantidad del líquido
- Localización del suministro de agua en relación con los lugares donde será utilizada.

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.

Existe una cantidad considerable de procesos para el tratamiento de aguas, los cuales se pueden clasificar en tres categorías en la Figura 12:

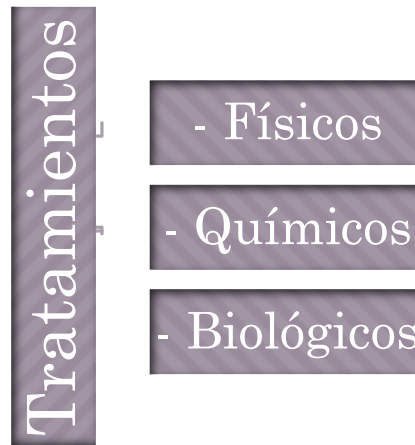


Figura 12. Clasificación de procesos para el tratamiento de aguas

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

- 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 se presentan en la Figura 13:

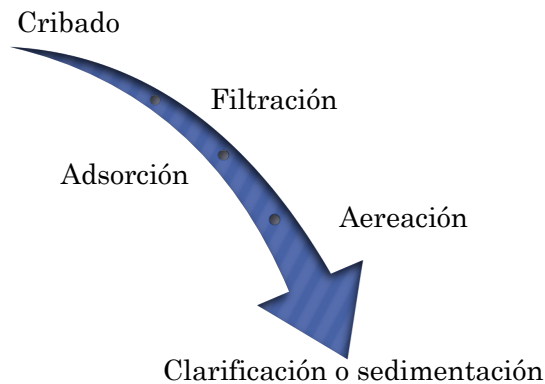


Figura 13. Tratamientos físicos

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.

Filtración: es el método más común para remover partículas pequeñas transportando el agua a través de material poroso. 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.

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.

Aereación: 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 (O_2), dióxido de carbono (CO_2),



nitrógeno (N_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), metano (CH_4) 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 aereación es necesaria. Las aguas superficiales no requieren este tipo de tratamiento en virtud de que contienen altas concentraciones de oxígeno.

Clarificación o sedimentación: La sedimentación implica la eliminación de partículas sólidas suspendidas de una corriente líquida mediante sedimentación gravitacional. Esta operación de la unidad se divide en engrosamiento aumentando la concentración de la corriente de alimentación, y clarificación, eliminación de sólidos de una corriente relativamente diluida.

B.4. SISTEMAS FISCOQUÍMICOS CONVENCIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA Y AGUAS RESIDUALES

Tratamientos químicos: dan como resultado la formación de nuevas sustancias, los más comunes se presentan en la Figura 14:

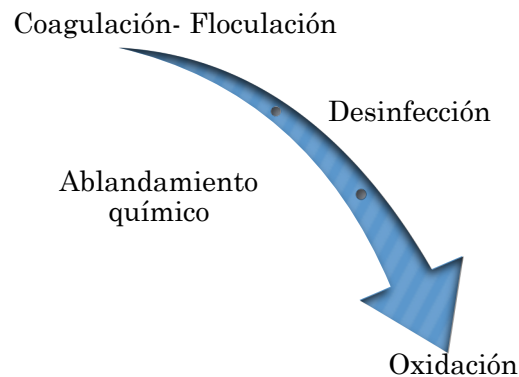


Figura 14. Tratamientos químicos

Coagulación: Es el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales, que puede conseguirse especialmente a través de la neutralización de sus cargas eléctricas con la adición de un coagulante (reactivo químico). Es fundamental en este proceso conseguir una distribución rápida y homogénea del coagulante (agitación fuerte), para aumentar las oportunidades de contacto entre las partículas y el reactivo químico.



Floculación: la agrupación es favorecida por algunos productos químicos llamados floculantes. Los flóculos son retenidos en una fase posterior del tratamiento (decantación o flotación). En esta etapa, a diferencia del método de coagulación, es necesario una agitación también homogénea y muy lenta, con objeto de no romper los flóculos que se forman.

Desinfección: es el proceso que consiste en eliminar a microorganismos infecciosos mediante el uso de *agentes químicos o físicos*. Los agentes antimicrobianos designados como desinfectantes son a veces utilizados alternativamente como agentes esterilizadores, agentes de saneamiento o antisépticos.

Desinfección con cloro: es un proceso químico que mata organismos patógenos, existen 2 tipos de desinfección por cloro:

- *Primaria*, donde se matan los organismos
- *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 $(\text{Ca}(\text{ClO})_2)$, líquido (NaClO) o como gas (Cl_2) , se ha utilizado como desinfectante en diversos países.

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.

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.

Ablandamiento químico: Consiste en la adición de sustancias al agua que reaccionan con los iones calcio y magnesio, transformándolos en compuestos insolubles, que son separados del agua por procedimientos físicos convencionales (decantación y filtración).



Oxidación: 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.

B.5. SISTEMAS BIOLÓGICOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- 🌈 **Tratamientos biológicos:** utilizan organismos vivos para provocar cambios químicos, este tipo de tratamientos puede ser visto como una modalidad de tratamiento químico, los cuales se mencionan en la Figura 15:



Figura 15. Tratamientos biológicos

Microorganismos

Las aguas residuales son infecciosas. El manejo histórico de las aguas residuales fue impulsado por el deseo de eliminar los elementos infecciosos presentes en ellas para alejarlos de las poblaciones de las ciudades. En el siglo XIX, los microorganismos fueron identificados como la casusa de las enfermedades. Éstos se encuentran en las aguas residuales provenientes principalmente de los excrementos humanos, así como de la industria alimenticia.



En la Tabla B.7 se presenta una aproximación de la concentración de microorganismos en aguas residuales domésticas.

Tabla B. 7. Concentración de microorganismos en aguas residuales. (Número de microorganismos por 100 mL).

Microorganismo	Alto	Bajo
E. Coli	$5 \cdot 10^8$	10^6
Coliformes	10^{13}	10^{11}
Cl. Perfringens	$5 \cdot 10^4$	10^3
Streptococcae Fecal	10^8	10^6
Salmonela	300	50
Campylobacter	10^5	$5 \cdot 10^3$
Listeria	10^4	$5 \cdot 10^2$
Staphylococcus aureus	10^5	$5 \cdot 10^3$
Colifagos	$5 \cdot 10^5$	10^4
Giardia	10^3	10^2
Lombrices intestinales	20	5
Enterovirus	10^4	10^3
Rotavirus	100	20

Una alta concentración de microorganismos puede causar un importante riesgo a la salud cuando se descargan aguas residuales crudas a las aguas receptoras.

Balance de masa de la DQO (o balance de electrones)

En el sistema de lodos activados, la DQO debe en teoría, conservarse de tal forma que en estado estacionario, el flujo másico de DQO que sale del sistema debe ser igual al flujo másico de DQO que entra el sistema para un intervalo de tiempo definido. Los electrones (e^-) de la DQO de la materia orgánica en la entrada son (i) retenidos en la materia orgánica particulada y soluble no biodegradable, (ii) transformados en masa de OHO y por ende conservados en otro tipo de materia orgánica, o (iii) transferidos al oxígeno para formar agua. En general, el balance de DQO (o e^-) en un sistema de lodos activados en estado estacionario está dado por la Ec. 5.1, donde:

Ste \rightarrow concentración total de la DQO soluble en la salida [mgDQO/L]



Xv → concentración de los SSV en el reactor biológico [mgSSV/L]

Oc → tasa de utilización de oxígeno carbonáceo (para degradación de la materia orgánica) en el reactor [mgO₂/L.h]

$$\begin{aligned}
 [\text{Flujo de DQO (é) en s}] &= [\text{Flujo de DQO soluble en s}] + [\text{Flujo de DQO soluble en pgl}] \\
 &+ [\text{Flujo de DQO particulada en la pgl}] \\
 &+ [\text{Flujo de O}_2 \text{ utilizado por los OHO para la degradación de DQO}] \\
 &= [\text{Flujo de DQO en e}]
 \end{aligned}$$

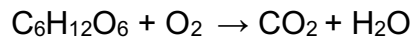
Ecuación 5. 1. Balance de DQO (o é)

El subíndice “s” denota la salida, el subíndice “e” a la entrada y el subíndice “pgl” a la purga de lodos.

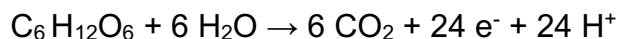
Un ejemplo es la oxidación de la glucosa.

La oxidación es el proceso de pérdida de electrones que sufren los átomos y moléculas; cuando hablamos de oxidación de glucosa, nos referimos a que los enlaces de carbono-carbono, carbono-hidrógeno y oxígeno-oxígeno, cambian a enlaces carbono-oxígeno e hidrógeno-oxígeno. La glucosa produce dióxido de carbono, agua, y algunos compuestos de nitrógeno.

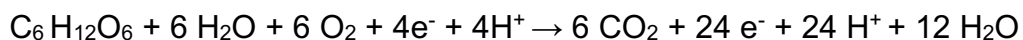
La ecuación general desequilibrada es la siguiente:



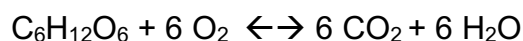
Se debe balancear de acuerdo al número de é quedando de la siguiente forma:



La ecuación general balanceada queda de la siguiente forma:



Por último, se acorta la ecuación y queda así:

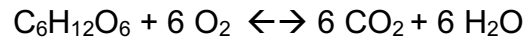




Ejemplo:

Calcular la DTO de 108.75 mg/L de glucosa ($C_6H_{12}O_6$)

Solución: Se comienza escribiendo una ecuación balanceada



A continuación, se calculan los pesos moleculares de los reactivos, en gramos.

$$C_6H_{12}O_6 = 180 \text{ g/mol}$$

$$O_2 = 32 \text{ g/mol} \times 6 = 192 \text{ g/mol}$$

Entonces, se necesitan 192 g de O_2 para oxidar 180 g de $C_6H_{12}O_6$ hasta CO_2 y H_2O .

La DTO de 108.75 mg/L de glucosa es:

$$\left(108.75 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de glucosa} \right) \left(\frac{192 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{ de oxígeno}}{180 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{ glucosa}} \right) = 116 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ oxígeno}$$

Ley de conservación de la materia

Salvo que haya reacciones nucleares, la Ley de la conservación de la materia se cumple siempre. Y dice: "La materia no se crea ni se destruye solo se transforma".
Antonio Lauren Lavoisier

Esta ley se cumple en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. **No hay magia alguna.** La materia que entra a una planta de tratamiento, puede sufrir transformaciones o no; pero **la masa se conserva.**

A continuación, se ejemplifica un problema para entender mejor un balance general en una planta de tratamiento.

1. Si a una planta de tratamiento entra 100 toneladas materia no biodegradable (MNB), saldrán de la planta 100 toneladas de materia no biodegradable (MNB).

La suma de lo que salga a través de las purgas de arenas, lodos, natas y efluente de agua tratada; serán 100 toneladas.

Lo que no se retire a través de las purgas de arenas, lodos, natas, saldrá por el efluente del agua tratada. Es decir el agua tratada seguirá conteniendo parte de los



contaminantes que entraron a la planta. Como estos contaminantes no fueron removidos, el agua tratada no será transparente e incolora.

2. Si a una planta de tratamiento entra 100 toneladas de materia orgánica disuelta (DBO) y 90 toneladas son utilizadas como alimento por los microorganismos; de la planta solo saldrán 10 toneladas de DBO.

De acuerdo a Ramalho y otros investigadores se producen 0.73 kilogramos de microorganismos (SSV) por cada kilogramo de DBO removida. Este valor es mundialmente aceptado en Ingeniería Sanitaria.

Por lo tanto, las 90 toneladas de DBO removidas, se habrán transformado en 65.7 toneladas de microorganismos (SSV). El resto se transformo en CO₂, vapor de agua y demás productos de la respiración endógena y del metabolismo de los procesos fisiológicos.

<p>Entrada:</p> <p>100 TON de MNB</p> <p>100 TON de DBO</p>	<p>Planta de tratamiento de aguas residuales</p>	<p>Salida:</p> <p>100 TON de MNB</p> <p>65.7 TON de SSV</p> <p>10 TON de DBO</p>
---	--	--

Lo que no se retiran a través de las purgas de arenas, lodos y natas, saldrá en el agua tratada; es decir el agua tratada contendrá parte de los contaminantes que entraron a la planta

100 toneladas de MNB + 65.7 toneladas de microorganismos producidos SSV, = 165.7, la mayor parte e ellos, 155.1 toneladas, se retiran a través de la eliminación de lodos. Por esa razón el agua tratada debe ser transparente, no debe estar turbia.

B.6. SISTEMAS DE TRATAMIENTO AVANZADO

Los sistemas de tratamiento avanzado permiten obtener efluentes finales de mejor calidad para que puedan ser vertidos en zonas donde los requisitos son más exigentes o puedan ser reutilizados. Existen diferentes métodos que se utilizan para el tratamiento de agua.

Intercambio iónico: El proceso consiste en la sustitución de uno o varios iones presentes en el agua a tratar por otros que forman parte de una fase sólida finamente dividida, denominada cambiador, sin alterar su estructura física y pudiendo posteriormente regenerarlo para volverlo a su estado primitivo.

