



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**EVALUACIÓN DE BENEFICIOS POR REDUCCIÓN DE
CONTAMINANTES AMBIENTALES (OZONO) EN LA
ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO
DURANTE EL PERIODO 2000-2005**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A:

MARIA ELENA ORTÍZ LOA



MÉXICO, D.F.

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: JOSÉ ANTONIO ORTÍZ RAMÍREZ

Vocal: RODOLFO TORRES BARRERA

Secretario: JOSÉ AGUSTÍN GARCÍA REYNOSO

1^{er.} Suplente: IRMA CRUZ GAVILAN GARCÍA

2^{do.} Suplente: JESUS ARTURO BUTRON SILVA

LUGAR DONDE SE REALIZÓ LA TESIS:

CIENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMOSFERA UNAM

ASESOR DE TESIS:

Dr. JOSE AGUSTIN GARCIA REINOSO

SUSTENTANTE:

MARIA ELENA ORTIZ LOA

“DEDICATORIA”

“Esta tesis es dedicada a ustedes Mamá y Papá espero que estén muy orgullosos de mí como yo de ustedes”

“AGRADECIMIENTOS”

“A Dios por permitirme lograr llegar a este objetivo de vida y darme fe y esperanza, por darme la fuerza de seguir a delante”.

“A la Universidad por se mi segundo hogar, y permitirme formar parte de ella”.

“Dr. Agustín por su apoyo el interés por cumplir este proyecto, con su paciencia, consejos y enseñanza”.

“A todos mis profesores que me guiaron por el camino de la formación de una Ingeniera Química”.

“A Manuel Suárez Lastra por el apoyo para el desarrollo de esta Tesis”.

† Papá gracias por todo lo que llegaste a hacer para que yo pudiera tener las bases para una vida llena de aprendizaje y gracias por todo tu apoyo y el mejor ejemplo que me diste, gracias por ser una grandiosa persona, en donde sea que estés gracias por darme la vida.

Mamá por ser la persona que esta ahí cada día de mi vida, apoyándome, gracias por la confianza y este logro no solo es mío, es también tuyo y me siento muy orgullosa de ti, por tener tanta fuerza y ser un gran ser humano.

Mi hermano Rubén por sus consejos y por su apoyo, por tu ejemplo de seguir a delante y luchar por lo que tú deseas y llegar a ser una mejor persona cada día.

A mis abuelos por su cariño y su apoyo, así como a mis tíos y demás familiares que han estado pendiente y que se han preocupado por mi, gracias.

Tropa Rex gracias por estar conmigo en los momentos mas difíciles y por la gran amistad que hay y que perdure muchos años.

Joana por tu cariño, apoyo y por ser una gran persona en mi vida, las palabras sobran y una vida falta para seguir juntas.

Angélica, Hugo Veloz esto también es por su apoyo y su confianza, el gran ejemplo de la excelencia, y por los mejores momentos vividos durante todo el tiempo en la Facultad, por los consejos y por creer en mí.

Arturo las palabras faltan pero los hechos hablan y solo puedo dar gracias a la vida por estar contigo y por la tolerancia, consejos, así como, gracias por enseñarme a amar momentos que en mi vida siempre estarán.

Alondra y Andrés no hay como poder hacerles saber lo mucho que significa para mí muchas gracias por todo, gracias por creer en mí y por confiar mucho gracias en verdad.

Rodrigo, Marquitos, Nicté, Kitzia, Macu, Juan, Elías, Rubén, Gilberto, Iris, Fabián, Jenny y demás personas que no podría terminar de nombrarlos para agradecer su cariño, confianza, apoyo y por ser parte de los mejores momentos de mi vida.

Carmen, Rubén, les agradezco mucho por el tiempo la paciencia por apoyarme a terminar este proyecto.

A todos los que nombre y a aquellos que faltaron, muchas gracias por permitirme estar en su vida y formar parte de ustedes.



ÍNDICE

INTRODUCCION.....	1
OBJETIVO E HIPOTESIS.....	2
1. CAPITULO 1.....	3
1.1 OZONO. GENERALIDADES.....	3
1.2 PROPIEDADES DEL OZONO.....	5
1.3 TENDENCIAS.....	7
1.4 EFECTOS EN LA SALUD.....	12
2. CAPITULO 2.....	16
ZONA DE ESTUDIO.....	16
3. CAPITULO 3.....	18
METODOLOGÍA.....	18
3.1 DESCRIPCION DEL SIMAT Y DATOS DE CALIDAD DEL AIRE.....	18
3.2 ESCENARIO BASE Y DE CONTROL.....	20
3.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE BENÉFICOS.....	22
RESULTADOS.....	26
CONCLUSIONES.....	28
GLOSARIO.....	29
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	30



INTRODUCCIÓN

El ozono es un contaminante secundario, que afecta a la salud y a los ecosistemas. Su control requiere la aplicación de medida para control en una gran variedad de fuentes.

En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se han aplicado una serie de programas y medidas para reducir la concentración ambiental. Los que han logrado que se observe reducciones en la concentración media del contaminante.

En este trabajo se presenta una evaluación sobre los beneficios obtenidos por la relación entre las concentraciones ambientales del ozono durante el periodo 2000–2005. Para ello se empleo información de red informática de monitoreo ambiental (RAMA), distribución de población en áreas geoestadísticas básicas (AGEB) y un sistema de información geográfica (SIG), así mismo se aplica la información obtenida en los estudios respecto a la salud y económicos para la región en estudio.

Este esta formado por cinco capítulos, el primero se describe lo que es el ozono; generalidades, propiedades, tendencias, así como efectos a la salud. En el siguiente capítulo se habla de la zona de estudio, seguido por el capítulo que tiene la metodología utilizada para la reducción del contaminante, y por ultimo los resultados y conclusiones sobre la evaluación de lo benéficos en los periodos 2000–2005.



