

CONTENIDO

CONTENIDO	I
ÍNDICE DE TABLAS	II
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	V
7 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	7-1
7.1 INTRODUCCIÓN	7-1
7.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS	7-1
7.2.1 Análisis de las precipitaciones pluviales	7-4
7.2.2 Análisis de la temperatura en la ciudad	7-5
7.2.3 Análisis de los vientos en la ciudad	7-9
7.2.4 Otros eventos climáticos extremos	7-10
7.3 CALIDAD DEL AIRE	7-13
7.3.1 Emisiones contaminantes	7-15
7.3.2 Tipo de fuentes.....	7-16
7.4 MODELACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES.....	7-25
7.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	7-28
7.5.1 Análisis para el bióxido de carbono (CO2)	7-29
7.5.2 Análisis para óxido de nitrógeno (NOx)	7-30
7.5.3 Análisis de ozono	7-31
7.5.4 Análisis de material particulado menor a 10 micras (PM-10)	7-32
7.5.5 Análisis de dióxido de azufre (SO2).....	7-33
7.6 RUIDO AMBIENTAL	7-34
7.6.1 Generalidades	7-34
7.6.2 Marco normativo.....	7-35
7.6.3 Análisis de ruido en la Ciudad de Chihuahua	7-36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 7.1 Clasificación de climas	7-2
Tabla 7.2 Secuencias históricas de periodos secos y húmedos con duración mayor a un año	7-5
Tabla 7.3 Periodo de retorno de precipitaciones intensas	7-12
Tabla 7.4 Normas de calidad del aire	7-14
Tabla 7.5 Inventario de emisiones para el Estado de Chihuahua en 2005	7-16
Tabla 7.6 Estimación de las emisiones de fuentes fijas Estado de Chihuahua, 2005	7-18
Tabla 7.7 Emisiones totales anuales (2005), generadas por fuentes fijas	7-19
Tabla 7.8 Distribución por tipo de actividad en las industrias de la Ciudad de Chihuahua	7-19
Tabla 7.9 Inventario de emisiones por parque industrial	7-20
Tabla 7.10 Inventario de emisiones de fuentes naturales. Año 2005	7-21
Tabla 7.11 Índice de motorización por entidad federativa, 1980-2002	7-21
Tabla 7.12 Distribución por tipo de vehículo para el municipio de Chihuahua	7-23
Tabla 7.13 Número de vehículos y combustibles utilizados	7-23
Tabla 7.14 Inventario unitario de emisiones por tipo de vehículo. (g/Km)	7-24
Tabla 7.15 Tipo de vehículo usado en el mobile6	7-26
Tabla 7.16 Resultado de las corridas para los tramos muestreados en el Municipio de Chihuahua	7-27
Tabla 7.17 Periodos de tiempo en un día horario	7-28
Tabla 7.18 Periodos de tiempo en un día horario	7-29
Tabla 7.19 Niveles máximos de ruido recomendados por la OMS (LAeq)	7-35
Tabla 7.20 Resultados del análisis de ruido ambiental producido por fuentes móviles en los tramos muestreados del centro urbano de chihuahua	7-37

