



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
“ZARAGOZA”**

**EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL POR LA  
INDUSTRIA DEL ESTADO DE QUERÉTARO EN  
OPERACIÓN NORMAL.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA:**

**RIVERA DOMÍNGUEZ CARMELO HIPÓLITO**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSÉ AGUSTÍN GARCÍA REYNOSO**



**MÉXICO D.F**

**MAYO**

**2009**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA"  
JEFATURA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/011/09

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: RIVERA DOMÍNGUEZ CARMELO HIPÓLITO  
PRESENTE

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha prometido a los siguientes amodales:

PRESIDENTE	I. Q. Mario Barroso Moreno
VOCAL	Dr. José Agustín García Reynoso
SECRETARIO	I. Q. Gonzalo Rafael Coello García
SUPLENTE	M. En C. Martha Flores Becerril
SUPLENTE	I. Q. Alejandro Juvenal Guzmán Gómez

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

México D. F., a 17 de Marzo de 2009

JEFA DE LA CARRERA

  
I. B. Q. HILDA OLVERA DEL VALLE

"ZARAGOZA"

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mis Padres:**

Porque siempre me apoyaron en todo y  
la paciencia que tuvieron para concluir  
esta meta.

Gracias y Perdón

**Dr. José Agustín García Reynoso:**

Por compartir sus conocimientos y su tiempo dedicado al dirigir esta tesis.

## **DEDICATORIA**

### **Padres**

Por la Confianza y Comprensión que me tuvieron,  
para brindarme:

**UNA EDUCACIÓN**

### **Hermanos y Hermana**

Por el respaldo recibido para  
realizar y concluir esta Tesis.

### **Amigo y Otros**

A todos aquellas personas que me otorgaron su apoyo para alcanzar un  
escalón más.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
1.0.-OBJETIVOS.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos particulares.....	3
1.1 Aspectos Geográficos del Estado de Querétaro.....	3
1.2.- Contaminantes Criterio.....	4
1.3.- Tóxicos Atmosféricos.....	10
DESCRIPCIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL.....	12
2.1 Riesgo Ambiental.....	12
2.2 Emisiones de Tóxicos Atmosféricos (Marco Legal).....	14
DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	17
3.1 Estimación y Medición de Riesgo.....	17
3.2 Factor de Dilución.....	17
3.3 Evaluación del Riesgo a la Salud.....	18
3.4 Priorización del Riesgo.....	20
3.5 Estimación del Riesgo.....	21
3.5.1 Riesgo Individual Máximo a Cáncer (MICR).....	21
3.5.2 Carga de Exceso de Cáncer en la Población.....	21
3.5.3 Pérdida de Esperanza de Vida.....	22
RESULTADOS.....	24
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
5.1 Conclusiones.....	26
5.2 Recomendaciones.....	26
5.3 Propuestas particulares.....	27
BIBLIOGRAFÍA.....	28
ANEXOS.....	29
Anexo 1 Reporte de RETC en el Estado de Querétaro del año 2004.....	29
Anexo 2 Memoria de Cálculo.....	30
Anexo 3 Tabla de Referencia.....	32
Anexo 4 Acrónimos.....	33
Anexo 5 Glosario.....	34

## RESUMEN

En este trabajo se presenta una evaluación de riesgo ambiental para sustancias tóxicas atmosféricas en el estado de Querétaro. Las sustancias evaluadas son el acetaldehído, benceno y formaldehído que son calificadas como peligrosas ya que pueden provocar cáncer.

En el capítulo primero se describen los aspectos generales del estado así como información general sobre contaminación ambiental.

La investigación se desarrolló con base en los datos generados por el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) en el cual se reportan los contaminantes emitidos por los distintos sectores industriales en el Estado de Querétaro en el año 2004, que fue el primer informe obligatorio del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), este registro se logró gracias al esfuerzo y participación del sector industrial, la sociedad civil, la academia y el gobierno.

Por otro lado el capítulo segundo da una clasificación de los riesgos y una descripción general del riesgo ambiental generado por el sector industrial en la región. También los efectos de los compuestos atmosféricos sobre la salud de la población.

En el capítulo tercero se describe la metodología de evaluación de riesgos para las emisiones industriales empleando, los Parámetros: Factor de Dilución ( $\mathcal{N}/Q$ ) y el Factor Unitario de Riesgo (URF), con los cuales se realizó la valorización del riesgo hacia la población de los alrededores de establecimientos industriales, en donde están instaladas las industrias generadoras de dichos contaminantes.

En el capítulo cuarto, en éste se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de riesgos y donde el nivel de riesgo encontrado es mayor que el nivel de riesgo recomendado para concentraciones ambientales.

En el capítulo quinto se presentan las conclusiones y las recomendaciones de este trabajo.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El Estado de Querétaro fue seleccionado para este estudio debido a su cercanía al Estado de México y a la Ciudad de México, que son considerados como zonas altamente industriales. Es un estado que es industrial y son varios los sectores industriales localizados en el mismo, entre ellos podemos mencionar los siguientes de mayor importancia por su tamaño, su capacidad instalada y la generación de empleo en el estado; la industria Química, la Automotriz, la de Generación de Energía Eléctrica, Metalúrgica y Siderúrgica, así como Pinturas y Tintas.

### 1.0.-OBJETIVOS

#### Objetivo General

Obtener el riesgo atmosférico ambiental por contaminantes no criterio (tóxicos atmosféricos).

#### Objetivos particulares

- 1.-Evaluar el riesgo ambiental por emisiones de contaminantes de la industria de Querétaro.
- 2.- Obtener las emisiones de los compuestos tóxicos de la industria de Querétaro.
- 3.- Aplicar la metodología de evaluación de riesgos para las emisiones industriales.
- 4.- Jerarquizar las industrias a partir del riesgo ambiental que inducen.
- 5.- Evaluar los resultados obtenidos
- 6.- Identificar si se requiere de realizar estudios más a detalle.

### 1.1 Aspectos Geográficos del Estado de Querétaro<sup>1</sup>

#### Ubicación Geográfica

- 1.-Coordenadas Geográficas Extremas: Al norte 21° 40', al sur 20° 01' de latitud norte; al este 99° 03', al oeste 100° 36' de longitud oeste. (a)
- 2.-Porcentaje Territorial: El Estado de Querétaro representa el 0.6 % de la superficie del país. (b)
- 3.-Colindancias: Querétaro colinda al norte con Guanajuato y San Luis Potosí; al este con San Luis Potosí e Hidalgo; al sur con Hidalgo, México y Michoacán de Ocampo; al oeste con Guanajuato. (a)
- 4.- Capital: Santiago de Querétaro

Esta constituido el estado por 18 municipios, dentro de los cuales mencionamos los siguientes; la Corregidora, San Pedro Escobedo, Querétaro y San Juan del Río,

---

<sup>1</sup> FUENTE: (a) INEGI. Marco Geoestadístico, 2000. (b) INEGI-DGG. Superficie de la República Mexicana por Estados. 1999



porque en ellos se encuentran establecidos sectores industriales generadores de contaminación ambiental; además de contar con los parques industriales Querétaro, San Juan del Río y El Márques

## **1.2.- Contaminantes Criterio**

Un contaminante se define como toda materia ó sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones, ruido que al incorporarse o actuar en la atmosfera, agua, suelo, flora, fauna, o cualquier elemento ambiental altere o modifique su composición y afecte la salud humana.

Se les denomina contaminantes criterio, en función de que permiten establecer una base para definir una norma sobre su concentración dentro de un tiempo límite. Los contaminantes criterio son: monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, material particulado y plomo.

En la lista de contaminantes criterio incluía inicialmente a los hidrocarburos, también denominados compuestos orgánicos volátiles (COV), son precursores en la formación de ozono. El control adecuado de ellos se refleja en la reducción de la concentración de ozono en el aire. Para cada contaminante criterio se han establecido guías y normas. Las guías son recomendaciones para los niveles de exposición a contaminantes atmosféricos a fin de reducir los riesgos o proteger de los efectos nocivos. Las normas establecen las concentraciones máximas permisibles de los contaminantes atmosféricos durante un período definido. Son los valores límite diseñados con un margen de protección ante los riesgos.

En los últimos diez años, varios países al definir a las partículas totales en suspensión han especificado a las partículas con 10 micrómetros y con 2.5 micrómetros o menos de diámetro aerodinámico, estas partículas son comúnmente referidas como PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, respectivamente. La razón fundamental de esta especificación se debe a que las partículas más pequeñas son más peligrosas para la salud de los seres humanos porque son capaces de alcanzar la zona inferior de los pulmones.

La finalidad de las normas es proteger la salud humana (normas primarias) y proteger el bienestar del ser humano y los ecosistemas (normas secundarias). La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado guías sobre la calidad del aire y varios países de América Latina han establecido sus propias normas.