OBJETIVO

Evaluar en forma cuantitativa el beneficio obtenido por las reducciones en las concentraciones ambientales acerca del ozono durante el período 2000 a 2005.

HIPÓTESIS

Si el incremento en las concentraciones ambientales puede inducir un incremento en movilidad y mortalidad también se puede realizar la evaluación de beneficios por reducción respecto a los contaminantes ambientales (ozono) en la Zona Metropolitana del Valle de México durante el período 2000–2005.



1. CAPITULO 1

1.1 OZONO. GENERALIDADES

El ozono se crea durante las reacciones de la luz solar con los óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre que contaminan la atmósfera. Se podría decir que hay muchas fuentes distintas que producen estos dos tipos de contaminantes, algunas son los vapores en gasolinas, los solventes químicos y la combustión respecto a diversos compuestos.

Se forman casi en cualquier sitio, desde las grandes industrias, las estaciones de gasolina, las pequeñas fábricas o las tintorerías. Estos lugares se encuentran generalmente en zonas donde la temperatura ambiente, la radiación solar y el tránsito vehicular facilitan las reacciones para la formación de ozono.

Debido a su gran reactividad química el ozono se usa en ocasiones para combatir el mal olor de gases de desecho como metano y compuestos sulfurosos producidos en el tratamiento de aguas negras, porque los oxida formando productos menos mal olientes.

El ozono se prepara en general por la acción de una descarga eléctrica sobre el O_2 , durante las tormentas y cerca de equipos eléctricos de alto voltaje o que produzcan chispas; de esta manera se obtienen concentraciones hasta del 10% de O_3 . El ozono gas es perceptiblemente azul y diamagnético. El ozono puro se puede obtener por licuefacción fraccionada de mezclas de $O_2 - O_3$. Hay un sistema líquido de dos fases; una con 25% de ozono estable, pero una fase de color morado oscuro con 70% de ozono explosiva, lo mismo que el líquido puro color azul oscuro (p.e. -112°). El sólido (p.f. -193°) es violeta oscuro.



En estos dos estados es una sustancia muy explosiva dado su gran poder oxidante.

Su estado natural es el gaseoso y se encuentra en el aire, cerca de la superficie de la Tierra, en muy pequeñas cantidades, entre las alturas de 15 a 25 km en una proporción aproximada de 20 partes por mil millones (ppmm) y en verano puede llegar a subir hasta las 100 ppmm.



1.2 PROPIEDADES DEL OZONO

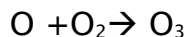
Tabla 1 Propiedades más relevantes del ozono

Formula molecular	O ₃
Característica principal	Gas oxidante
Peso molecular	48,0
Concentración	hasta 18% por el peso en oxígeno
Punto de ebullición	-111,9°C
Punto de fusión	-192,7°C
Temperatura crítica	-12,1°C
Presión crítica	54,6 atm
Densidad	2,14 Kg. O ₃ a 0°C y 11013 mbar
Densidad relativa (al aire)	1,7
Solubilidad en agua	3 ppm a 20°C
Calor de formación	144,7 kJ/mol
Angulo de enlace	116°
Potencial electroquímico	-2,07 V
Punto de vaporización	No aplicable
Temperatura de auto ignición	No aplicable
Inflamabilidad	Inflamable, pero vigoroso para apoyar la combustión
Productos peligrosos por la descomposición	Ninguno

El ozono es una molécula formada por 3 átomos de oxígeno y es una forma alotrópica del oxígeno. Químicamente es muy activo, es un oxidante muy fuerte y que se usa como germicida (mata organismos infecciosos). Se descompone rápidamente en oxígeno a temperaturas mayores a 110°C y a la temperatura ambiente con catalizadores como el dióxido de manganeso, MnO₂.

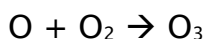


Su formación es causada por la radiación ultravioleta proveniente del sol en el rango 240–300 nm a través de las reacciones



Los aviones, que vuelan en la capa de ozono, descargan NO y NO₂, pudiendo catalizar la descomposición del ozono por medio de las siguientes reacciones

Reacciones químicas de formación y descomposición del ozono:



En cuanto al contaminante respecto a la Norma Oficial Mexicana NOM–20–SSA–1993, el ozono, puede decirse que su presencia en el aire ambiente se atribuye a diversos procesos físico–químicos, los cuales contribuyen en mayor o menor grado a su formación según varíen las condiciones físicas y químicas en las que se produzca la reacción.

1.3 TENDENCIAS

Las concentraciones ambientales del ozono se miden cotidianamente por la RAMA desde 1986 las tendencias de concentración se presentan en I.

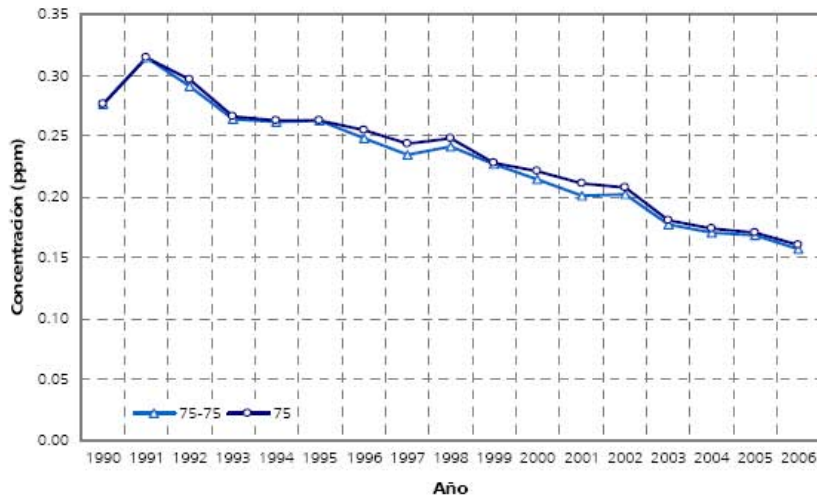


Ilustración 1.1 Tendencias de la concertación ambiental del ozono en la Ciudad de México (Fuente SIMAT, 2008)

Se observa que los valores más elevados se presentaron en 1991 y 1992 con una tendencia decreciente en los años posteriores en las estaciones históricas respecto a la RAMA.