Tabla 7.21 Medición Leq Totales en diferentes lugares de la república	7-38
---	------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 7.1 Mapa regional de clima	7-2
Figura 7.2 Climograma de la estación Chihuahua	7-3
Figura 7.3 Precipitación anual promedio	7-4
Figura 7.4 Media móvil de precipitación	7-5
Figura 7.5 Promedio móvil de temperatura, para el municipio de Chihuahua.....	7-6
Figura 7.6 Dispersión entre temperatura y precipitación, estación Chihuahua.	7-7
Figura 7.7 Áreas superadiabáticas en la ciudad de Chihuahua	7-8
Figura 7.8 Modelo de ventilación en la cuenca atmosférica del centro urbano de la Ciudad de Chihuahua.....	7-10
Figura 7.9 Media de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” (Km/h) para ciclones tropicales en el Pacífico, 1949 a 2000.....	7-11
Figura 7.10 Usos del suelo en el municipio de Chihuahua.	7-17
Figura 7.11 Distribución de la antigüedad de la flota vehicular	7-22
Figura 7.12 Efecto regional del dióxido de carbono (CO ₂) a las 7 am y a las 7pm del día típico en la Cd de Chihuahua	7-30
Figura 7.13 Efecto regional del óxido de nitrógeno (NO _x) a las 7 am y a las 7pm del día típico en la Cd de Chihuahua.	7-31
Figura 7.14 Efecto regional del óxido de nitrógeno (NO _x) a las 7 am y a las 7pm del día típico en la Cd de Chihuahua.	7-32
Figura 7.15 Efecto regional de material particulado en menos de 10 micras (PM ₁₀) a las 7 am y a las 7pm del día típico en la Cd de Chihuahua.	7-33
Figura 7.16 Efecto regional de óxido de azufre SO _x a las 7 am y a las 7pm del día típico en la Cd de Chihuahua.	7-34
Figura 7.17 Modelado de la contaminación sónica en el centro de población de Chihuahua	7-38

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 7.1 Diagnóstico de:

Óxidos de carbono (COx)

Óxidos de nitrógeno (NOx)

Ozono (O3)

Partículas en suspensión (PM10)

Óxidos de azufre (SO2)

Anexo 7.2 Tablas de Emisiones y Ruido

7 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

7.1 INTRODUCCIÓN

Durante la fase del diagnóstico ambiental, dentro del marco del proyecto de movilidad urbana sustentable de la ciudad de Chihuahua y teniendo en cuenta los términos de referencia y la propuesta técnica, los aspectos ambientales que merecen toda la atención son los relacionados directamente con el recurso aire, puesto que el sector transporte influye directa y sustancialmente sobre la calidad del aire en todas las áreas urbanas del mundo.

De igual forma, para evaluar la calidad del aire de una determinada región, es necesario involucrar además de las fuentes de emisión de contaminantes y sus características particulares, las condiciones meteorológicas y el medio físico analizado, factores que influyen directamente sobre la mayor o menor dispersión y posibilidades de contaminación ambiental.

De acuerdo con lo anterior, en el presente documento se presentan las condiciones actuales de la ciudad de Chihuahua, en cuanto a los elementos meteorológicos predominantes, las características físicas del área, el inventario de fuentes de emisión y la cuantificación de sus emisiones, la calidad del aire actual a partir de información secundaria y particularmente, el comportamiento de las emisiones de las fuentes móviles en la atmósfera regional del área de Chihuahua, a partir de información primaria tomada en campo (aforos) y la simulación matemática de dispersión de este tipo de fuentes. También se analiza el ruido como componente esencial en el aspecto ambiental actual de la ciudad de Chihuahua.

A continuación se presenta el análisis de cada uno de los componentes mencionados anteriormente, haciendo énfasis en cómo influye cada componente en el diagnóstico de la situación ambiental actual de la ciudad.

7.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS

En el ambiente regional del Área del Centro de población las condiciones climáticas son estables gran parte del año, con poca incidencia de humedad, tanto por el efecto monzónico, como por la humedad residual del medio, lo que resulta en una

oscilación térmica muy amplia al menos en 9 meses del año.(Hernández Cerda 1989).

Esta tendencia ha sido ampliamente documentada en varios trabajos, en donde se afirma que existe una transición de temperatura de tal manera que hacia el norte se vuelve seco, mientras que al sur y este son áridos tal como se presenta en la Figura 7.1.