En el cuadro 1.1 se muestran los valores límites y tiempos promedio de muestreo de las normas nacionales de calidad del aire para: Ozono (O<sub>3</sub>), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Partículas Totales en Suspensión (PTS), PM<sub>10</sub>, Plomo. Que se han fijado en varios países de América y las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

<b>Cuadro 1.1</b> Valores límite (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y tiempos de muestreo de la calidad del aire.										
	Tiempo muestreo	Argentina	Bolivia	Brasil	Colombia	Chile	Estados Unidos	México	Venezuela	Guías OMS
Ozono	1 hr	195	236	160	170	160	235	216	240	-
	8 hrs	-	-	-	-	-	160	-	-	120
SO <sub>2</sub>	24 hrs	-	365	365	400	365	365	341	80-365 <sup>1</sup>	125
	Mensual	70 <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
	Anual <sup>3</sup>	-	80	80	100	80	80	79	-	50
NO <sub>2</sub>	1 hr	846 <sup>4</sup>	400	320	-	470	-	395	-	200
	24 hrs	-	150	-	-	-	-	-	100-300 <sup>5</sup>	-
	Anual <sup>3</sup>	-	-	100	100	100	100	-	-	40
CO	1 hr	57.000	30.000	40.000	50.000	40.000	40.000	-	-	30.000
	8 hrs	11.000	10.000	10.000	15.000	10.000	10.000	13.000	10.000-40.000 <sup>5</sup>	10.000
PTS	24 hrs	-	260	240	400	260	-	260	75 - 260 <sup>1</sup>	/ <sup>6</sup>
	Mensual	150	-	-	-	-	-	-	-	/ <sup>6</sup>
	Anual <sup>7</sup>	-	75	80	77	75	-	75	-	/ <sup>6</sup>
PM <sub>10</sub>	24 hrs	-	-	150	-	150	150 <sup>8</sup>	150	-	/ <sup>6</sup>
	Anual <sup>3</sup>	-	-	50	-	-	50 <sup>9</sup>	50	-	/ <sup>6</sup>
Plomo	24 hrs	-	-	-	-	-	-	-	1.5- 2.0 <sup>5</sup>	-
	Mensual	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3 meses	-	1.5	-	-	-	1.5	1.5	-	-
	Anual <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5

**NOTA:**

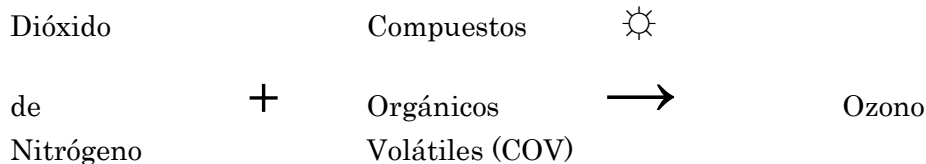
- (1) El valor bajo se puede exceder en 50% de las mediciones y el alto en 0.5%
- (2) Promedio aritmético mensual
- (3) Promedio aritmético anual
- (4) NO<sub>x</sub> expresado como NO<sub>2</sub>
- (5) El valor bajo se puede exceder en 50% de las mediciones y el alto en 5%
- (6) No existe ningún valor de referencia para PTS y PM<sub>10</sub> porque no existe un umbral evidente en cuanto a sus efectos en la salud.
- (7) Promedio geométrico anual
- (8) Estados Unidos también tiene una norma para PM<sub>2.5</sub> de 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- (9) Estados Unidos también tiene una norma para PM<sub>2.5</sub> de 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**El Monóxido de Carbono (CO).**-Es un gas incoloro e inodoro que en concentraciones altas puede ser letal. En la naturaleza se forma mediante la oxidación del metano, que es un gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. La principal fuente antropogénica del monóxido de carbono es la quema incompleta de combustibles como la gasolina. Para que se complete el proceso de combustión es necesario que haya cantidad adecuada de oxígeno. Cuando éste es insuficiente, se forma el monóxido de carbono que es especialmente problemático en zonas urbanas con gran número de automóviles y una manera de reducirlo es exigir que los automóviles sean afinados debidamente para asegurar la mezcla del combustible con el oxígeno. Por esta razón, los reglamentos de inspección de automóviles han sido útiles para controlar el monóxido de carbono. El volumen del tránsito y el clima local influyen sobre su concentración en el aire. Los efectos sobre la salud dependen de la concentración y duración de la exposición. El monóxido de carbono en los seres humanos afecta el suministro de oxígeno en el torrente sanguíneo. Normalmente, los glóbulos rojos transportan el oxígeno por todo el cuerpo. Cuando hay monóxido de carbono, éste atrae más a los glóbulos rojos que al oxígeno, lo que da lugar a la escasez de oxígeno en la sangre. El efecto a corto plazo es similar a la sensación de fatiga que se experimenta en altura o cuando se padece de anemia.

La exposición al monóxido de carbono puede exacerbar las enfermedades del corazón y del pulmón. El peligro es más evidente en nonatos, neonatos, ancianos y en quienes sufren de enfermedades crónicas.

<b>Cuadro 1.2 Efectos en la Salud Humana por exposición a Monóxido de Carbono</b>	
<b>Conc. Carboxihemoglobina en la sangre (%)</b>	<b>Efecto Observado</b>
2.3 - 4.3	Disminución en la capacidad de realizar un ejercicio máximo en un corto tiempo en individuos jóvenes saludables
2.9 - 4.5	Disminución en la duración de ejercicio, debido a dolor en el pecho (angina), en pacientes con enfermedades al corazón. Disminución del consumo máximo de oxígeno y tiempo para realizar ejercicio, en individuos jóvenes saludables durante ejercicio fuerte.
5.0 - 5.5	Disminución en la percepción visual y auditiva. Pérdida de la capacidad sensorial, motora y de vigilancia
5.0 - 17.0	Disminución en el consumo máximo de oxígeno durante el ejercicio fuerte, en individuos jóvenes saludables.
7.0 - 20.0	Dolor de cabeza, decaimiento
20.0-30.0	Mareo, náusea, debilidad
30.0	Confusión, colapso durante el ejercicio
40.0	Pérdida de conciencia y muerte si la exposición continúa
50.0	Muerte.

**El Ozono (O<sub>3</sub>).**-Es considerado como un contaminante criterio y secundario. Se forma mediante una serie compleja de reacciones químicas en la atmósfera, el Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) en presencia de la luz solar.



<b>Cuadro 1.3 Efectos en la salud humana por exposición a Ozono</b>		
<b>Conc. (ppm)</b>	<b>Tiempo de exposición</b>	<b>Efecto Observado</b>
0.08-0.15	-	Tos y dolor de cabeza
0.12	1-3 hrs	En individuos sanos, durante el ejercicio: Disminución de FEVI* y CVF**, incremento de la sensibilidad de las vías aéreas, lo cual podría significar un aumento en la respuesta a otros contaminantes
0.12	2-5 hrs	Disminución de la función pulmonar en niños y adultos, durante ejercicio fuerte
0.24	1-3 hrs	En individuos sanos, durante el ejercicio: Incremento en la frecuencia respiratoria, disminución de la resistencia de las vías aéreas, disminución de la función pulmonar

\*FEVI: Tasa máxima de flujo expiratorio  
\*\*CVF: Capacidad vital forzada.

La concentración de ozono en una determinada localidad depende de muchos factores, incluida la concentración de NO<sub>2</sub> y COV en el área, la intensidad de la luz solar y las condiciones del clima. El ozono es el principal componente del smog fotoquímico o niebla fotoquímica y causa efectos nocivos en seres humanos y plantas. La población de mayor riesgo a la contaminación por ozono son los enfermos y ancianos, así como los neonatos y nonatos. Además, cuando se le compara con otros contaminantes criterio, es el que más daña a las plantas.

Una estrategia de control para el ozono es reglamentar las fuentes de (COV) y óxidos de nitrógeno. Las fuentes principales de estos contaminantes son los productos de combustión incompleta que emiten los escapes de los vehículos, la quema de combustibles fósiles y el uso de compuestos de petróleo y solventes orgánicos en procesos industriales y de limpieza. Por ejemplo, el líquido usado en el proceso de lavado en seco es un solvente que es un compuesto orgánico volátil.

Aunque el ozono es nocivo y debe ser controlado tiene la singularidad de que es también beneficioso para los seres humanos y otros seres vivientes. Es un componente necesario de la estratosfera, es la capa del aire que protege la tropósfera, porque sirve para proteger a la tierra de la nociva radiación ultravioleta del sol. Sin embargo, cuando se encuentra en concentraciones altas en la tropósfera o capa inferior de la atmósfera, se le considera un contaminante.

Las nuevas iniciativas de control de la contaminación del aire que se están llevando a cabo, incluidas la reducción progresiva de halocarburos y clorofluorocarbonos, evitan el agotamiento del ozono en la estratosfera

**Los Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>).**-Son gases incoloros que se forman al quemar azufre. El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es el contaminante criterio que indica la concentración de óxidos de azufre en el aire. La fuente primaria de óxidos de azufre es la quema de combustibles fósiles, en particular el carbón. Se ha denominado al dióxido de azufre como un contaminante que "pasa a través de" porque la cantidad de dióxido de azufre emitido al aire es casi la misma cantidad presente en el combustible

<b>Cuadro 1.4 Efectos en la Salud Humana por exposición a Dióxido de Azufre</b>	
<b>Conc. 24 horas (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Efecto Observado</b>
400 - 900	Posible incremento de los síntomas respiratorios (tos, irritación de la garganta y silbidos en el pecho) en personas con asma
500 - 1700	Incremento de la síntomas respiratorios en personas con asma y posible agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
1700 - 2300	Incremento significativo de los síntomas respiratorios en personas con asma y agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
2300 - 2900	Síntomas respiratorios severos en personas con asma y riesgo serio de agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
> 2900	Cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios en individuos sanos

Por ejemplo, si se quema cien kilogramos (kg) de carbón que contienen siete kg de azufre, la emisión producida por la quema contendrá aproximadamente 14 kg de dióxido de azufre, siete kg de azufre y siete kg de oxígeno. El azufre reacciona con el oxígeno en el proceso de combustión para formar dióxido de azufre.

Se ha encontrado que los óxidos de azufre perjudican el sistema respiratorio, especialmente de las personas que sufren de asma y bronquitis crónica. Los efectos de los óxidos de azufre empeoran cuando el dióxido de azufre se combina con partículas o humedad del aire. Esto se conoce como efecto sinérgico porque la combinación de sustancias produce un efecto mayor que la suma individual del efecto de cada sustancia.

$$A+B = [A+B]$$

Los óxidos de azufre son responsables de algunos efectos sobre el bienestar, por ejemplo el de mayor preocupación es la contribución a la formación de lluvia ácida que puede perjudicar lagos, la vida acuática, materiales de construcción y la vida silvestre

**Material Particulado.**-Inicialmente, con la denominación de partículas totales en suspensión (PTS) se reconoció a una amplia categoría de material particulado como contaminante criterio. Las partículas totales en suspensión (PTS) son las partículas sólidas o líquidas en el aire, se incluyen contaminantes primarios como el polvo y hollín y contaminantes secundarios como partículas líquidas producidas por la condensación de vapores. En la segunda mitad de la década de 1980, varios países incluyeron en sus normas sobre material particulado a las partículas con menos de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM<sub>10</sub>). En la segunda mitad de la década de 1990, las normas sobre material particulado especificaron considerar no solo al PM<sub>10</sub> sino también al material particulado con menos de 2,5 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM<sub>2.5</sub>). El motivo de este cambio, como ya se ha comentado, es que las partículas más pequeñas son más peligrosas para el hombre porque tienen mayor probabilidad de ingresar a la parte inferior de los pulmones.