En mayo, 1994 fue el mes con los índices mas elevados, concentraciones superiores a la NOM respecto al ozono. Así mismo en 1991 fue el año con el mayor número de días en que se excedió este valor normado, representado el 96.6% de los días en cambio en 2001 se registró el menor porcentaje en días con que se excedió.

Los estudios sobre ingresos hospitalarios y visitas a salas de emergencia han permitido medir no sólo la presencia de síntomas respiratorios, sino



También su gravedad. En estudios realizados en los Estados Unidos, estos efectos se han observado después de exposiciones prolongadas a concentraciones del ozono tan bajas como 0.080 ppm. Los grupos más susceptibles son los niños y las personas que por motivos de trabajo permanecen mayor tiempo en los exteriores, así como los individuos con enfermedades respiratorias previas. Es importante hacer hincapié en que algunos individuos responden de manera inusual al ozono y pueden presentar efectos funcionales o síntomas respiratorios más acentuados que la población general.

La Secretaría de Salud inició en 1996 un estudio para contingencias atmosféricas, en la zona metropolitana del Valle de México. Los datos preliminares obtenidos fueron más de 519,000 individuos entrevistados mostraron que al rebasarse las 0.281 ppm de ozono, se incrementó por arriba de los valores basales la proporción respecto a signos, síntomas oculares y respiratorios entre la población. Esos resultados preliminares permitieron en 1998 ajustar el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas en el Valle de México, mediante el cual se llevaban a cabo las acciones urgentes de control.

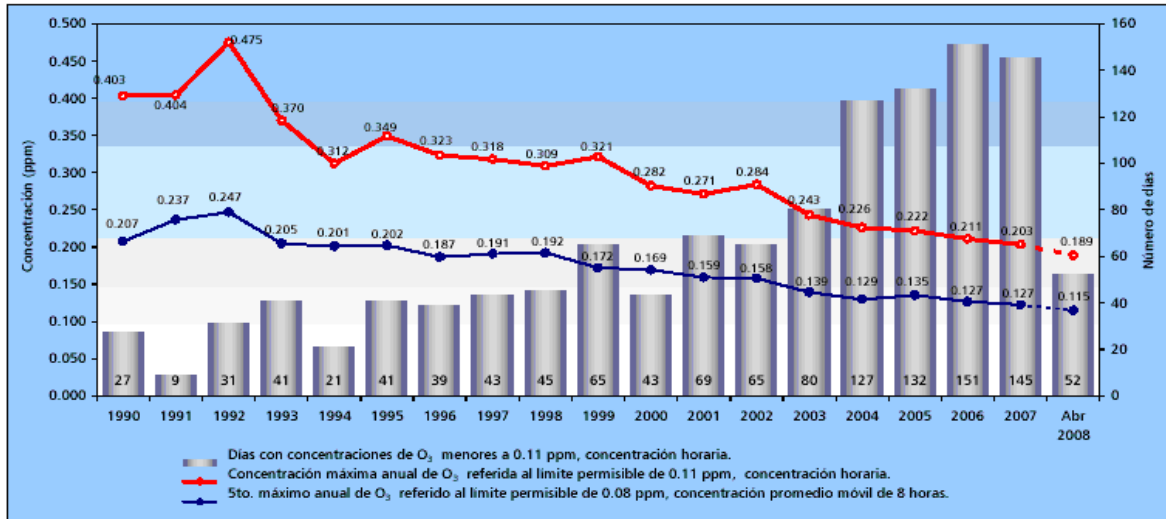
Las estaciones de monitoreo del SIMAT han rebasado los límites permisibles por la NOM, los monitoreos se relaciona con la ubicación geográfica.

En el año 2000 en tres países europeos se asocian (Francia, Suiza y Austria), entre 19,000 y 44,000 fallecimientos a los efectos de la contaminación atmosférica. Esta contaminación también favorece la aparición de ataques de asma, bronquitis, ataques al corazón y otras enfermedades pulmonares y cardiovasculares crónicas; además perjudica al desarrollo de la capacidad pulmonar de los niños (1).



Una estimación respecto a la frecuencia de días en el año 2000 y del número de niños (menores a 15 años) de la ZMVM, como posibilidad de exponerse a concentraciones del ozono que supera el límite 0.110 ppm indicó que cerca de 150 mil niños con residencia en la región suroeste pudieron exponerse durante 240 días o más a concentraciones que superaron la NOM, mientras que las regiones restantes, donde se concentraron 4.8 millones de niños, se superó la NOM al menos en 60 días según el GDF.

En 2006 aumentó notablemente el área estimada, principalmente hacia el norte y oriente de la ZMVM, con más de 60 días de excedencias al límite a la NOM y donde radica un 67% para población infantil de la ZMVM. La población infantil con posibilidad de exponerse entre 60–120 días, esta se redujo hasta en 24% en comparación con 2005.



	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Abr 2008
Porcentaje de días con concentración de O ₃ menor a 0.11 ppm	7	3	9	11	6	11	11	12	12	18	12	19	18	22	35	36	41	40	43
Porcentaje de días con concentración de O ₃ menor a 0.08 ppm	11	3	10	15	10	16	19	24	18	22	19	24	25	33	46	42	50	46	43

Ilustración 1.2 Gráfica comparativa incluyendo el periodo 2000–2008

La NOM en el año 1991 solo se cumplió el 2.6% de los días, en los últimos 17 años el 2006 tuvo el mayor número de días con concentraciones máximas inferiores al límite permisible respecto O₃ ya que esto no se rebasó en 151 días, al concluir ese año la calidad de aire en la ZMVM presenta condiciones de mejoría para contaminantes como el ozono, debido a que sus concentraciones máximas han continuado disminuyendo el límite que establece la norma Oficial Mexicana se cumple hasta el 41% de los días. El segundo lugar lo ocupa el año 2007 con 145 días.