Adsorción: Es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido. Este fenómeno no tiene lugar cuando se coloca dicha superficie en contacto con una



solución; una capa de moléculas de soluto se acumula en la superficie del sólido debido al desequilibrio de las fuerzas superficiales. En el interior del sólido, las moléculas están rodeadas por moléculas similares y por tanto sujetas a fuerzas equilibradas. Las moléculas en la superficie están sometidas a fuerzas no equilibradas. Debido a que estas fuerzas residuales son suficientemente elevadas, pueden atrapar moléculas de un soluto que se halle en contacto con el sólido.

Oxidación Avanzada (cloración y ozonación)

La *cloración* es un proceso muy usado en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas. Algunos efluentes industriales que normalmente se cloran antes de su descarga a las aguas receptoras son los procedentes de las plantas de azúcar de caña, de azúcar de remolacha, de centrales lecheras, de las fábricas de pasta y papel, de las plantas textiles, de las de curtido, de las petroquímicas, de las farmacéuticas y de las de acabado superficial de los metales (cromado, electrodeposición, etc).

Los objetivos de la cloración se resumen de la siguiente forma:

1. Desinfección
2. Reducción de la DBO
3. Eliminación o reducción de colores y olores
4. Oxidación de los iones metálicos
5. Oxidación de los cianuros a productos inocuos

La oxidación química con *ozono* es un método efectivo para tratar las aguas residuales basándose en los siguiente factores:

1. El ozono reacciona fácilmente con los productos orgánicos no saturados presentes en las aguas residuales.
2. La tendencia a la formación de espuma de las aguas residuales se reduce después del tratamiento con ozono.
3. La ruptura de los anillos y la oxidación parcial de los productos aromáticos deja a las aguas residuales más susceptibles de tratamiento convencional biológico.
4. El ozono presente en el efluente se convierte rápidamente a oxígeno una vez que ha servido a sus fines. Este oxígeno es beneficioso para las corrientes receptoras y ayuda a mantener la vida acuática. Por lo contrario, el cloro (que es el agente más ampliamente usado para eliminar las bacterias) permanece en el efluente y se convierte en contaminante.



Procesos de membrana: Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, impidiendo su íntimo contacto y restringiendo el movimiento de las moléculas a través de ella de forma selectiva. Este hecho permite la separación de las sustancias contaminantes del agua, generando un efluente acuoso depurado.

La rápida expansión de la utilización de membranas en procesos de separación a escala industrial ha sido propiciada por dos hechos: la fabricación de membranas con capacidad para proporcionar elevados flujos de permeado y la fabricación de dispositivos compactos, baratos y fácilmente intercambiables donde disponer grandes superficies de membrana.

Características de los procesos de separación con membranas:

- ✚ Permiten la separación de contaminantes que se encuentran disueltos o dispersos en forma coloidal.
- ✚ Eliminan contaminantes que se encuentran a baja concentración.
- ✚ Las operaciones se llevan a cabo a temperatura ambiente.
- ✚ Procesos sencillos y diseños compactos que ocupan poco espacio.
- ✚ Pueden combinarse con otros tratamientos.
- ✚ No eliminan realmente al contaminante, únicamente lo concentran en otra fase.
- ✚ Pueden darse el caso de incompatibilidades entre el contaminante y la membrana.

B.7. CARACTERIZACIÓN, TRATAMIENTO, REUTILIZACIÓN Y/O DISPOSICIÓN DE LODOS

De acuerdo a su naturaleza, los lodos deben ser tratados antes de disponerse. Al manejarlos, se deben tener ciertas consideraciones debido a su contenido de sólidos. El contenido de sólidos debe ser utilizado en el diseño y dimensionamiento de las bombas, tuberías y equipos utilizados para su manejo y tratamiento. Los lodos que resultan únicamente de los procesos de separación sólido-líquido (decantación-flotación) se conocen como *lodos primarios*, y los provenientes de procesos biológicos se designan *lodos secundarios*.

Los primarios consisten en partículas sólidas, básicamente de naturaleza orgánica; los secundarios son fundamentalmente biomasa en exceso producida en los procesos biológicos.

Estabilización de lodos



La estabilización de lodos es un proceso que tiene las ventajas de reducir la masa y volumen de éstos, facilitar el desaguado y reducir los organismos patógenos, olores y atracción de vectores.

Los 4 métodos más comunes para la estabilización de lodos son los siguientes:

- Digestión anaerobia: Es el proceso con mayores ventajas, sin embargo, su costo de construcción es más elevado, los digestores requieren una gran cantidad de equipos periféricos, requiere que los lodos sean calentados, el agua en el lodo contiene una elevada concentración de amoníaco y se desestabiliza si no se lleva un buen control de la operación.
- Digestión aerobia: Se usa típicamente en plantas de tratamiento con capacidades menores a 220 l/s. Este tipo de estabilización, aunque tiene un menor costo de construcción que la digestión anaerobia, presenta la desventaja de que el costo de operación es más elevado, ya que requiere suministro de aire para estabilizar los lodos.
- Composteo: Se usa generalmente en los lodos que serán utilizados como mejoradores o acondicionadores de suelos. Este proceso requiere de mano de obra intensiva y puede generar olores. Además, puede incrementar la masa de biosólidos a disponer y transmitir los patógenos por medio del polvo que genera.
- Adición de cal: La estabilización alcalina con adición de cal presenta la ventaja de una inversión menos costosa y es más fácil de operar que los otros procesos. Sin embargo, este proceso tiene la gran desventaja de que los biosólidos producidos pueden regresar a su estado inestable si el pH cae después del tratamiento, lo que ocasiona el crecimiento de nuevos microorganismos. Otros problemas son los olores y el costo de la cal o material alcalino, que además incrementa la masa de los biosólidos a disponer.

Oportunidades de aprovechamiento y disposición de lodos

La producción de lodos en una planta de tratamiento, puede traer también ciertos beneficios dependiendo del tratamiento o destino que se les dé.

Las principales formas de aprovechamiento son como fuentes de energía o mejoradores de suelo en la agricultura.

→ *fuentes de energía*

Una forma de aprovechar los lodos producidos en una planta de tratamiento es por medio del biogás que se obtiene como subproducto en la digestión anaerobia de los



lodos. En plantas de tratamiento de tamaño grande, se pueden obtener grandes beneficios derivados del aprovechamiento del biogás; su uso como fuente de energía no es un concepto nuevo en la industria, y está ganando importancia debido a cambios en la economía por el incremento en el costo de la energía eléctrica. El biogás generado puede producir entre 50 y 100% de la energía requerida en un tratamiento biológico convencional.

→ *mejoradores de suelo en la agricultura*

Un ejemplo benéfico de los diversos usos de los biosólidos es la incorporación al terreno para abastecerlo de nutrientes y para renovar la materia orgánica del terreno. Los biosólidos se pueden utilizar en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo, o en terrenos alterados que necesitan recuperación.

El reciclaje de los biosólidos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos. Éstos mejoran las características del suelo, tales como la textura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. También provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre. Los biosólidos pueden servir también como una alternativa o sustituto al menos parcial de los costosos fertilizantes químicos.



C. RUIDO

En la Tabla C.1, se enlistan los temas más importantes relacionados con el tema de RUIDO que se encuentran en las materias que están relacionadas con el medio ambiente impartidas en la Facultad de Química

Tabla C. 1. Temas más importantes relacionados con el tema de RUIDO.

1	Técnicas de cuantificación / Sistemas de medición
2	Medidas de control y prevención
3	Efectos del ruido en los seres humanos

A continuación, se presenta la información sobre los temas desarrollados relacionados al tema de Ruido.

Ruido

"El daño causado por el ruido es el precio de la civilización y debemos encontrar razones de salud pública para la supresión del mismo..."

→ Sentido auditivo: el Oído

El oído después de la visión, es el órgano sensorial más importante del ser humano. Se divide en 3 partes:

- oído exterior
- oído medio
- oído interior.

El oído exterior consiste en la parte visible, la oreja más el canal auditivo, el oído medio está formado a su vez por el tímpano y los osteocillos óticos (huesecillos del oído) y el oído interior contiene el labyrinthus (órgano de equilibrio) y la cóclea (caracol), un sistema de tubos enrollados llenos de un líquido linfático donde se encuentran las células ciliadas que, al estar estimuladas, generan los impulsos nerviosos que llegan al cerebro y generan la sensación de oír. En la Figura 16 se muestra las partes del oído.



Figura 16. Partes del oído

Una decena de psicolingüistas y antropólogos del Instituto Max Planck han recopilado durante años conversaciones de hablantes de 13 idiomas diferentes. Buscaban una forma de medir la importancia de cada uno de los cinco sentidos contando la frecuencia de uso de palabras que se refirieran a ver, oír, tocar. En los años 80, el lingüista Åke Viberg recopiló una quincena de frases de 50 idiomas para comprobar si había una jerarquía de los sentidos. Entonces, ya apuntó que la vista era el más universal de todos. Le seguirían, por este orden, el oído, el tacto, el sabor y el olor. Un orden inmutable a lo largo de todas las culturas. Y eso no es lo que han comprobado los investigadores del Max Planck.

El sonido es un cambio de presión del aire, que se mueve como una ola circular a partir de la fuente, parecido a las ondas que se forman cuando tiramos una piedra en el agua. Estos cambios de presión entran en el canal auditivo, se transmiten del aire al tímpano del oído, que a su vez mueve los huesecillos del oído medio. Los huesecillos funcionan como un amplificador mecánico y pasan los movimientos al caracol, donde hacen moverse el líquido linfático que contiene. Este, al moverse estimula las células ciliadas que a su vez reaccionan generando impulsos nerviosos que se envían al cerebro.

El ruido se define como la sensación auditiva inarticulada generalmente desagradable, molesta para el oído. Técnicamente, se habla de ruido cuando su intensidad es alta, llegando incluso a perjudicar la salud humana.



“La contaminación acústica ambiental se refiere al ruido causado por carreteras, ferrocarriles, tráfico de aeropuertos, la industria, la construcción, así como algunas otras actividades al aire libre”

Para su estudio y legislación, este fenómeno se puede considerar como un sistema (emisor-medio-receptor). Así las perspectivas o puntos de vista serían; primero: enfoque en la generación del ruido (emisor o fuente-emisión), segundo: enfoque en quien lo percibe (receptor-inmisión); y, tercero: considerar el medio (espacio, barreras, etc.).

Como ejemplo, para fuente se tiene la norma *NOM- 079-SEMARNAT-1994*, que regula la emisión de ruido de vehículos automotores. Como ejemplo para inmisión se tiene la *NOM-011-STPS-2001* que regula la exposición de los trabajadores a ruido. Por otro lado, en México no se cuenta con normatividad acerca del medio, en la que se especifiquen requisitos de calidad acústica para recintos.

Es importante notar que el objetivo de la *NOM-081- SEMARNAT-1994*, es regular los límites de emisión; esto es, la perspectiva de la norma se enfoca en las fuentes (fijas); típicamente de tipo industrial o comercial. Sin embargo, al no existir otra alternativa esta misma herramienta se emplea por autoridades locales, aún para resolver disputas entre vecinos, y atender quejas relacionadas con molestia por ruido. (Metrología, 2016).

Una dificultad adicional, resulta de las sociedades industriales modernas expuestas cada vez más a niveles sonoros más altos, mayores tiempos de exposición, con fluctuaciones mayores tanto en nivel como en contenido en frecuencia; lo que hace que la complejidad de las mediciones requeridas, y la rigurosidad de las normas se incrementen.

C.1. TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN / SISTEMAS DE MEDICIÓN

Medición y cuantificación del ruido

El oído transforma las presiones sonoras en sensaciones auditivas. El espectro de audición es la gama de frecuencias que puede escuchar el oído humano. Este está comprendido entre 20 y 20.000 Hz, aunque es más sensible a frecuencias entre 2.000 y 5.000 Hz.

Las sensaciones que producen las ondas sonoras en el oído dependen de distintos factores físicos: la intensidad y la frecuencia de la onda, la acústica del lugar y el momento del día, la sensibilidad de las personas o el tipo de ruido.



✓ **Disposiciones generales:**

Los métodos para la medición y cuantificación de la exposición al ruido dependen del objetivo que se desee alcanzar. Esto se aplica, en particular a la evaluación de:

- a) riesgo de deterioro de la audición
- b) grado de interferencia con las comunicaciones esenciales para la seguridad
- c) riesgo de fatiga nerviosa, tomando debidamente en cuenta el tipo de trabajo que realice

Las mediciones del ruido deben efectuarse según métodos estandarizados, adaptados al objetivo que se quiere lograr, y con arreglo a normas adoptadas en el plano internacional o a sus equivalencias nacionales.

✓ **Protección del oído**

Las mediciones del ruido deben efectuarse de manera que revelen la exposición al ruido con toda la exactitud necesaria, a fin de que las cifras que se obtengan puedan compararse con los valores límites consignados en alguna norma.