En la naturaleza, el material particulado se forma por muchos procesos, tales como el viento, polinización de plantas e incendios forestales. Las principales fuentes antropogénica de pequeñas partículas incluyen la quema de combustibles sólidos como la madera y el carbón, las actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos y la industria de la construcción.

El material particulado puede tener efectos en la salud y bienestar del hombre. Puede contribuir a aumentar las enfermedades respiratorias como la bronquitis y exacerbar los efectos de otras enfermedades cardiovasculares.

<b>Cuadro 1.5 Efectos en la Salud Humana por exposición a Material Particulado</b>		
<b>Conc. (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Efecto Observado</b>	<b>Impacto</b>
200	Disminución capacidad respiratoria	Moderado
250	Aumento de enfermedades respiratorias en ancianos y niños	Moderado
400	Afecta a toda la población	Grave
500	Aumento de mortalidad en adulto mayor y enfermos	Muy grave

**Los Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ).**-Son un grupo de gases conformado por el nitrógeno y oxígeno. El nitrógeno es el elemento más común del aire y representa 78 % por ciento del aire que respiramos. Los óxidos de nitrógeno (comúnmente referidos como  $\text{NO}_x$ ) incluyen compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ). El término  $\text{NO}_x$  se refiere a la combinación de estas dos sustancias.

Los procesos naturales y los realizados por el hombre producen óxidos de nitrógeno. En una escala global, la emisión natural de óxido de nitrógeno es casi 15 veces mayor que la realizada por el hombre. Las fuentes más comunes de  $\text{NO}_x$  en la naturaleza son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos, y la actividad volcánica. Las fuentes principales de emisión antropogénica son los escapes de los vehículos y la quema de combustibles fósiles.

<b>Cuadro 1.6 Efectos en la Salud Humana por exposición a Dióxido de Nitrógeno</b>		
<b>Conc. (ppm)</b>	<b>Tiempo de Exposición</b>	<b>Efecto Observado</b>
5	14 hrs.	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas, aumento de la hiperreactividad bronquial.
2.5	2 hrs.	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas.
1	2 hrs.	Individuos normales: Pequeño cambio en CVP*
0.5-5	3-60 min.	Individuos con bronquitis crónica: Incremento de la resistencia de las vías aéreas
0.5	20 min.	Individuos asmáticos, con 10 minutos de ejercicio moderado: Disminución de FEVI**

\*CVP: Capacidad vital forzada

\*\* FEVI: Tasa máxima de flujo expiratorio

El óxido nítrico es relativamente inofensivo, pero el dióxido de nitrógeno puede causar efectos en la salud y bienestar. En el proceso de combustión, el nitrógeno en el combustible y aire se oxida para formar óxido nítrico y algo de dióxido de nitrógeno. Los óxidos nítricos (NO) emitidos en el aire se convierten en dióxido de nitrógeno mediante reacciones fotoquímicas condicionadas por la luz solar.

El dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) daña el sistema respiratorio porque es capaz de penetrar las regiones más profundas de los pulmones. Asimismo, contribuye a la formación de lluvia ácida.

**El Plomo (Pb).**-Es una sustancia natural que abunda en el ambiente. Debido a sus características que presenta, se emplea para fabricar tuberías de agua y recipientes para alimentos, pinturas y otras aplicaciones. La fuente primaria de contaminación

del aire por plomo es el uso de combustibles con plomo en automóviles y como un aditivo en la gasolina, que desacelera el proceso de combustión en los motores.

Debido a que el plomo no se consume en el proceso de combustión, se emite como material particulado. Uno de los más grandes éxitos ambientales de los dos últimos decenios ha sido la reducción de plomo en el aire gracias al mayor uso de la gasolina sin plomo y a la reducción del contenido de plomo en combustibles. El plomo es un contaminante importante del aire porque es tóxico para los humanos. Su difícil remoción del cuerpo hace que se acumule en varios órganos y puede dañar el sistema nervioso central. Un gran número de estudios científicos ha documentado los efectos nocivos de la exposición al plomo.

<b>Cuadro 1.7 Efectos en la Salud de los Niños por exposición a Plomo</b>	
<b>Conc. (Pb) Sangre en (µg/100ml)</b>	<b>Efecto Observado</b>
10	Inhibición de la actividad de la enzima AAL-D Edad gestacional reducida (exposición prenatal) Bajo peso al nacer (exposición prenatal) Retardo en crecimiento
12	Interferencia en el metabolismo de la vitamina D
15-20	Elevación de protoporfirinas eritrocitarias Alteraciones electrofisiológicas en el SNC
20	Alteraciones conductuales, déficit en la atención
30	Disminución en la conducción nerviosa periférica
40	Aumento del AAL en suero y del AAL-U Aumento de las CP-U Reducción en la producción de hemoglobina Velocidad de conducción nerviosa periférica reducida Alteraciones en el aprendizaje Nefropatía (aminoaciduria), Síntomas gastrointestinales
50	Disminución marcada del cociente de inteligencia
70	Anemia franca, Nefropatía grave
80	Encefalopatía, Daño cerebral grave, Retardo mental grave

### 1.3.- Tóxicos Atmosféricos

Como es conocido, casi toda actividad humana tiene consecuencias sobre el ambiente. La atmósfera que nos rodea es una cubierta formada por gases, vapores y partículas. Entre estas sustancias podemos encontrar ciertos compuestos orgánicos volátiles, insecticidas, herbicidas y compuestos radiactivos, que amenazan en diferentes grados la salud humana.

En seguida se presenta una relación de algunos de los compuestos químicos que han sido estudiados para conocer sus efectos sobre la salud, ya sea en animales de laboratorio o por sus efectos en pequeñas comunidades expuestas crónica o accidentalmente a ellos; los más comunes o más peligrosos, que se han investigado, por los riesgos que se suponen (corto y largo plazo), las fuentes que los originan, las

formas de contaminación más comunes y, el riesgo cancerígeno que se les reconoce hasta hoy, clasificado de la A a la D, según su mayor o menor grado de peligrosidad como causa de cáncer (investigado directamente en humanos o indirectamente en animales de laboratorio)

<b>Cuadro 1.8 Tóxicos Atmosféricos, Efectos, Fuentes, Vía de Contaminación</b>				
<b>Contaminantes</b>	<b>Efectos a largo plazo o por intensa exposición</b>	<b>Fuente (origen)</b>	<b>Vía de Contaminación</b>	<b>Observaciones</b>
ACETALDEHIDO CH <sub>3</sub> CHO	En animales de laboratorio produce cambios en la mucosa nasal y de la tráquea, retardo en el desarrollo, anemia e hipertrofia en riñones	Combustión incompleta en estufas de leña y de carbón e incendios, tostado de café, humo de tabaco, escape de vehículos, quema de basura como es un producto del metabolismo celular se puede formar a partir del alcohol en los bebedores	Inhalación, ingestión	Se sospecha relación entre la formación de tumores en nariz y garganta (B)
ARSÉNICO As	Dermatitis, conjuntivitis, faringitis, anemia, neuropatías, daño en riñones e hígado	Erupciones volcánicas. Productos y accidentes industriales. Maderas tratadas	Inhalación- Contacto- Ingestión	Inhalado no es considerado como cancerígeno. Se considera como causa de aborto. ingerido se asocia con cáncer de piel, riñón, hígado y pulmones
BENCENO C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Desórdenes en el ciclo menstrual, anemia aplásica trastornos en el desarrollo embrionario (sistema esquelético) vómito, convulsiones, muerte.	Riesgo ocupacional combustión de carbón, aceite, evaporación de gasolina y solventes humo de cigarro	Inhalación- ingestión de agua contaminada	Cancerígeno (leucemia) (A)
CADMIO Cd	Acumulación tóxica en riñones malformaciones embrionarias	Quema de combustibles fósiles, basura y cigarrillos. Componente de fertilizantes	Inhalación- ingestión de alimentos	Probable precursor de cáncer pulmonar (B)
FORMALDEHÍDO CH <sub>2</sub> O	Desórdenes en el ciclo menstrual y problemas en el embarazo	Humo del cigarro, emisiones de autos e incineradores, plantas de luz	Inhalación - ingestión de alimentos contaminados	Probable cancerígeno humano (B)
PLOMO Pb	Depresión del sistema nervioso central, presión sanguínea, efectos en la composición de la sangre y en el metabolismo de la vitamina D daño neurológico en embriones, bajo peso al nacer	Combustión de gasolinas, tabaco, basura, emisiones industriales, pinturas, acumuladores	Inhalación- ingestión de agua y alimentos en los que se ha acumulado el plomo (animales)	Probable cancerígeno humano (B)

Apoiada en datos de la EPA (United States Environmental Agency)

El riesgo ocupacional supone el manejo directo del contaminante o de los productos que lo originan.

Todos los contaminantes han sido probados con animales de laboratorio.

Los efectos a corto plazo varían conforme a la concentración del contaminante. Los efectos a largo plazo se establecen por el contacto crónico con el contaminante, generalmente a bajas concentraciones.



## CAPÍTULO II

### DESCRIPCIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

#### 2.1 Riesgo Ambiental

El análisis de riesgos se desarrolló en el siglo XVII, en los inicios de la industria aseguradora. La llegada de la formalización de análisis sistemático y la investigación de operaciones condujo al análisis especializado de temas específicos, como la evaluación de riesgos de desarrollos tecnológicos.

La preocupación reciente relacionada con el riesgo a la salud humana y el ambiente ha resultado en el empleo del análisis de riesgo en el proceso de toma de decisiones. Estos involucran tecnologías complejas y multidisciplinarias tratadas de manera simplificada y comúnmente.

El riesgo posee varios significados; se puede definir como el potencial de la realización de consecuencias adversas indeseables a la vida humana, salud, propiedad o el ambiente. Otro es el peligro, posible contratiempo, daño o siniestro eventual que puede ocurrir durante cualquier actividad humana; aquí, se refiere al potencial de un resultado negativo. La estimación del riesgo se basa en el valor esperado de la ocurrencia del evento, las veces de la consecuencia esperada del evento, dado que el evento ha ocurrido.