En lo que va de 2008 no se rebasó este límite en 52 días (primer semestre).



La disminución del contaminante también se refleja en la ausencia en concentraciones que motivan para seguir en el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas, y también en la estimulación para un menor riesgo por exposición de la población.

En el año 2002 la violación en la norma de calidad del aire durante 321 días del año, ocasiona la muerte prematura en 35 mil personas – 96 al día– en la ZMVM, indican datos oficiales.

Advierten que al llevar a cabo la norma de ozono, el gas que más afecta el aire de la ZMVM, al año se salvarían de una muerte temprana alrededor de 3 mil 400 personas que a diario están expuestas en forma aguda a este gas, mientras que el cumplimiento a la normatividad de partículas suspendidas (PM_{10}) evitaría anualmente la mortalidad anticipada de 600 personas que se exponen en forma aguda y de 31 mil personas más que enfrentan exposición crónica en esta zona de Studio toda la población esta expuesta a estos contaminantes crónicos.

Al aire de la ZMVM se lanzan en promedio 2.5 millones ton de diversos contaminantes al año, los cuales los produce en 84% el transporte; en 12 % fuentes de área – casas y negocios, 3% plantas industriales y 1% la vegetación y suelos.

Hay aproximadamente 3.5 millones de vehículos en circulación, los cuales consumen a diario 4.5 millones de litros en diesel; 18 millones de litros en gasolina y 300 mil litros en gas licuado de petróleo. Todos estos vehículos el 52% es más contaminante, pero además 70% en la contaminación que emiten proviene de apenas 20% del total. Los autos nuevos o seminuevos generan 40 veces menos contaminación que la que emiten unidades en los y anteriores. Esto recordando que es en el año 2001 y principios 2002.



1.4 EFECTOS EN LA SALUD

Se trata de un gas azul y diamagnético peligroso para la respiración pues ataca las mucosas, fácilmente reconocible.

Es sabido que "la exposición al ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar así como efectos sistémicos en órganos blandos distantes al pulmón, por ejemplo el hígado" Por ello, la historia del ozono ZMVM es motivo para una gran preocupación, con su control depende tener un aire de alta calidad y alcanzar un adecuado nivel de vida en la población.

Con el tiempo que transcurre entre la exposición y la aparición de los efectos, los daños a la salud asociados con el ozono pueden clasificarse como corto plazo (de una a tres horas), prolongados (de seis a ocho horas) y largo plazo (meses o años). Los efectos agudos se han observado en concentraciones de 0.12 partes por millón (en adelante, ppm), cuando los individuos realizan ejercicio moderado o intenso o en concentraciones más bajas (de 0.08 ppm) después de exposiciones prolongadas, tras un ejercicio moderado o bajo.

Los efectos adversos van desde cambios transitorios en función pulmonar, aumento en la incidencia por enfermedades y síntomas respiratorios, mayor susceptibilidad para la aparición sobre infecciones respiratorias, lo que indirectamente se refleja en el aumento de ingresos hospitalarios y visitas a salas de emergencia. Estudios recientes también han encontrado asociaciones entre la exposición al ozono y el aumento en la mortalidad diaria que se presenta particularmente entre personas con enfermedades respiratorias o cardiovasculares previas.



Los cambios en la función pulmonar se caracterizan por la disminución de la Capacidad Vital Forzada (CVF) y el Volumen Espiratorio Forzado del primer segundo (VEF1). Los cambios de la CVF se deben a una disminución de la capacidad respiratoria, al parecer tras una inhibición neurológica. En relación con la disminución del VEF1, lo que se ha observado en múltiples estudios realizados en diferentes países en el mundo, incluido México, es que en promedio el VEF1 disminuye cuando aumentan las concentraciones de ozono, sin pasar por alto la gran variación individual. Estos efectos son transitorios, pero dado que existen muchas poblaciones expuestas cotidianamente a este contaminante, podría considerarse que la exposición es permanente. Los hallazgos en los estudios epidemiológicos y experimentales son muy similares y se refieren tanto a los niños como a los adultos.

Otro efecto frecuentemente descrito al exponer a las personas al ozono es su impacto sobre el desempeño físico-atlético el nivel de actividad máximo sostenible o tiempo de actividad que puede tolerarse en un nivel particular para el trabajo físico. Atletas expuestos a concentraciones por arriba de 0.18 ppm han reportado incapacidad para realizar esfuerzos máximos en competencias atléticas; trabajadores o personas activas expuestas han visto aumentar los síntomas respiratorios, lo que puede provocar disminución en el desempeño del trabajo.

La inhalación del ozono presente en el smog fotoquímico ocasiona tos, dificultad para respirar, irritación en la nariz y la garganta, aumenta las molestias y agrava las enfermedades crónicas como el asma, bronquitis, enfisema (es incurable y reduce la capacidad en los pulmones para transferir oxígeno a la sangre) y trastornos cardiacos.



La exposición infantil a ozono se relaciona con diversos síntomas, que van desde la simple irritación ocular y nasal hasta la posibilidad de agravar los síntomas de enfermedades crónicas como el asma.

En el caso de la población infantil este problema se incrementa por la necesidad que tiene su organismo para obtener un mayor volumen de aire respecto a su peso, por lo que la dosis respirada es superior a la de un adulto. Los niños pueden estar más expuestos a contaminantes ambientales debido a que, en proporción con su tamaño, un niño respira más aire que los adultos, por lo que su exposición a los contaminantes por peso corporal es relativamente más alta.

Las concentraciones elevadas de ozono pueden afectar la función pulmonar (la capacidad y el volumen expirado forzado) de los niños y de las personas sensibles. Estudios realizados en niños presentan reacciones que experimentan disminuciones de hasta un 30% de su función pulmonar realizando un ejercicio físico moderado.

