



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“Evaluación Preliminar del Riesgo Atmosférico a partir
del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos
de la Zona Metropolitana Del Valle de México 2008”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

ROSA MARÍA GUERRA CARRANZA



MÉXICO, D.F. 2012



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.



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE:

Dra. IRMA CRUZ GAVILÁN GARCÍA

VOCAL:

Dra. LUZ MARÍA LAZCANO ARRIOLA

SECRETARIO:

Dr. JOSÉ AGUSTÍN GARCÍA REYNOSO

1er. SUPLENTE:

Mtro. SERGIO ADRIAN GARCÍA GONZÁLEZ

2° SUPLENTE:

Dra. GEMA LUZ ANDRACA AYALA

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

**CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, CIUDAD
UNIVERSITARIA.**

DR. JOSÉ AGUSTÍN GARCÍA REYNOSO

ASESOR DEL TEMA

ROSA MARÍA GUERRA CARRANZA

SUSTENTANTE



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Dedico este trabajo a mi familia que con su ejemplo, impulso, sacrificio y amor me han dado uno de los más grandes regalos que es mi educación. Sus consejos, valores y amistad han sido indispensables a lo largo de mi vida.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi mamá, por sus consejos, sus ganas de seguir adelante sin importar las adversidades que se han presentado, su amistad y todo el amor que me da.

A mi papá, por ser más que un padre, un amigo. Por su valioso ejemplo, amor y sacrificio que han hecho posible el logro de todas mis metas.

A mi hermano Germán, por su cooperación, disposición y tiempo durante el desarrollo de este trabajo. Por su amistad incondicional, sus consejos que me ilustran a ver las cosas desde otra perspectiva y por ser mi compañero en todo momento.

A mi familia y amigos por su interés en mi bienestar, logros y adversidades.

A la UNAM, a la Facultad de Química y al personal académico por todos los conocimientos y aportaciones recibidas para mi formación como ingeniera química y por darme el privilegio de cursar mi carrera en la máxima casa de estudios.

Al Dr. José Agustín García por las recomendaciones, paciencia, conocimientos y apoyos brindados que hicieron posible la elaboración de esta tesis.

A los miembros del jurado por sus valiosos comentarios, su dedicación y tiempo.



ÍNDICE

Introducción.....	6
Objetivo General y Objetivos Particulares.....	9
Antecedentes.....	10
CAPÍTULO I. Contaminantes y su clasificación.....	13
I.I Definición de contaminante del aire.....	13
I.II Clasificación de los contaminantes del aire.....	13
I.II.I Contaminantes criterio.....	14
I.II.II Contaminantes tóxicos atmosféricos.....	16
CAPÍTULO II. Inventarios de emisión.....	19
II.I. Inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM 2008.....	20
II.I.I Principales contaminantes tóxicos estimados en la ZMVM.....	21
II.I.II Aporte de emisiones por tipo de fuente.....	24
CAPÍTULO III. Medición de contaminantes tóxicos en la ZMVM.....	25
CAPÍTULO IV. Evaluación del riesgo.....	27
IV.I Identificación del peligro.....	28
IV.II Evaluación de la exposición.....	29
IV.III Evaluación de la dosis-respuesta.....	30
IV. IV Caracterización del riesgo.....	31
Capitulo V. Metodología y estrategias utilizadas para la evaluación del riesgo.....	32
V.I Factor de riesgo unitario.....	32
V.II Cálculo del riesgo.....	33
V.II.I Cálculo del riesgo carcinogénico.....	33
V.II.II Cálculo del Índice de riesgo no carcinogénico.....	34
V.III Cálculo del Factor de dilución.....	36
V.IV Cálculo de la pérdida de la esperanza de vida.....	36
V.V Cálculo de los nuevos casos de cáncer al año a partir del riesgo y la pérdida de la esperanza de vida.....	37
Capítulo VI. Resultados.....	38
VI.I Factor de dilución.....	38
VI.II Riesgo carcinogénico.....	39
VI.III Índice de riesgo no carcinogénico agudo.....	40
VI.IV Índice de riesgo no carcinogénico crónico.....	42
VI.V Pérdida de la esperanza de vida.....	45
VI. VI Nuevos casos de cáncer al año.....	45
Capítulo VII. Análisis de resultados.....	46
Capítulo VIII. Conclusiones.....	51
Referencias.....	54
Anexos.....	60



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores límite permisibles para las Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire.....	15
Tabla 2. Lista de 33 sustancias tóxicas en el aire.....	17
Tabla 3. Contribución de emisiones por entidad de contaminantes tóxicos atmosféricos en la ZMVM, 2008.....	22
Tabla 4. Emisiones de los principales contaminantes tóxicos del aire por fuente en la ZMVM [ton/año].....	24
Tabla 5. Factores de dilución para contaminantes tóxicos atmosféricos.....	38
Tabla 6. Contaminantes tóxicos atmosféricos que presentan riesgo carcinogénico.....	39
Tabla 7. Contaminantes tóxicos atmosféricos que presentan riesgo no carcinogénico agudo.....	40
Tabla 8. Contaminantes tóxicos atmosféricos que presentan riesgo no carcinogénico crónico.....	42
Tabla 9. Contaminantes tóxicos atmosféricos que representan el 80% de aportación al riesgo carcinogénico.....	47
Tabla 10. Contaminantes tóxicos atmosféricos que representan el 80% de aportación al riesgo no carcinogénico agudo.....	47
Tabla 11. Contaminantes tóxicos atmosféricos que representan el 80% de aportación al riesgo no carcinogénico crónico.....	48
Anexo I. Emisiones de contaminantes tóxicos del aire en la ZMVM, 2008...	60
Anexo II. Evaluación preliminar del riesgo.....	66



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, tiene como objetivo realizar una evaluación preliminar de riesgo que será utilizada para estimar y jerarquizar la importancia ambiental de las emisiones de los principales contaminantes tóxicos en la ZMVM, calculando cuantitativamente el riesgo a presentar cáncer, así como a efectos no carcinogénicos y un análisis comparativo de los mismos.

Comúnmente el riesgo ambiental se relaciona a eventos como incendio, explosión o fugas, en este trabajo se presenta la evaluación de riesgo por contaminantes tóxicos presentes en la atmósfera, que son emitidos por las diversas fuentes de forma continua durante condiciones normales.

Para realizar la evaluación, se partirá del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal del año 2008, publicado por el mismo organismo en el año 2010. Utilizando la información recolectada en el Inventario, se desarrollará un método que permita estimar el riesgo a los contaminantes tóxicos.

En el capítulo I. Contaminantes y su clasificación, se da una breve definición de qué es un contaminante, la clasificación de los contaminantes, y se enfoca en la clasificación de los contaminantes según su regulación.

En el capítulo II. Inventarios de emisión, se presentan la definición, los objetivos y los puntos a considerar en un inventario de emisiones; el



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

contenido del inventario de emisiones de contaminantes tóxicos atmosféricos de la ZMVM 2008, con los principales contaminantes identificados y su aportación por fuente de emisión.

El capítulo III. Medición de contaminantes tóxicos en la ZMVM, describe el sistema de monitoreo atmosférico de la Ciudad de México y los contaminantes a los que hace referencia.

En el capítulo IV. Evaluación del riesgo, se da una descripción de qué es y los componentes de la evaluación del riesgo a la salud.

El capítulo V. consta de las metodologías y estrategias utilizadas para la evaluación preliminar del riesgo a la salud para contaminantes tóxicos atmosféricos de la ZMVM.

En el capítulo VI. se dan a conocer los resultados de la evaluación.

El capítulo VII. se realiza la discusión de los resultados de la evaluación preliminar del riesgo a la salud.

En el capítulo VIII. se presentan las conclusiones del estudio y las recomendaciones del mismo.

Al final del trabajo se encuentra la sección de anexos que contiene el listado de los contaminantes tóxicos atmosféricos identificados en el inventario de emisiones (anexo 1.) y los resultados completos de la evaluación preliminar con los factores y concentraciones de referencia utilizados para realizar el cálculo de la evaluación del riesgo (anexo 2.).



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

La información proporcionada en este trabajo, ayudará a la toma de decisiones de control ambiental y al desarrollo de políticas de salud que permitan establecer la legislación y el monitoreo correspondiente en la ZMVM.



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación preliminar del riesgo atmosférico de los principales contaminantes tóxicos que se encuentran en la atmósfera en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

OBJETIVOS PARTICULARES

Calcular cuantitativamente los impactos a la salud por la exposición a los principales contaminantes tóxicos que se encuentran en la atmósfera en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), de acuerdo al Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos del año 2008 de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.



ANTECEDENTES

En las últimas décadas ha aumentado la preocupación por los efectos que tienen a la salud y al ambiente la contaminación atmosférica. Por ello, se han monitoreado los contaminantes para identificar y evaluar los problemas de la calidad del aire. El monitoreo, junto con los modelos de predicción y los inventarios de emisiones, son parte integral de la gestión de la calidad del aire.

La calidad del aire es un parámetro que indica cuánto aire está libre de contaminantes, el cual garantiza que la materia o energía, incluidos ruidos y vibraciones presentes en el aire, no impliquen molestia grave, riesgo o daño inmediato o diferido, para las personas y los bienes de cualquier naturaleza, cualesquiera que sean las causas que lo produzcan.

La calidad del aire en una región se determina mediante la medición de los contaminantes criterio. Sin embargo, no son los únicos en el ambiente que pueden ocasionar efectos adversos¹; también existen otras sustancias como lo son los contaminantes tóxicos, los gases de efecto invernadero, los compuestos orgánicos totales y volátiles, las sustancias que reducen la visibilidad. Para controlar todas éstas, se realizan tanto mediciones como inventarios de emisiones.

Las consecuencias de la exposición a sustancias tóxicas, como las que se presentan en el Inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM 2008, incluyen una amplia gama de efectos a la salud que

¹ Cambio bioquímico, deterioro funcional, o lesión patológica que afecta al rendimiento de todo el organismo, o reduce la capacidad de un organismo para responder a un desafío medioambiental adicional (EPA, 2011).



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

pueden ser agudos o crónicos, reversibles o irreversibles (Inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM 2008, 2010).

En la Ciudad de México se han realizado trabajos de evaluaciones de riesgo ambiental para contaminantes criterio y algunos contaminantes tóxicos, pero en ninguno de ellos se había empleado el inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM y las mediciones del riesgo como se presenta en este trabajo.

Por mencionar algunos trabajos realizados para la evaluación del riesgo se encuentran los siguientes:

- "*Evaluación preliminar de riesgos a la salud por inhalación de tóxicos atmosféricos en la Ciudad de México de junio a diciembre del 2011*". Tesis que para obtener el título de Ingeniero Químico, presenta Nancy Martínez Catana; asesor José Agustín García Reynoso – UNAM 2012.
- "*Evaluación de riesgo ambiental por la industria del Estado de Querétaro en operación normal*". Tesis que para obtener el título de Ingeniero Químico, presenta Carmelo Hipólito Rivera Domínguez; asesor José Agustín García Reynoso – UNAM 2009.
- "*Riesgo ambiental por contaminantes criterio y contaminantes peligrosos en dos sitios de la Ciudad de México*". Tesis que para obtener el título de Ingeniero Químico, presenta Erika Villaron Calderón; asesor José Agustín García Reynoso – UNAM 2007.
- "*Evaluación de riesgo de tóxicos atmosféricos: formaldehído en la Ciudad de México*". Tesis que para obtener el título de Ingeniero Químico, presenta Alejandra Carmona Villavicencio; asesor José Agustín García Reynoso – UNAM 2006.



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

- "*Riesgo ambiental en procesos químicos*". Tesis que para obtener el título de Ingeniero Químico, presenta Rafael Jiménez Barranco; asesor Adolfo Portilla González – UNAM 1998.

Por todo lo anterior, es indispensable realizar una evaluación del riesgo que pueda dar a conocer el riesgo que existe ante la exposición a un contaminante tóxico, la información que se tiene ante dicho riesgo y la población que puede verse afectada por la exposición. Siendo así un instrumento que sirva para informar sobre el riesgo posible y tomar las decisiones adecuadas para reducir el riesgo, aplicando programas y acciones que sean efectivos y económicos.