Los riesgos pueden clasificarse como:

**Riesgos Naturales.**-Son debidos a los fenómenos naturales, por ejemplo los asociados a fenómenos geológicos internos, como erupciones volcánicas y terremotos, o la caída de meteoritos. Las inundaciones, aunque debidas a causas climáticas naturales, suelen ser riesgos dependientes de la presencia y calidad de infraestructuras como las presas que regulan el caudal, o las carreteras que actúan como diques, que pueden agravar sus consecuencias.

**Riesgos Antropogénicos.**-Son producidos por actividades humanas, aunque las circunstancias naturales pueden condicionar su gravedad. El accidente químico ocurrido en Bhopal, el de Chernóbil, un accidente nuclear, son ejemplos de riesgos antropogénicos.

La peligrosidad o riesgo resulta del producto de dos factores:

- **Probabilidad.**-Puede ser muy baja, próxima a cero, o muy alta, próxima a 1 (una probabilidad 1 significa que el suceso se va a producir con seguridad).
- **Magnitud.**-El daño derivado de un fenómeno o acción puede ser inmensa o despreciable.

En la terminología de las Ciencias Ambientales se usa interferencia para referirse al solapamiento de las actividades y la presencia humana con los fenómenos naturales sin el que no existirían riesgos. De la interferencia así entendida depende también la importancia de los riesgos. La actividad económica y la residencia de la población pueden crear situaciones de riesgo o someter a las poblaciones a riesgos de origen natural, al aumentar su exposición. El riesgo depende de dos factores: la peligrosidad y la vulnerabilidad.

Se habla de vulnerabilidad para referirse a la importancia de los efectos esperados, que no depende sólo del fenómeno o accidente temido, sino de las medidas de prevención y de protección.

Un peligro se describe con referencia a una fuente emisora que es la velocidad de liberación de un agente químico peligroso de una planta o actividad industrial.

En el caso de compuestos tóxicos en el aire, algunas de las posibilidades son debidas a las actividades de las personas que provoquen la emisión de esos contaminantes y otras son relacionadas en la capacidad de influenciar en la exposición a esos contaminantes.

La liberación de un agente químico en el ambiente es la fuente de emisión que posteriormente se transporta y transforma. A través de diferentes caminos, las sustancias resultantes que nos preocupan alcanzan al organismo blanco. La exposición de este organismo a las sustancias produce efectos en la salud, que son desviaciones adversas de las funciones normales del organismo y que son cuantificadas como estimaciones del riesgo. Exposición es la concentración pesada en tiempo de un tóxico en las vecindades de los puntos de entrada de un blanco. La medición del riesgo se cuantifica usando un modelo con información de soporte y depende de la metodología de evaluación y de los datos.

En una situación ideal relacionada a la estimación del riesgo es tener los tres tipos de riesgo cubiertos esto es, que la estimación de riesgo sea representativa del riesgo real y corresponda a la percepción del riesgo.

El riesgo actual es aquel debido a las condiciones reales. El riesgo de percepción es la evaluación que un individuo tiene acerca de un riesgo.

Existen varios tipos de riesgo:

Riesgo Calculado.-Es el que se predice por medio de modelos.

Riesgo Actual.- Es el existente en el momento y generalmente mayor al calculado.

Riesgo de Percepción.-Este riesgo es subjetivo pues depende del punto de vista del sector o de la persona afectada.

El riesgo puede estimarse considerando:  $\text{Riesgo} = (\text{Peligrosidad}) \times (\text{Exposición})$

Un estudio de riesgo nos permitirá hacer planes de prevención de desastre, o en caso de que ocurra, tener planes de contingencia ante dichos eventos.

El término de compuestos tóxicos es cualquier sustancia toxica encontrada en el aire, los cuales incluyen varias sustancias emitidas al aire y su la evaluación se centra actualmente en la probabilidad de cáncer en el tiempo de vida de un individuo y los índices de peligro a la salud como una medición primaria. Además existe un listado de 104 sustancias consideradas como contaminantes en el cual contienen identificadas sustancias como cancerogénicas, mutagénicas o toxinas de reproducción.

## **2.2 Emisiones de Tóxicos Atmosféricos (Marco Legal)**

Existen en el mundo alrededor de 13 millones de sustancias químicas, no todas tóxicas. Hay información sobre algunas sustancias tóxicas, sus efectos adversos a la salud y al ambiente. Las sustancias tóxicas, son algo que forma parte de la vida cotidiana, en el hogar, productos de limpieza, medicamentos, en la oficina, en mayor o menor medida, nos enfrentamos a ellas todos los días.

La problemática generada por las sustancias tóxicas, desde diferentes ángulos como la salud, el daño al ambiente, problemas económicos y sociales, que giran a su alrededor (producto del proceso de la industrialización). Hay información sobre, sustancias tóxicas como, contaminantes orgánicos persistentes, con efectos a la salud. También hemos puesto de manera muy importante la información sobre contaminantes cancerígenos, debido al problema que genera en la población alrededor de zonas industriales.

Las principales características a considerar en el estudio son en primer lugar la propia sustancia, la concentración, la periodicidad, y las condiciones particulares de los individuos que se enfrenten a dicha exposición, lo dañinas que resulten.

En México el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) es un instrumento de reporte de sustancias químicas que cierto tipo de industria emite al aire, agua y suelo durante todo el proceso de manufactura y que puedan ocasionar impactos negativos a la salud humana y al ambiente.

Como mencionamos no toda la industria entra en este Registro, sólo la catalogada como de "jurisdicción federal". El RETC contempla alrededor de 104 sustancias peligrosas, mientras los instrumentos homólogos de los países miembros del Tratado de Libre Comercio para América del Norte, Estados Unidos y Canadá, cuyos instrumentos son el Inventario de Tóxicos Liberados (Toxics Release Inventory TRI) en Estados Unidos y el Inventario Nacional de Contaminantes Liberados (National Pollutant Release Inventory NPRI ) en Canadá, cuentan con un listado de 579 y de 245 sustancias respectivamente. Ambos, contienen el nombre y ubicación geográfica exacta de las industrias y son registros de reporte obligatorio, a diferencia del RETC.

En la legislación de México, se cuenta con leyes, normas y reglamentos al respecto. Por ejemplo 1.-La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, (LGEEPA) con todos sus artículos, secciones y capítulos completos. 2.-Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para la Protección Ambiental. 3.-Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. 4.-Reglamento en Materia de Evaluación Impacto Ambiental en Materia de Residuos Peligrosos, Materia de Prevención y Control de la Contaminación.

La Ley General de Salud, contempla que en materia de efectos del ambiente en la salud, establece las siguientes normas, tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente, así como señala, los valores de concentración máxima y periodo permisible en el ser humano para los contaminantes atmosféricos.

<b>Cuadro 2.1</b> Criterios de Calidad del aire ambiente			
<b>Contaminante</b>	<b>Nivel</b>	<b>Período</b>	<b>Norma</b>
Ozono (O <sub>3</sub> )	216µg/m <sup>3</sup> (0.11ppm)	1 hr	NOM-020-SSA1-1993
Monóxido de Carbono(CO)	12595µg/m <sup>3</sup> (11ppm)	8 hr	NOM-021-SSA1-1993
Dióxido de Azufre (SO <sub>3</sub> )	341µg/m <sup>3</sup> (0.13ppm)	24 hr	NOM-022-SSA1-1993
	79µg/m <sup>3</sup> (0.03ppm)	anual	
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>3</sub> )	395µg/m <sup>3</sup> (0.21ppm)	1 hr	NOM-023-SSA1-1993
Partículas (PST)	210µg/m <sup>3</sup>	24 hr	NOM-025-SSA1-1993
Partículas PM <sub>10</sub> )	120µg/m <sup>3</sup> (11ppm)	24 hr	NOM-025-SSA1-1993
	50 µg/m <sup>3</sup>	anual	
Partículas (PM <sub>2.5</sub> )	65µg/m <sup>3</sup> (11ppm)	24 hr	NOM-025-SSA1-1993
	15µg/m <sup>3</sup> (11ppm)	anual	
Plomo (Pb)	1.5µg/m <sup>3</sup> (11ppm)	3 meses	NOM-026-SSA1-1993

En la Cámara de Diputados se aprobaron algunas modificaciones al artículo 109 Bis de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente concernientes al Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, RETC; que a la letra dice:

“**Artículo 109 BIS.** La Secretaría, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios, deberán integrar un registro de emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos de su competencia, así como de aquellas sustancias que determine la autoridad correspondiente. La información del registro se integrará con los datos y documentos contenidos en las autorizaciones, cédulas, informes, reportes, licencias, permisos y concesiones que en materia ambiental se tramiten ante la Secretaría, o Autoridad competente del Gobierno del Distrito Federal, de los Estados, y en su caso, de los Municipios.

Las personas físicas y morales responsables de fuentes contaminantes están obligadas a proporcionar la información, datos y documentos necesarios para la integración del registro. La información del registro se integrará con datos desagregados por sustancia y por fuente, anexando nombre y dirección de los establecimientos sujetos a registro.

La información registrada será pública y tendrá efectos declarativos. La Secretaría permitirá el acceso a dicha información en los términos de esta Ley y demás disposiciones jurídicas aplicables y la difundirá de manera proactiva.”

La contaminación atmosférica fotoquímica en la zona industrial, representada principalmente por el ozono y las partículas suspendidas menor a 10 micras de diámetro, constituye un gran problema que afecta la salud de sus habitantes.

En nuestro diario y despreocupado contacto (empleo) de los productos químicos, como medicamentos, plaguicidas, aditivos alimentarios, cosméticos; se traduce en la multiplicación de intoxicaciones y en deterioro ambiental, sin embargo, hay una deficiente información oficial en la inmensa mayoría de la población respecto a los contaminantes que pueden afectar su salud y que se encuentran en su entorno.