Para esto, debe tomarse en cuenta tanto las condiciones de trabajo normales como aquellas en que los niveles de ruido alcanzan su máximo. Para el ruido estable, el nivel de presión acústica en los niveles de trabajo y el nivel acústico equivalente deberían determinarse en dB(A) según las normas internacionales o nacionales. El análisis de las frecuencias debe hacerse de conformidad con métodos estandarizados.

✓ **Comunicación oral**

El ruido debe medirse en los lugares de trabajo ruidosos cuando:

- a) por razones de seguridad, que un trabajador pueda oír, comunicarse o cualquier señal.
- b) el trabajador pueda verse sometido a mayor tensión o sus tareas puedan ser obstaculizadas a causa de dificultades para comunicarse oralmente.

✓ **Fatiga**

El ruido debe medirse en los lugares de trabajo ruidosos cuando:



a) por razones de seguridad, que no se exponga a un trabajador a tensión y a la fatiga suplementarias resultantes del ruido.

b) la tarea sea de tal índole que el ruido pueda obstaculizarla o hacerla más difícil o ardua debiendo fijar los niveles máximos teniendo en cuenta el tipo de tarea que se ejecute.

Sonómetro

Es un instrumento de lectura directa del nivel global de presión sonora. El resultado viene expresado en decibelios. Proporciona una indicación del nivel acústico de las ondas sonoras que inciden sobre el micrófono. El nivel de sonido se visualiza sobre una escala graduada con un indicador de aguja móvil o en un indicador general.

En cuanto a su constitución interna, un sonómetro consta de cinco elementos básicos:

- Micrófono
- Atenuador calibrado
- Amplificador
- Instrumento de medida
- Una o varias redes compensadoras.

El micrófono, aparte de su característica omnidireccional, ha de ser de tamaño relativamente pequeño, para no perturbar en lo posible el campo sonoro, poco sensible a las variaciones de temperatura, humedad y campos magnéticos y eléctricos.

Juntamente con el atenuador calibrado y el amplificador asociados, debe ser lo suficientemente sensibles para detectar niveles de presión sonora comprendidos entre 20 y 130 dB y cubrir un margen de 20 a 20000 Hz.

Con objeto de tener en cuenta las distintas sensibilidades del oído humano a los ruidos según su frecuencia, se ha dotado a los sonómetros de filtros. Estos filtros descomponen las presiones acústicas recibidas según su frecuencia y el sonómetro da en una lectura única la suma ponderada de dichas presiones.





Cada sonómetro está provisto de diferentes filtros de ponderación sensibilidad-frecuencia.



Para que estas medidas sean realmente significativas, el sonómetro debe estar previamente calibrado mediante un pistófono o bien otro instrumento calibrador. La calibración consiste en conocer las respuestas del sonómetro a unas señales puras establecidas a diferentes frecuencias. Los sonómetros están calibrados para la incidencia en todas direcciones, “random”, suponiendo que todos los ángulos de incidencia son igualmente probables.

C.2. MEDIDAS DE CONTROL Y PREVENCIÓN

Los factores que afectan al medio ambiente pueden ser clasificados como:

-  físicos
-  químicos
-  biológicos
-  psicosociales

Dentro de éstos, la contaminación sonora constituye un factor físico omnipresente en la sociedad moderna; *El ruido está considerado internacionalmente como un riesgo para la salud física y mental*, que necesita ser eficazmente controlado.

Estudios estadísticos han demostrado que el ruido y las vibraciones, cuando sobrepasan ciertos límites, repercuten negativamente sobre la salud y la capacidad de trabajo; sus efectos van desde la mera incomodidad física o psíquica hasta los trastornos orgánicos graves. A estos factores, sean cuales fueren sus causas y las circunstancias en que se dejen sentir, deben imputarse en definitiva las pérdidas económicas que ocasionan al reducir la capacidad física o intelectual para el trabajo y al provocar incluso la interrupción temporal cuando se trata de una licencia de enfermedad y definitiva, cuando se trata de jubilación anticipada de las actividades de muchos trabajadores debido a las enfermedades profesionales y los accidentes a que dan origen.

Para que la prevención sea eficaz, es fundamental que el ruido y las vibraciones se eliminen en sus propias fuentes, y a tal efecto es necesario que en este objetivo se tenga presente ya en la fase de proyección de edificios, máquinas y equipo.

Para comenzar, debería disponerse que los fabricantes suministren con cada máquina o equipo que sea una fuente potencial de ruido o vibraciones, una ficha técnica que contenga toda la información necesaria acerca de su nivel de emisión. Más tarde deben fijarse niveles máximos de emisión y, sería conveniente que el comprador especifique el nivel máximo de ruido y vibraciones que será admisible que emita toda máquina o equipo que adquiera.



Existen otros métodos generales de prevención:

- aislar las fuentes de ruido y vibraciones (encerrándolas, o utilizando materiales que absorben el nivel sonoro emitido y las vibraciones, o instalándolas en sitios suficientemente alejados)
- impedir la propagación de éstos o aislar a los trabajadores (mediante locales insonorizados o plataformas antivibratorias, por ejemplo)

Sólo cuando no es posible aplicar medidas generales, debe recurrirse a medidas preventivas individuales, como la reducción de la duración de la exposición de ciertas personas o el uso de medios de protección personal.

Fuentes generadoras y medidas de atenuación

✓ Medidas preventivas

Los programas de prevención y control del ruido y las vibraciones, deben tener por finalidad suprimir esos riesgos o reducirlos al nivel más bajo posible por todos los medios adecuados. En la fase de diseño de máquinas y equipo se deben adoptar medidas adecuadas para prevenir la generación, transmisión, amplificación y reverberación de ruido y vibraciones; además, se debe tener en cuenta sus niveles de generación al estudiar la compra de máquina y equipo.

También se debe investigar si existen lugares en que el ruido o las vibraciones habrán de superar los límites establecidos. Dichos lugares deben determinarse, delimitarse y señalarse de manera apropiada. No hay que olvidar que las medidas técnicas de lucha contra el ruido y las vibraciones son para reducir su nivel por debajo de los valores máximos admisibles.

Si no fuese posible alcanzar ese objetivo, se debe reorganizar el trabajo, utilizar medios de protección personal o adoptar cualquier otra medida adecuada para que la exposición a los riesgos internos y externos de la fuente sea inferior a los niveles máximos admisibles.



Las personas que puedan estar expuestas a niveles de ruido o vibraciones superiores a los máximos admisibles, así como aquellas cuya exposición esté limitada gracias al empleo de medios de protección física de la fuente o personal o a la aplicación de medidas administrativas tendientes a reducir el tiempo de exposición, en el caso de trabajadores - deben estar sometidos a una vigilancia médica adecuada.



En los lugares de trabajo, la vigilancia médica del nivel de ruido y vibraciones debe ser sistemática y realizarse con la frecuencia necesaria para mantener bajo control esos riesgos, debiendo utilizar la información para cerciorarse de que los trabajadores continúan gozando de buena salud y de que el programa de prevención establecido cumple su finalidad.

✓ **Aplicación de las medidas preventivas**

Cada empresa debe aplicar un programa general de prevención y control debidamente adaptado a sus condiciones particulares, contando con servicios de:

-  Seguridad
-  Medicina del trabajo

O un asesor u organismo ajeno a la empresa que le proporcione asesoramiento para la aplicación de un programa de prevención y control tanto de manera interna como externa.

La lucha contra el ruido y las vibraciones debe llevarse a cabo de preferencia con medidas de protección colectiva y con el asesoramiento de una persona calificada; debiendo realizar sin demora las medidas recomendadas.

El personal encargado de vigilar el nivel de ruido y vibraciones en los lugares de trabajo, debe poseer la información apropiada en las técnicas de medición y control del ruido y las mediciones, así como disponer de los instrumentos adecuados

La vigilancia médica de sus trabajadores debe efectuarse bajo la responsabilidad de un médico calificado, capaz de interpretar los resultados de los exámenes especiales necesarios con ayuda de personal auxiliar calificado que posea formación adecuada acerca de los exámenes especiales necesarios (entre ellos, los exámenes audiométricos) y el uso de los medios de protección personal.

Al proyectar nuevos edificios o instalaciones y al diseñar o adquirir nuevo equipo debe tomarse en cuenta el asesoramiento de personas calificadas desde los puntos de vista técnico y médico.

Asimismo, el servicio encargado de la vigilancia de los lugares de trabajo, el servicio médico y los trabajadores deben ser informados de toda modificación de las instalaciones, el equipo o los procedimientos industriales que pueda alterar considerablemente los niveles de ruido y vibraciones.



✓ **Prevención en las nuevas máquinas y equipo**

Al diseñar la maquinaria y el equipo que construyan, los fabricantes debe prever los dispositivos adecuados para que la emisión de ruido y las vibraciones sean lo más baja posible. Para esto, los fabricantes deben proporcionar información acerca de los accesorios que no suministren con las máquinas y el equipo, pero que puedan ser esenciales o útiles en la lucha contra estas emisiones. También debe proporcionar información acerca de la forma en que tales accesorios deben instalarse para que su eficacia sea máxima.

Los fabricantes deben proporcionar información acerca de los niveles de emisión de ruido y vibraciones de la manera de reducirlos. Al adquirir máquinas o equipo, el comprador debe especificar los niveles máximos admisibles para el ruido y las emisiones que puedan emitir. En la Tablas C.2 y C.3 se describen las fuentes de ruido, medidas de atenuación y niveles de intensidad (valores típicos).

Tabla C. 2. Tabla de fuentes de ruido y medidas de atenuación.

Clase de sonido	Intensidad (W/m²)	Nivel de intensidad (dB)
Doloroso	1	120
Tránsito urbano	10 ⁻⁵	70
Conversación normal	10 ⁻⁶	60-65
Motor de automóvil	10 ⁻⁷	50
Tren de movimiento	10 ⁻³	90
Taladro para pavimento	10 ^{-2.5}	95
Avión DC-4	1	120

Fuente: Martínez Llorente J., Peters J, Octubre 2015



Tabla C. 3. Nivel de intensidad de algunos ruidos de origen diverso; Valores típicos

<i>Origen o descripción del ruido</i>	<i>Intensidad del nivel del ruido (dB)</i>
Umbral de la sensación desagradable	120
Máquina remachadora	95
Tren elevado	90
Calle de mucho tráfico	70
Conversación ordinaria	65
Automóvil en marcha moderada	50
Radio funcionando moderadamente en casa	40
Conversación en voz baja	20
Murmullo de las hojas	10
Umbral de la sensación sonora	0

Fuente: Martínez Llorente J., Peters J. Octubre 2015.

C.3. EFECTOS DEL RUIDO EN LOS SERES HUMANOS

Efectos sobre el organismo humano

La contaminación acústica son los ruidos o vibraciones ambientales que implican riesgo, daño o molestia para las personas, el desarrollo de sus actividades o que causan efectos significativos sobre el medio ambiente. Como norma general, los efectos negativos de la contaminación acústica están relacionados con la dosis de ruido, es decir, la cantidad de energía acústica percibida durante el tiempo de exposición.

Los efectos del ruido sobre la salud se traducen en problemas económicos y sociales, como costes sanitarios, baja productividad, accidentes de tráfico y laborales, dificultades de comunicación o ciudades inhóspitas.

Efectos auditivos:

- 🛑 Enmascaramiento de sonidos.



- ✚ Fatiga auditiva. Es el déficit temporal de la sensibilidad auditiva. Los ruidos muy cortos y muy fuertes, como los martillazos, impactos y explosiones son especialmente peligrosos para el oído.
- ✚ Pérdida de audición. El sistema auditivo se compone de células auditivas y el ruido va “matando” esas células, que son irre recuperables. Cuando ha desaparecido cierto número de ellas se inicia el proceso hacia la sordera.
- ✚ Pitidos internos o acúfenos. Son ruidos o pitidos constantes que aparecen en el interior del oído por alteración del nervio auditivo.

Efectos no auditivos:

- ✚ Modificación del ritmo cardiaco y vasoconstricciones del ritmo periférico, alteraciones en el proceso digestivo por secreciones ácidas del estómago, lo que acarrea úlceras duodenales, cólicos y otros trastornos intestinales; aumento de la tensión muscular y presión arterial e incluso alteraciones del campo visual.
- ✚ Alteración del sueño. Sonidos del orden de los 40 dBA reducen la profundidad del sueño y, por lo tanto, su calidad.
- ✚ Efectos sobre la conducta. Agresividad, desinterés, irritabilidad, disminución de la concentración, inseguridad, inquietud, etc.
- ✚ Disminución del rendimiento de la memoria.
- ✚ Pérdida de la atención.
- ✚ Estrés.
- ✚ Efectos en el embarazo. Malformaciones en el feto o abortos.
- ✚ Alteraciones en la comunicación verbal.
- ✚ Alteraciones en el proceso digestivo por secreciones ácidas del estómago y disminución de la actividad de los órganos digestivos, acelerando el metabolismo y el ritmo respiratorio.
- ✚ Otros efectos vegetativos. Modificación del ritmo cardiaco y vasoconstricciones del ritmo periférico, aumento de la tensión muscular y presión arterial e incluso alteraciones del campo visual.

En la población escolar el ruido repercute negativamente en su aprendizaje. Se observa cómo los niños y niñas que conviven en un ambiente ruidoso reducen su atención hacia las señales acústicas, sufriendo perturbaciones en su capacidad de escuchar y un retraso en el aprendizaje de la lectura.