CAPÍTULO I. CONTAMINANTES Y SU CLASIFICACIÓN

I.I DEFINICIÓN DE CONTAMINANTE DEL AIRE

En general, un contaminante del aire puede definirse como cualquier sustancia emitida a la atmósfera que altere la composición natural del aire y pueda ocasionar efectos adversos en seres humanos, animales, vegetación o materiales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2005).

I.II CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

Por su tamaño se clasifican en gases y material particulado.

Por su origen los contaminantes se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera, manteniendo la misma estructura química. Su naturaleza es muy variada.

Los secundarios son aquellos que se encuentran sujetos a transformaciones y reacciones químicas de contaminantes primarios en la atmósfera.

De acuerdo a la normatividad se clasifican en contaminantes criterio y contaminantes tóxicos.



I.II.I CONTAMINANTES CRITERIO

Los contaminantes criterio son sustancias que se liberan en grandes cantidades de gran variedad de fuentes y presentan un riesgo a la salud y bienestar humano en grandes regiones. Los contaminantes criterio son los siguientes: Bióxido de azufre (SO_2), Bióxido de nitrógeno (NO_2), Material Particulado (PM): partículas suspendidas totales, partículas suspendidas menores a diez micras (PM_{10}) y partículas suspendidas con diámetro menor a 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$), Plomo (Pb), Monóxido de carbono (CO) y Ozono (O_3) (INE, 2009).

Para estos contaminantes existen normas primarias de calidad del aire, cuya finalidad es proteger la salud humana, y secundarias, para proteger el bienestar del ser humano y los ecosistemas.

En México se norman los contaminantes criterio, en estas normas se establecen los límites máximos permisibles y los periodos de exposición.



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Tabla 1. Valores límite permisibles para las Normas Oficiales Mexicanas de Calidad del aire.

CONTAMINANTE ATMOSFÉRICO Y NORMA OFICIAL MEXICANA	VALORES LÍMITE PERMISIBLES EN NORMAS OFICIALES MEXICANAS			
	EXPOSICIÓN AGUDA			EXPOSICIÓN CRÓNICA
	CONCENTRACIÓN	TIEMPO PROMEDIO	FRECUENCIA MÁXIMA ACEPTABLE	PARA PROTECCIÓN DE LA POBLACIÓN SUSCEPTIBLE
OZONO (O ₃) MODIFICACIÓN A LA NOM-020-SSA1-1993	216µg/m ³ (0.11 ppm)	1 hora	No se permite	-
	0.08 ppm	8 horas	4 veces al año	
BIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂) NOM-022-SSA1-1993	216µg/m ³ (0.11 ppm)	24 horas	1 vez al año	66µg/m ³ (0.025ppm) (*)
	524µg/m ³ (0.20 ppm)	1 hora	2 veces al año	
BIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO ₂) NOM-023-SSA1-1993	395µg/m ³ (0.21 ppm)	1 hora	1 vez al año	-
MONÓXIDO DE CARBONO (CO) NOM-021-SSA1-1993	12595µg/m ³ (11 ppm)	8 horas	1 vez al año	-
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) NOM-025-SSA1-1993	210µg/m ³	24 horas	-	-
PARTÍCULAS PM ₁₀ NOM-025-SSA1-1993	120µg/m ³	24 horas	2% de datos diarios en un año	50µg/m ³ (*)
PARTÍCULAS PM _{2.5} NOM-025-SSA1-1993	65µg/m ³	24 horas	2% de datos diarios en un año	15µg/m ³ (*)
PLOMO (PB) NOM-026-SSA1-1993	-	-	-	1.5µg/m ³ (**)

Nota: (*) Promedio aritmético anual (**) Promedio aritmético de tres meses

Fuente: Propia, realizada con la información de las NOM de Calidad del Aire, SEMARNAT.



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Para controlar los contaminantes criterio, se realizan tanto mediciones como inventarios de emisiones. Los efectos que causan estos contaminantes principalmente son agudos y no carcinogénicos. Sin embargo, no son los únicos en el ambiente que pueden ocasionar efectos adversos a la salud.

I.II.II CONTAMINANTES TÓXICOS ATMOSFÉRICOS

Existe un conjunto de sustancias conocidas como contaminantes tóxicos atmosféricos, algunas veces se les denomina contaminantes peligrosos del aire (HAPs, por las siglas en inglés de Hazardous Air Pollutants), de los que se realizan pocas mediciones en México.

El término general "contaminantes tóxicos atmosféricos" es utilizado para definir un grupo de sustancias tóxicas que pueden encontrarse en el aire en forma gaseosa o particulada que tiene la capacidad de causar un daño sistémico a los organismo vivos. Estas sustancias pueden tener desde efectos en la salud a corto plazo (efectos agudos), como lo es una irritación en las vías respiratorias, o a largo plazo (efectos crónicos) como el inducir cáncer en la población.

La Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), posee una lista de 189 sustancias peligrosas, de las cuales 33 sustancias tóxicas en el aire fueron identificadas porque presentan el mayor riesgo público a la salud en la mayoría de las áreas urbanas. Están consideradas las emisiones de las fuentes fijas, de área y móviles (EPA, 2008).



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

A continuación se presentan dichas sustancias:

Tabla 2. Lista de 33 sustancias tóxicas en el aire

SUSTANCIA TÓXICA		
Acetaldehído	Emisiones de horno de coque *	Compuestos de manganeso
Acroleína	Dioxinas	Compuestos de mercurio
Acrilonitrilo	Dibromuro de etileno *	Cloruro de metileno
Compuestos de arsénico	Dicloruro de propileno	Compuestos de níquel
Benceno	1, 3-dicloropropeno	Bifenilos policlorados (pcbs)
Compuestos de berilio	Dicloruro de etileno	Materia orgánica policíclica (POM)
1, 3-butadieno	Óxido de etileno	Quinolina
Compuestos de cadmio	Formaldehído	1, 2, 2-tetracloroetano
Tetracloruro de carbono *	Hexaclorobenceno	Percloroetileno
Cloroformo	Hidracina	Tricloroetileno
Compuestos de cromo	Compuestos de plomo	Cloruro de vinilo

(*) Sustancias que presentan la menor significancia de contribución de emisiones por fuentes de área.

Fuente: List of the 33 Urban Air Toxics, U.S. Environmental Protection Agency, 2008.

Esta categoría de contaminantes agrupa muchas sustancias con efectos diversos y las concentraciones en las que dichos efectos pueden presentarse son variadas, por lo que es de suma importancia evaluar su impacto.



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

La generación de emisiones de contaminantes tóxicos está asociada principalmente con el uso de disolventes, tintas, pinturas y barnices en actividades de recubrimiento y limpieza de superficies industriales, de recubrimiento de superficies arquitectónicas, de impresión, además de las emisiones generadas en los procesos de combustión de vehículos automotores.

De manera ideal, las emisiones de sustancias tóxicas son estimadas utilizando datos de muestreos en fuente o factores de emisión.

Por otro lado, se requieren criterios de ingeniería adicionales para determinar si un factor de emisión particular es aplicable para un determinado tipo de fuente o de proceso de emisión.

Las normas para controlar la emisión de estos contaminantes tóxicos establecen límites numéricos que protegen la salud humana. Sin embargo, el establecer normas de emisión basadas en la salud es un proceso difícil, debido a la incertidumbre en la evaluación de los efectos sobre la salud. Como resultado, Estados Unidos ha fijado normas de emisión basadas en los efectos a la salud sólo para ocho contaminantes: asbesto, cloruro de vinilo, benceno, arsénico, berilio, mercurio, radón y radionucleidos diferentes del radón (INE, 2009).



CAPÍTULO II. INVENTARIOS DE EMISIÓN

Los inventarios de emisiones constituyen una herramienta estratégica para la identificación de las fuentes emisoras y la caracterización de los contaminantes que éstas generan, a fin de implementar medidas de mitigación, constituyendo así el primer paso en la gestión de la calidad del aire.

Su objetivo es medir permanente y continuamente las concentraciones de los contaminantes atmosféricos. Son útiles tanto para las agencias de control como para las de planeación, para que de esta manera lleven a cabo estrategias necesarias para obtener la calidad del aire deseada.

Con el apoyo de modelos matemáticos apropiados y el inventario de emisiones; es posible determinar el grado de control necesario para cumplir con las normas de calidad del aire.

Para realizar un inventario de emisiones, se deben de considerar los siguientes puntos:

1. Identificar las fuentes existentes en el área
2. Determinar el tipo de contaminantes que son emitidos
3. Revisar en la literatura los factores de emisión para cada una de las fuentes localizadas en el área
4. Determinar número y tamaño de cada fuente; en el caso de industrias es la capacidad de producción, para los combustibles es común manejar su consumo, etcétera



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

5. Estimar las emisiones a la atmósfera multiplicando los valores encontrados en los incisos 3 y 4 (Contaminación del Aire; Riesgos a la Salud, 1997).

Para mantener vigente el conocimiento del origen y las causas que ocasionan la contaminación del aire, la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal actualiza bianualmente los inventarios de emisiones de contaminantes criterio, tóxicos y gases efecto invernadero para la ZMVM. Estos inventarios se elaboran con la participación de la SEMARNAT y la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México.

Para fines de este trabajo, únicamente se revisará a detalle el Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM 2008.

II.I INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES TÓXICOS DE LA ZMVM 2008

La Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal actualiza el Inventario de Contaminantes Tóxicos, el cual muestra los principales compuestos tóxicos generados por tipo de fuente y por entidad federativa, así como su distribución espacial en la ZMVM para el año 2008.

En el contenido del inventario se describe el área de estudio, los principales contaminantes tóxicos de la ZMVM y sus efectos en la salud, las metodologías utilizadas en la estimación de las emisiones por cada tipo de fuente, se presentan los principales contaminantes tóxicos que se emiten a la atmósfera en la ZMVM, identificados por entidad y por



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

fuente generadora, la distribución temporal y espacial de las emisiones de contaminantes tóxicos por tipo de fuente contaminante y se resumen algunas conclusiones y recomendaciones, generadas con base en los resultados del Inventario.

II.I.I PRINCIPALES CONTAMINANTES TÓXICOS ESTIMADOS EN LA ZMVM

En el inventario de emisiones de contaminantes tóxicos reportado por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal; en 2008 se identificaron 120 compuestos tóxicos, los cuales generaron poco más de 183 mil toneladas anuales, considerando las emisiones de fuentes puntuales, de área, móviles y naturales.

Los contaminantes tóxicos más sobresalientes por sus emisiones y que en conjunto representaron el 65% del total, fueron: tolueno, metanol, 1,1,1-tricloroetano, xilenos, n-hexano, metil terbutil éter, metil etil cetona, benceno y etil benceno.

En cuanto a la emisión de contaminantes tóxicos en la Zona Metropolitana del Valle de México, las fuentes de área aportan el 56% de las emisiones, siendo las actividades industriales de limpieza y recubrimiento de superficies industriales las que contribuyen más, con un 21% del total. Las fuentes puntuales aportan el 13% de contaminantes tóxicos totales. Las fuentes móviles contribuyen con el 27% de las emisiones totales, teniendo a los autos particulares como los más emisores con un 13% (Inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM 2008, 2010).



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Tabla 3. Contribución de emisiones por entidad de contaminantes tóxicos atmosféricos en la ZMVM, 2008.

FUENTE	DISTRITO FEDERAL	ESTADO DE MÉXICO	ZMVM	
	TON/AÑO	TON/AÑO	TON/AÑO	%
ÁREA	43,475	58,438	101,913	56
MÓVILES	26,691	23,339	50,030	27
PUNTALES	9,458	14,538	23,996	13
NATURALES	2,116	5,031	7,147	4
TOTAL	81,740	101,346	183,086	100

Fuente: Inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM 2008. Secretaría del Medio Ambiente GDF, 2010.

Tanto en el Distrito Federal como en el Estado de México, las fuentes de área son las que emiten más del 50% de las emisiones totales, entre las categorías más contaminantes están: la limpieza de superficie industrial, recubrimiento de superficies industriales y los rellenos sanitarios en el Estado de México. La contribución de las fuentes de área y naturales es mayor en el Estado de México, lo anterior debido al tamaño de la población y a la superficie de uso de suelo utilizado (Inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM 2008, 2010).