## CAPÍTULO III

### DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

#### 3.1 Estimación y Medición de Riesgo

La estimación del riesgo se obtiene de combinar la exposición con la dosis-respuesta. Los efectos de las descargas de sustancias en el ambiente del ser humano son complejos. La evaluación de esos efectos dependen de la sustancia, el grupo de individuos involucrados, los órganos blancos (órgano al cual una sustancia tóxica afecta), la concentración de la sustancia y la duración de la exposición. El objeto de esa evaluación es el definir el riesgo a ciertos individuos expuestos a una o más sustancias dadas en un tiempo con una medición de riesgo apropiado.

Las medidas del riesgo a la salud humana se pueden dividir en grupos con el propósito o no de estimar el riesgo regulado.

La estimación del riesgo regulado se refiere a las prácticas y mediciones que se emplean con una metodología común y un conjunto de consideraciones que permiten la comparación entre diferentes operaciones y tecnología para la información pública y para el proceso de toma de decisiones.

#### 3.2 Factor de Dilución

La concentración ambiental de un compuesto se puede obtener a partir de emisión y el factor de dilución correspondiente a las condiciones meteorológicas y físicas de la chimenea.

El factor de dilución se obtiene usualmente empleando un modelo de calidad del aire de la Agencia de Protección del Medio Ambiente E.P.A (por sus siglas en inglés Environmental Protection Agency). El cuadro 3.1 presenta los factores de dilución para varias condiciones basado en la altura de chimenea y la distancia a las orillas de la propiedad de la planta emisora (barda). Este factor se basa en un gran número de cálculos de dispersión empleando el modelo bajo las condiciones del “peor escenario”. El cuadro 3.1 puede ser usado para estimar concentraciones a varias distancias de chimeneas de diferentes alturas.

Por ejemplo, 1 libra al día (lb/d) de polvo de cobre emitido de una chimenea de 100-ft que se encuentra a 500 m del límite de la propiedad podría resultar en una concentración de 0.26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el límite de la propiedad (ver lado derecho inferior del cuadro 3.1).

Altura Chimenea (ft)	Distancia a la Barda (m)								
	10-25	25-50	50-75	75-100	100-150	150-200	200-250	250-300	> 300
13-25	24.45	14.16	6.44	3.63	2.33	1.2	0.73	0.5	0.36
25-50	3.57	3.57	3.31	2.47	1.81	1.05	0.67	0.47	0.35
>50	0.52	0.52	0.52	0.52	0.48	0.48	0.41	0.33	0.26

### 3.3 Evaluación del Riesgo a la Salud.

El algoritmo de exploración de riesgo a la salud para los estimados de cáncer, que se usan en las metodologías oficiales, se puede emplear como otro ejemplo de un estimado de riesgo a la salud. El peligro en este caso es la liberación de un químico causante de cáncer en el aire. El flujo de emisión anual,  $Q_c$ , de un químico  $c$ , en unidades de masa en unidad de tiempo, se emplea para estimar el riesgo.

Dejando  $R_c$  como el exceso de Probabilidad de Cáncer en el Tiempo de Vida (LCP) para el químico  $c$ :

$$R_c = Q_c \times (X/Q) \times URF_c \times MP_c \quad (3.1)$$

Donde:

$Q_c$  = es la concentración de emisión

$(X/Q)$  = es el factor de dilución que convierte la emisión  $Q_c$  en concentración (masa en unidad de volumen),

$URF_c$  = es el factor unitario de riesgo usado para convertir concentración a LCP (Probabilidad de Vida de Cáncer)

$MP_c$  = es el factor multiruta usado para considerar las otras rutas al hombre en adición a la inhalación directa.

Los factores de dilución son usados para calcular las concentraciones de químicos, que son usadas para determinar el riesgo por inhalación mediante el uso del Factor de Riesgo Unitario, URF, que representa un factor de conversión de la concentración exterior a LCP. El cuadro 3.2 presenta algunos ejemplos de URF y factores potenciales, análogos a los URF para la ingestión de sustancias en términos de miligramos de sustancia por kilogramo de peso corporal por día.

El URF se basa en el estimado del límite superior del cual puede resultar de una exposición a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sobre el tiempo de vida.

Este concepto es útil para estimados simples de riesgo; como una evaluación simple de riesgo a la salud, el URF se puede usar para calcular el riesgo a cáncer por inhalación. Las otras rutas de exposición, como la ingestión y absorción, se incluyen en el Factor Multi-ruta (MP).

<b>Cuadro 3.2: Ejemplos de Factores Unitarios de Riesgo</b>			
Sustancia	No. CAS	Factor Unitario de Riesgo [LCP/( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )]	Factor Potencial Ingestión [LCP/(mg/kg/d)]
Acetaldehído	75-07-0	$2.2 \times 10^{-6}$	
Acrilamina	79-06-01	$1.3 \times 10^{-3}$	4.5
Acrilonitrilo	107-13-1	$6.8 \times 10^{-5}$	0.54
Arsénico	7440-38-2	$4.3 \times 10^{-3}$	15
Asbestos	1332-21-4	$190 \times 10^{-6}$	-
Benceno	71-43-2	$5.3 \times 10^{-5}$	-
Bencidina	92-87-5	$6.7 \times 10^{-2}$	234
Benzopireno	50-32-8	$1.7 \times 10^{-3}$	11.5
Bifenilos policlorados	1336-36-3	$2.2 \times 10^{-3}$	-
Cloruro de Vinilo	75-01-4	$7.0 \times 10^{-6}$	-
1,4-Dioxano	123-91-1	$3.1 \times 10^{-6}$	-
Dibenzofuranos y dioxinas cloradas	-	38	133,000
Difenilhidrazina	122-66-7	$2.2 \times 10^{-4}$	-
Epiclorhidrina	106-89-8	$1.2 \times 10^{-6}$	$9.9 \times 10^{-3}$
Formaldehído	50-00-0	$1.3 \times 10^{-5}$	-
Hexaclorobenceno	118-74-1	$4.9 \times 10^{-4}$	1.7
Percloroetileno	127-18-4	$5.8 \times 10^{-7}$	-
Tricloroetileno	79-01-6	$1.3 \times 10^{-6}$	-

La significancia de un riesgo de cáncer en el tiempo de vida media mayor que  $10^{-6}$  es materia de juicio. En general, los riesgos a la población mayores a  $1 \times 10^{-6}$  LCP y riesgos en lugares de trabajo mayores que  $1 \times 10^{-4}$  son niveles en que es prudente investigar un poco más. Niveles menores son altamente indicativos de no tener un impacto potencial, debido a la naturaleza conservadora de la examinación del análisis de riesgo a la salud. Los riesgos calculados significativamente mayores que los niveles establecidos o de referencia (usualmente asignados por las agencias encargadas o por la legislación) pueden presentar una preocupación potencial a la salud que justifica una evaluación del riesgo más detallada. Hay muy pocos niveles de referencia que son legislados y/o monitoreados por la ley. Los niveles de referencia pueden disminuirse con el incremento en deseo por márgenes de seguridad mayores. Por que la evaluación de riesgo es un proceso, los estimados pueden revisarse basados en una investigación detallada de las emisiones, dispersión, exposición y las relaciones dosis-respuesta.

Los químicos con efectos similares a los órganos del sistema son tratados como aditivos. A menudo, con el espíritu conservacionista, todo estimado de cáncer se trata como aditivo.

Los análisis de riesgo legislados se usan para diseñar chimeneas que alcancen los factores de dilución deseados. Esto involucra el uso de modelos que incluyen el diámetro de chimenea, la velocidad y temperatura de los gases a la salida.



Similarmente la evaluación de riesgo se puede emplear para ubicar la planta, así como la determinación de los requerimientos mínimos de la propiedad para una distancia mínima a la barda de la chimenea emisora.

### 3.4 Priorización del Riesgo

La preparación de la evaluación de riesgo a la salud por industrias que emiten sustancias tóxicas en el aire puede ser costoso y emplear mucho tiempo. Una aproximación puede requerir evaluar los grandes emisores solamente. Los efectos a la salud se dividen en períodos cortos de tiempo (agudos) y períodos largos de tiempo (crónicos).

Un efecto a la salud agudo es una respuesta adversa para una exposición de corto tiempo. Exposición horaria pero pueden existir más cortas y más largas (hasta un año).

Un efecto crónico a la salud es una respuesta adversa a una exposición a concentraciones bajas sobre períodos de años a toda la vida.

Cuadro 3.3 Mediciones de Riesgo	
Agudos	índice de peligro a la salud agudo Proporción de accidentes Muertes Lastimaduras con días perdidos de trabajo Lastimaduras sin días perdidos de trabajo
Crónicos	índice de peligro a la salud crónico Riesgo a cáncer individual máximo (LCP) Exposición máxima individual Exposición razonable individual

Se han desarrollado técnicas para utilizar las emisiones, empleando la toxicidad pesada para priorizar las evaluaciones de riesgo reguladas. El puntaje se desarrolla de forma separada a los efectos cancerígenos y efectos no cancerígenos.

El puntaje cancerígeno ( $S_{cancer}$ ) se calcula mediante:

$$S_{cancer} = \sum \{ Q_c \times URF_c \} RP \cdot 1.7 \times 10^3 \quad (3.2)$$

Donde:

$Q_c$  = es la emisión del químico c (en lb/días)

$URF_c$  = es el factor unitario de riesgo del químico "c"

$RP$  = es el factor de ajuste de proximidad (adimensional)

En general, los puntajes mayores que 100 representan candidatos para análisis más detallados, de 10 a 100 candidatos potenciales y 10 indica que hay probabilidad de no requerir análisis.

Cuadro 3.4 Factor de Proximidad							
	0<100	100 a<250	250 a<500	500 a<1000	1000 a<1,500	1,500 a<2,000	>2000
RP	1	0.25	0.04	0.011	0.003	0.002	0.001

Para efectos no cancerígenos se emplea una formula similar:

$$S_{\text{no cancer}} = \Sigma \{ Q_{\text{max}} / \text{REL}_c \} \text{RP } 150 \text{ ó } 1500 \quad (3.3)$$

Donde:

$Q_c$  = es la emisión del químico c (lb/hr) agudo y (lb/año) crónico

$\text{REL}_c$  = nivel de exposición de referencia ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

RP = es el factor de ajuste de proximidad (adimensional)

150 crónico y 1500 agudo

Los niveles de exposición de referencia de sustancias seleccionadas están dados en las tablas.