La contaminación atmosférica está asociada con la mortalidad infantil y el desarrollo de asma, puede influir en el decremento en las funciones básicas pulmonares y cause efectos duraderos en la salud respiratoria.

Los resultados de un estudio realizado en la ciudad de México, sugieren que un suplemento de antioxidantes puede reducir los síntomas y cambios en la función pulmonar de niños asmáticos.

Si en la ZMVM los niveles del ozono estuvieran dentro de la norma, se evitarían al año 20 mil 500 casos de admisiones hospitalarias y más de 132 mil 500 visitas a salas de emergencias por males respiratorios, la

pérdida sobre productividad y bienestar equivalente a 39 millones de días en actividad restringida en adultos, 20 mil 500 ataques de asma y 2 mil 500 casos de síntomas en niños.



En caso de que se redujeran las emisiones de partículas suspendidas decrecerían en más de 2 mil casos las admisiones hospitalarias por males respiratorios y cardiocerebrovasculares; bajarían en cerca de 26 mil las visitas a salas de emergencias por padecimientos respiratorios, se reducirían mas o menos 3 mil casos de tos en niños con asma, 6 mil a 700 casos por bronquitis crónica y más de mil casos de tos crónica en niños.

Los indicadores de salud utilizados para este diagnóstico fueron la admisión a hospitales, la visita a emergencias, días en actividad restringida, efectos en asmáticos, síntomas respiratorios, morbilidad crónica, mortalidad aguda y toda esta información fue elaborada a través del Sistema de Vigilancia Epidemiológica Ambiental desarrollado Por la Secretaria de salud.



2. CAPITULO 2

ZONA DE ESTUDIO

ZMVM se asienta sobre la planicie aluvial que dejaron los antiguos lagos; Texcoco, México, Chalco y Xochimilco en el interior del Valle de México y tiene como centroide la confluencia del paralelo $19^{\circ} 30'$ en Latitud Norte y el meridiano $99^{\circ} 02'$ en Longitud Oeste. La altitud promedio es de 2,240 metros sobre el nivel del mar. La ZMVM aloja en su interior pequeñas elevaciones topográficas que perturban el terreno: en el norte se localiza la Sierra Guadalupe y el Cerro Chiquihuite; en el centro se ubica el Cerro la Estrella; hacia el oriente se encuentra el Cerro San Nicolás y la Sierra volcánica Santa Catarina; al sur y suroeste el terreno se eleva más de 3,600 metros de altitud en la región conocida como la Sierra del Ajusco-Chichinautzin, que aparta a la ZMVM del Valle de Cuernavaca; mientras que al poniente, la Sierra Cruces la separa del Valle de Toluca. Las principales elevaciones topográficas son los volcanes Popocatepetl (5,465 metros de altitud) e Iztaccíhuatl (5,230 metros en altitud) localizados en el sureste de la Ciudad.

Territorialmente la ZMVM estaba constituida en el año 2005 por las 16 Delegaciones del Distrito Federal y 28 municipios metropolitanos del Estado de México. La ZMVM Colinda al norte con el Estado de Hidalgo, al oriente con los Estados; Puebla y Tlaxcala, al sur con el Estado de Morelos; en tanto que al occidente limita con la Cuenca del Pánuco.

La ZMVM posee una extensión de 4,715.3 km² (3228.9 km² del Estado de México y 1486.4 km² del Distrito Federal). Del total de la superficie, el 65.5% es para uso urbano (43% del D. F. y 22.5% del Estado de México) y el 34.5% restante es zona rural con usos del suelo agrícola, pecuario, forestal y áreas de conservación. La zona rural cuenta con una variada vegetación: bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de oyamel, matorrales xerófilos y pastizales, entre otras especies.