Cuando se habla de ruido en términos técnicos, se habla de presión sonora. La presión sonora se suele medir en decibelios (dB). *El decibelio (dB)* es un valor relativo y logarítmico, que expresa la relación del valor medido respecto a un valor



de referencia. Logarítmico significa que no medimos en una escala lineal, sino exponencial. El valor de referencia es el límite de perceptibilidad del oído humano, una presión sonora de 20 uPa. Por lo cual, 0 dB significa una presión sonora que está al borde de la perceptibilidad.

Escalas de ponderación

Puesto que el oído humano no tiene la misma sensibilidad para todas las frecuencias, resulta lógico que al efectuar una medición de ruido se tenga en cuenta esta particularidad.

Para ello, se establecen y se han normalizado diferentes **CURVAS de PONDERACIÓN** las cuales siguen aproximadamente la misma ley que el oído en cuanto a sensibilidad en función de la frecuencia.

- Curva **A**, se aproxima a la curva de audición de baja sensibilidad.
- Curva **B**, se aproxima a la curva de audición de media sensibilidad.
- Curva **C**, se aproxima a la curva de audición de alta sensibilidad.

El nivel sonoro más utilizado es con Ponderación A, ya que es la que más protege al hombre contra la agresión del ruido, por lo que cuando el nivel sonoro este ponderado se suele representar el valor acompañado con **dB(A)**, obteniéndose así los **Niveles sonoros ponderados**.

Sonoridad

La sonoridad es el atributo que nos permite ordenar sonidos en una escala del más fuerte al más débil.

La sonoridad es un atributo vinculado a la intensidad del sonido. No obstante, como vimos cuando estudiamos el umbral de audibilidad, la sonoridad no depende sólo de la intensidad de un sonido, sino también de su frecuencia. Más allá de ello, la sonoridad depende también de otras variables, como pueden ser el ancho de banda, el contenido de frecuencias y la duración del sonido.

Una forma práctica de abordar el problema de la sonoridad es medir el nivel de sonoridad, es decir, determinar cuándo un sonido es igual de fuerte que otro.

Los sonidos senoidales contenidos a lo largo de cada curva tienen la misma sonoridad. Esta dependencia de la frecuencia estaría dada principalmente por las características de transferencia del oído externo y el medio. También debe notarse que a medida que aumenta el nivel de presión sonora las curvas se hacen más



planas, es decir, la dependencia de la frecuencia es menor a medida que aumenta el nivel de presión sonora.

El nivel de sonoridad de un sonido cualquiera (complejo) se determina comparando su sonoridad con la de un sonido senoidal.

En la Tabla C.4 se presenta la escala de Decibeles (dB) de ciertos tipos de ruido que se presentan normalmente. La percepción del volumen depende no solo de la presión sonora, sino también del tipo de sonido. Un sonido agudo, por ejemplo, se percibe más alto que uno sordo, aunque tuvieran la misma presión sonora. Para tener en cuenta esta característica del oído se suele aplicar un factor de ponderación a las diferentes frecuencias a través de un filtro cuando se hacen mediciones de sonido.

Tabla C. 4. Escala de Decibeles (dB).

<i>Tipos de Ruido</i>	<i>Decibeles (dB)</i>	<i>Nivel de sonido</i>
Murmullos, vientos suaves	10-20	Umbral de audibilidad
Bibliotecas	30-40	Umbral de audibilidad
Ruido normal en casa, tráfico ligero y oficina común	40-60	Umbral de audibilidad
Vía rápida, tabulador, oficina	60-80	Irritante
Tráfico pesado	80-100	Daños posibles al oído
Telar, grito fuerte	80-100	Daños posibles al oído
Motor de avión	100-120	Umbral de malestar
Camión diesel acelerado	100-120	Umbral de malestar
Música rock	100-112	Umbral de malestar
Soldadura de oxígeno	120-140	Umbral de dolor
Jet a 3 m de distancia	120-140	Umbral de dolor
Rifle M-1	140-170	Umbral de dolor
Escopeta	140-170	Umbral de dolor

Fuente: Martínez Llorente J., Peters J., Octubre 2015

En la Tabla C.5 se presentan algunos ejemplos de valores sonoros y los efectos que tienen sobre el organismo.

**Tabla C. 5.** Ejemplos de valores sonoros y los efectos que tienen sobre el organismo.

Presión sonora	Ambientes o actividades	Sensación / Efectos en el oído
140-160 dB	Explosión, petardo a 1 m	Daños permanentes inmediatos del oído, rotura tímpano
130 dB	Avión en despegue a 10 m, disparo de arma de fuego	
120 dB	Motor de avión en marcha, martillo neumático pilón (1 m)	Umbral del dolor
110 dB	Concierto de rock, motocicleta a escape libre a 1 m	Daños permanentes del oído a exposición de corta duración
100 dB	sierra circular a 1 m, discoteca, sirena de ambulancia a 10 m	Sensación insoportable y necesidad de salir del ambiente
90 dB	calle principal a 10 m, taller mecánico	Sensación molesta daños permanentes al oído a exposición a largo tiempo
80 dB	Bar animado calle ruidosa a 10 m	
70 dB	coche normal a 10 m, aspirador a 1m, conversación en voz alta	Ruido de fondo incómodo para conversar
60 dB	Conversación animada, televisión a volumen normal a 1 m	Ruido de fondo agradable para la vida social
50 dB	Oficina, Conversación normal, a 1 m de distancia	
40 dB	Biblioteca, conversación susurrada	
30 dB	frigorífico silencioso, dormitorio	Nivel de fondo necesario para descansar
20 dB	habitación muy silenciosa, rumor suave de las hojas de un árbol	
10 dB	Respiración tranquila	
0 dB	Umbral de audición	

Además, en la Tabla C.6 podemos observar los límites máximos permisibles y horarios permitidos.



Tabla C. 6. Límites máximos permisibles y horarios permitidos.

Zona	Horario	Límite máximo permisible dB (A)
Residencial (exteriores)	6:00 a 22:00	55
	22:00 a 6:00	50
Industriales y comerciales	6:00 a 22:00	68
	22:00 a 6:00	65
Escuelas (áreas exteriores de juegos)	Durante el juego	55
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento	4 horas	100

Fuente: Acuerdo 5.4 de la Norma Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994.



D. SUELO / RESIDUOS PELIGROSOS

En la Tabla D.1 se enlistan los temas más importantes relacionados con el tema de SUELO/RESIDUOS PELIGROSOS que se encuentran en las materias que están relacionadas con el medio ambiente impartidas en la Facultad de Química

Tabla D. 1. Temas más importantes relacionados con el tema de SUELO/RESIDUOS PELIGROSOS

1	Definición, caracterización, muestreo, generación y clasificación de suelos y suelos contaminados. Principales contaminantes en suelo y subsuelo. Tratamientos fisicoquímicos y biológicos para la recuperación de suelos contaminados
2	Composición y tipo de suelos. Origen y tipo de contaminantes en el suelo
3	Afectación del suelo, prevención y control. Técnicas analíticas empleadas para caracterizar y cuantificar contaminantes en suelos. Tecnologías de remediación
4	Definición y tipo de residuos. Minimización, manejo, tratamiento y disposición de sustancias y residuos peligrosos. Clasificación CRETIB
5	Reutilización, tratamiento y disposición final de residuos sólidos. Ejemplos industriales de reciclaje y reúso de residuos sólidos: Vidrio, papel, plásticos, metales ferrosos y no ferrosos. Fuente de generación de residuos.

A continuación, se presenta la información sobre los temas desarrollados relacionados al tema de Suelo/Residuos Peligrosos.



D.1. DEFINICIÓN, CARACTERIZACIÓN, MUESTREO, GENERACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y SUELOS CONTAMINADOS

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 por las siguientes características:

- ✓ Color
- ✓ Grosor
- ✓ Número de capas
- ✓ Cantidad de arcilla
- ✓ Sales
- ✓ Material orgánico

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. Está formado por roca que a lo largo de grandes periodos se ha ido pulverizando por la acción del ambiente; en la Tabla D.2 podemos observar que existen 3 tipos de roca que conforman la corteza de la tierra:

Tabla D. 2. Tipos de roca

Tipo de roca	Características
Roca ígnea	Material de lava solidificado
Roca sedimentaria	Resultado de la acción del clima sobre las rocas ya existentes
Roca metamórfica	Originalmente fue roca sedimentaria o ígnea pero fue modificada por la temperatura, presión y fluidos químicos activos



Se puede distinguir al suelo de otros materiales geológicos por 4 componentes principales:

- Partículas minerales (roca y arcilla)
- Material orgánico
- Agua
- Aire

Los suelos más oscuros indican que tienen mayor presencia de materia orgánica; una de las características de la presencia de materia orgánica en el suelo es la descomposición de animales y plantas. Las bacterias trabajan constantemente para transformar este material en uno más rico en nutrientes, conocido como *humus*.

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 las cuales se pueden observar en la Figura 17:



Figura 17. Partículas en orden decreciente en varios grados

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*; por esta razón, 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 de las propiedades que son importantes del suelo son la estructura y distribución de la porosidad para conocer la forma en como el agua y otros líquidos se mueven; ya que la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, aumenta la capacidad para manejar el agua así como la infiltración. Por otro lado, las capas con menor permeabilidad reducen el movimiento de 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.



D.2. COMPOSICIÓN Y TIPO DE SUELOS. ORIGEN Y TIPO DE CONTAMINANTES EN EL SUELO

A continuación, se describen en la Tabla D.3 algunos de los principales contaminantes primarios del suelo, derivados de la actividad humana:

Tabla D. 3. Principales contaminantes primarios del suelo derivados de la actividad humana.

Contaminantes	Características
Residuos Orgánicos Biodegradables	Incluyen una amplia gama de residuos derivados de la actividad doméstica o de actividades similares donde no se generen compuestos tóxicos. Contienen restos de alimentos y otros materiales de origen animal y vegetal. Los compuestos sólidos biodegradables pueden sufrir degradación anaeróbica.
Residuos Peligrosos	Frecuentemente, provienen de fuentes industriales, hospitales, laboratorios químicos y bioquímicos, agrícolas y forestales. Incluyen compuestos sólidos, líquidos y gaseosos (presentes en contenedores) desechados en el suelo, cuya composición química, forma de disposición y concentración constituyen un peligro para la salud y seguridad de las personas y, además, representan un potencial de daño ambiental significativo.
Residuos Estables	Generalmente, se originan a partir de obras de demolición, reparación y construcción de viviendas y caminos, en la actividad doméstica, en oficinas, comercio, y en algunas actividades industriales. Incluyen todos aquellos materiales, sólidos y líquidos, que presentan una alta estabilidad física y química, bajo las condiciones ambientales normales.

D.3. AFECTACIÓN DEL SUELO, PREVENCIÓN Y CONTROL.

En la actualidad se dispone de un amplio abanico de tecnologías de recuperación de suelos contaminados, algunas de aplicación habitual y otras todavía en fase experimental, diseñadas para aislar o destruir las sustancias contaminantes alterando su estructura química mediante procesos generalmente químicos, térmicos o biológicos. Su aplicación depende de las características del suelo y del



contaminante, de la eficacia esperada con cada tratamiento, de su viabilidad económica y del tiempo estimado para su desarrollo.

Según la forma en la que se apliquen las técnicas de recuperación de suelos se habla de tratamientos *in situ*, que actúan sobre los contaminantes en el lugar en el que se localizan, y tratamientos *ex situ*, que requieren la excavación previa del suelo para su posterior tratamiento, ya sea en el mismo lugar (tratamiento *on-site*) o en instalaciones externas que requieren el transporte del suelo contaminado (tratamiento *off-site*).

Los tratamientos *in situ* requieren menos manejo pero por lo general son más lentos y más difíciles de llevar a la práctica dada la dificultad de poner en contacto íntimo a los agentes de descontaminación con toda la masa de suelo contaminada.

Los tratamientos *ex situ* suelen ser más costosos pero también más rápidos, consiguiendo normalmente una recuperación más completa de la zona afectada.

En función de los objetivos que se quieren alcanzar a la hora de recuperar un suelo contaminado se puede distinguir entre:

- ✚ **Técnicas de contención**, que aíslan el contaminante en el suelo sin actuar sobre él, generalmente mediante la aplicación de barreras físicas en el suelo.

Las técnicas de contención se emplean para prevenir o reducir significativamente la migración de los contaminantes orgánicos e inorgánicos en suelos y aguas subterráneas. No requieren la excavación del suelo y son típicamente de bajo coste, aunque sí necesitan de inspecciones periódicas

- ✚ **Técnicas de confinamiento**, que reducen la movilidad de los contaminantes en el suelo para evitar su migración actuando directamente sobre las condiciones fisicoquímicas bajo las que se encuentran los contaminantes.

Las técnicas de confinamiento, también llamadas de *estabilización/solidificación*, reducen la movilidad de los contaminantes a través de procesos físicos y químicos, ya sea convirtiéndolos en formas menos solubles y tóxicas (estabilización) o encapsulando el material contaminado en una estructura sólida de gran integridad estructural). La mayoría de estas técnicas presentan limitaciones para tratar sustancias orgánicas y pesticidas, excepto la solidificación con asfaltos y la vitrificación.