En general los puntajes mayores de 10 representan candidatos para una evaluación del riesgo y los puntajes menores a 1 indicarían que no se requerirán un análisis.

Las técnicas de priorización para industrias se pueden emplear para investigar la contribución relativa de riesgos de varias emisiones en la industria. En ese esquema de puntaje, el factor de ajuste por proximidad se puede considerar como  $\text{RP}=1$ .

### 3.5 Estimación del Riesgo

#### 3.5.1 Riesgo Individual Máximo a Cáncer (MICR)

Es la suma de los riesgos de exceso de la probabilidad de cáncer en el tiempo de vida para cada sustancia. El riesgo para cada sustancia se calcula por medio de la multiplicación de la concentración ambiental máxima estimada por el factor de riesgo unitario.

$$\text{MICR} = \Sigma_i R_i = \Sigma X_c \text{URF}_c \quad (3.4)$$

El MICR se calcula para riesgos que ocurren más allá de la empresa. El MICR emplea un tiempo de vida de 70 años para los residentes, denominado como MICR residente.

Para los trabajadores, afuera del área el MICR empleado se calcula como el 14% del residente.

#### 3.5.2 Carga de Exceso de Cáncer en la Población

Es el incremento estimado en el número de casos de cáncer en la población como resultado de la exposición a las sustancias en el ambiente. Esto también se refiere al Riesgo de Cáncer de la Población (CPR) o simplemente como la "carga".

Por cada unidad de población se requiere calcular la carga de exceso de cáncer para poblaciones residencial u trabajadora. EL Riesgo de Cáncer de la Población es el

producto de la población y el riesgo individual estimado de la exposición a sustancias liberadas en el ambiente.

$$\text{CPR}_{\text{Total}} = \sum_i \text{CPR}_i = \sum R_i P_i \quad (3.5)$$

$R_i$  = es el exceso de riesgo de cáncer individual en el tiempo de vida.

$P_i$  = es la población total a la población a nivel de exposición asociado con  $R_i$ .

Los indicadores de efecto a la salud no canceroso en los estudios de riesgo legislado se emplean un índice de peligro específico. Esos índices usualmente se comparan a 1.0, se expresa un cociente relativo a un nivel de referencia legislado. Arriba de ese nivel de referencia, se requiere de una cuantificación adicional.

Índice de peligrosidad a la salud crónico ( $HI_{\text{crónico}}$ ):

$$HI = \sum X_c / REL_{c \text{ crónico}} \quad (3.6)$$

Índice de peligrosidad agudo a la salud ( $HI_{\text{agudo}}$ ):

$$HI = \sum X_c / REL_{c \text{ agudo}} \quad (3.7)$$

### 3.5.3 Pérdida de Esperanza de Vida.

La pérdida de esperanza de vida (LLE), se puede calcular usando rangos de mortalidad ( $m_i$ ) como una función de la edad (denotada por el subíndice  $i$ , donde 1 representa 0-1 año de edad, 2 representa 1-2 años, etc) obtenida de la estadística de censo. La probabilidad de morir en un rango de edad 1 (denotado por el índice 1) es  $n_1$  y la fracción estadística es la restante a vivas  $1-n_1$ . Generalizando esto;

$$n_i = r_{i-1} * m_i$$

$$r_i = r_{i-1} * n_i$$

Donde:

$$r_0 = 1 \quad y \quad i \geq 1.$$

Este sistema puede ser solucionado para todo  $i$ , comenzando de  $i = 0$ . La esperanza de vida  $E$  es dada por

$$E = \sum n_i * y_i$$

Donde:

$y_i$  = representa la combinación de grupos de edad (por ejemplo para el grupo de edad 53-54,  $y = 54$ ).

Un cambio en el desarrollo es reflejado en una nueva esperanza de vida,  $E_n$  entonces es usado para calcular la pérdida de esperanza de vida (LLE)

$$LLE = E_n - E$$

Cuando se tiene disponible suficiente información, todo  $m_i$  aumenta en una cantidad idéntica,  $r$  (la probabilidad por año), o el mismo factor,  $f$  relación empírica aproximada.

$$LLE = 1.1 \cdot 10^6 \cdot r \quad (\text{en días}) \quad \text{para } r < 10^{-3} / \text{años}$$

$$LLE = 13 \cdot \ln f \quad (\text{en años}) \quad \text{para } 0.2 < f < 5$$

## RESULTADOS

A partir de la información pública obtenida de la página electrónica del RETC, de un total de 53 industrias que reportan las cantidades de contaminantes que emiten; ya sea por suelo, agua y aire, se consideraron sólo 29 por presentar emisiones de alguna de las siguientes sustancias: Acetaldehído, Arsénico, Cadmio, Benceno, Formaldehído, Plomo. Pero nuestro estudio se orienta al aspecto atmosférico, entonces de las 29 industrias se contemplaron 6 por ser las que producen contaminación atmosférica (ver Anexo 1). Para la realización de este trabajo se consideraron los siguientes supuestos:

- 1).-La altura de las chimeneas es de 25-50ft (7.6-15.2m) para todas las plantas en estudio
- 2).-La distancia considerada es de 150 a 200m para cada una de las industrias
- 3).-Horario de operación de las plantas industriales fue de 365 días y 24 horas.
- 4).-El factor de dilución ( $\lambda/Q$ ) considerado es de 1.05 para todos los casos
- 5).-La población que se tomó en consideración fue de un millón de personas.
- 6).-El tipo de contaminante es gaseoso (aire atmosférico)
- 7).-El factor de ajuste de proximidad  $RP = 0.25$

<b>Cuadro 4.1. Riesgo Ambiental y el (I.P)Índice de Peligrosidad en la Población</b>							
Establecimiento	Sector	Municipio	Contaminantes Atmosféricos	Riesgo Individual [LCP]	Riesgo Total [casos/millón]	Pérdida esperanza de vida [días]	I. P.
CENTRAL TERMOELECTRICA DE CICLO COMBINADO "EL SAUZ"	Generación de Energía Eléctrica	San Pedro Escobedo	Formaldehído	0.00006	692.00	761	3.00
			Benceno	0.00044			
			Acetaldehído	0.000641			
ARTEVA SPECIALTIES S. DE R.L. DE C.V.	Química	Querétaro	Acetaldehído	0.000340	343.00	377	3.00
			Formaldehído	0.000003			
KIMBERLY CLARK DE MEXICO S.A. DE C.V.	Celulosa y Papel	San Juan del Rio	Formaldehído	0.00038	38.00	42	0.00
QUEST INTERNACIONAL DE MEXICO S.A. DE C.V.	Química	Querétaro	Acetaldehído	0.000007	7.00	8	0.00
PPG INDUSTRIES DE MÉXICO S.A. DE C.V.	Pinturas y Tintas	San Juan del Rio	Formaldehído	0.00000	0.00	0	0.00
SIKA MEXICANA S.A. DE C.V.	Química	Corregidora	Formaldehído	0.00000	0.00	0	0.00

Ver Anexo 2 y 3 donde se encuentran registrados los valores que se emplearon en los cálculos.

En la cuadro 4.1 se muestran los establecimientos, sectores industriales y municipios que presentan un mayor riesgo ambiental por las sustancias emitidas a la atmosfera, estos riesgos esta en función de la cantidad y del tipo de compuesto químicos emitidos; con base al riesgo tenemos el siguiente orden; la industria Generadora de Energía Eléctrica con el Formaldehído, Benceno y Acetaldehído; le sigue la industria química con Acetaldehído y el Formaldehído y posteriormente la industria de Celulosa y Papel y la industria de Pintura y Tinta con aportación del Formaldehído. También representan el índice de peligrosidad por sectores y municipios que para este caso los establecimientos generadores son; la Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado “El Sauz” y Arteva Specialties S. de R.L. de C.V.

En el cuadro 4.2 podemos observar los riesgos individuales que presenta de cada contaminante atmosférico y la suma total de cada uno de ellos.

El contaminante atmosférico que presenta el mayor riesgo es el Acetaldehído, el Formaldehído esta presente como segundo lugar, y en tercer lugar el Benceno para el estado de Querétaro.

<b>Cuadro 4.2.</b> Clasificación de los Establecimientos y Sectores dependiendo del Contaminante y Riesgo [LCP]					
No	Establecimiento	Sector	Contaminantes Atmosféricos		
			Acetaldehído	Benceno	Formaldehído
1	ARTEVA SPECIALTIES S. DE R.L. DE C.V.	QUÍMICA	0.000340	-	0.000003
2	SIKA MEXICANA S.A. DE C.V.	QUÍMICA	-	-	1.65E-08
3	QUEST INTERNATIONAL DE MÉXICO S.A. DE C.V.	QUÍMICA	0.000007	-	-
4	CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO COMBINADO EL SAUZ	GENERACION DE ENERGÍA ELÉCTRICA	0.000641	0.000044	0.000006
5	PPG INDUSTRIES DE MÉXICO S.A. DE C.V.	PINTURAS Y TINTAS	-	-	5.77E-08
6	KIMBERLY CLARK DE MÉXICO S.A. DE C.V	CELULOSA Y PAPEL	-	-	0.000038
<b>T O T A L</b>			0.000989	0.000044	0.000047

Los resultados nos proporcionan una visión global de la situación que presenta el estado Querétaro, con respecto al riesgo ambiental de emisiones contaminantes a la atmosfera.

Por otro lado los sectores industriales mencionados anteriormente presentan riesgos mayores al recomendado (1 caso por millón) por la contaminación generada y que es arrojada a la atmósfera; Además las siguientes sustancias como arsénico y plomo (compuestos) que son responsables de provocar daño a la salud, y a largo plazo provocar cáncer.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Se alcanzaron los objetivos planteados en este trabajo, es decir; se evaluó el riesgo ambiental generado por las emisiones contaminantes de la industria, además se obtuvieron los riesgos individuales ambientales de compuesto tóxicos como el acetaldehído, benceno, formaldehído, esto se logró aplicando la metodología evaluación de riesgo presentada. También se jerarquizó al sector industrial con base a la evaluación realizada de contaminantes. Siendo el sector industrial Generador de Energía Eléctrica que contribuyen en mayor proporción al riesgo ambiental con el Formaldehído, Benceno y Acetaldehído.