En el caso de las fuentes puntuales, el Distrito Federal cuenta con el 50% de las industrias registradas en la ZMVM y aporta el 12% de las emisiones de esta entidad, mientras que en el Estado de México, aporta el 14%, esto se debe a que esta entidad concentra mayor cantidad de industrias del sector químico y de fabricación de productos metálicos, las cuales son altas generadoras de contaminantes tóxicos (Inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM 2008, 2010).



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Para las emisiones de las fuentes móviles, el Estado de México contribuye con el 47% de la ZMVM (23% del total en su entidad), aun cuando la flota vehicular registrada en el Distrito Federal es casi el doble de la del Estado de México; lo anterior puede deberse a que tiene un parque vehicular más antiguo (Inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM 2008, 2010).



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

II.I.II APOORTE DE EMISIONES POR TIPO DE FUENTE

En la tabla 4 se muestran las emisiones de los 16 principales contaminantes tóxicos del aire por fuente identificados en el inventario en la ZMVM con mayor contribución de emisiones, los cuales representan el 82% de las emisiones totales, el 18% restante se agrupan en la categoría de "otros" y de "metales".

Tabla 4. Emisiones de los principales contaminantes tóxicos del aire por fuente en la ZMVM [ton/año]

CONTAMINANTE	PUNTUALES	ÁREA	MÓVILES	NATURALES	TOTAL	PORCENTAJE
TOLUENO	9,628	19,659	16,091	N/A	45,378	24.79%
ISÓMEROS DE XILENO	1,394	8,480	9,028	N/A	18,902	10.32%
METANOL	2,068	6,024	N/E	6,267	14,359	7.84%
1,1,1-TRICLOROETANO	N/S	8,823	N/E	N/A	8,823	4.82%
METIL ETIL CETONA	6,138	1,248	N/E	N/A	7,386	4.03%
N-HEXANO	842	5,225	1,282	N/A	7,349	4.01%
BENCENO	109	804	5,649	N/A	6,562	3.58%
2,2,4-TRIMETILPENTANO	4	652	5,601	N/A	6,257	3.42%
1,1,2,2-TETRACLOETILENO	2	6,090	N/A	N/A	6,092	3.33%
METIL T-BUTIL ÉTER	N/S	965	4,706	N/A	5,671	3.10%
M-XILENO	2	5,309	N/E	N/A	5,311	2.90%
TRICLOROTRIFLUOROMETANO	11	4,202	N/A	N/A	4,213	2.30%
ÉTILBENCENO	39	1,650	2,420	N/A	4,109	2.24%
TRICLOROETILENO	N/S	4,062	N/E	N/A	4,062	2.22%
FORMALDEHÍDO	199	339	2,751	246	3,535	1.93%
METIL ISOBUTIL CETONA	1,171	2,096	N/E	N/A	3,267	1.78%
OTROS	2,153	26,239	2,502	633	31,527	17.22%
METALES	236	46	N/S	1	283	0.15%
TOTAL	23,996	101,913	50,030	7,147	183,086	100.00%

N/A: No aplica, N/E: No estimado, N/S: No significativo.

Fuente: Inventario de emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM 2008, SMA GDF, 2010.



CAPÍTULO III. MEDICIÓN DE CONTAMINANTES TÓXICOS EN LA ZMVM

Los contaminantes criterio y los contaminantes tóxicos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) son determinados automáticamente por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT), sin embargo la medición de los compuestos orgánicos volátiles no se realiza de forma continua y sistemática en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, aunque diversas instituciones han realizado campañas de muestreo para conocer las concentraciones en el aire de estos compuestos, éstas se han realizado durante períodos cortos de medición.

En el SIMAT se reportan las concentraciones promedio en partes por billón de 24 horas de los contaminantes tóxicos BTEX como parte del programa de monitoreo permanente de la calidad del aire en la Ciudad de México. Por las necesidades de validación de la información los resultados se actualizan mensualmente.

El SIMAT cuenta con 5 estaciones que realizan el monitoreo de los contaminantes tóxicos BTEX. Estas son: Merced (MER), Pedregal (PED), UAM Iztapalapa (UIZ), FES Acatlán (FAC), San Agustín (SAG); estas dos últimas están localizadas en el Estado de México.

Para los contaminantes criterio, el SIMAT está integrado por subsistemas que realizan el monitoreo de las concentraciones de los contaminantes por: la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) que cuenta con 24 estaciones (21 están localizadas en el Distrito Federal y 13 en el Estado de México), realiza mediciones constantes de ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$); la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) que consta de 12 estaciones (7 se localizan en el Distrito Federal y 5 en el Estado de México), realiza mediciones cada seis días de Partículas Suspendidas Totales (PST), Partículas Menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y Partículas Menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$); la Red de Depósito Atmosférico (REDDA) que tiene 16 sitios de muestreo (12 están localizadas en el Distrito Federal y 4 en el Estado de México), obtiene muestras de depósito húmedo y depósito seco en la Ciudad de México, su análisis permite conocer la composición y algunas propiedades del agua de lluvia; y la Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET) que opera con 16 estaciones (10 ubicadas en el Distrito Federal y 6 ubicadas en el Estado de México), monitorea parámetros meteorológicos para elaborar el Pronóstico meteorológico, modelos de dispersión y el índice de radiación ultravioleta.

El SIMAT se complementa con un Laboratorio Móvil de Monitoreo Atmosférico, un Laboratorio de Estándares, un Laboratorio de Análisis Ambiental y un Centro de Información de la Calidad del Aire (CICA) donde se concentra toda la información recolectada de los subsistemas del SIMAT (SIMAT, 2012).



CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DEL RIESGO

La evaluación del riesgo es el uso de la información y las observaciones científicas para definir los efectos a la salud o a los ecosistemas causados por la exposición a materiales o sustancias peligrosas; de manera que en su estudio se valoren las propiedades toxicológicas de una sustancia, los efectos adversos causados por la exposición y la naturaleza de los mismos (NAS, 1983). Recopilando información de una variedad de disciplinas como lo son la toxicología, la epidemiología, la química, la física, las matemáticas, la ingeniería y las ciencias ambientales para relacionar una respuesta a una dosis.

Los componentes básicos de una evaluación del riesgo, comprende los siguientes rubros: la identificación del peligro, la evaluación de la exposición, la evaluación de la dosis-respuesta y la caracterización del riesgo (INE-SEMARNAT, 2003).

Se entiende por peligro, como una fuente potencial de daño (EPA, 2011).

Y por riesgo a la probabilidad de que se produzcan efectos adversos o daños por exposición a una sustancia, a causa de las propiedades inherentes de la misma y a las circunstancias o niveles de exposición (Toxicología Fundamental, 2009).



IV.I IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

La identificación del peligro es el proceso de determinación de si una sustancia química está o no relacionada a algún efecto a la salud.

La identificación del peligro no contempla su cuantificación, sino que se basa en la revisión de los datos epidemiológicos y/o toxicológicos disponibles para determinar si la exposición a una sustancia puede provocar consecuencias negativas a la salud. Entonces, depende de factores como la toxicidad del contaminante, la duración de la exposición y la sensibilidad del receptor.

Entonces para la identificación del peligro, se requiere de la toxicología que estudia las alteraciones, mecanismos y procedimientos que las sustancias químicas y los agentes físicos causan a los seres vivos basándose en la evidencia de experimentos controlados sometiendo a animales a diferentes niveles de exposición de un contaminante peligroso; de la epidemiología que estudia las relaciones que existen entre la presencia de determinadas exposiciones y el desarrollo de enfermedades específicas, así como sus posibilidades de prevención, basándose en las evidencias de la morbilidad o mortalidad en poblaciones humana expuestas a diferentes niveles de contaminación; y de la mutagenicidad que identifica el peligro a presentar cáncer, defectos congénitos o daños genéticos (Introducción al Análisis de Riesgos Ambientales, 2003).

Estas disciplinas brindan información que es de gran utilidad para la evaluación del riesgo.



IV.II EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

La evaluación de la exposición es el proceso de medir o estimar la intensidad, frecuencia, ruta y duración de la exposición que pudiera ocurrir por la liberación al ambiente de sustancias tóxicas.

La capacidad de una sustancia para causar riesgo depende de la toxicidad de la sustancia involucrada y del grado de exposición de la población hacia dicha sustancia (Introducción al Análisis de Riesgos Ambientales, 2003).

La medición de la dosis es de suma importancia para la evaluación de la exposición. Para los propósitos de la evaluación del riesgo se usa la dosis administrada o potencial que es la cantidad de la sustancia que entra en contacto con el organismo en cualquiera de sus vías de exposición.

La magnitud de la dosis administrada depende de la concentración, la duración y la frecuencia de la exposición.

Las exposiciones según la magnitud del periodo de exposición se clasifican en:

- Crónica, exposiciones repetidas mayores al 10% del tiempo de vida.
- Subcrónica, exposiciones repetidas menores al 10% del tiempo de vida.
- Aguda, exposiciones de un día o menos y de un único evento (EPA, 2011).



IV.III EVALUACIÓN DE LA DOSIS-RESPUESTA

La evaluación de la dosis-respuesta es la determinación de la relación entre la magnitud de la exposición y el riesgo de desarrollar una respuesta negativa a esa dosis.

Los compuestos tóxicos pueden inducir efectos a través de mecanismos fisiológicos y metabólicos distintos, lo cual se ve reflejado en la forma que adquiere la relación dosis-respuesta. Para ello se utilizan curvas de dosis-respuesta (Introducción al Análisis de Riesgos Ambientales, 2003).

Las curvas de dosis-respuesta están hechas con base en ensayos realizados a animales de laboratorio que son expuestos a diversas cantidades del compuesto químico que se está estudiando, con el objetivo de observar el efecto que podría causar a los humanos.

En la evaluación del riesgo, se requieren datos de exposiciones muy bajas de un compuesto, normalmente inferiores al rango de concentraciones que dan lugar a respuestas observables experimentalmente en los ensayos con animales, debido a que la concentración de compuestos tóxicos en el medio ambiente es menor que la que se usa para realizar los experimentos. Por lo tanto, es necesario realizar una extrapolación a dosis bajas; es decir, de las curvas dosis-respuesta obtenidas en los ensayos con animales a altas dosis se extrapola a una hipotética curva dosis-respuesta a dosis baja (Fundamentos de Ciencia Toxicológica, 2001).



IV.IV CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

La caracterización del riesgo es el componente final e integral del proceso de la evaluación del riesgo. Integra información de los componentes claves de la evaluación del riesgo y sintetiza una conclusión sobre el riesgo que es completa, informativa y útil para la toma de decisiones.

La política de la caracterización del riesgo, establece que una caracterización del riesgo deber estar hecha de tal forma que sea transparente, clara, consistente y razonable (TCCR²) (Risk Characterization Handbook, 2000).

² Por sus siglas en inglés: Transparency, Clarity, Consistency, and Reasonableness (TCCR)

³ Mayor contribución por tipo de fuente de acuerdo al Inventario de Emisiones



CAPITULO V. METODOLOGÍA Y ESTRATEGIAS UTILIZADAS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

La evaluación de riesgos para la salud se clasifica generalmente en evaluación de riesgo de presentar o no cáncer.

Se han desarrollado técnicas para determinar las emisiones empleando la toxicidad para priorizar las evaluaciones de riesgo reguladas. Esto se realiza para saber si se requiere hacer un análisis del riesgo más detallado, debido a que los análisis de riesgo a la salud por compuestos tóxicos en el aire son muy costosos y emplean mucho tiempo.

V.I FACTOR DE RIESGO UNITARIO

El factor de riesgo unitario (URF) se usa para convertir la exposición de una sustancia en términos de concentración en la probabilidad de riesgo de cáncer en el tiempo de vida.

El URF se basa en el estimado del límite superior el cual puede resultar de una exposición a $(1\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ sobre el tiempo de vida, asumiendo que el peso del receptor es de 70Kg y respira $20\text{m}^3/\text{día}$ (OEHHA, 2012). El URF se utiliza para calcular el riesgo a cáncer por vía de inhalación, para otras vías de exposición se incluye el factor multi-vía (MP).