✚ **Técnicas de descontaminación**, dirigidas a disminuir la concentración de los contaminantes en el suelo.

Los siguientes tratamientos describen distintas técnicas de descontaminación de suelos que combinan asimismo en algunos casos la descontaminación del agua subterránea. En la Tabla D.4 se resume los principales tipos de tratamientos de remediación de suelos.

Tabla D. 4. Principales técnicas de remediación de suelos.

Tipo de tratamiento		Tratamiento	Aplicación
Contención		Barreras verticales	In situ
		Barreras horizontales	In situ
		Barreras de suelo seco	In situ
		Sellado profundo	In situ
		Barreras hidráulicas	In situ
Confinamiento		Estabilización fisicoquímica	Ex situ
		Inyección de solidificantes	In situ
		Vitrificación	Ex situ - In situ
Descontaminación	Físico-Químico	Extracción	In situ
		Lavado	Ex situ
		Flushing	In situ
		Electrocinética	In situ
		Adición de enmiendas	In situ
		Barreras permeables activas	In situ
		Inyección de aire comprimido	In situ
		Pozos de recirculación	In situ
		Oxidación ultravioleta	Ex situ
		Biodegradación asistida	In situ
	Biológico	Biotransformación de metales	In situ
		Fitorrecuperación	In situ
		Bioventing	In situ
		Landfarming	Ex situ
		Biopilas	Ex situ
		Compostaje	Ex situ
		Lodos biológicos	Ex situ
	Térmico	Incineración	Ex situ
		Desorción térmica	Ex situ
	Mixto	Extracción multifase	In situ
Atenuación natural		In situ	



Qu debe hacerse en un sitio contaminado

Los suelos pueden contaminarse debido a la disposición inadecuada de residuos peligrosos en sitios sin control como son terrenos baldíos y patios traseros de las industrias, fugas de tanques y contenedores subterráneos, fugas de tuberías y ductos, lixiviación de materiales en sitios de almacenamiento, derrames accidentales de sustancias químicas o por la aplicación deliberada de sustancias en el suelo tales como plaguicidas. Esta contaminación puede causar graves problemas a la salud humana y al ambiente debido a la migración de las sustancias químicas presentes en el suelo hacia otros medios como el agua superficial o subterránea, aire y/o sedimentos. En la Figura 18 se encuentran las principales etapas involucradas en el estudio y limpieza de un sitio contaminado.

Figura 18. Principales etapas involucradas en el estudio y limpieza de un sitio contaminado

Evaluación

La secuencia planeada y organizada de actividades llevadas a cabo para determinar la naturaleza y distribución de contaminantes sobre y abajo de la superficie del sitio que se ha identificado como potencialmente contaminado. El propósito de la evaluación es:

- Determinar si existe o no liberación de sustancias peligrosas al ambiente, a las personas o a las instalaciones
- Identificar y establecer la distribución y concentración de los contaminantes presentes
- Desarrollar el programa de restauración del sitio

La evaluación se realiza en dos etapas *la evaluación preliminar* y *la evaluación detallada*. En la Tabla D.5 se mencionan las actividades que se realizar en una evaluación



- ✓ Evaluación preliminar: Es el proceso sistemático de análisis de la información, mapas, documentos existentes proporcionados por individuos pertenecientes al sitio y tomados de archivos para determinar la probable naturaleza y localización de la contaminación. Esta fase no involucra muestreo ni análisis. Consta de dos partes, el estudio del material de documentación y el reconocimiento del sitio.
- ✓ Evaluación detallada: Es el proceso de confirmación si se sospecha que existe contaminación a través de un programa de muestreo y análisis. Consiste de una etapa de planeación, una etapa de muestreo y análisis químico y una etapa de interpretación y evaluación de los resultados.

Tabla D. 5. Actividades que se realizan en una evaluación.

Evaluación	Actividades que se realizan
Evaluación preliminar	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de la historia del terreno a través de fotografías y mapas • Descripción detallada de la actividad en el sitio, procesos, productos, subproductos y residuos • Conocimiento de actividades previas a través de archivos y dependencias • Realización de entrevistas con los ocupantes del sitio pasados y presentes y con autoridades • Realización de visitas al sitio para conocer la topografía, condiciones y principales rasgos • Establecimiento de la geología del sitio a partir de mapas geológicos • Revisión de la información sobre hidrología del área y localización de los acuíferos • Obtención de datos meteorológicos • Localización de construcciones, desagües, alcantarillas, tanques de almacenamiento • Recopilación de información sobre suministros de agua • Ubicación de centros de población cercanos y caracterización de la población expuesta • Detección de tanques, tambores y demás contenedores y registro de marcas, fugas y derrames en ellos • Ubicación de lagos, lagunas, pozos, áreas pantanosas, depresiones • Detección de manchas, vapores, lugares con aceite, olores, colores y contaminación obvia



Evaluación detallada	<ul style="list-style-type: none">• Debe revisarse toda la información disponible generada durante la evaluación preliminar• Después se organiza el grupo de proyecto y se desarrollan los planes de trabajo y de muestreo, el grupo de proyecto consiste de personal administrativo, científico, técnico y de campo con responsabilidades específicas.• Siguiendo etapa es la ejecución del trabajo de campo durante la cual se inspecciona el sitio, se colectan y analizan muestras de suelo, agua superficial y subterránea, sedimentos y aire, y se realizan análisis geomagnéticos o geofísicos.• Por último, se realiza la evaluación e interpretación de todos los datos y se prepara el reporte de la investigación que debe incluir la descripción de las actividades pasadas y actuales, y el manejo de residuos en el sitio, las sustancias peligrosas detectadas y sus concentraciones, las rutas de migración de estas sustancias y el impacto sobre los seres humanos y el ambiente.
----------------------	--

D.4. DEFINICIÓN Y TIPO DE RESIDUOS. MINIMIZACIÓN, MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE SUSTANCIAS Y RESIDUOS PELIGROSOS.

Los residuos depositados o abandonados en el suelo presentan diferentes características físicas y químicas; más aún, los residuos se pueden encontrar ubicados sobre la superficie del suelo o enterrados bajo tierra. Una vez depositados en el suelo, los residuos están sujetos a transformaciones, debido a los procesos físicos, químicos y biológicos naturales, lo que puede facilitar su transporte, dependiendo de las características de los contaminantes primarios y secundarios, y de las características geoquímicas del medio.

Hoy en día se generan más residuos y de naturaleza más variada debido a la presencia de nuevos productos y sustancias incorporadas a ellos, así como a la sofisticación y variedad creciente de los envases y embalajes que contienen las mercancías. En las dos últimas décadas, y pese a que se le ha presentado una mayor atención al rubro de los residuos desde la perspectiva social, económico-financiera, cultural e institucional, a través de acciones e instrumentos de política que promueven una mejor atención al tema y la búsqueda de soluciones integrales, el componente ambiental no se ha incorporado con la debida importancia.

→ Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Constituyen uno de los problemas ambientales más visibles y cercanos al ciudadano común, así como también uno que demanda atención prioritaria, en función de su volumen y su convivencia directa con el colectivo social. Las tasas de generación




más bajas corresponden a las áreas rurales, mientras que las mayores, a las grandes ciudades y zonas metropolitanas.

Son aquellos que se generan en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas o los que provienen también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de los establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias, y los resultantes de las vías y lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole.


Las consecuencias ambientales de la inadecuada disposición de los residuos pueden afectar a la salud y a los ecosistemas siendo algunos impactos los siguientes:

 *Generación de contaminantes y gases de efecto invernadero*


- Descomposición de residuos orgánicos producen biogases.
- Los gases de efecto invernadero (GEI) contribuyen al cambio climático.
- Los gases que destacan son: CO_2 , CO, CH_4 , H_2S , COV'S.

 *Adelgazamiento de la capa de ozono*

- Sustancias liberadas a la atmósfera tales como los propulsores de los aerosoles, algunas pinturas, desodorantes, plaguicidas, refrigeradores y climas artificiales.
- La inadecuada disposición de los desechos de sustancias agotadoras de ozono (SAO) se convierten en fuentes de emisión.

 *Contaminación de suelos y cuerpos de agua*

- Descomposición de los residuos y contacto con el agua generan lixiviados.
- Lixiviados se infiltran en los suelos provocando contaminación en los suelos y cuerpos de agua.

 *Proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades*

- Atracción de insectos, aves y mamíferos por la disposición inadecuada de residuos orgánicos.

→ Residuos de Manejo Especial (RME)

Son residuos sólidos urbanos generados en contextos y volúmenes diferentes, o residuos no peligrosos generados por grandes generadores tanto de desechos industriales como de sólidos urbanos. A continuación se presenta la clasificación de 4 clases de residuos de manejo especial por fuentes seleccionadas.



- Servicios de salud
- Servicios de transporte
- Lodos-PTAR municipales
- Residuos de construcción

Dado lo reciente de la creación de la categoría RME, en la actualidad no se cuenta con estimaciones de los volúmenes de generación para ciertas clases de residuos, entre los que se encuentran las rocas o productos de su descomposición, que solo pueden utilizarse en la industria de la construcción, los derivados de las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas y ganaderas, los provenientes de la informática, de equipos electrónicos y de vehículos automotores, y los originados en las actividades de comunicación y transporte, entre otros.

→ Residuos Peligrosos (RP)

La problemática asociada a los RP tiene 2 grandes líneas; la que se deriva de la presencia de sitios ya contaminados y que requieren su remediación, y la que es orientada a la prevención de la contaminación proveniente de las fuentes en operación.

Son aquellos que sustancial o potencialmente ponen en peligro la salud humana o al medio ambiente cuando son manejados de forma inadecuada; se generan frecuentemente en la fase final del ciclo de vida de los materiales peligrosos, cuando quienes los poseen los desechan porque ya no tienen interés en seguirlos aprovechando. El manejo y disposición segura de los RP se aborda principalmente mediante la prevención orientada tanto a la reducción de los volúmenes de generación, como al reciclaje, reuso y tratamiento para reducir su peligrosidad o volumen. Los Residuos Peligrosos son aquellos que poseen algunas de las siguientes características que se presentan en la Figura 19:



Figura 19. Clasificación de los residuos peligrosos (CRETIB).



Una *Gestión Integral de Residuos* implica lo siguiente:

- ✓ Promover la minimización de la generación.
- ✓ Promover la reutilización y reciclaje.
- ✓ Optimizar la recolección, el transporte y la higiene urbana.
- ✓ Gestionar cada grupo de residuos según su origen y características de peligrosidad.
- ✓ Contar con un tratamiento y disposición final ambientalmente aceptable.

D.5. REUTILIZACIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.

Los RSU en México están clasificados dependiendo su composición físico o química, en la Tabla D.6 Se enlistan la clasificación de los RSU en México.

Tabla D. 6. Composición de los RSU en México.

Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	% de los RSU
Residuos de comida, jardines y materiales orgánicos similares	52.4
Papel, cartón y otros productos de papel	13.8
Otro tipo de basura	12.1
Plásticos	10.9
Vidrio	5.9
Aluminio	1.7
Textiles	1.4
Metales ferrosos	1.1
Otros metales no ferrosos	0.6

La separación permite evaluar oportunidades para la minimización, manejo adecuado y crear mercados de aprovechamiento de residuos para disponer menor cantidad en rellenos sanitarios. La generación de residuos sólidos por fuente se describen en la Figura 20:



Figura 20. Residuos sólidos por fuente.

En general, los tratamientos de residuos se basan en algunos de los siguientes mecanismos:

➤ **Eliminación física del contaminante**

A través de operaciones de separación, tales como: filtración, sedimentación, adsorción, absorción, extracción, etc.

➤ **Destrucción o transformación química/biológica del contaminante**

Transformando el contaminante a una forma menos contaminante y/o eliminable de la corriente de descarga. Por ejemplo, a través de un tratamiento aeróbico, combustión del material orgánico, transformación de óxido de azufre a sulfato, etc.

➤ **Consumo del material contaminante**

Ya sea recuperando y reciclando compuestos reutilizables o generando nuevos subproductos (ejemplo: digestión anaeróbica (metano), fertilizantes, combustibles (sólidos), etc.). Muchas veces los procesos de tratamiento simplemente cambian la fase en la que se encuentra presente el contaminante, con lo que el problema ambiental puede persistir.

A veces, dicho cambio de fase permite un mejor manejo del material contaminante, disminuyendo su impacto final. Tal es el caso de los tratamientos aeróbicos, donde los compuestos orgánicos disueltos en el efluente son utilizados en los procesos de metabolismo celular e incorporados a la biomasa, la cual puede ser separada y desechada con mayor facilidad. De este modo, el tratamiento sirve como una etapa de concentración de los residuos.



Criterios de Selección de Operaciones Unitarias para el Tratamiento de Residuos

Existe una amplísima gama de tecnologías que sirven para la remoción, destrucción, transformación o utilización de residuos. La Tabla D.7 muestra una lista de procesos disponibles para la remoción de contaminantes específicos. Casi todas estas operaciones son operaciones unitarias, que están establecidas en la industria de procesos.