La información generada en este trabajo es una estimación de lo que podría suceder si no se logra una disminución en las emisiones de tóxicos atmosféricos para mejorar la calidad del aire y reducir el riesgo ambiental.

Para esta serie de sustancias químicas se han evaluado su riesgo en la salud de la población expuesta a dicha contaminación,

A partir de la evaluación de riesgo ambiental se requerirá elaborar un análisis más detallado a las industrias identificadas anteriormente con el objeto de evaluar detalladamente los efectos y con ello sugerir o implementar medidas de control que contribuirán con la generación de condiciones ambientales más saludables.

Esta información esta sujeta a ciertas limitaciones, como las consideraciones tomadas para realizar los cálculos. Un estudio más preciso tendría que tomar en cuenta información más detallada de la industria en estudio, la meteorología así como de la población cercana.

### 5.2 Recomendaciones

1.- Conocer la situación actual tanto de concentraciones ambientales de tóxicos atmosféricos como de sus emisiones en el estado y los municipios que son considerados industriales, mediante monitoreo y/o mejoramiento de los inventarios de emisiones.

2.-. En el control de la emisión de contaminantes atmosféricos se puede actuar de tres formas posibles; mediante la construcción de chimeneas de mayor altura, y sobre el proceso productivo (equipo de control y cambio de proceso)

3.- La construcción de chimeneas de altura adecuadas a sus emisiones generadas durante sus procesos productivos. Tomado en cuenta que si bien esto soluciona el problema a nivel local hace que tenga un problema regional.

4.- A nivel de la industria, detectar los puntos en los procesos, donde se generan sustancias toxicas y buscar alternativas de reducción de dichas emisiones

5.- Fomentar en la población una cultura de no contaminar, el aire, suelo y agua del área en que vivimos

6.- Dar difusión de las consecuencias que podría tener en su estado de salud de la población.

### **5.3 Propuestas particulares**

Este trabajo se puede tomar como referencia para realizar un estudio de riesgo ambiental donde sean evaluados otros factores como las condiciones actuales de altura de chimenea, ubicación de la población y condiciones atmosféricas; por ejemplo el viento y el clima de estaciones (secas, inviernos, lluvia, etc.).

Investigar como afecta la contaminación atmosférica, a los ecosistemas naturales y antropicos.



## BIBLIOGRAFÍA

Air Resource Board California “The Air Toxics Hot Spots Program Guidance Manual for Preparation of Health Risk Assessments” 2003

Evans John, et al. “Introducción al Análisis de Riesgos Ambientales”, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México D.F 2003.

Fernández Bremauntz Adrián. “Sustancias Tóxicas Persistentes en México”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México D.F 2004

Gratt, Lawrence B. “Air Toxic Risk Assessment and Manangement” Van Nosrand Reinhold USA 1996

Rico Mendez Favio Gerardo, et al. Daño a la Salud por Contaminación Atmosférica. IMSS. México. 2001.

Sitios web. visitados:

<http://www.oehha.ca.gov/>(visitado por ultima vez, septiembre / 2008)

<http://www.laneta.apc.org> (visitado por ultima vez, septiembre / 2008)

<http://www.consorcioecologicodemexico> (por ultima vez, septiembre / 2008)

<http://www.semarnat.gob.mx> (visitado por últimas vez septiembre / 2008)

<http://www.epa.gov> (visitado por última vez, Octubre / 2008)

<http://www.inegi.org.mx/inegi/>(visitado por última vez, Diciembre / 2008)

<http://www.ine.gob.mx/>(visitado por última vez, Diciembre /2008)

<http://www.ipcc.ch/spanish.htm>(visitado por última vez, Diciembre / 2008)

# ANEXOS

## Anexo 1 Reporte de RETC en el Estado de Querétaro del año 2004

Establecimiento	Sector	Estado	CONTAMINANTES (Ton/Año)					
			Acetaldehído	Arsénico	Benceno	Cadmio (compuesto)	Formaldehído	Plomo (compuesto)
ADITIVOS MEXICANOS S.A. DE C.V.	QUÍMICA	QRO		0				0.0051
ARTEVA SPECIALTIES S. DE R.L. DE C.V.	QUÍMICA	QRO		0.0003				
ARTEVA SPECIALTIES S. DE R.L. DE C.V.	QUÍMICA	QRO	24.4	0.0005			0.038	
Agrogen S. A. de C. V.	QUÍMICA	QRO		0.0002				
GALNIK S.A. DE C.V.	QUÍMICA	QRO		0.0002				0.0029
PANAMERICANA VETERINARIA DE MÉXICO S.A. DE C.V.	QUÍMICA	QRO		0.0017				
SIKA MEXICANA S.A. DE C.V.	QUÍMICA	QRO		0			0.0002	
QUEST INTERNATIONAL DE MÉXICO S.A. DE C.V.	QUÍMICA	QRO	0.5	0.0004				0.0091
TALOQUIMIA S.A. DE C.V.	QUÍMICA	QRO		0				0.0011
CARDANES S.A. DE C.V.	AUTOMOTRÍZ	QRO		0.0002				0.0049
Climate Systems Mexicana S. A. de C.V.	AUTOMOTRÍZ	QRO		0.0001				
INDUSTRIAS MICHELIN S.A. DE C.V.	AUTOMOTRÍZ	QRO		0.0008				
RONAL MEXICANA SA DE CV	AUTOMOTRÍZ	QRO		0				0.0028
TRANSMISIONES Y EQUIPOS MECANICOS S.A. DE C.V	AUTOMOTRÍZ	QRO		0.0055				0.0058
TRW Sistemas de Direcciones S.A. de C.V.	AUTOMOTRÍZ	QRO		0.0048				0.0048
TURBORREACTORES S. A. DE C. V.	AUTOMOTRÍZ	QRO		0.0006				0.0013
VALEO MATERIALES DE FRICCIÓN DE MÉXICO S.A. DE C.V.	AUTOMOTRÍZ	QRO						0.0022
APPLICA MANUFACTURING S. DE R.L. DE C.V.	METALURGICA (Incluye la Siderúrgica)	QRO		0.0003				0.0115
Cia. Minera Peña de Bernal S.A. de C.V. Proyecto San Pedrito	METALURGICA (Incluye la Siderúrgica)	QRO		0.0001				0.0015
CLAVOS NACIONALES S.A. DE C.V.	METALURGICA (Incluye la Siderúrgica)	QRO		0.0001				
Compañía Minera Peña de Bernal S.A. de C.V.	METALURGICA (Incluye la Siderúrgica)	QRO		0.0001				0.0015
REXAM BEVERAGE CAN AMERICAS	METALURGICA (Incluye la siderúrgica)	QRO		0.0001				
CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO COMBINADO EL SAUZ	GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	QRO	0.4366		0.1314		7.7791	
PPG INDUSTRIES DE MEXICO S.A. DE C.V.	PINTURAS Y TINTAS	QRO		0.0001			0.0007	0.0024
KIMBERLY CLARK DE MÉXICO S.A. DE C.V	CELULOSA Y PAPEL	QRO		0.0279			0.4578	0.6975
CONSTRULITA QUERETARO S.A DE C.V.	EQUIPOS Y ARTÍCULOS ELECTRÓNICOS, ELÉCTRICOS Y DOMESTICOS	QRO						0.0018
ALUMOCLAD DE MEXICO SA DE CV	ARTÍCULOS Y PRODUCTOS METÁLICOS	QRO						0.0016
COMISION NACIONAL DE LIBROS DE TEXTO GRATUITOS	OTROS	QRO		0.0001				
LABORATORIO LITO COLOR S. A. DE C. V.	OTROS	QRO		0				0.0039

**Nota:** Solo aparecen los sectores generadores de los contaminantes considerados en el estudio.

## Anexo 2 Memoria de Cálculo

La base de datos reporta la emisión (Q), en toneladas /años, por lo tanto se deben realizarse las siguientes operaciones para convertir a *libras/años*.

Realizando las siguientes operaciones:

$$(ton/años) \times 2204.59 = libras/años$$

Después se convirtió:

$$(lb/años) \div 365 = lb/días$$

Los factores URF, IPF y REL agudo y crónico se obtuvieron de tablas (no se encontraron para todos los contaminantes), con un factor unitario de riesgo (URF) se cálculo  $Q * URF$

El valor del Factor de Dilución ( $X/Q$ ) [ $\mu g/m^3 lb/d$ ] se obtuvo del cuadro 3.1 para una altura de 25 a 50 ft (Grantt, Lawrence B, "Air. Toxic Risk Assessment and Management")

Para la Estimación y Medición de Riesgo. La evaluación del efecto cancerígeno (crónico) y no cancerígeno (agudo).

$$R_{CÁNCER\ TOTAL} = \sum_c (Q_c (X/Q) * URF_c) MP$$

Donde:

$Q_c$  = Emisión del Compuesto (lb/días)

$URF_c$  = Factor de Riesgo Unitario del Compuesto [LCP/(lb/d)]

RP = Factor de Ajuste a la proximidad del receptor (a dimensional). Se utilizó 0.25 para todos los casos.

$$R_{NO\ CÁNCER} = \sum_c (Q_c / REL_c) (RP * (150 \text{ ó } 1500))$$

Donde:

$Q_c$  = Emisión del compuesto (lb/años).

$REL_c$  = Nivel de Exposición de Referencia del compuesto ( $\mu g/m^3$ ).

RP = Factor de Ajuste a la proximidad del receptor (a dimensional).