Los valores de URF se obtuvieron de la tabla consolidada de los valores aprobados para la evaluación del riesgo publicados por la Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA, 2012).



V.II CÁLCULO DEL RIESGO

V.II.I CÁLCULO DEL RIESGO CARCINOGENICO

La probabilidad de cáncer en el tiempo de vida (LCP, por sus siglas en inglés) es el incremento en la probabilidad que tiene un individuo a contraer cáncer debido a la exposición adicional de la sustancia en cuestión (Air toxic risk assessment and management, 1996). Se expresa en número de casos probables a contraer cáncer en un millón de habitantes. Para este trabajo se considerará como $R_{\text{carcinogénico}}$.

$$R_{\text{carcinogénico}} = \sum_c [C_c \cdot URF_c]$$

Donde:

$R_{\text{carcinogénico}}$: es la probabilidad de riesgo a contraer cáncer

URF_c : es el factor de riesgo unitario de la sustancia en cuestión.

C_c : es la concentración de la sustancia en cuestión.



V.II.II CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RIESGO NO CARCINOGENICO

El índice de riesgo (HI) es la medida de la significancia relativa a la exposición de una sustancia (Air toxic risk assessment and management, 1996). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$HI = \frac{\bar{C}_c}{REL_c}$$

Donde:

HI: Es el índice de Riesgo (adimensional).

\bar{C}_c : Es la concentración media en el ambiente de la sustancia en cuestión.

REL_c : es el nivel de exposición de referencia de la sustancia en cuestión ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

El nivel de exposición de referencia (REL) es aquel nivel de concentración que está en el límite o por debajo del cual no se producen efectos nocivos a la salud, el cual está previsto para una duración específica de la exposición a un contaminante. Estos niveles están diseñados para la protección de la población susceptible por la inclusión de los márgenes de seguridad y se basan en los efectos a la salud más sensibles, relevantes y adversos reportados en la literatura toxicológica y médica. (OEHHA, 1999)

Los niveles de exposición de referencia para efectos no carcinogénicos (REL) se tomaron de la tabla consolidada de los valores aprobados para la evaluación del riesgo publicados por la OEHHA (OEHHA, 2012).



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

El índice de riesgo no carcinogénico ($HI_{No\ Carcinogénico}$) se calcula mediante la siguiente ecuación para efectos crónicos:

$$HI_{No\ Carcinogénico\ Crónico} = \sum_c \left[\frac{C_c}{REL_{c(crónico)}} \right]$$

Donde:

$HI_{No\ Carcinogénico\ Crónico}$: es el índice de riesgo no carcinogénico para efectos crónicos.

C_c : es la concentración de la sustancia en cuestión ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

$REL_{c(crónico)}$: es el nivel de exposición de referencia a efectos crónicos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Para efectos agudos el índice de riesgo no carcinogénico ($HI_{No\ Carcinogénico}$) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$HI_{No\ Carcinogénico\ Agudo} = \sum_c \left[\frac{C_c}{REL_{c(agudo)}} \right]$$

Donde:

$HI_{No\ Carcinogénico\ Agudo}$: es el índice de riesgo no carcinogénico para efectos agudos.

C_c : es la concentración de la sustancia en cuestión ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

$REL_{c(agudo)}$: es el nivel de exposición de referencia a efectos agudos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



V.III CÁLCULO DEL FACTOR DE DILUCIÓN

El factor de dilución convierte la emisión de la sustancia en términos de concentración (The Air Toxics Hot Spots Program Guidance Manual for Preparation of Health Risk Assessments, 2003).

Se calcula de la siguiente manera:

$$FD = \frac{\bar{C}_c}{Q_c}$$

Donde:

FD: es el factor de dilución ($\mu\text{g año/ton m}^3$).

\bar{C}_c : es la concentración promedio ($\mu\text{g/m}^3$).

Q_c : es la emisión de la sustancia en cuestión (ton/año).

V.IV CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE LA ESPERANZA DE VIDA

El cálculo de la pérdida de la esperanza de vida se basa en el promedio de disminución de este valor por diferentes acciones o causas que se pueden usar para propósitos de comparación y obtener una idea de las magnitudes relativas de los diferentes riesgos.

Se puede calcular empleando las tasas de mortalidad en función de la edad (Air toxic risk assessment and management, 1996).

$$LLE = 1.1 \times 10^6 \cdot R_{\text{carcinogénico}}$$

Donde:

LLE: Pérdida de la esperanza de vida [días]. Para $R < 10^{-3}/\text{año}$.

$R_{\text{carcinogénico}}$: Probabilidad de riesgo a cáncer.



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

V.V CÁLCULO DE LOS NUEVOS CASOS DE CÁNCER AL AÑO A PARTIR DEL RIESGO Y LA PÉRDIDA DE LA ESPERANZA DE VIDA

El incremento anual teórico es el número de casos de cáncer durante el tiempo de vida por el tiempo promedio de vida de un adulto.

$$IA = \frac{\textit{Incidencia durante el tiempo de vida}}{\textit{Esperanza de vida promedio}}$$

Donde:

IA: Es el incremento anual teórico en los casos de cáncer

Incidencia durante el tiempo de vida: Es el número de nuevos casos de morbilidad en un periodo de tiempo (Fundamentos de Epidemiología, 1990).



CAPÍTULO VI. RESULTADOS

Cabe mencionar que en los indicadores de riesgo que se presentan a continuación se encontraran distintos compuestos para cada uno de ellos; esto se debe a que algunas sustancias, a niveles ambientales, presentan riesgo carcinogénico, otras presentan riesgo a efectos no carcinogénicos agudos y otras a efectos no carcinogénicos crónicos. Existen compuestos en los que se presentan los tres efectos; sin embargo, no es el caso para todos los contaminantes tóxicos que se presentan en esta evaluación.

VI.I FACTOR DE DILUCIÓN

Considerando los siguientes valores:

Tabla 5. Factores de dilución para contaminantes tóxicos atmosféricos.

	BENCENO	TOLUENO	XILENOS	ETILBENCENO
CONCENTRACIÓN PROMEDIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.278	19.202	8.244	3.108
EMISIÓN TOTAL ANUAL (TON/AÑO)	6,563	45,378	12,374	4,108
FACTOR DE DILUCIÓN ($\mu\text{g AÑO}/\text{TON m}^3$)	4.994×10^{-04}	4.231×10^{-04}	6.662×10^{-04}	7.566×10^{-04}

Elaboración propia con datos de las siguientes fuentes:

1. (Martínez Catana, 2012)
2. (SMA S. d., 2010)

$$FD = 7.566 \times 10^{-4} (\mu\text{g año}/\text{ton m}^3).$$



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

VI.II RIESGO CARCINOGENICO

El Riesgo carcinogénico total es de 4.5777×10^{-4}

Tabla 6. Contaminantes tóxicos atmosféricos que presentan riesgo carcinogénico.

CONTAMINANTE	CAS	EMISIÓN TOTAL (TON/AÑO)	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FACTOR UNITARIO DE RIESGO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	RIESGO CARCINOGENICO
1,3-BUTADIENO	106-99-0	1,052	7.96E-01	1.70E-04	1.35E-04
ARSÉNICO INORGÁNICO	7440-38-2	18	1.36E-02	3.30E-03	4.49E-05
PERCLOROETILENO	127-18-4	6,092	4.61E+00	5.90E-06	2.72E-05
NAFTALENO	91-20-3	777	5.88E-01	3.40E-05	2.00E-05
CLORURO DE VINILO	75-01-4	296	2.24E-01	7.80E-05	1.75E-05
FORMALDEHÍDO	50-00-0	3,535	2.67E+00	6.00E-06	1.60E-05
ÓXIDO DE ETILENO	75-21-8	227	1.72E-01	8.80E-05	1.51E-05
CADMIO	7440-43-9	3	2.27E-03	4.20E-03	9.53E-06
ÉTILBENCENO	100-41-4	4,108	3.11E+00	2.50E-06	7.77E-06
P-DICLOROBENCENO	106-46-7	777	5.88E-01	1.10E-05	6.47E-06
TRICLOROETILENO	79-01-6	4,062	3.07E+00	2.00E-06	6.15E-06
ACETALDEHÍDO	75-07-0	1,614	1.22E+00	2.70E-06	3.30E-06
NÍQUEL	7440-02-0	10	7.57E-03	2.60E-04	1.97E-06
DICLOROMETANO (CLORURO DE METILENO)	75-09-2	1,523	1.15E+00	1.00E-06	1.15E-06
METIL T-BUTIL ÉTER	1634-04-4	5,671	4.29E+00	2.60E-07	1.12E-06
PLOMO	7439-92-1	23	1.74E-02	1.20E-05	2.09E-07
ANILINA	62-53-3	45	3.40E-02	1.60E-06	5.45E-08
CLOROFORMO	67-66-3	1	7.57E-04	5.30E-06	4.01E-09



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

VI.III ÍNDICE DE RIESGO NO CARCINOGENICO AGUDO

El Riesgo No Carcinogénico Agudo total es de 2.148×10^{-1}

Tabla 7. Contaminantes tóxicos atmosféricos que presentan riesgo no carcinogénico agudo.

CONTAMINANTE	CAS	EMISIÓN TOTAL (TON/AÑO)	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN AGUDO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ÍNDICE DE RIESGO AGUDO
ARSÉNICO INORGÁNICO	7440-38-2	18	1.36E-02	2.00E-01	6.81E-02
ACROLEINA (2-PROPENAL)	107-02-8	162	1.23E-01	2.50E+00	4.90E-02
FORMALDEHÍDO	50-00-0	3,535	2.67E+00	5.50E+01	4.86E-02
NÍQUEL	7440-02-0	10	7.57E-03	2.00E-01	3.78E-02
BENCENO	71-43-2	6,563	4.97E+00	1.30E+03	3.82E-03
ACETALDEHÍDO	75-07-0	1,614	1.22E+00	4.70E+02	2.60E-03
TOLUENO	108-88-3	45,378	3.43E+01	3.70E+04	9.28E-04
ISÓMEROS DE XILENO	1330-20-7	18,902	1.43E+01	2.20E+04	6.50E-04
BROMURO DE METILO	74-83-9	2,770	2.10E+00	3.90E+03	5.37E-04
METIL ETIL CETONA	78-93-3	7,386	5.59E+00	1.30E+04	4.30E-04
CELLOSOLVE (2-ETOXI-ETANOL)	110-80-5	192	1.45E-01	3.70E+02	3.93E-04
METANOL	67-56-1	14,359	1.09E+01	2.80E+04	3.88E-04
CLORO	7782-50-5	101	7.64E-02	2.10E+02	3.64E-04
ACETATO DE CELLOSOLVE	111-15-9	66	4.99E-02	1.40E+02	3.57E-04
PERCLOROETILENO	127-18-4	6,092	4.61E+00	2.00E+04	2.30E-04



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Tabla 7. Contaminantes tóxicos atmosféricos que presentan riesgo no carcinogénico agudo.

CONTAMINANTE	CAS	EMISIÓN TOTAL (TON/AÑO)	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN AGUDO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ÍNDICE DE RIESGO AGUDO
M-XILENO	108-38-3	5,311	4.02E+00	2.20E+04	1.83E-04
O-XILENO	95-47-6	3,100	2.35E+00	2.20E+04	1.07E-04
1,1,1-TRICLOROETANO	71-55-6	8,823	6.68E+00	6.80E+04	9.82E-05
DICLOROMETANO (CLORURO DE METILENO)	75-09-2	1,523	1.15E+00	1.40E+04	8.23E-05
ESTIRENO	100-42-5	1,201	9.09E-01	2.10E+04	4.33E-05
P-XILENO	106-42-3	768	5.81E-01	2.20E+04	2.64E-05
FENOL	108-95-2	83	6.28E-02	5.80E+03	1.08E-05
CLOROFORMO	67-66-3	1	7.57E-04	1.50E+02	5.04E-06
TRJETILAMINA	121-44-8	5	3.78E-03	2.80E+03	1.35E-06
CLORURO DE VINILO	75-01-4	296	2.24E-01	1.80E+05	1.24E-06



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

VI.IV ÍNDICE DE RIESGO NO CARCINOGENICO CRÓNICO

El índice de Riesgo No Carcinogénico Crónico total es de 5.152

Tabla 8. Contaminantes tóxicos atmosféricos que presentan riesgo no carcinogénico crónico.