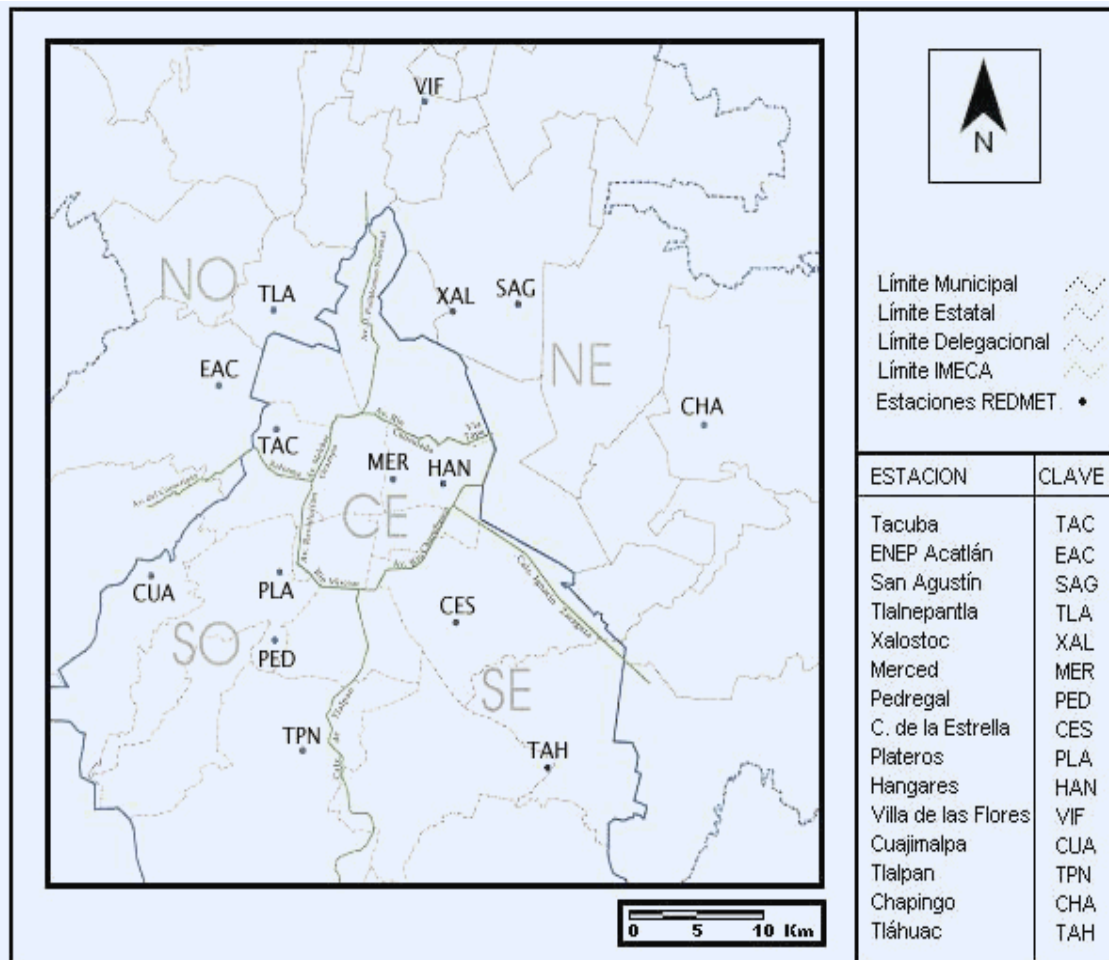


Ilustración 1.3 Distribución de la Red Meteorológica (REDMET) y principales zonas IMECA de la Zona Metropolitana del Valle de México



3. CAPITULO 3

METODOLOGÍA

El análisis de beneficios se lleva a cabo por medio del escenario base y uno para control donde se obtiene el cambio en la concentración después con el número de población y con las relaciones concentración-respuesta se calcula la reducción en morbilidad y mortalidad, con lo cual se pueden calcular los beneficios. En este trabajo el escenario base corresponde a las concentraciones medidas por la RAMA durante el 2000 y el escenario control a las concentraciones del 2005.

3.1 DESCRIPCION DEL SIMAT Y DATOS CALIDAD DEL AIRE

El aire en la ZMVM ha sido considerado por varias décadas como el más contaminado debido a las emisiones provenientes por transporte, industria, servicios, doméstico y otros. Con el fin de vigilar, la calidad del aire en la ZMVM, la Ciudad de México cuenta con un Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) que opera la Secretaría del Medio Ambiente (SMA) del Gobierno del Distrito Federal (GDF).

La RAMA es el subsistema del SIMAT realiza mediciones continuas de ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10})

y partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) y parámetros meteorológicos en superficie.

La RAMA cuenta actualmente con 36 estaciones remotas sobre el monitoreo, 24 en el Distrito Federal y 12 en el Estado de México. Estos



equipos realizan mediciones minuto a minuto las 24 horas de los 365 días del año. La información de las estaciones de monitoreo se transmite a un sistema central donde se procesa y se valida para generar promedios en una hora.

El SIMAT posee 15 estaciones de monitoreo automáticas con instrumental Meteorológico (9 en el Distrito Federal y 6 en el Estado de México) que se conoce como Red Meteorológica (REDMET). El objetivo principal es medir parámetros meteorológicos en la superficie dentro de la ZMVM proporcionando promedios horarios de velocidad (WSP) y dirección del viento (WDR), humedad relativa (RH) y temperatura ambiente (TMP), con datos registrados cada minuto.

Las estaciones para monitoreo cuentan con criterios técnicos para su ubicación, densidad de población, distribución de fuentes para emisión y topografía. Las características del entorno por cada estación se describen en el Mapa Sensible del SIMAT.

3.2 ESCENARIO BASE Y DE CONTROL

La información sobre la RAMA se empleó como la siguiente manera:

Se generó el escenario base considerando las concentraciones ambientales 2000 en este año se tiene los valores de concentraciones altos.

Se generó el escenario control empleando los datos de la RAMA para el año 2005.

Para la generación de dichos escenarios se empleó el modelo BENMAP con la cual se utilizó la ubicación de la estación y el valor de concentración para extrapolarlo a los agebs vecinos. (Voronoi)

Los agebs vecino Voronoi se describe por diferentes puntos de monitoreo distribuidos en un área. Para extrapolar la concentración mas cercanas a un punto de monitoreo.

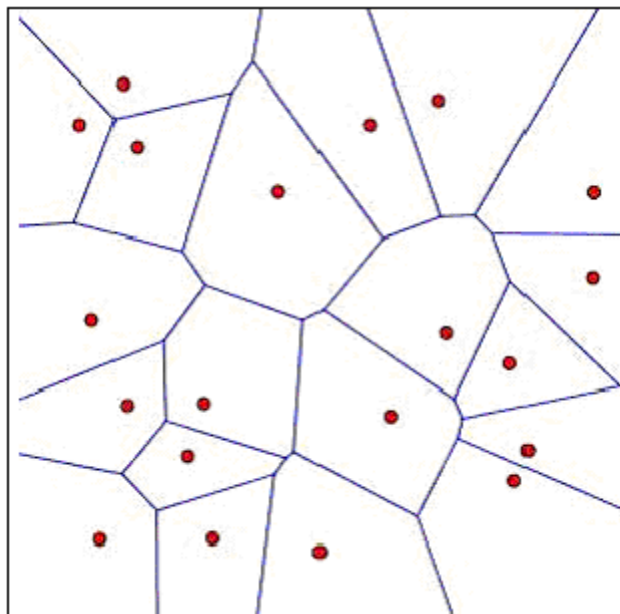


Ilustración 1 Mapa de localización de los puntos de monitoreo a los agebs vecinos



Los Polígonos de Thiessen (también Polígonos de Voronoi o Teselación de Lejeune Dirichlet) son una construcción geométrica que permite construir una partición del plano euclídeo. Deben su nombre al Alfred H. Thiessen y también fueron estudiados por Georgy Voronoi y Gustav Lejeune Dirichlet.