150 = Constante para efectos crónicos usados para normalización  $Q_c = [lb/años]$

1500 = Constante para efectos agudos usados para normalización  $Q_c = [lb/h]$

Índice de peligro a la salud crónica

$$HI = \sum R_c = \sum X_c URF_c$$

Donde:

HI = Riesgo a cáncer individual máximo.

$$X_c = [Q_c(X/Q)]_{\max.}$$

Al utilizar URF constante se considera un promedio de vida de 70 años para el residente, y 46 años por 365 días y 24 horas para el trabajador.

$$HI_{\text{RESIDENTE}} \times 0.144 = HI_{\text{TRABAJADOR}}$$

## Anexo 3 Tabla de Referencia

CONSOLIDATED TABLE OF OEHHA/ARB APPROVED RISK ASSESSMENT HEALTH VALUES

Chemical	Chemical Abstract Number	Noncancer Effects						Cancer Risk						
		Acute Inhalation (µg/m <sup>3</sup> )	Date Value Reviewed [Added]	Chronic Inhalation (µg/m <sup>3</sup> )	Date Value Reviewed [Added]	Chronic Oral (mg/kg/d)	Date Value Reviewed [Added]	Inhalation Unit Risk (µg/m <sup>3</sup> )	Inhalation Cancer Potency Factor (mg/kg-d) <sup>-1</sup>	Date Value Reviewed [Added]	Oral Slope Factor (mg/kg/d) <sup>-1</sup>	Date Value Reviewed [Added]	MWAF	
Acetaldehyde	75-07-0	-	-	9.00E+00	5/93	-	-	2.70E-06	1.00E-02	4/99 [5/98]	-	-	-	1
ARSENIC AND COMPOUNDS (INORGANIC) <sup>TMC</sup>	7440-38-2 1016 [1015]	0.19 AveP	4/-99	3.00E-02	1/ 01	3.00E-04	10/00	3.3E-03 <sup>TMC</sup>	1.20E+01	7/90	1.5E+00	10/00	1	
BENZENO <sup>TMC</sup>	71-43-2	1.3E+03 AveP	4/-99	6.00E+01	2/00	-	-	2.9E-05 <sup>TMC</sup>	1.00E-01	1/85	-	-	1	
CADMIUM AND COMPOUNDS <sup>TMC</sup>	7440-43-9 [1045]	-	-	2.00E-02	1/ 01	5.00E-04	10/00	4.2E-03 <sup>TMC</sup>	1.50E+01	1/87	-	-	1	
FORMALDEHYDE <sup>TMC</sup>	50-00-0	9.40E+01	4/-99	3.00E+00	02/00	-	-	6.0E-06 <sup>TMC</sup>	2.10E-02	3/92	-	-	1	
LEAD AND COMPOUNDS <sup>TMC</sup> W (inorganic) values also apply to:	7439-92-1 1128 [1130]	-	-	-	-	-	-	0.000012 <sup>TMC</sup>	4.20E-02	4/97	8.5E-03	10/00	1	
Lead acetate	301-04-2	-	-	-	-	-	-	4.20E-02	1.2E-05 <sup>TMC</sup>	4/97	8.5E-03	10/00	0.637	
Lead phosphate	7446-27-7	-	-	-	-	-	-	4.20E-02	1.2E-05 <sup>TMC</sup>	4/97	8.5E-03	10/00	0.7659	
Lead subacetate	1335-32-6	-	-	-	-	-	-	4.20E-02	1.2E-05 <sup>TMC</sup>	4/97	8.5E-03	10/00	0.7696	

Table last update: August 23; 2004 ([www.oehha.cagov](http://www.oehha.cagov))

#### Anexo 4 Acrónimos

EPA	= Agencia de Protección del Medio Ambiente (Evironmental Proctetion Agency)
CPR	= Riesgo de Cáncer de la Población
LCP	= Probabilidad de Cáncer en el Tiempo de Vida (Lifetime Cancer Probability)
LGEEPA	=Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
LLE	= Pérdida de Esperanza de Vida
MICR	= Riesgo Individual Máximo a Cáncer
MP	= Factor Multi-ruta
NPRI	= National Pollutant Release Inventory (Canadá) Inventario Nacional de Contaminantes Liberados
RP	= Es el Factor de Ajuste de Proximidad (adimensional)
RETC	= Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (México)
TRI	= Toxics Release Inventory (Estados Unidos) Inventario de Tóxicos Liberados
URF	= Factor Unitario de Riesgo

## Anexo 5 Glosario

**Atmósfera.**-Cubierta gaseosa que rodea la Tierra. La atmósfera seca está formada casi en su integridad por nitrógeno (78,1 por ciento de la proporción de mezcla de volumen) y por oxígeno (20,9 por ciento de la proporción de mezcla de volumen), junto con una serie de pequeñas cantidades de otros gases como argón (0,93 por ciento de la mezcla de volumen), el helio, y gases radiativos de efecto invernadero como el dióxido de carbono (0,035 por ciento de la mezcla de volumen) y el ozono. Además, la atmósfera contiene vapor de agua, nubes y aerosoles con una cantidad variable pero que es normalmente de uno por ciento del volumen de mezcla.

**Compuestos Orgánicos Volátiles (COV).**-Cualquiera de los compuestos orgánicos liberados a la atmósfera por las plantas o por vaporización de productos del petróleo, que son químicamente reactivos y que participan en la química de la producción del ozono troposférico.

**Contaminantes Primarios.**-Un contaminante primario es aquél que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química. Para fines de evaluación de la calidad del aire se consideran: Óxidos de Azufre, Monóxido de Carbono, Óxido de Nitrógeno, y Partículas.

**Contaminantes Secundarios.**-Son los que han estado sujetos a cambios químicos, o bien, son el producto de la reacción de dos o más contaminantes primarios en la atmósfera. Un ejemplo es el ozono que surge de los vapores orgánicos y óxidos de nitrógeno que emite una estación de gasolina o el escape de los automóviles. Los vapores orgánicos reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar y producen el ozono, componente primario del smog fotoquímico.

**Diámetro Dinámico.**-Es el diámetro equivalente al de una partícula esférica de densidad unitaria ( $1\text{g/cm}^3$ ), la cual tiene la misma velocidad de depósito que la partícula considerada.(NOM-025-SSA1-1993).

**Emisiones.**-En el contexto de cambio climático, se entiende por emisiones la liberación de gases de efecto invernadero y/o sus precursores y aerosoles en la atmósfera, en una zona y un período de tiempo específicos.

**Emisiones Antropogénicas.**-Emisiones de gases de efecto invernadero, de precursores de gases de efecto invernadero, y aerosoles asociados con actividades humanas. Entre estas actividades se incluyen la combustión de combustibles fósiles para producción de energía, la deforestación y los cambios en el uso de las tierras que tienen como resultado un incremento neto de emisiones.

**Estratosfera.**-Región muy estratificada y estable de la atmósfera situada por encima de la troposfera y que se extiende entre los 10 y los 50 km, aproximadamente (Véase también "troposfera").

**Hidrosfera.**-Componente del sistema climático que consta de superficie líquida y aguas subterráneas, como los océanos, mares, ríos, lagos de agua dulce, aguas subterráneas, etc.

**Microgramo por metro cúbico** ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), a la expresión de concentración en masa del contaminante (en microgramos) en un volumen de aire (metro cúbico) a condiciones locales de temperatura y presión (NOM-025-SSA1-1993).

**NPRI**= Es el Inventario Nacional de Contaminantes Liberados en Canadá (National Pollutant Release Inventory) cuentan con un listado de de 245 sustancias peligrosas (instrumentos homólogos de los países miembros del Tratado de Libre Comercio para América del Norte).

**Normas.**-Conjunto de reglas o códigos que da instrucciones o define el rendimiento de un producto (por ejemplo, niveles, dimensiones, características, métodos de prueba para su uso). Las normas reducen las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la fabricación o empleo de los productos y/o la aplicación de la tecnología.

**Órgano Blanco.**-Se usa frecuentemente para designar a la parte del organismo que recibe el impacto del contaminante tóxico y presenta la respuesta biológica correspondiente a la exposición. Se puede referir a una molécula ADN, proteína o a un órgano como hígado, riñón, cerebro, médula espinal. También se usa para designar al individuo, subpoblación que quedan expuestos a los tóxicos en un sitio determinado.

**Partículas PM<sub>10</sub>** Son las partículas con diámetro aerodinámico igual o menor a 10 micrómetros (NOM-025-SSA1-1993).

**Partículas PM<sub>2.5</sub>** Son las partículas con diámetro aerodinámico igual o menor a 2.5 micrómetros (NOM-025-SSA1-1993).

**Partículas Suspendidas Totales (PST)** Son las partículas con un diámetro aerodinámico menor aproximadamente 50 micrómetros medidas con un muestreador de alto volumen (NOM-025-SSA1-1993).

**Partículas de Hollín.**-Partículas formadas durante el enfriamiento de la combustión de gases en los bordes exteriores de las llamas de vapores orgánicos; consisten sobre todo en carbono, con cantidades inferiores de oxígeno e hidrógeno presentes como grupos carboxilos y fenólicos, y presenta una estructura gráfica imperfecta (Charlson y Heintzenberg, 1995).



**Probabilidad de Cáncer en el Tiempo de Vida (LCP** en ingles Lifetime Cancer Probability)),.-La probabilidad de cáncer en el tiempo de vida es el incremento en la probabilidad de un individuo de contraer cáncer debido a la exposición adicional de la sustancia en estudio en este caso el acetaldehído (CHO), benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), y el formaldehído (HCHO).

**ppm.**-Es el número de moléculas en un millón de moléculas de aire (ppm/1000000)

**RETC.**-Es el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes en México y cuentan con un listado de 104 sustancias peligrosas

**Tiempo de Vida.**-Término general utilizado para varias escalas temporales que muestran la velocidad de los procesos que afectan la concentración de gases traza. En general, el tiempo de vida muestra el tiempo medio que un átomo o molécula pasa en un depósito determinado, como la atmósfera o los océanos.

**TRI** Es el Inventario de Tóxicos Liberados en Estados Unidos (Toxics Release Inventory) cuentan con un listado de 579 sustancias peligrosas (instrumentos homólogos de los países miembros del Tratado de Libre Comercio para América del Norte)

**Tropósfera.**-Parte inferior de la atmósfera, comprendida desde la superficie y unos 10 km de altitud en latitudes medias (variando, en promedio, entre 9 km en latitudes altas y 16 km en el trópico), en donde se encuentran las nubes y se producen los fenómenos “meteorológicos”.