CONTAMINANTE	CAS	EMISIÓN TOTAL (TON/AÑO)	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN CRÓNICO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RIESGO CRÓNICO
MANGANESO	7439-96-5	117	8.85E-02	9.00E-02	9.84E-01
ARSÉNICO INORGÁNICO	7440-38-2	18	1.36E-02	1.50E-02	9.08E-01
GLUTARALDEHÍDO	111-30-8	69	5.22E-02	8.00E-02	6.53E-01
NÍQUEL	7440-02-0	10	7.57E-03	1.40E-02	5.40E-01
BROMURO DE METILO	74-83-9	2,770	2.10E+00	5.00E+00	4.19E-01
CORO	7782-50-5	101	7.64E-02	2.00E-01	3.82E-01
ACROLEINA (2-PROPENAL)	107-02-8	162	1.23E-01	3.50E-01	3.50E-01
FORMALDEHÍDO	50-00-0	3,535	2.67E+00	9.00E+00	2.97E-01
PERCLOROETILENO	127-18-4	6,092	4.61E+00	3.50E+01	1.32E-01
TOLUENO	108-88-3	45,378	3.43E+01	3.00E+02	1.14E-01
CADMIO	7440-43-9	3	2.27E-03	2.00E-02	1.13E-01
BENCENO	71-43-2	6,563	4.97E+00	6.00E+01	8.28E-02
NAFTALENO	91-20-3	777	5.88E-01	9.00E+00	6.53E-02
1,3-BUTADIENO	106-99-0	1,052	7.96E-01	2.00E+01	3.98E-02
ISÓMEROS DE XILENO	1330-20-7	18,902	1.43E+01	7.00E+02	2.04E-02



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Tabla 8. Contaminantes tóxicos atmosféricos que presentan riesgo no carcinogénico crónico.

CONTAMINANTE	CAS	EMISIÓN TOTAL (TON/AÑO)	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN CRÓNICO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RIESGO CRÓNICO
ACETALDEHÍDO	75-07-0	1,614	1.22E+00	1.40E+02	8.72E-03
1,1,1-TRICLOROETANO	71-55-6	8,823	6.68E+00	1.00E+03	6.68E-03
M-XILENO	108-38-3	5,311	4.02E+00	7.00E+02	5.74E-03
ÓXIDO DE ETILENO	75-21-8	227	1.72E-01	3.00E+01	5.72E-03
TRICLOROETILENO	79-01-6	4,062	3.07E+00	6.00E+02	5.12E-03
O-XILENO	95-47-6	3,100	2.35E+00	7.00E+02	3.35E-03
DICLOROMETANO (CLORURO DE METILENO)	75-09-2	1,523	1.15E+00	4.00E+02	2.88E-03
METANOL	67-56-1	14,359	1.09E+01	4.00E+03	2.72E-03
CELLOSOLVE (2-ETOXI-ETANOL)	110-80-5	192	1.45E-01	7.00E+01	2.08E-03
ETILBENCENO	100-41-4	4,108	3.11E+00	2.00E+03	1.55E-03
CLOROBENCENO	108-90-7	1,877	1.42E+00	1.00E+03	1.42E-03
ESTIRENO	100-42-5	1,201	9.09E-01	9.00E+02	1.01E-03
P-XILENO	106-42-3	768	5.81E-01	7.00E+02	8.30E-04
N-HEXANO	110-54-3	7,349	5.56E+00	7.00E+03	7.94E-04
P-DICLOROBENCENO	106-46-7	777	5.88E-01	8.00E+02	7.35E-04
METIL T-BUTIL ÉTER	1634-04-4	5,671	4.29E+00	8.00E+03	5.36E-04
DIETANOLAMINA	111-42-2	2	1.51E-03	3.00E+00	5.04E-04
FENOL	108-95-2	83	6.28E-02	2.00E+02	3.14E-04
ACETATO DE CELLOSOLVE	111-15-9	66	4.99E-02	3.00E+02	1.66E-04
ETILÉN GLICOL	107-21-1	70	5.30E-02	4.00E+02	1.32E-04
1,2 EPOXIBUTANO	106-88-7	1	7.57E-04	2.00E+01	3.78E-05



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Tabla 8. Contaminantes tóxicos atmosféricos que presentan riesgo no carcinogénico crónico.

CONTAMINANTE	CAS	EMISIÓN TOTAL (TON/AÑO)	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN CRÓNICO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RIESGO CRÓNICO
ACETATO DE VINILO	108-05-4	10	7.57E-03	2.00E+02	3.78E-05
TRJETILAMINA	121-44-8	5	3.78E-03	2.00E+02	1.89E-05
ISOFORONA (3,5,5-TRIMETIL-2-CICLOHEXEN-1-ONA)	78-59-1	12	9.08E-03	2.00E+03	4.54E-06
1-METOXI-2-PROPANOL	107-98-2	41	3.10E-02	7.00E+03	4.43E-06
CLOROFORMO	67-66-3	1	7.57E-04	3.00E+02	2.52E-06
CRESOL (ÁCIDO CRESÍLICO, O-CRESOL, M-CRESOL, P-CRESOL)	1319-77-3	1	7.57E-04	6.00E+02	1.26E-06



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

VI.V PÉRDIDA DE LA ESPERANZA DE VIDA

La pérdida de la esperanza de vida es de 504 días.

VI.VI NUEVOS CASOS DE CÁNCER AL AÑO

La esperanza de vida promedio para el Distrito Federal y el Estado de México es de 75.9 años para el año 2008. (INEGI, 2012)

El incremento anual de nuevos casos de cáncer es de 6.0 casos/año.



CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para obtener el valor del factor de dilución se utilizaron las concentraciones promedio y la emisión total anual de los contaminantes BTEX en la ZMVM. Considerando una evaluación conservadora se tomó el factor de dilución con el mayor valor. Por lo tanto, el $FD = 7.6 \times 10^{-4}$ ($\mu\text{g año/ton m}^3$).

Tabla 5. Factores de dilución para contaminantes tóxicos atmosféricos.

	BENCENO	TOLUENO	XILENOS	ETILBENCENO
CONCENTRACIÓN PROMEDIO ($\mu\text{g/m}^3$)	3.278	19.202	8.244	3.108
EMISIÓN TOTAL ANUAL (TON/AÑO)	6,563	45,378	12,374	4,108
FACTOR DE DILUCIÓN ($\mu\text{g AÑO/TON m}^3$)	4.994×10^{-04}	4.231×10^{-04}	6.662×10^{-04}	7.566×10^{-04}

Elaboración propia con datos de las siguientes fuentes:

1. (Martínez Catana, 2012)
2. (SMA S. d., 2010)

Cabe destacar que el factor de dilución es una aproximación, lo que hace a este trabajo una evaluación preliminar del riesgo atmosférico. Se requiere de un cálculo más preciso del factor de dilución para así obtener una mejor estimación del riesgo.

De los 120 contaminantes identificados en el inventario, únicamente 49 de ellos se encuentran reportados en la tabla consolidada de los valores aprobados para la evaluación del riesgo publicados por la Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA). Con base en estos 49 contaminantes se procede la evaluación del riesgo.



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

De los 49 contaminantes tóxicos, 19 presentan riesgo a cáncer, 25 presentan riesgo no carcinogénico agudo y 42 presentan riesgo no carcinogénico crónico. A continuación se presentan los contaminantes más significativos por fuente con mayor contribución³ para cada riesgo identificado y la aportación que estos tienen al riesgo total.

³ Mayor contribución por tipo de fuente de acuerdo al Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM 2008



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Para el riesgo carcinogénico se tienen los siguientes contaminantes ordenados de mayor a menor:

Tabla 9. Contaminantes tóxicos atmosféricos que representan el 80% de aportación al riesgo carcinogénico.

CONTAMINANTE	CAS	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RIESGO CARCINOGENICO	APORTACIÓN AL RIESGO	FUENTE CON MAYOR APORTACIÓN
BENCENO	71-43-2	4.97E+00	1.44E-04	31.50%	Móviles
1,3-BUTADIENO	106-99-0	7.96E-01	1.35E-04	29.60%	Móviles
ARSÉNICO INORGÁNICO	7440-38-2	1.36E-02	4.49E-05	9.80%	Fijas
PERCLOROETILENO	127-18-4	4.61E+00	2.72E-05	5.90%	Área
NAFTALENO	91-20-3	5.88E-01	2.00E-05	4.40%	Área

Para el índice de riesgo no carcinogénico para efectos agudos se tienen los siguientes contaminantes ordenados de mayor a menor:

Tabla 10. Contaminantes tóxicos atmosféricos que representan el 80% de aportación al riesgo no carcinogénico agudo.

CONTAMINANTE	CAS	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ÍNDICE DE RIESGO AGUDO	APORTACIÓN AL RIESGO	FUENTE CON MAYOR APORTACIÓN
ARSÉNICO INORGÁNICO	7440-38-2	1.36E-02	6.81E-02	31.70%	Fijas
ACROLEINA (2-PROPENAL)	107-02-8	1.23E-01	4.90E-02	22.80%	Móviles
FORMALDEHÍDO	50-00-0	2.67E+00	4.86E-02	22.60%	Móviles
NÍQUEL	7440-02-0	7.57E-03	3.78E-02	17.60%	Fijas



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Para el índice de riesgo no carcinogénico para efectos crónicos se tienen los siguientes contaminantes ordenados de mayor a menor:

Tabla 11. Contaminantes tóxicos atmosféricos que representan el 80% de aportación al riesgo no carcinogénico crónico.

CONTAMINANTE	CAS	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RIESGO CRÓNICO	APORTACIÓN AL RIESGO	FUENTE CON MAYOR APORTACIÓN
MANGANESO	7439-96-5	8.85E-02	9.84E-01	19.09%	Fijas
ARSÉNICO INORGÁNICO	7440-38-2	1.36E-02	9.08E-01	17.62%	Fijas
GLUTARALDEHÍDO	111-30-8	5.22E-02	6.53E-01	12.67%	Área
NÍQUEL	7440-02-0	7.57E-03	5.40E-01	10.49%	Fijas
BROMURO DE METILO	74-83-9	2.10E+00	4.19E-01	8.14%	Área
COLORO	7782-50-5	7.64E-02	3.82E-01	7.42%	Fijas
ACROLEINA (2-PROPENAL)	107-02-8	1.23E-01	3.50E-01	6.80%	Móviles

La probabilidad de causar cáncer en el tiempo de vida para el benceno es de 1.44×10^{-4} LCP, lo que lo hace el valor más alto en esta evaluación para riesgo carcinogénico; en comparación con el valor más bajo, que es el cloroformo, con un valor de 4.01×10^{-9} LCP, la diferencia entre estos dos valores es de 4 órdenes de magnitud (ver tabla 6).



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Para el índice de riesgo no carcinogénico agudo, la diferencia es de 4 órdenes de magnitud siendo el arsénico inorgánico con un índice de riesgo de 6.81×10^{-2} el valor más grande y el cloruro de vinilo con un índice de riesgo de 1.24×10^{-6} el valor menor (ver tabla 7).

En el caso del índice de riesgo no carcinogénico crónico, la diferencia es de 5 órdenes de magnitud siendo el manganeso el contaminante con más riesgo de 9.84×10^{-1} y el cresol con el menor riesgo de 1.26×10^{-6} (ver tabla 8).

Para el riesgo carcinogénico se considera que para concentraciones ambientales valores mayores a 1×10^{-6} no son aceptables (Air toxic risk assessment and management, 1996); es decir que un caso en un millón es un riesgo preocupante y se deben de tomar medidas para mitigarlo.

El tiempo promedio del nivel de exposición de referencia para efectos agudos es de una hora; para efectos crónicos los niveles de exposición de referencia están diseñados para hacer frente a la exposición continua durante un máximo del tiempo de vida (OEHHA, 2012).

Si el índice de riesgo es mayor a uno ($HI > 1$) existe un riesgo a la salud, si este valor es menor a uno ($HI < 1$) el riesgo es aceptable y no existe un riesgo aparente a la salud. Esto aplica para efectos agudos y crónicos.