Tabla D. 7. Operaciones Unitarias para la eliminación de contaminantes.

Contaminante	Operaciones Unitarias
Grasas y Aceites Libres y Emulsificados	<ul style="list-style-type: none">• Separación por Gravedad• Filtración• Flotación
Sólidos Suspendidos	<ul style="list-style-type: none">• Sedimentación• Coagulación y Sedimentación Flotación• Filtración
Materia Orgánica Disuelta	<ul style="list-style-type: none">• Tratamiento Biológico Aeróbico Tratamiento Biológico Anaeróbico Adsorción• Oxidación Química
Sólidos Inorgánicos Disueltos	<ul style="list-style-type: none">• Evaporación• Intercambio Iónico• Ósmosis Inversa• Electrodialisis
Ácidos y Alcalis	<ul style="list-style-type: none">• Neutralización
Gases y Material Particulado	<ul style="list-style-type: none">• Incineración• Absorción• Ciclones• Precipitación Electroestática
Residuos Sólidos y Lodos de Tratamientos	<ul style="list-style-type: none">• Tratamiento biológico• Incineración• Vertederos controlados• Compostado/Fertilizante/ Forraje• Utilización Termoquímica (Carbón Activado, Licuefacción, Gasificación)



Sistemas de tratamiento de residuos sólidos

Los residuos sólidos de origen industrial ofrecen una gran oportunidad para implementar una gestión adecuada, con vistas a recuperar recursos materiales y facilitar el vertido de aquellos que no tengan valor comercial. Los residuos sólidos finales se pueden minimizar a partir de un conjunto de medidas para segregarlos y reutilizarlos, de tal modo que solo una mínima fracción del total deba ser vertida al ambiente.

A continuación, se describen brevemente las principales opciones para la gestión y el tratamiento de los residuos sólidos industriales:

➤ **Confinamiento de los Residuos Sólidos Industriales**

El confinamiento de los residuos sólidos de origen industrial es una de las medidas más comunes a nivel mundial. Los residuos no peligrosos, inertes y asimilables a residuos sólidos urbanos (RSU) generalmente se almacenan en vertederos controlados. Estos son lugares donde los residuos se almacenan, se compactan y se cubren con una capa de material de relleno. Ya que generalmente se genera residuos líquidos secundarios, producto de las transformaciones biológicas y químicas que sufren los sólidos, se debe mantener una adecuada impermeabilización de las paredes del vertedero, particularmente, del fondo.

Las medidas preventivas necesarias para reducir los riesgos a la salud de las personas y a la calidad ambiental incluyen:

- recolección y tratamiento de lixiviados
- control de las emisiones gaseosas
- mantención de una cobertura permanente con material inerte, para evitar el acceso de roedores, insectos u otros vectores.

En el caso del confinamiento de residuos sólidos peligrosos, se debe seleccionar un lugar apropiado que garantice una barrera permanente entre dichos residuos y el entorno.

➤ **Tratamiento Biológico de Residuos Biodegradables**

Si el contenido de materia orgánica biodegradable de los residuos sólidos es significativo, se puede aprovechar la acción de microorganismos para reducir el volumen y estabilizar el residuo final. De este modo, se utiliza la materia orgánica presente como fuente de carbono para el crecimiento de microorganismos. Al respecto, existen dos opciones para el tratamiento biológico de residuos sólidos biodegradables:



- **Biodegradación anaeróbica:** La biodegradación se realiza en ausencia de oxígeno, para así promover la acción de bacterias anaeróbicas. Estos procesos ocurren naturalmente en los vertederos controlados donde se deposita residuos sólidos biodegradables. El residuo sólido se reduce a formas más estables, de tipo húmico. Además, se genera residuos secundarios, gaseosos y líquidos. Estos residuos secundarios contienen CH_4 , CO_2 , mercaptanos y compuestos orgánicos intermedios, los que deben ser tratados para evitar impactos ambientales no deseados. Generalmente, los gases residuales se recolectan y se someten a combustión. Los líquidos secundarios se tratan en sistemas de tratamiento de residuos líquidos diseñados adecuadamente.

Degradación aeróbica: Este proceso consiste en promover la biodegradación bajo condiciones aeróbicas a temperaturas en el rango 40-65 °C, lo que permite transformar el residuo biodegradable en un sólido húmico de alto poder nutritivo para uso agrícola (*Composta*). Sin embargo, debe estar libre de metales pesados u otros compuestos que puedan afectar la calidad del suelo. Es muy utilizado para revalorizar los lodos obtenidos del tratamiento biológico de efluentes sanitarios.

➤ **Destrucción Térmica de los Residuos Sólidos**

Aquellos residuos sólidos que son inestables a altas temperaturas pueden ser destruidos mediante tratamiento térmico. Dicho tratamiento térmico puede ser efectuado en ausencia o en presencia de aire.

- **Proceso térmico en ausencia de oxígeno (Pirólisis):** Cuando el tratamiento a alta temperatura se realiza en ausencia de oxígeno, los sólidos se destruyen mediante pirólisis, generando un residuo sólido (20%), gases condensables (60%) y no condensables (20%). El residuo sólido es rico en carbono y puede ser utilizado como combustible. La fracción no condensable está compuesta, principalmente, de CO_2 , CO y CH_4 con un poder calorífico aceptable para ser utilizado como combustible. Los sistemas basados en pirólisis se utilizan mayoritariamente en el tratamiento de residuos lignocelulósicos, para producción de carbón vegetal.
- **Proceso térmico con déficit de oxígeno (Gasificación):** Cuando el tratamiento térmico se realiza con una cantidad de oxígeno insuficiente para lograr una oxidación completa del material sólido, se genera gases con alto contenido de CO y CH_4 que pueden ser utilizados como combustible.



- **Proceso térmico en presencia de oxígeno (Combustión):** Si el proceso térmico se realiza en presencia de oxígeno en cantidades iguales o superiores al nivel estequiométrico ocurre una incineración del sólido, donde la reacción con el oxígeno lo transforma en cenizas inorgánicas y en gases residuales. La composición de tales gases residuales depende de la composición química de los sólidos combustibles y de las condiciones de operación.

➤ Tratamiento Físico-químico de Residuos Peligrosos

Algunos residuos sólidos peligrosos que presentan características de toxicidad, corrosión o reactividad pueden ser neutralizados mediante reacciones químicas ácido-base y oxidación-reducción. Los residuos peligrosos que generalmente se tratan mediante este tipo de procesos son: *residuos ácidos o alcalinos, aceites gastados, residuos orgánicos aromáticos emulsionados, lodos metálicos, lodos sulfúricos y clorhídricos, lodos cianurados, lodos con cromato*, entre otros.

→ *Neutralización Química:* Aquellos residuos peligrosos que presentan niveles de pH extremos (ej. H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , $NaOH$) deben ser neutralizados mediante adición de álcalis o ácidos, según corresponda.

→ *Oxidación Química:* Se utiliza cuando los componentes peligrosos orgánicos e inorgánicos presentes en el residuo son oxidables a formas inocuas o más susceptibles de ser separadas y destruidas posteriormente. Como agente oxidante se utiliza cloro molecular, hipoclorito, permanganato de potasio, peróxido de hidrógeno, ozono u oxígeno. Por ejemplo:

- Eliminación de cianuro, mediante la oxidación con Cl_2 para formar CO_2 y N_2 .
- Destrucción de compuestos orgánicos aromáticos mediante aplicación de ozono o peróxido
- Precipitación de metales pesados en forma de óxidos

→ *Reducción Química:* En muchos casos, los compuestos peligrosos se pueden transformar en moléculas inocuas mediante reducción química. Por ejemplo, el cromato Cr^{+6} puede ser reducido a Cr^{+3} , que es mucho menos tóxico e insoluble en medio alcalino. Se debe utilizar agentes reductores compatibles con la naturaleza del contaminante peligroso que se desea destruir. Dada las características no selectivas de muchos agentes químicos, se debe prevenir la formación de compuestos secundarios tóxicos.



➤ **Estabilización y Solidificación de Residuos Peligrosos**

Aquellos residuos sólidos peligrosos que tienen tendencia a disolverse en agua o a volatilizarse (ej. metales pesados solubles en agua, solventes orgánicos volátiles) deben ser estabilizados adecuadamente.

- **Estabilización:** Se utilizan aditivos para reducir la movilidad y la toxicidad del residuo. Existe una amplia variedad de métodos para estabilizar los componentes tóxicos y/o con mayor capacidad migratoria, dependiendo de la naturaleza física y química de dichos compuestos. En muchos casos, se utilizan aditivos para reducir la solubilidad o la volatilidad de los compuestos tóxicos.
- **Solidificación:** Se utilizan agentes solidificantes que se mezclan con el residuo sólido peligroso en cantidades suficientes como para formar una matriz sólida estable e inerte, que reduce la permeabilidad del residuo. Las matrices sólidas más utilizadas son: cemento, asfalto, vidrio y polímeros plásticos. La inmovilización permite incrementar los niveles de seguridad ya que reduce sustancialmente la capacidad de transporte de los contaminantes fuera del lugar de confinamiento.



RESULTADOS. MATERIAL DIDÁCTICO PROPUESTO

Preguntas y casos de estudio como material didáctico para complementar los temas de Atmósfera/Aire, Agua, Ruido y Suelo/Residuos Peligrosos.

ATMÓSFERA/AIRE

- *¿Cuáles son los principales componentes químicos de la atmósfera?*
 - *¿Cuál de estos compuestos presentes en la atmósfera consideras que es el más dañino?*
 - a) Vapor de Agua (H_2O)
 - b) CO_2
 - c) SO_2
 - *Mencionar los contaminantes atmosféricos más importantes de acuerdo a su clasificación.*
 - *¿Qué actividades generadas por el hombre conoces además de las ya mencionadas, que sean fuentes de contaminación?*
 - *¿De qué manera pueden afectar los contaminantes fotoquímicos?*
 - *¿Cuál ha sido el mayor impacto negativo que han tenido los CFC's?*
 - *¿Cuál es el mecanismo que se da en el cuerpo humano cuando se intoxica con Monóxido de Carbono (CO)?*
 - *En caso de un incendio. ¿Cuál es la principal causa de muerte?*
 - *¿Existen otras fuentes de emisión de SO_2 ? ¿Cuáles son?*
 - *Son gases que causan el calentamiento global:*
 - a) CO_2 , CH_4 , N_2O , HC, PFC y SF_6
 - b) CO_2 , CH_4 , O_3 , HFC, PFC y SF_6
 - c) CO_2 , CH_4 , S_2O , HFC, PFC y SF_6
 - d) CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC y SF_6
 - *¿De qué manera se podría aprovechar el metano (CH_4) en pro del medio ambiente?*
 - *¿De qué manera afecta la lluvia ácida a las plantas y/o suelo?*
 - *En que unidades se mide el nivel de contaminación?*
 - *¿Cuáles son las 4 operaciones unitarias empleadas para el control de contaminantes?*
- ✓ Casos de estudio:

→ Accidente en Bophal, India



La mañana del 3 de Diciembre de 1984, una válvula de alivio de un depósito de almacenamiento de la planta de Union Carbide India Ltd. que contenía una sustancia altamente tóxica, el Isocianato de Metilo (MIC), produjo un escape al exterior de aproximadamente 26 Tm de esta sustancia. La nube tóxica que se formó, afectó la ciudad de Bophal, de aproximadamente 800,000 habitantes. Aunque las cifras de muertos y heridos son muy imprecisas, se puede decir que se produjeron entre 2,500 y 4,000 muertos y más de 180,000 heridos y afectados.

Vertido: 50 toneladas de Isocianato de Metilo (MIC) en un segundo, a una altura de 60 m.

Condiciones:

- Viento del noroeste de fuerza 1 m/s
- Noche: $K_x = K_y = 0.35 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, $K_z = 0.15 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$

$$\sigma = (2Kt)^{1/2}$$

¿Cuál sería la concentración del Isocianato de Metilo (MIC)?

→ Calcular la concentración de cloro de un escape de 0.5 kg/s situado a 2 m sobre el suelo, que afectaría a un punto localizado a 90 m en la dirección del viento, a 15 m en dirección transversal del mismo y 1.5 m de altura. Las condiciones meteorológicas corresponden a estabilidad D, velocidad del viento 4 m/s (a 10 m de altura).

Datos: Rugosidad del suelo equivalente a urbana y estabilidad meteorológica D, $p = 0,25$

- Temperatura ambiente $T_a = 25 \text{ °C}$ (298 K)
- Presión atmosférica $P = 1 \text{ atm}$ absoluta
- Peso molecular Cl_2 $pM = 71$
- Constante de los gases $R = 0.082 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{atm}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$

AGUA

- ¿Cuáles son las principales actividades industriales y agrícolas del ser humano?
- ¿Cuál es la diferencia entre tratamientos físicos y tratamientos químicos?
- ¿Qué es lo que tienen en común los tratamientos químicos con los biológicos?