Los polígonos de Thiessen son uno de los métodos para interpolación más simples, basado en la distancia euclídeo, siendo especialmente apropiada cuando los datos son cualitativos. Se crean al unir los puntos entre sí, trazando las mediatrices de los segmento unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos en un espacio bidimensional alrededor de un conjunto de puntos en control, por lo tanto el perímetro de los polígonos generados sea equidistante a los puntos vecinos y designando su área de influencia.

Inicialmente los polígonos de Thiessen fueron creados para el análisis de datos meteorológicos (estaciones pluviométricas) aunque en la actualidad también se aplica en estudios en los que hay que determinar áreas de influencia (centros hospitalarios, estaciones de bomberos, centros comerciales, control del tráfico aéreo, telefonía móvil, análisis de poblaciones de especies vegetales, etc.). Es una de las funciones de análisis básicas en los SIG.



3.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE BENÉFICOS

Esta sección explica como ir de reducciones de emisión a beneficios en la salud humana, mediante los resultados epidemiológicos de concentración-respuesta, que relaciona a la exposición a una concentración de contaminantes con impactos a la salud.

Los impactos a la salud en términos de mortalidad y morbilidad por exposición a concentraciones ambientales de ozono, se calculan usando la siguiente relación (2).

$$I = \beta \times T_b \times \Delta C \times P_{ob}$$

Donde:

I = impacto a la salud anual (numero de casos de mortalidad, enfermedades etc.),

β = coeficiente de la función concentración- respuesta (% cambio en impactos / unidad de concentración),

T_b = tasa basal de incidencia de enfermedad o mortalidad (impactos /100,000 personas),

ΔC = cambio en la concentración de ozono ppb debido a la aplicación de las medidas de control.,

P_{ob} = población expuesta (número de personas)



Para evaluar los beneficios alcanzados por la aplicación de las medidas de control presentadas en la sección anterior, se consideró que dichas medidas se estuvieron aplicando desde el 2000 hasta 2005.

Se evaluaron los beneficios por el cambio de concentración ambiental del 2000 al 2005.

- ❖ Mortalidad
- ❖ Admisión Hospitalaria por enfermedades Respiratorias como el asma
- ❖ Admisión Hospitalaria enfermedad pulmonar obstructora crónica
- ❖ Admisión Hospitalaria Neumonía
- ❖ Emergencia respiratoria
- ❖ Emergencia por Asma
- ❖ MRAD Menores días de actividades restringidas

La mortalidad en adultos corresponde al número de personas que fallecen causado por enfermedades cardiopulmonares y cáncer en pulmón. El síndrome de muerte infantil súbita (SMIS) es la muerte repentina e inexplicable de un niño menor de un año de edad también conocido como muerte de cuna. La mortalidad infantil por patología respiratoria es otra causa de muertes infantiles menores de un año.

La bronquitis crónica es una forma de enfermedad pulmonar obstructiva crónica que continua durante un periodo prolongado o que permanece en forma repetitiva.

Los días de actividad restringida menores (DARM) son los días en los cuales los individuos acortan algunas, pero no todas, sus actividades



diarias normales y los días de trabajo perdidos (DTP) son aquellos días en donde los individuos no asisten al trabajo por causa de salud. El cálculo de la reducción de riesgo en la salud (I), depende de los coeficientes de las funciones de concentración–respuesta (β) de estudios epidemiológicos.

La morbilidad es el efecto de una enfermedad en una población.

La mortalidad también se refiere a la tasa de defunciones en un grupo determinado de personas en un período determinado.



Tabla 1 Efectos y costos respecto al efecto en la salud

<i>EFECTO</i>	Central Beta (casos/ppb)	Beta Inferior	Beta Superior	Población	Tasa de línea base (casos/persona)	cambio de la Concentración (punto mas alto hr ppm)	Casos Evitados (central)	Casos Evitados (Inferior)	Casos Evitados (superior)	Valor Monetario
<i>Mortalidad</i>	0.0004	0.0002	0.0006		0.004 5	5	0	0	0	300000
<i>Hospitalización por enfermedades respiratorias</i>	0.0016	0.001	0.0023	5,364,448	0.0023	5	94	59	136	2111
<i>Visitas a la sala de emergencia por Asma</i>	0.0024	0.0015	0.0033	1,877,557	0.0027	5	58	36	80	317
<i>Menores días de actividades restringidas</i>	0.0022	0.0009	0.0035	3384966.7	5	5	177888	72773	283004	12
<i>Pérdidas de días escolares</i>	0.0212	0.0067	0.033	1,437,672	5	5	728059	230094	1133299	12

4. RESULTADOS

Mapas de distribución de concentración para el escenario 2000 (base) y control (2005).



Ilustración 4.1 Concentración de ozono (ppb) para 2000.

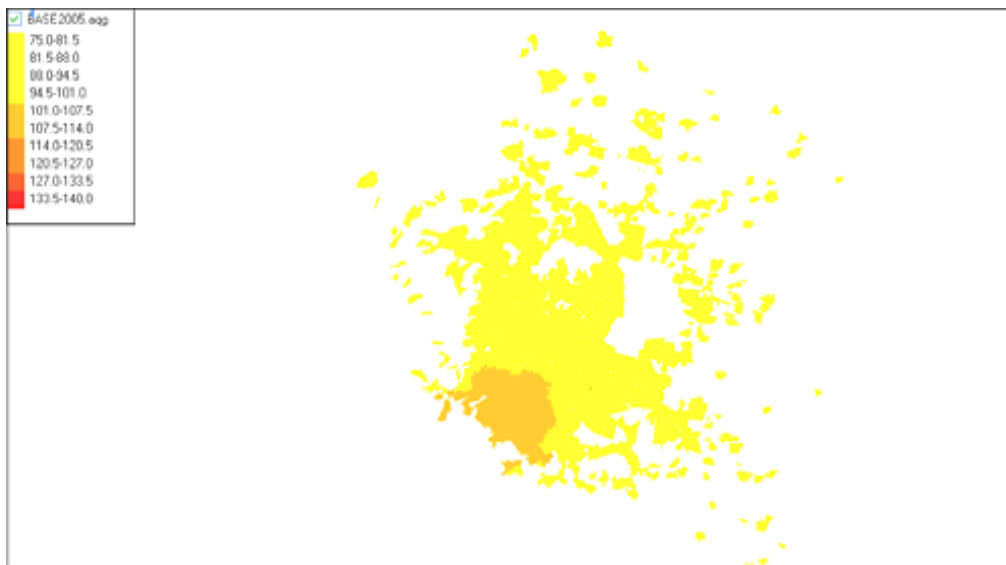


Ilustración 4.2 Concentración de ozono (ppb) para 2005.