La esperanza de vida promedio para el Distrito Federal y el Estado de México es de 75.9 años para el año 2008 (INEGI, 2012). Con este dato se calcula el incremento anual teórico de nuevos casos de cáncer.



CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES

Se realizó la evaluación preliminar del riesgo atmosférico de acuerdo al Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos del año 2008 de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, calculando los riesgos a la salud por inhalación que existen por la exposición a los principales contaminantes tóxicos que se encuentran en la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México.

- El riesgo carcinogénico total es de 4.58×10^{-4} ; es decir, que existen 458 casos probables a desarrollar cáncer en el tiempo de vida en un millón de habitantes para la ZMVM en el año 2008.
- El incremento anual teórico de nuevos casos de cáncer para este estudio en el año 2008 en la ZMVM es de 6.0 casos/año.
- La pérdida de la esperanza de vida por la exposición a estos contaminantes en la ZMVM para el 2008 es de 504 días.
- El índice de riesgo no carcinogénico para efectos agudos total es de 2.1×10^{-1} , lo que indica que el riesgo es aceptable.
- El índice de riesgo no carcinogénico para efectos crónicos total es de 5, lo que muestra que existe un riesgo a la salud por la exposición a los contaminantes que presentan dichos efectos en la población.

Los efectos de los contaminantes tóxicos identificados en el inventario pueden ir desde los más sencillos y comunes, como lo sería una irritación a ojos o mucosas, hasta aquellos en los que se puede ver



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

afectado el sistema inmunológico, endocrinólogo, neurológico, reproductivo, o se pueden presentar problemas renales, malformaciones y cambios genéticos, enfermedades como cáncer, entre otras afectaciones.

Con el presente trabajo, se adquiere una idea de la magnitud del riesgo a la salud que representan los contaminantes tóxicos atmosféricos en la población. Para futuros trabajos puede ser una excelente herramienta para realizar una comparación entre los valores de riesgo existentes en 2008 en la ZMVM para contaminantes tóxicos atmosféricos con respecto a los que existen en el año del estudio a realizar; con esto sería muy interesante demostrar si el riesgo se ha mitigado o ha estado incrementando año con año, cuál es el incremento anual de nuevos casos de cáncer, la pérdida de la esperanza de vida en la población y con estos resultados comprobar si se han tomado medidas regulatorias que reduzcan las emisiones de los contaminantes más significativos que afectan a la salud de la población.

De acuerdo a los resultados en este trabajo, el riesgo a presentar cáncer en el tiempo de vida y el índice de riesgo a efectos crónicos son considerables como para realizar una evaluación del riesgo más detallada sobre estos compuestos y a partir de ésta tomar las medidas necesarias para hacer frente a los problemas de contaminación atmosférica presentes en la ZMVM, lo que lleva a aplicar programas de acciones efectivas y económicas que ayuden a mitigar el riesgo a la salud existente.

Se realizó una evaluación conservadora con el factor de dilución más alto obtenido. Si se hubiese usado el factor de dilución más bajo el



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

porcentaje de variación sería del 44% y aun así se seguiría presentando un riesgo que requiere un estudio más detallado tanto para efectos no carcinogénicos crónicos (índice de riesgo de 2.8) como para el riesgo carcinogénico (256 casos probables en un millón).

Para mitigar el riesgo a la salud es indispensable crear una legislación ambiental que regule las tecnologías de control para las emisiones de contaminantes tóxicos atmosféricos en las diversas fuentes generadoras. Si aún con las tecnologías de control existentes se sigue presentando un riesgo considerable a la salud, sujetar a estas fuentes a estándares más rigurosos que permitan la reducción de éste.

En México aún es incipiente el control de las emisiones de contaminantes tóxicos a la atmósfera ya que sólo se aplica en algunos procesos productivos, como es el caso de los niveles máximos permisibles de exposición laboral reportados en la NOM-010-STPS-1994 y de la norma ambiental para el Distrito Federal NADF-011-AMBT-2007 que establece los límites máximos permisibles de emisiones de compuestos orgánicos volátiles en fuentes fijas de jurisdicción del Distrito Federal que utilizan solventes orgánicos o productos que los contienen; sin embargo, no se ha hecho nada respecto al establecimiento de normas que establezcan niveles ambientales para asegurar la protección a la salud para los contaminantes tóxicos atmosféricos que representan el mayor riesgo a la salud.



REFERENCIAS

- Bello Gutiérrez, J., López De Cerain Salsamendi, A. (2001). *Fundamentos de Ciencia Toxicológica*. Diaz de Santos S.A. Madrid, España.
- Cárdenas González, B., Revah Moiseev, S., Hernández Jiménez, S., Martínez Sánchez, A., Gutiérrez Avedoy, V. (2003). *Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas*. Instituto Nacional de Ecología y Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Distrito Federal, México.
- Colimon, K.M. (1990). *Fundamentos de Epidemiología*. Díaz de Santos S.A. Madrid, España.
- Comisión Ambiental Metropolitana. (2000). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010 PROAIRE 2002-2010*. Distrito Federal, México.
- Comisión Ambiental Metropolitana. (2010). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020 PROAIRE 2011-2020*. Distrito Federal, México.
- Environmental Protection Agency. (2005). *Guidelines for Carcinogen Risk Assessment*, Washington, DC, EUA.
- Gratt, L. B. (1996). *Air toxic risk assessment and management*. Van Nostrand Reinhold. New York, USA.
- Gutiérrez, J. H., Romieu, I., Corey, G., Fortoul, T. (1997). *Contaminación del Aire; Riesgos a la Salud*. El Manual Moderno S.A. de C.V. Distrito Federal, México.
- Instituto Nacional de Ecología, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). *Introducción al Análisis de Riesgos Ambientales*. Distrito Federal, México.



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

- Instituto Nacional de Ecología, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2011). *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)*. Distrito Federal, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Marco Geoestadístico Municipal*. Versión 4.3. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2012). *Zonas Metropolitanas de los Estados Unidos Mexicanos, Censos Económicos 2009*. México.
- Lauwerys R. R. (1994). *Toxicología industrial e intoxicaciones profesionales*. Masson. España.
- LGEEPA, *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera*. (1988). México.
- Martínez Cantana, N. (2012). *Evaluación preliminar de riesgos a la salud por inhalación de tóxicos atmosféricos en la Ciudad de México de junio a diciembre del 2011*. Tesis que para obtener el título de Ingeniero Químico. UNAM. Distrito Federal, México.
- Members of the Risk Characterization Implementation Core Team. (2000). *Risk Characterization Handbook*. US EPA. Washington, DC, EUA.
- National Academy of Sciences (NAS). (1983). *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*. National Academy Press. Washington D.C, EUA.
- Office of Environmental Health Hazard Assessment. (2003). *The Air Toxics Hot Spots Program Guidance Manual for Preparation of Health Risk Assessments*. Oakland, California, EUA.
- Office of Environmental Health Hazard Assessment. (1999). *Air Toxics Hot Spots Program Risk Assessment Guidelines, Part I The*



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

Determination of Acute Reference Exposure Levels for Airborne Toxicants. Secretary for Environmental Protection, California Environmental Protection Agency. EUA.

- Repetto Jiménez, M., Repetto Kuhn, G. (2009). *Toxicología Fundamental*. Diaz de Santos, S.A. Madrid, España.
- Rothman, K. J. (1987). *Epidemiología Moderna*. Diaz de Santos S.A. Madrid España.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Western Governors' Association. (2005). *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). Distrito Federal, México.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. (2010). *Calidad del Aire en la Ciudad de México Informe 2010*. Creative Commons. México.
- Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. (2010). *Inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM 2008*, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Distrito Federal, México.
- Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. (2010). *Inventario de emisiones de contminantes criterio de la ZMVM 2008*, Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Distrito Federal, México.
- Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. (2010). *Inventario de emisiones de gases efecto invernadero y carbón negro de la ZMVM 2008*. Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Distrito Federal, México.



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

- Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. (2010). Consumo de solventes en la Zona Metropolitana del Valle de México 2008. Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Distrito Federal, México.



REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Environmental Protection Agency, *Air pollutants*, (22 de Agosto de 2012), consulta del 31 de Agosto de 2012. <http://www.epa.gov/air/airpollutants.html>
- Environmental Protection Agency, *List of the 33 Urban Air Toxics* (2 de Septiembre de 2008), consulta del 18 de Junio de 2012. <http://www.epa.gov/ttn/atw/urban/list33.html>
- Environmental Protection Agency, *Vocabulary Catalog List Detail - Integrated Risk Information System (IRIS) Glossary* (31 de Agosto de 2011), consulta del 24 de Agosto de 2012. http://ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&glossaryName=IRIS%20Glossary
- Instituto Nacional de Ecología, *Calidad del Aire en México* (12 de Agosto de 2009), consulta del 26 de Junio de 2012. <http://www.ine.gob.mx/calair-indicadores/523-calair-cont-criterio>
- Instituto Nacional de Ecología, *Contaminantes peligrosos del aire (CPA)*, (31 de Agosto de 2009), consulta del 26 de Junio de 2012. <http://www.ine.gob.mx/calair-informacion-basica/524-calair-cont-peligrosos-aire>
- Instituto Nacional de Ecología, *Límites normados para los contaminantes del aire en México* (10 de Agosto de 2011), consulta del 26 de Junio de 2012. <http://www.ine.gob.mx/calair-informacion-basica/585-calair-val-normados>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, *Cuaderno Estadístico de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011*. (11 de Octubre de 2011), Consulta del 20 de Agosto de 2012. www.inegi.org.mx



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, *SIMBAD*. (2012) México: Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos. www.inegi.org.mx
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *SIMBAD*, Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos Versión 009 (2012). Consulta del 26 de Agosto de 2012. <http://sc.inegi.org.mx/sistemas/cobdem/index.jsp>
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA), *Air Toxicology and Epidemiology*, consulta del 31 de Agosto de 2012. http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/index.html
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA), *Consolidated Table Of OEHHA/ARB Approved Risk Assessment Health Values*, (Mayo 2012). <http://www.arb.ca.gov/toxics/healthval/healthval.htm>
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, *Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal* (30 de Julio de 2010). Consulta del 31 de Agosto de 2012. http://www.sma.df.gob.mx/avu/index.php?option=com_content&view=article&id=65&Itemid=79
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, *Sistema de Monitoreo Atmosférico Ciudad de México (SIMAT)*, (2012). Consulta del 31 de Agosto de 2012, México. <http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php?opcion=2&opcioninfoproductos=46>



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

ANEXOS

I. EMISIONES DE CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AIRE EN LA ZMVM, 2008

CONTAMINANTE	EMISIONES [TON/AÑO]					TOTAL
	CAS	FUENTES PUNTALES	FUENTES DE ÁREA	FUENTES MÓVILES	FUENTES NATURALES	
1,1,1-TRICLOROETANO	71-55-6	N/A	8,823	N/A	N/A	8,823
1,2 EPOXIBUTANO	106-88-7	N/A	1	N/A	N/A	1
1,2,3-TRIMETILBENCENO	526-73-8	N/A	3	N/A	N/A	3
1,2,4-TRIMETILBENCENO	95-63-6	N/A	586	N/A	N/A	586
1,3,5-TRIMETILBENCENO	108-67-8	N/A	85	N/A	N/A	85
1,3-BUTADIENO	106-99-0	161	39	852	N/A	1,052
1,4-DIETILBENCENO (PARA)	105-05-5	N/A	1	N/A	N/A	1
1-METIL-2-ETILBENCENO	611-14-3	N/A	46	N/A	N/A	46
1-METIL-4-ETILBENCENO	622-96-8	N/A	17	N/A	N/A	17
1-METOXI-2-PROPANOL	107-98-2	N/A	41	N/A	N/A	41
1-NONENO	124-11-8	N/A	9	N/A	N/A	9
2,2,4-TRIMETILPENTANO	540-84-1	4	652	5601	N/A	6,257
2,4-DIMETILPENTANO	108-08-7	N/A	76	N/A	N/A	76
2,5-DIMETILBENZALDEHÍDO	5779-94-2	N/A	1	N/A	N/A	1
4-METIL-2-PENTANOL	108-11-2	N/A	4	N/A	N/A	4
ACENAFTENO	83-32-9	N/A	1	N/S	N/A	1
ACENAFTILENO	208-96-8	N/A	N/S	2	N/A	2
ACETALDEHÍDO	75-07-0	N/A	133	852	629	1,614