- *¿Cuáles son los organismos que se utilizan como indicadores para la identificación de contaminantes?*
- *¿A qué se le conoce como planta de tratamiento y cuál es su principal función?*
- *¿Cuál es el mejor tratamiento para la separación de sólidos en un medio acuoso?*
- *¿Por qué las aguas superficiales no requieren un tratamiento de aereación?*
- *Los sistemas de tratamiento primario son útiles para:*
 - a) *Eliminar sólidos disueltos y volátiles*
 - b) *Retener sólidos sedimentables y partículas de gran tamaño*
 - c) *Remover microorganismos y materia orgánica disuelta*
 - d) *Ninguna de las anteriores*
 - e) *Inciso a y b*
- *¿Cuál es el reactivo químico que se utiliza frecuentemente en un proceso de coagulación-floculación? Puede ser más de 1 opción.*
 - a) *Sulfato de Alúmina (Alumbre)*
 - b) *Sulfato Férrico*
 - c) *Cloruro Férrico*
 - d) *Aluminato de sodio*
- *¿Cuál es el valor correspondiente a una relación DBO_5/DQO de característica altamente biodegradable?*
 - a) *10.0*
 - b) *0.5*
 - c) *0.1*
 - d) *5.0*
 - e) *1.0*
- *¿Cuál es la diferencia entre digestión aerobia y anaerobia?*
- *Proponer un tren de tratamiento para aguas grises*
- *Proponer un tren de tratamiento para aguas negras*
- *¿Cuáles son los principales contaminantes presentes en las aguas residuales?*
 - a) *Cd, Cr, Ni, Mn, Fe, Zn*
 - b) *Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni*
 - c) *Hg, Fe, Cd, Ni, Mn, Pb*



- d) *Hg, Pb, Cr, Co, Ag, Pt*
- *¿Cuál es el principal objetivo del proceso de coagulación?*
 - a) *Eliminación o reducción de colores y olores*
 - b) *Reducción de la DBO*
 - c) *Desinfección*
 - d) *Oxidación de los iones metálicos*
 - *¿Qué tipo de lodos son los que contienen biomasa en exceso producida en los procesos biológicos?*
 - a) *Lodos secundarios*
 - b) *Lodos primarios*
 - c) *Lodos terciarios*
 - *¿Cuáles son las principales formas de aprovechamiento de lodos?*
 - ✓ *Casos de estudio:*

→Se tiene el caso de que una Industria Química genera un agua residual (AR) que posee las siguientes características:

Caudal: 95 L/s

Etanol (C₂H₅OH): 160 mg/L

Ácido metanóico(CH₂O₂): 500 mg/L

Sólidos en suspensión: 600 mg/L

[Pb²⁺]: 4 mg/L

Para esta agua indique:

- a) La DBO total del agua residual debida a la presencia de etanol (C₂H₅OH) y del ácido metanóico (CH₂O₂)
- b) Si se pudiese eliminar selectivamente el ácido metanóico, oxidándolo hasta CO₂ con dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) en medio ácido, proceso en el que el dicromato se reduce hasta Cr²⁺, ajustar la ecuación iónica de óxido-reducción que tendría lugar y calcular el volumen diario de la solución de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) [2M] expresado en m³



- c) Las toneladas anuales de lodos húmedos, retiradas con un 40% de humedad, que se producirán si los sólidos en suspensión se reducen hasta 30 mg/L si se disminuye la $[Pb^{2+}]$ precipitándolo por adición estequiométrica de una solución de carbonato de sodio Na_2CO_3 .
- d) ¿Cuál será el consumo diario de carbonato de sodio sólido de pureza de 95%? ¿Cuál será la concentración de $[Pb^{2+}]$ expresada en ppb, en el agua residual una vez tratada?

→ Las aguas residuales del presado de pulpa de una Industria Azucarera tienen un contenido de sacarosa ($C_{12}O_{22}H_{11}$) de 2500 mg/L y de sólidos en suspensión de 15 g/L sabiendo que su caudal es de 0.6 m³/ton de azúcar producido. Calcular para una azucarera que produzca 1500 toneladas mensuales de azúcar.

- a) ¿Cuál sería la DBO total de esta agua suponiendo que se produce una oxidación completa de sacarosa?
- b) Si para depurar las aguas residuales se opta por un proceso anaeróbico, logrando que el carbono de la sacarosa se transforme en metano (CH_4) con un rendimiento del 75%. Calcular la cantidad de metano (CH_4) generado mensualmente expresándolo en m³ medidos en condiciones normales.
- c) Si los sólidos en suspensión se reducen hasta 35 mg/L, retirándose como lodos húmedos con una humedad de 60%. Calcular el peso mensual de lodos producidos.
- d) ¿Qué cantidad de carbón, de PCI 7200 kcal/kg y contenido de azufre de 2 % se podría ahorrar mensualmente empleando en su lugar metano (CH_4) generado en el proceso de depuración?
- e) ¿Cuáles serían las emisiones de SO_2 a la atmósfera (expresado en ppm y en mg/Nm³) si en lugar de metano (CH_4) generado se emplea carbón mencionado en apartado d), teniendo en cuenta que las emisiones de gases a la atmósfera son de 7000 Nm³/tonelada de carbón?

→ Una muestra de agua residual que llega a una depuradora, fue sometida al ensayo de incubación reglamentario para la determinación del parámetro DBO_5 . Para ello, y dado que probablemente el valor sea alto, se diluyeron 50 mL del agua residual hasta 1L con agua exenta de oxígeno (O_2).

En esta nueva disolución se determina la concentración de oxígeno disuelto antes del ensayo de incubación y al finalizar el mismo, después de 5 días, obteniéndose los valores de 10 y 2 mg O_2 /L respectivamente. ¿Cuál es el valor del parámetro DBO_5 ?



RUIDO

- *¿Qué es el ruido?*
¿Cómo se mide el ruido?
- *¿Cuáles son los límites máximos permitidos de ruido durante la jornada de trabajo?*
- *¿Cuáles son las enfermedades o daños que puede ocasionar estar tanto tiempo expuesto a un ruido con dB por encima de lo que puede soportar el ser humano?*
- *¿De qué manera podemos prevenir estos daños o enfermedades?*
- *¿Qué lugar ocupa el oído en la importancia del ser humano?*
 - a) *2^{do} lugar*
 - b) *1^{er} lugar*
 - c) *4^{to} lugar*
 - d) *3^{er} lugar*
- *La contaminación sonora constituye un factor:*
 - a) *Físico*
 - b) *Químico*
 - c) *Biológico*
 - d) *Psicosocial*
- *¿Qué otros métodos propondrías para la prevención de la contaminación sonora?*
-

SUELO/RESIDUOS PELIGROSOS

- *¿Cuáles son las principales causas de afectación al suelo?*
- *Mencione al menos 3 características del suelo*
- *Tipo de roca que es el resultado de la acción del clima sobre las rocas ya existentes:*
 - a) *Roca metamórfica*
 - b) *Roca ígnea*
 - c) *Roca sedimentaria*
- *¿A qué se le conoce como humus?*
- *¿Por qué es importante la textura del suelo?*

- *¿Cuál es la diferencia entre residuos orgánicos biodegradables y residuos peligrosos?*



- *¿Qué tipo de tratamiento actúa sobre los contaminantes en el lugar en el que se localizan?*
 - a) *In situ*
 - b) *Ex situ*
 - c) *Ninguna de las anteriores*
- *¿A qué técnica también se le conoce como “estabilización/solidificación”?*
 - a) *Técnica de confinamiento*
 - b) *Técnica de descontaminación*
 - c) *Técnica de contención*
- *¿Cuál es la principal razón del porqué se contaminan los suelos?*
- *Orden de las etapas involucradas en el estudio y limpieza de un sitio contaminado*
 - a) *Evaluación, Identificación, Clasificación, Restauración, Asignación de un nuevo suelo*
 - b) *Identificación, Clasificación, Evaluación, Restauración, Asignación de un nuevo suelo*
 - c) *Identificación, Evaluación, Clasificación, Restauración, Asignación de un nuevo suelo*
- *¿Cuáles son los principales gases que se generan a partir de la descomposición de los residuos orgánicos?*
 - a) *CO, CO₂*
 - b) *CH₄, H₂S*
 - c) *CO₂, H₂S*
 - d) *CH₄, CO₂*
- *Ejemplificar al menos 2 clases de residuos de manejo especial por fuentes particulares*
- *¿Qué significan las siglas C.R.E.T.I.B dentro de la clasificación de los residuos peligrosos?*
- *¿Qué implica una Gestión Integral de Residuos?*
- *¿Qué porcentaje de residuos sólidos generan los mercados?*
- *¿Normalmente, qué tipo de residuos sólidos son los que mayormente se generan?*
- *¿Cuál es la operación unitaria que se utiliza para la eliminación de ácidos y álcalis?*
 - e) *Filtración*
 - f) *Coagulación*
 - g) *Neutralización*
 - h) *Flotación*
 - i) *Absorción*



- ¿Cuál es la medida más común a nivel mundial que se utiliza para los residuos de origen industrial?
- ¿Cómo se le llama al proceso térmico en ausencia de oxígeno?
 - a) Pirólisis
 - b) Gasificación
 - c) Combustión
- ¿Qué agente oxidante se utiliza comúnmente para la eliminación de cianuro?
 - a) KMnO_4
 - b) H_2O_2
 - c) O_2
 - d) Cl_2
 - e) O_3

✓ Casos de estudio:

→ En una incineradora se queman diariamente 50 toneladas de unos residuos que contienen varios compuestos mercúricos, con una concentración total de 2.5 g de mercurio (Hg) por kg de residuo.

Si en el proceso de incineración el mercurio (Hg) se emitiera en forma de átomo gaseoso, expresado tanto en ppm como en mg/Nm^3 , sabiendo que el caudal de gases es de $20 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ de residuo incinerado, ¿Cuál sería la concentración final?

→ Una ciudad de 200,000 habitantes genera 2 kg de residuos urbanos por persona/día, que se someten a un tratamiento de incineración. La densidad de los mismos es de $0.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ y el contenido de azufre es de un 0.6%. Calcular:

- a) Si todo el azufre se transforma durante la incineración en SO_2 , ¿Qué cantidad estequiométrica de caliza, del 80% de pureza en carbonato de calcio (CaCO_3), debe emplearse diariamente para eliminar, en forma de sulfato de calcio (CaSO_4), el 95% de los óxidos de azufre (SO_x) generados? Exprese el resultado en toneladas.
- b) ¿Cuál será la concentración de SO_2 en los gases de emisión depurados si para cada kg de residuo incinerado, se genera 14 Nm^3 de vertido de cascajo? Expresar en ppm y en mg/Nm^3 .
- c) Si el 15% del vertido incinerado permanece como cenizas de densidad de $1.3 \text{ g}/\text{cm}^3$ ¿Qué volumen mínimo, expresado en m^3 , debería tener el vertedero en el que van a depositarse si se pretende que tenga una vida útil de 65 años?



CONCLUSIONES

La presente tesina tuvo como objetivo hacer una compilación de preguntas y casos de estudio como material didáctico para aplicarse en las asignaturas involucradas en el área Ambiental las cuales se imparten en 2 carreras de la Facultad de Química enfocados a la enseñanza de los estudiantes de las Licenciaturas Química e Ingeniería Química.

Para realizar esto, primero se realizó una recopilación de la información curricular de las asignaturas involucradas, después, se realizaron diferentes matrices con los temas afines de las asignaturas involucradas en el área Ambiental (Ingeniería Ambiental, Protección Ambiental I, Protección Ambiental II, Protección Ambiental III y Química Ambiental) con el objeto de elaborar un comparativo y un análisis de los temas de cada asignatura para poder recopilar lo más importante. En seguida de ello, se realizó una investigación y revisión bibliográfica, artículos y casos de estudio respecto a los temas involucrados y una vez hecho esto, se desarrolló a fondo los temas para la elaboración del material didáctico; finalmente, se concluye con el material didáctico propuesto acerca de los temas de *Aire/Atmósfera, Agua, Ruido y Suelo*, los cuales son grandes temas de la rama Ambiental para las materias impartidas en la Facultad de Química, las cuales, tienen relación directa con el Medio Ambiente: Ingeniería Ambiental (1742) Protección Ambiental I (0273) Protección Ambiental II (0274) Protección Ambiental III (0275) Química Ambiental (0033). Con este material didáctico propuesto, se pretende complementar de manera adicional al marco teórico desarrollado de los temas ambientales *Aire/Atmósfera, Agua, Ruido y Suelo* para reforzar los conocimientos de los estudiantes y tener un enfoque diferente para el aprendizaje.

Durante la elaboración de la presente tesina, se llegó a la conclusión que se debe hacer una revisión de los mapas curriculares de las asignaturas por lo menos cada 2 años por las actualizaciones que van surgiendo; es importante esta revisión puesto que, los temas que abarcan ya no son los mismos y las normas que rigen estos temas van siendo modificadas para el beneficio de la sociedad. Un ejemplo es, la clasificación de los residuos peligrosos “CRETIB” (Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico-Infecioso); actualmente esa clasificación ya no se maneja de esa forma, ahora es “CRETI” y los Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos (RPBI).