De las ilustraciones se observa que durante el 2000 se tenían concentraciones mayores de ozono que para el 2005, con lo anterior se puede calcular la diferencia de concentraciones entre ambos



escenario y con ello se puede calcular el beneficio que se presenta en la Tabla 3.

Tabla 1 Efecto beneficio por la reducción del contaminante y sus efectos en la salud

EFEECTO		BENEFICIO Casos evitados	VALOR MONETARIO	BENEFICIO Económico
<i>Mortalidad</i>		68	300000	20497777.7
<i>Admisión Hospitalaria por enfermedades Respiratorias</i>	Asma	1	2111	1461.87968
	Enfermedad pulmonar obstructora crónica	7	2111	13740.6608
	Neumonía	5	2111	10057.7322
<i>Visitas sala de emergencia por enfermedades Respiratoria</i>		534	317	169355.598
	Asma	350	317	110930.479
<i>DARM.</i>	Menores días de actividades restringidas	2903	12	34841.60975
				\$20,838,166



5. CONCLUSIONES

La evaluación de los beneficios por reducción de contaminantes, que en este caso en específico de el ozono en ZMVM, fue llevada a cabo ya que se pudo observar los casos evitados de mortalidad y las enfermedades por causa del ozono, así como el beneficio económico para cada situación correspondiente durante el período de 2000-2005.

Por medio del indicador máximo anual, se estima en las ZMVM la magnitud del decremento anual del ozono es de 0.0130 ppm. Esto para el período 2000-2005.

Se observa que el beneficio económico fue de \$20, 838,166 USD, De los cuales la mortalidad tiene muestra un valor monetario de \$300,000 y un beneficio de 68 casos evitados; por lo tanto es el valor más elevado, mientras que Admisión Hospitalaria por Asma, Admisión Hospitalaria por Neumonía, por Enfermedad pulmonar obstructora crónica, son las que tienen un valor monetario igual y un costo beneficio similar y por muy de bajo de índice de mortalidad.



GLOSARIO

AGEB: Áreas Geoestadísticas básicas.

DTP: Días de trabajo perdidos.

GDF: Gobierno del Distrito Federal 2006.

Geoestadística: es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales. Su interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos.

Morbilidad: Enfermedad o frecuencia en que se presenta una enfermedad en una población. La palabra morbilidad también se refiere los efectos adversos que causa un tratamiento.

Mortalidad: Condición de ser mortal (estar destinado a morir). La palabra mortalidad también se refiere a la tasa de defunciones o el número de defunciones en un grupo determinado de personas en un período determinado. Se puede notificar la mortalidad de las personas que padecen de cierta enfermedad, viven en una región del país o son de determinado sexo, edad o grupo étnico

NOM: Norma Oficial Mexicana NOM-20-SSA-1993.

RAMA: Red Informática de Monitoreo Ambiental.

REDMET: Red meteorológica.

RH: Humedad Relativa.

SAM: Secretaría Del Medio Ambiente.

SIMAT: Sistema de Monitoreo Atmosférico.

Tesela: Cada una de las piezas con que se forma un mosaico.

TMP: Temperatura Ambiente.

WDR: Dirección Del Viento.

WSP: Promedios Horarios de Velocidad.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Tabla 4.1 Jazcilevich Aron, Grutter Michel, Delgado Javier, García Agustín; "An evaluation of the hybrid car technology in the México Mega City". *Environnemental Science & Technology*. Article.
- SMA-GDF, Inventario de emisiones de la ZMVM 2004.
- Almanaque de Concentraciones y Tendencias de la Calidad del Aire en 9 Ciudades 2007,2008 (INE).
- J.; Carrothers, T.; Tuomisto, J.; Hammitt, J.; Evans, J, 2000, assessing the public health benefits of reduced ozone concentrations. *Environ. Health Perspect.* 109, 1215-1226.
- Ostro, B., H. Tran, J. Levy. The Health Benefits of Reduced Tropospheric Ozone in California, 2006, *Journal of the Air and Waste Management Association*, 56: 1007-1021.
- Evans, J.; Spengler, J.; Levy, J.; Hammitt, J.; Suh, H.; Serrano, P.; Rojas-Bracho, L.; Santos-Burgoa, C.; Rojas-Rodríguez, H.; Caballero-Ramírez, M.; Castillejos, M, 2000, Contaminación atmosférica y salud humana en la Ciudad de México: MIT-IPURGAP Report No. 10.
- <http://www.sma.df.gob.mx/simat/prencontingencia.html>
- http://www.sma.df.gob.mx/simat/anuales/inform_anual_2006
- [Informe ejecutivo de la calidad del aire en la ZMVM. Año 2006 número 64 Abril 2008.](#)
- <http://www.jornada.unam.mx/2002/01/14/039n1soc.html>
- (1) The Lancet, citado en El Ecologista 2005.
- (2), (3) Cesar, et, al., 2000.
- (4)http://www.cancer.gov/Templates/db_alpha.aspx?CdrID=44514&lang=spanish
- (5) Journal & Huijbregts, 1978.