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

CONTAMINANTE	EMISIONES [TON/AÑO]					TOTAL
	CAS	FUENTES PUNTUALES	FUENTES DE ÁREA	FUENTES MÓVILES	FUENTES NATURALES	
ACETATO DE CELLOSOLVE	111-15-9	N/A	66	N/A	N/A	66
ACETATO DE VINILO	108-05-4	N/A	10	N/A	N/A	10
ACETOFENONA	98-86-2	N/A	1	N/A	N/A	1
ACETONA	67-64-1	N/A	2860	N/A	N/A	2,860
ACETONITRILO	75-05-8	N/A	3	N/A	N/A	3
ACROLEINA (2-PROPENAL)	107-02-8	2	47	113	N/A	162
ALCOHOL BENCÍLICO	100-51-6	N/A	3	N/A	N/A	3
ANILINA	62-53-3	45	N/A	N/A	N/A	45
ANTIMONIO	7440-36-0	55	1	N/A	N/S	56
ARSÉNICO INORGÁNICO	7440-38-2	18	N/S	N/S	N/S	18
BENCENO	71-43-2	109	805	5649	N/A	6,563
BIACETIL (DIMETIL GLOXAL)	431-03-8	N/A	1	N/A	N/A	1
BIFENIL (FENILBENCENO)	95-52-4	14	N/A	N/A	N/A	14
BIFENIOL	90-43-7	N/A	2	N/A	N/A	2
BROMURO DE METILO	74-83-9	N/A	2770	N/A	N/A	2,770
BUTILBENCENO	104-51-8	N/A	5	N/A	N/A	5
CADMIO	7440-43-9	2	1	N/A	N/S	3
CARBARILO (METILCARBAMATO DE 1-NAFTILO)	63-25-2	N/A	7	N/A	N/A	7
CELLOSOLVE (2-ETOXI-ETANOL)	110-80-5	N/A	192	N/A	N/A	192
CIS-1,3-DICLOROPROPILENO	10061-01-5	N/A	943	N/A	N/A	943
COLORO	7782-50-5	97	N/A	N/A	4	101
CLOROBENCENO	108-90-7	1	1876	N/A	N/A	1,877
CLOROFORMO	67-66-3	1	N/A	N/A	N/A	1



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

CONTAMINANTE	EMISIONES [TON/AÑO]					TOTAL
	CAS	FUENTES PUNTUALES	FUENTES DE ÁREA	FUENTES MÓVILES	FUENTES NATURALES	
CLORURO DE METILO	74-87-3	N/A	1	N/A	N/A	1
CLORURO DE VINILO	75-01-4	296	N/A	N/A	N/A	296
COBALTO	7440-48-4	1	N/S	N/A	N/S	1
CRESOL (ÁCIDO CRESÍLICO, O-CRESOL, M-CRESOL, P-CRESOL)	1319-77-3	N/A	1	N/A	N/A	1
CROMO	7440-47-3	26	1	N/S	N/S	27
DIBUTILFTALATO	84-74-2	1	N/A	N/A	N/A	1
DICLOROMETANO (CLORURO DE METILENO)	75-09-2	N/A	1523	N/A	N/A	1,523
DIETANOLAMINA	111-42-2	N/A	2	N/A	N/A	2
DIETILÉN GLICOL	111-46-6	N/A	611	N/A	N/A	611
DIMETIL BENCIL ALCOHOL	29718-36-3	N/A	18	N/A	N/A	18
ESTIRENO	100-42-5	536	213	452	N/A	1,201
ÉTIL ÉTER	1569-02-4	N/A	153	N/A	N/A	153
ÉTILBENCENO	100-41-4	39	1649	2420	N/A	4,108
ÉTILÉN GLICOL	107-21-1	24	46	N/A	N/A	70
ÉTILÉN GLICOL PROPIL ÉTER (2-PROPÓXIETANOL)	2807-30-9	N/A	2	N/A	N/A	2
ÉTILENO	74-85-1	N/A	1198	N/A	N/A	1,198
FENANTRENO	85-01-8	N/A	N/S	2	N/A	2
FENILBENCENO	538-68-1	N/A	4	N/A	N/A	4
FENOL	108-95-2	77	6	N/A	N/A	83
FLUORENO	86-73-7	N/A	N/S	1	N/A	1
FORMALDEHÍDO	50-00-0	199	339	2751	246	3,535
FÓSFORO	7723-14-0	4	21	N/A	N/A	25



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

CONTAMINANTE	EMISIONES [TON/AÑO]					TOTAL
	CAS	FUENTES PUNTUALES	FUENTES DE ÁREA	FUENTES MÓVILES	FUENTES NATURALES	
GLIOXAL	107-22-2	N/A	55	N/A	N/A	55
GLUTARALDEHÍDO	111-30-8	N/A	69	N/A	N/A	69
HEXACLOROETANO	67-72-1	N/A	13	N/A	N/A	13
HEXANAL (HEXANALDEHÍDO)	66-25-1	N/A	5	N/A	N/A	5
ISOFORONA (3,5,5-TRIMETIL-2-CICLOHEXEN-1-ONA)	78-59-1	N/A	12	N/A	N/A	12
ISÓMEROS DE DECANO	N/A	N/A	1418	N/A	N/A	1,418
ISÓMEROS DE UNDECANO	N/A	N/A	918	N/A	N/A	918
ISÓMEROS DE XILENO	1330-20-7	1394	8480	9028	N/A	18,902
ISOPROPILBENCENO	98-82-8	N/A	10	N/A	N/A	10
MANGANESO	7439-96-5	102	14	N/S	1	117
M-DIETILBENCENO	141-93-5	N/A	N/S	N/A	N/A	0
MERCURIO	7439-97-6	N/A	N/S	N/S	N/S	0
METANOL	67-56-1	2068	6024	N/A	6267	14,359
METIL ETIL CETONA	78-93-3	6138	1248	N/A	N/A	7,386
METIL ISOAMIL CETONA (ISOPENTIL METIL CETONA)	11012-3	N/A	5	N/A	N/A	5
METIL ISOBUTIL CETONA	108-10-1	1171	2096	N/A	N/A	3,267
METIL T-BUTIL ÉTER	1634-04-4	N/A	965	4706	N/A	5,671
METILGLIOXAL	78-98-8	N/A	1	N/A	N/A	1
METILMETACRILATO	80-62-6	1	N/A	N/A	N/A	1
M-ETILTOLUENO	620-14-41	N/A	66	N/A	N/A	66
MONOMETIL ÉTER DIPROPILÉNGLICOL	34590-94-8	N/A	57	N/A	N/A	57
M-XILENO	108-38-3	2	5309	N/A	N/A	5,311



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

CONTAMINANTE	EMISIONES [TON/AÑO]					TOTAL
	CAS	FUENTES PUNTALES	FUENTES DE ÁREA	FUENTES MÓVILES	FUENTES NATURALES	
M-XILENO Y P-XILENO	108-38-3; 106-42-3	N/A	3195	N/A	N/A	3,195
NAFTA	8030-30-6	N/A	472	N/A	N/A	472
NAFTALENO	91-20-3	128	579	70	N/A	777
N-HEPTANO	142-82-5	N/A	887	N/A	N/A	887
N-HEXANO	110-54-3	842	5225	1282	N/A	7,349
NÍQUEL	7440-02-0	8	2	N/S	N/S	10
N-PROPILBENCENO	103-65-1	N/A	126	N/A	N/A	126
O-CLOROTOLUENO	95-94-8	N/A	5	N/A	N/A	5
O-DICLOROBENCENO	95-50-1	N/A	3	N/A	N/A	3
ÓXIDO DE ETILENO	75-21-8	N/A	227	N/A	N/A	227
ÓXIDO DE MESITILO (ISOBUTENIL METIL CETONA)	141-79-7	N/A	2	N/A	N/A	2
O-XILENO	95-47-6	769	2331	N/A	N/A	3,100
PARAFORMALDEHÍDO	30525-89-4	N/A	21	N/A	N/A	21
P-DICLOROBENCENO	106-46-7	N/A	777	N/A	N/A	777
PENTAFLORONITROBENCENO	82-68-8	N/A	2	N/A	N/A	2
PERCLOROETILENO	127-18-4	2	6090	N/A	N/A	6,092
PIRENO	129-00-0	N/A	N/S	1	N/A	1
PLOMO	7439-92-1	20	3	N/A	N/S	23
POLIETILÉN GLICOL	25322-68-3	N/A	5	N/A	N/A	5
PROPILENGLICOL MONOMETIL ÉTER	1569-02-4	N/A	118	N/A	N/A	118
PROPIONALDEHÍDO	123-38-6	N/A	23	156	N/A	179
P-TOLUALDEHÍDO	104-87-0	N/A	3	N/A	N/A	3



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

CONTAMINANTE	EMISIONES [TON/AÑO]					TOTAL
	CAS	FUENTES PUNTUALES	FUENTES DE ÁREA	FUENTES MÓVILES	FUENTES NATURALES	
P-XILENO	106-42-3	N/A	768	N/A	N/A	768
SELENIO	7782-49-2	N/A	N/A	N/A	N/S	0
T-BUTILBENCENO	98-06-6	N/A	36	N/A	N/A	36
TETRACLORURO DE CARBONO	56-23-5	N/A	N/S	N/A	N/A	0
TETRAMETILPENTANONA	815-24-7	N/A	75	N/A	N/A	75
TOLUENO	108-88-3	9628	19659	16091	N/A	45,378
TRANS-2-BUTENO	624-64-6	N/A	58	N/A	N/A	58
TRICLOROETILENO	79-01-6	N/A	4062	N/A	N/A	4,062
TRICLOROTRIFLUOROMETANO	75-69-4	11	4202	N/A	N/A	4,213
TRIETILAMINA	121-44-8	N/A	5	N/A	N/A	5
TRIETILEN GLICOL MONOBUTIL ÉTER	143-22-6	N/A	3	N/A	N/A	3
TRIMETILBENCENO (MEZCLA)	25551-13-7	N/A	277	N/A	N/A	277
XILENOL	1300-71-6	N/A	8	N/A	N/A	8
TOTAL		23,996	101,913	50,030	7,147	183,086

N/E: No Estimado, N/S: No Significativo, N/A: No Aplica.

Anexo I. Emisión total anual y por fuente. Inventario de emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM 2008, SMA GDF, 2010.