Otra de las cosas que es importante mencionar, es el desarrollo de un tema sumamente importante hoy en día, el “*Desarrollo Sustentable*”. Algunos de los



factores que se encuentran dentro del desarrollo sustentable son: el crecimiento poblacional, la demanda energética, el cambio climático, la escasez de recursos y del agua, y el manejo de residuos. A lo largo de los años se ha demostrado que el crecimiento económico está estrechamente relacionado con una creciente demanda de electricidad, pero el alcance de la vinculación depende del nivel de desarrollo económico de cada país. Sin embargo, en los últimos años estas variables han empezado a distanciarse o desacoplarse, derivado de las mejoras de eficiencia energética y el declive de la industria de alto consumo energético que han disminuido la intensidad del uso de energía eléctrica.

Uno de los principales retos que enfrenta México en materia de desarrollo sustentable es incluir al medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social. El vínculo que existe entre el desarrollo sustentable, la protección al medio ambiente y el comercio internacional es muy estrecho. La preservación de la ecología y los avances científicos se han convertido en algunas de las prioridades de los miembros de la comunidad internacional.

En la actualidad, al proponer este tipo de material didáctico, se pretende que los estudiantes adopten la forma de ser autodidacta y de esta manera, forzarlos a estudiar e investigar para adquirir más conocimientos. Por último, en el Diagrama 1 se muestra de manera general la relación que tienen los temas que destacan en el Área Ambiental.



Diagrama 1. Temas destacados del
Área Ambiental



BIBLIOGRAFÍA

- *Accidente de Bhopal*. Disponible en línea en la siguiente liga: <https://www.unizar.es/guiar/1/Accident/Bhopal.htm> Consultado el 25 de Abril del 2018.
- *Actualización de la NOM-044. Información para la toma de decisiones*. Disponible en línea en la siguiente liga: <http://cofemersimir.gob.mx/expediente/13896/mir/33123/archivo/925144> Consultado el 8 de Octubre del 2018.
- Arellano Díaz J. *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. 1^{era} Edición. Editorial Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. 2002.
- Baird C. *Química Ambiental*. 2^a Edición, Editorial Reverté. S.A., 2001.
- BOE, L. C. (15 de Noviembre de 2007). *Ley 34/2007*. Obtenido de BOE-A-2007-19744 : <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-19744-consolidado.pdf>
- *Calidad del aire: Una práctica de vida*. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf> Consultado el día 7 de Marzo del 2018.
- Calderón Tito R., Sumarán Herrera R. N., Chumpitas Panta J. L., Campos Salazar J. P. *Educación Ambiental. Aplicando el enfoque ambiental hacia una educación para el Desarrollo Sostenible*. Primera Edición, Octubre 2011. Consultado el 17 de Enero del 2018.
- *Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión*. (2018). Obtenido de LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf
- Católica, P. U. (s.f.). *TECNOLOGÍAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS A CARBÓN*. Obtenido de <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno10/mitigacion/Camara%20sedimentacion.html>
- Centro de Calidad Ambiental, U. (s.f.). *NORMA MEXICANA NMX AA-54-1978*. Obtenido de <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa054.pdf>
- Cerón García J.C., Moreno López M.J., Olías Álvarez M. *Contaminación y Tratamiento de Aguas. Módulo III. Máster Universitario de Ingeniería Ambiental*. 2^{da} Edición. Universidad de Huelva. Enero 2005.
- Cheremisinoff N.P. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. Editorial Butterworth Heinemann. 2002.
- *Circulación vertical y estabilidad atmosférica*. (s.f.). Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteorololeccion4.pdf
- D. Mackenzie L., Masten S. J., *Ingeniería y ciencias ambientales*. Ed. Mc Graw Hill Interamericana 2004.



- DGN, S. d. (2001). *NMX-AA-010-SCFI-2001*. Obtenido de http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Varios/Leyes_y_Normas_SEMARNAT/NMX/Atmósfera/1.2001.pdf
- Díaz, J. A. (2002). *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.
- Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. Sedesol. México 2012.
- *Educación para vivir sin ruido*. Disponible en línea en la siguiente liga: http://aprendersinruidomadrid.com/para_conocer/la-medicion-del-ruido.htm Consultado el 22 de Noviembre del 2018.
- *El adelgazamiento de la capa de ozono: algunos obstáculos para su aprendizaje*. Disponible en línea: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen2/REEC_2_2_4.pdf Consultado el 9 de Marzo del 2018.
- *El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en CEPSA*. Disponible en línea en la siguiente liga: https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio%20Ambiente_Seguridad_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf Consultado el 7 de Marzo del 2018.
- ENQUIOL. (s.f.). *Lavadores de gases*. Obtenido de http://www.enquiol.com/pg_scrubber.html
- Ernesto Martínez Ataz y Yolanda Díaz de Mera Morales. *Contaminación atmosférica* Universidad de Castilla-La Mancha. 2004
- Ernesto Martínez Ataz, Yolanda Díaz de Mera Morales, *Contaminación atmosférica*. Volumen 45 de Colección Ciencia y técnica / Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. Editor Univ de Castilla La Mancha, 2004
- García Reynoso J.A. *Protección Ambiental del Aire*. 1ª Edición, Comité Editorial de la Facultad de Química, 2016.
- Escobedo Guerrero G. G., Andrade Vallejo M.A. *Desarrollo Sustentable. Estrategia en las empresas para un futuro mejor*. 1ra Edición. Editorial: Alfaomega, 2018.
- Farman J. C., Gardiner B. G., Shanklin J. D. *Large Losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction*. Nature Vol.. 315. 16 May 1985.
- Gavilán Irma, Aburto Susana “*Diseño de herramientas didácticas basado en competencias para la enseñanza de la química ambiental*” Educación Química 24, 2013.
- Glynn Henry J., Heinke G. W. *Ingeniería Ambiental*. 2ª Edición, Editorial Prentice Hall, México, 1999.
- Gobernación, S. d. (Febrero de 2018). *Diario Oficial de la Federación; NORMA Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2017*,. Obtenido de



- www.dof.gob.mx:
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5513626&fecha=19/02/2018
- J. Spedding. Editor Reverte, *J Contaminación atmosférica* . 1981
 - *La Estratósfera*. Disponible en línea en la siguiente liga: https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/CA_old/php/apuntesCA0607_Tema4.pdf Consultado el 8 de Octubre del 2018.
 - *La Gestión Ambiental en México*. SEMARNAT. 2006.
 - *La Importancia del Desarrollo Sustentable*. Disponible en línea en la siguiente liga: <https://www.emprendices.co/la-importancia-del-desarrollo-sustentable/> Consultado el 11 de Octubre del 2018.
 - *Las inversiones térmicas*. Disponible en línea en la siguiente liga: <http://www.revistaciencias.unam.mx/pt/170-revistas/revista-ciencias-22/1538-las-inversiones-térmicas.html> Consultado el 9 de Marzo del 2018.
 - Limón Macías J. G., *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿Problema o Recurso?*. 2013 Disponible en línea: http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_qualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf Consultado el 14 de Mayo del 2018.
 - López Vázquez C.M., Buitrón Méndez G., García H.A., Cervantes Carrillo F.J., *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principio, Modelación y Diseño* Ed. IWA Publishing 2017.
 - *Los cationes*. (12 de Noviembre de 2016). Obtenido de loslocationesp5.blogspot.com: <http://loslocationesp5.blogspot.com/2016/11/inversion-termica.html>
 - MALLORCA, A. D. (s.f.). *Línea Verda Calvià*. Obtenido de LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: <http://www.liniaverdocalvia.com/lv/consejos-ambientales/los-contaminantes-atmosfericos/contaminacion-atmosferica.asp?lng=es>
 - Martínez Llorente J., Peters J. *Contaminación Acústica y ruido*. Ed. Ecologistas en Acción. 3era Edición, Octubre 2015.
 - *Medidas del ruido*. Disponible en línea en la siguiente liga: https://www.ugr.es/~ramosr/CAMINOS/conceptos_ruido.pdf Consultado el 22 de Noviembre del 2018.
 - *Memorias de los Seminarios Multidisciplinarios*. Disponible en línea en la siguiente liga: http://ambiental.uaslp.mx/pmpca/docs/Multi_Ago-Dic2014.pdf Consultado el 13 de Agosto del 2018.
 - Metrología, S. d. (Septiembre de 2016). *ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA NOM-081-SEMARNAT – DISCUSIÓN DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES Y MÉTODO DE MEDICIÓN*. Obtenido de <http://www.cenam.mx/sm2016/pdf/1889.pdf>



- Mihelcic J.R., Zimmerman J.B. *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño*. 1ª Edición, Editorial Alfaomega Grupo Editor S.A de C.V., 2012.
- *Modelos de Concentración de Contaminantes Atmosféricos*. Disponible en línea en la siguiente liga: https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/CA_old/php/apuntesCA0607_Tema2.pdf Consultado el 8 de Octubre del 2018.
- *Modelos de concentración y dispersión de contaminantes atmosféricos*. Disponible en línea en la siguiente liga: <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/CA/Tema2.pdf> Consultado el 18 de Abril del 2018.
- MSc. Bermúdez M. *Contaminación y Turismo Sostenible*. CETD SA, 2010. Consultado el 17 de Enero del 2018.
- Naturales, S. d. (s.f.). *gob.mx*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/clasificacion-reciclaje-y-valoracion-de-los-rsu>
- *NMX-AA-054-1978*. Disponible en línea: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa054.pdf> Consultado el 4 de Abril del 2018.
- *NOM-081-SEMARNAT-1994*. Disponible en línea en la siguiente liga: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5324105 Consultado el 22 de Agosto del 2018.
- Ortiz Bernad I., Sanz García J., Dorado Valiño M., Villar Fernández S. *Informe de vigilancia tecnológica. Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. CITME.
- *PRECIPITACIÓN QUÍMICA ABLANDAMIENTO DEL AGUA*: Disponible en línea en la siguiente liga: http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Precipitacion_quimica_ablandamiento.pdf Consultado el 27 de Marzo del 2018.
- Ramalho, R. S. *Tratamiento de Aguas Residuales* Editorial Reverté S. A.
- *Remediación y Revitalización de Sitios Contaminados: Casos Exitosos en México*. Disponible en línea en la siguiente liga: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001789.pdf> Consultado el 20 de Agosto del 2018.
- Rodríguez Fernández-Alba A., Letón García P., Rosal García R., Dorado Valiño M., Villar Fernández S., Sanz García J. M. *Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales. Informe de Vigilancia Tecnológica*. Editorial Confederación Empresarial de Madrid-CEOE. 2006.
- Sáenz Palacios C. *Protección Atmosférica. Módulo: Contaminación Atmosférica*. EOI Escuela de Negocios. 2007/2008.



- SEGOB. (2018). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de www.dof.gob.mx:
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4866673&fecha=13/01/1995
- Seinfeld J. H., Pandis S. N., *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change* 2da. Edición. Editorial John Wiley & Sons, INC. 2006.
- SEMARNAP, *Taller de Evaluación de Emisiones Contaminantes a la Atmósfera*. Disponible en línea en la siguiente liga:
http://repositorio.inecc.gob.mx/ae/ae_007019.pdf Consultado el 15 de Marzo del 2018.
- SENER. Secretaría de Energía. *Prospectiva del Sector Energético 2015-2029. México. 2015*.
- Sepúlveda Ruiz L. *La Contaminación Ambiental. Antecedentes, actividades y noticias*. Ministerio de Educación, Santiago, 1999. Consultado el 17 de Enero del 2018.
- *Sonómetro*. Disponible en línea en la siguiente liga:
<http://www.laanunciataikerketa.com/trabajos/muchoruido/equipos.pdf>
Consultado el 22 de Noviembre del 2018.
- *Sonoridad*. Disponible en línea en la siguiente liga:
<http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/son.html> Consultado el 20 de Noviembre del 2018.
- Stanley E. Manahan. *Introducción a la química ambiental* Traducido por Ivette Mora Leyva. Editor Reverte, 2007.
- Turmo S. Emilio, Cuscó V. José Ma. *NTP 329: Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales continuas 1991*.
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_329.pdf Consultado el 18 de Abril del 2018.
- *Una jerarquía casi universal de los cinco sentidos*. Disponible en línea en la siguiente liga:
https://elpais.com/elpais/2015/01/24/ciencia/1422086221_322820.html
Consultado el 24 de Agosto del 2018.
- UNIÓN, C. D. (Junio de 2018). *LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE*. Obtenido de www.diputados.gob.mx:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf
- UNIÓN, C. D. (Julio de 2018). *LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO*. Obtenido de www.diputados.gob.mx:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf
- UNIÓN, C. D. (Enero de 2018). *LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS*. Obtenido de



- www.diputados.gob.mx:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf
- UNIÓN, C. D. (Junio de 2018). *LGEEPA*. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf
 - UNIÓN, C. D. (Enero de 2018). *LGPGIR*. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf
 - Unión, C. d. (2016). *LEY DE AGUAS NACIONALES*. Obtenido de [www.diputados.gob.mx:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf)
 - U.S. Environmental Protection Agency (EPA) <https://www.epa.gov>
Consultado el día 18 de Abril del 2018.
 - Vallero, Daniel A. *Fundamentals of Air Pollution* 4ta. Edición. Editorial El Sevier, 2008.
 - Zaror Zaror C. A., *Introducción a la Ingeniería Ambiental para la Industria de Procesos*. Concepción 2002.