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

II. EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO

CONTAMINANTE	CAS	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN AGUDO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN CRÓNICO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FACTOR UNITARIO DE RIESGO POR INHALACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	ÍNDICE DE RIESGO AGUDO	ÍNDICE DE RIESGO CRÓNICO	RIESGO A CÁNCER
1,1,1-TRICLOROETANO	71-55-6	6.68E+00	6.80E+04	1.00E+03	0	9.82E-05	6.68E-03	0
1,2 EPOXIBUTANO	106-88-7	7.57E-04	0	2.00E+01	0	0	3.78E-05	0
1,3-BUTADIENO	106-99-0	7.96E-01	0	2.00E+01	1.70E-04	0	3.98E-02	1.35E-04
1-METOXI-2-PROPANOL	107-98-2	3.10E-02	0	7.00E+03	0	0	4.43E-06	0
ACETALDEHÍDO	75-07-0	1.22E+00	4.70E+02	1.40E+02	2.70E-06	2.60E-03	8.72E-03	3.30E-06
ACETATO DE CELLOSOLVE	111-15-9	4.99E-02	1.40E+02	3.00E+02	0	3.57E-04	1.66E-04	0
ACETATO DE VINILO	108-05-4	7.57E-03	0	2.00E+02	0	0	3.78E-05	0
ACROLEINA (2-PROPENAL)	107-02-8	1.23E-01	2.50E+00	3.50E-01	0	4.90E-02	3.50E-01	0
ANILINA	62-53-3	3.40E-02	0	0	1.60E-06	0	0	5.45E-08
ANTIMONIO	7440-36-0	4.24E-02	0	0	0	0	0	0
ARSÉNICO INORGÁNICO	7440-38-2	1.36E-02	2.00E-01	1.50E-02	3.30E-03	6.81E-02	9.08E-01	4.49E-05
BENCENO	71-43-2	4.97E+00	1.30E+03	6.00E+01	2.90E-05	3.82E-03	8.28E-02	1.44E-04
BROMURO DE METILO	74-83-9	2.10E+00	3.90E+03	5.00E+00	0	5.37E-04	4.19E-01	0
CADMIO	7440-43-9	2.27E-03	0	2.00E-02	4.20E-03	0	1.13E-01	9.53E-06
CELLOSOLVE (2-ETOXI-ETANOL)	110-80-5	1.45E-01	3.70E+02	7.00E+01	0	3.93E-04	2.08E-03	0
CLORO	7782-50-5	7.64E-02	2.10E+02	2.00E-01	0	3.64E-04	3.82E-01	0
CLOROBENCENO	108-90-7	1.42E+00	0	1.00E+03	0	0	1.42E-03	0
CLOROFORMO	67-66-3	7.57E-04	1.50E+02	3.00E+02	5.30E-06	5.04E-06	2.52E-06	4.01E-09
CLORURO DE VINILO	75-01-4	2.24E-01	1.80E+05	0	7.80E-05	1.24E-06	0	1.75E-05



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

CONTAMINANTE	CAS	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN AGUDO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN CRÓNICO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FACTOR UNITARIO DE RIESGO POR INHALACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	ÍNDICE DE RIESGO AGUDO	ÍNDICE DE RIESGO CRÓNICO	RIESGO A CÁNCER
CRESOL (ÁCIDO CRESÍLICO, O-CRESOL, M-CRESOL, P-CRESOL)	1319-77-3	7.57E-04	0	6.00E+02	0	0	1.26E-06	0
DICLOROMETANO (CLORURO DE METILENO)	75-09-2	1.15E+00	1.40E+04	4.00E+02	1.00E-06	8.23E-05	2.88E-03	1.15E-06
DIETANOLAMINA	111-42-2	1.51E-03	0	3.00E+00	0	0	5.04E-04	0
ESTIRENO	100-42-5	9.09E-01	2.10E+04	9.00E+02	0	4.33E-05	1.01E-03	0
ÉTILBENCENO	100-41-4	3.11E+00	0	2.00E+03	2.50E-06	0	1.55E-03	7.77E-06
ÉTILÉN GLICOL	107-21-1	5.30E-02	0	4.00E+02	0	0	1.32E-04	0
FENOL	108-95-2	6.28E-02	5.80E+03	2.00E+02	0	1.08E-05	3.14E-04	0
FORMALDEHÍDO	50-00-0	2.67E+00	5.50E+01	9.00E+00	6.00E-06	4.86E-02	2.97E-01	1.60E-05
GLUTARALDEHÍDO	111-30-8	5.22E-02	0	8.00E-02	0	0	6.53E-01	0
ISOFORONA (3,5,5-TRIMETIL-2-CICLOHEXEN-1-ONA)	78-59-1	9.08E-03	0	2.00E+03	0	0	4.54E-06	0
ISÓMEROS DE XILENO	1330-20-7	1.43E+01	2.20E+04	7.00E+02	0	6.50E-04	2.04E-02	0
MANGANESO	7439-96-5	8.85E-02	0	9.00E-02	0	0	9.84E-01	0
MERCURIO	7439-97-6	0.00E+00	6.00E-01	3.00E-02	0	0	0	0
METANOL	67-56-1	1.09E+01	2.80E+04	4.00E+03	0	3.88E-04	2.72E-03	0
METIL ETIL CETONA	78-93-3	5.59E+00	1.30E+04	0	0	4.30E-04	0	0
METIL T-BUTIL ÉTER	1634-04-4	4.29E+00	0	8.00E+03	2.60E-07	0	5.36E-04	1.12E-06
M-XILENO	108-38-3	4.02E+00	2.20E+04	7.00E+02	0	1.83E-04	5.74E-03	0
NAFTALENO	91-20-3	5.88E-01	0	9.00E+00	3.40E-05	0	6.53E-02	2.00E-05
N-HEXANO	110-54-3	5.56E+00	0	7.00E+03	0	0	7.94E-04	0



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

CONTAMINANTE	CAS	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN AGUDO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN CRÓNICO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FACTOR UNITARIO DE RIESGO POR INHALACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	ÍNDICE DE RIESGO AGUDO	ÍNDICE DE RIESGO CRÓNICO	RIESGO A CÁNCER
NÍQUEL	7440-02-0	7.57E-03	2.00E-01	1.40E-02	2.60E-04	3.78E-02	5.40E-01	1.97E-06
ÓXIDO DE ETILENO	75-21-8	1.72E-01	0	3.00E+01	8.80E-05	0	5.72E-03	1.51E-05
O-XILENO	95-47-6	2.35E+00	2.20E+04	7.00E+02	0	1.07E-04	3.35E-03	0
P-DICLOROBENCENO	106-46-7	5.88E-01	0	8.00E+02	1.10E-05	0	7.35E-04	6.47E-06
PERCLOROETILENO	127-18-4	4.61E+00	2.00E+04	3.50E+01	5.90E-06	2.30E-04	1.32E-01	2.72E-05
PLOMO	7439-92-1	1.74E-02	0	0	1.20E-05	0	0	2.09E-07
P-XILENO	106-42-3	5.81E-01	2.20E+04	7.00E+02	0	2.64E-05	8.30E-04	0
SELENIO	7782-49-2	0.00E+00	0	2.00E+01	0	0	0	0
TOLUENO	108-88-3	3.43E+01	3.70E+04	3.00E+02	0	9.28E-04	1.14E-01	0
TRICLOROETILENO	79-01-6	3.07E+00	0	6.00E+02	2.00E-06	0	5.12E-03	6.15E-06
TRIETILAMINA	121-44-8	3.78E-03	2.80E+03	2.00E+02	0	1.35E-06	1.89E-05	0
1,2,3-TRIMETILBENCENO	526-73-8	2.27E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1,2,4-TRIMETILBENCENO	95-63-6	4.43E-01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1,3,5-TRIMETILBENCENO	108-67-8	6.43E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1,4-DIETILBENCENO (PARA)	105-05-5	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1-METIL-2-ETILBENCENO	611-14-3	3.48E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1-METIL-4-ETILBENCENO	622-96-8	1.29E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1-NONENO	124-11-8	6.81E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2,2,4-TRIMETILPENTANO	540-84-1	4.73E+00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2,4-DIMETILPENTANO	108-08-7	5.75E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2,5-DIMETILBENZALDEHÍDO	5779-94-2	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

CONTAMINANTE	CAS	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN AGUDO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN CRÓNICO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FACTOR UNITARIO DE RIESGO POR INHALACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	ÍNDICE DE RIESGO AGUDO	ÍNDICE DE RIESGO CRÓNICO	RIESGO A CÁNCER
4-METIL-2-PENTANOL	108-11-2	3.03E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ACENAFTENO	83-32-9	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ACENAFTILENO	208-96-8	1.51E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ACETOFENONA	98-86-2	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ACETONA	67-64-1	2.16E+00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ACETONITRILO	75-05-8	2.27E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ALCOHOL BENCÍLICO	100-51-6	2.27E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
BIACETIL (DIMETIL GLIOXAL)	431-03-8	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
BIFENIL (FENILBENCENO)	95-52-4	1.06E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
BIFENIOL	90-43-7	1.51E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
BUTILBENCENO	104-51-8	3.78E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CARBARILO (METILCARBAMATO DE 1-NAFTILO)	63-25-2	5.30E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CIS-1,3-DICLOROPROPILENO	10061-01-5	7.13E-01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CLORURO DE METILO	74-87-3	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
COBALTO	7440-48-4	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CROMO	7440-47-3	2.04E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
DIBUTILFTALATO	84-74-2	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
DIETILÉN GLICOL	111-46-6	4.62E-01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

CONTAMINANTE	CAS	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN AGUDO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN CRÓNICO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FACTOR UNITARIO DE RIESGO POR INHALACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	ÍNDICE DE RIESGO AGUDO	ÍNDICE DE RIESGO CRÓNICO	RIESGO A CÁNCER
DIMETIL BENCIL ALCOHOL	29718-36-3	1.36E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ETIL ÉTER	1569-02-4	1.16E-01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ETILÉN GLICOL PROPIL ÉTER (2-PROPÓXIETANOL)	2807-30-9	1.51E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ÉTILENO	74-85-1	9.06E-01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
FENANTRENO	85-01-8	1.51E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
FENILBENCENO	538-68-1	3.03E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
FLUORENO	86-73-7	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
FÓSFORO	7723-14-0	1.89E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
GLIOXAL	107-22-2	4.16E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
HEXACLOROETANO	67-72-1	9.84E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
HEXANAL (HEXANALDEHÍDO)	66-25-1	3.78E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ISÓMEROS DE DECANO	N/A	1.07E+00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ISÓMEROS DE UNDECANO	N/A	6.95E-01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ISOPROPILBENCENO	98-82-8	7.57E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
M-DIETILBENCENO	141-93-5	0.00E+00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
METIL ISOAMIL CETONA (ISOPENTIL METIL CETONA)	11012-3	3.78E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
METIL ISOBUTIL CETONA	108-10-1	2.47E+00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
METILGLIOXAL	78-98-8	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
METILMETACRILATO	80-62-6	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
M-ETILTOLUENO	620-14-41	4.99E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

CONTAMINANTE	CAS	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN AGUDO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN CRÓNICO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FACTOR UNITARIO DE RIESGO POR INHALACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	ÍNDICE DE RIESGO AGUDO	ÍNDICE DE RIESGO CRÓNICO	RIESGO A CÁNCER
MONOMETIL ÉTER DIPROPILÉNGLICOL	34590-94-8	4.31E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
M-XILENO Y P-XILENO	108-38-3; 106-42-3	2.42E+00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NAFTA	8030-30-6	3.57E-01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
N-PROPILBENCENO	103-65-1	9.53E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
O-CLOROTOLUENO	95-94-8	3.78E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
O-DICLOROBENCENO	95-50-1	2.27E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PARAFORMALDEHÍDO	30525-89-4	1.59E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PIRENO	129-00-0	7.57E-04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PROPILENGLICOL MONOMETIL ÉTER	1569-02-4	8.93E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PROPIONALDEHÍDO	123-38-6	1.35E-01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
P-TOLUALDEHÍDO	104-87-0	2.27E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TETRACLORURO DE CARBONO	56-23-5	0.00E+00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TETRAMETILPENTANONA	815-24-7	5.67E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TRANS-2-BUTENO	624-64-6	4.39E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TRICLOROTRIFLUOROMETANO	75-69-4	3.19E+00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TRIETILEN GLICOL MONOBUTIL ÉTER	143-22-6	2.27E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TRIMETILBENCENO (MEZCLA)	25551-13-7	2.10E-01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
XILENOL	1300-71-6	6.05E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A



Tesis: "Evaluación preliminar del riesgo atmosférico a partir del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2008"

CONTAMINANTE	CAS	CONCENTRACIÓN TOTAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN AGUDO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REL DE INHALACIÓN CRÓNICO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FACTOR UNITARIO DE RIESGO POR INHALACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	ÍNDICE DE RIESGO AGUDO	ÍNDICE DE RIESGO CRÓNICO	RIESGO A CÁNCER
N-HEPTANO	142-82-5	6.71E-01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ÓXIDO DE MESITILO (ISOBUTENIL METIL CETONA)	141-79-7	1.51E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PENTAFLORONITROBENCENO	82-68-8	1.51E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
POLIETILÉN GLICOL	25322-68-3	3.78E-03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
T-BUTILBENCENO	98-06-6	2.72E-02	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A: No aparece en la tabla consolidada de los valores aprobados para la evaluación del riesgo publicados por la OEHHA. (OEHHA, 2012)

Anexo II. Evaluación preliminar del riesgo. Valores de REL crónico, REL agudo y URF de Consolidated Table Of OEHHA/ARB Approved Risk Assessment Health Values, Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA, 2012). Concentración Total, Índice de Riesgo Agudo, Índice de Riesgo Crónico, Riesgo a cáncer son valores calculados, elaboración propia.