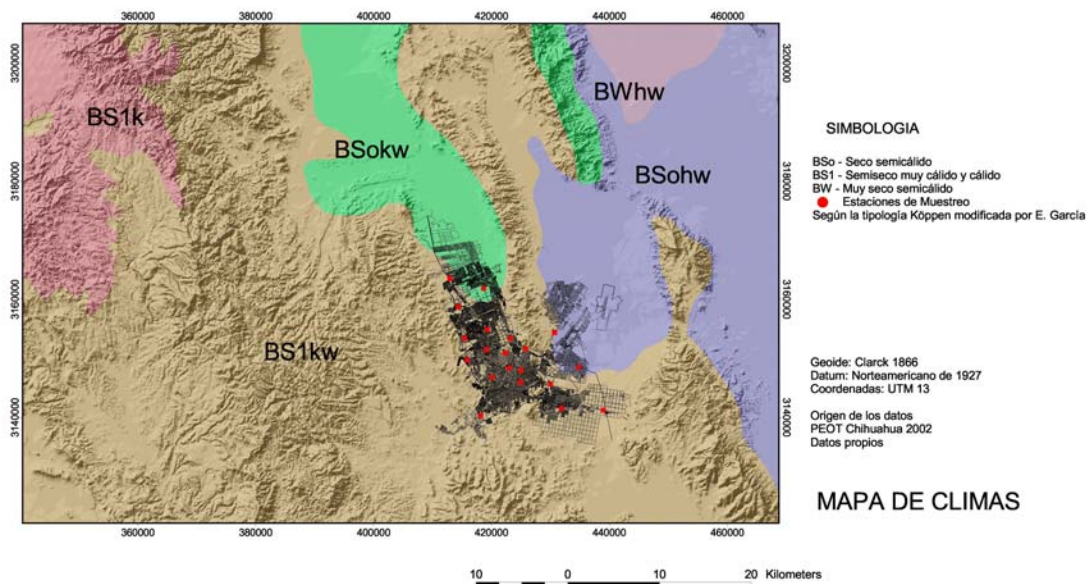
Con base en la clasificación de Köppen, modificado por E. García (1989), los climas que se presentan son los siguientes:

Tabla 7.1 Clasificación de climas

BS ₀ kw	Clima seco y árido, es muy extremo con un verano fresco y largo y precipitaciones invernales menores a 5%
BS ₀ hw	Clima seco, es muy extremo y precipitaciones invernales menores a 10%
BS ₁ kw	Clima seco es muy extremo y precipitaciones invernales menores a 5%

Fuente: Köppen, modificado por E. García (1989)

Figura 7.1 Mapa regional de clima



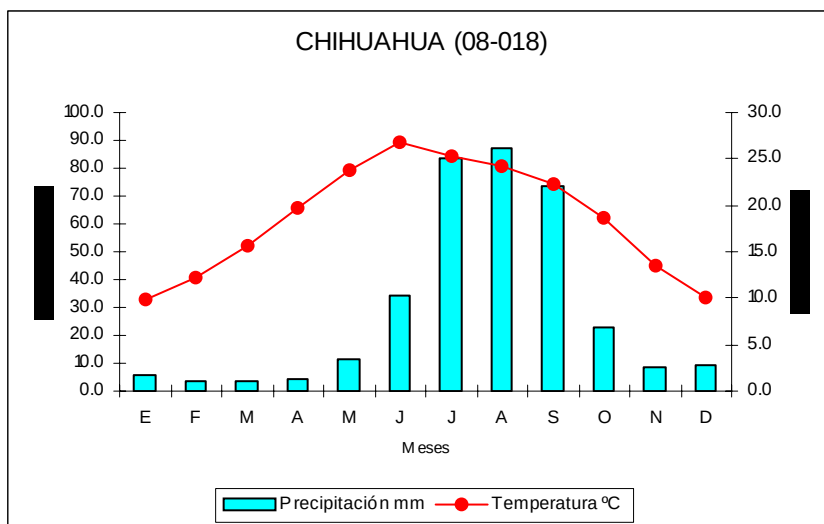
Fuente: Elaboración Propia, a partir del Mapa de Climas de Enriqueta García Publicado por CONABIO (1999)

El clima de la ciudad (Estación Chihuahua 08-018) es semiárido extremo. La temperatura media anual es de 18.4° C con media máxima de 26.8° C y media mínima de 18.5° C. La temperatura máxima extrema ocurrió en el año de 1939 y fue de 41.2° C y la mínima extrema en 1949 y fue de -15.0° C. Los grados horas calor son de 2,855 horas y los grados horas frío de 736.8 horas.

La media anual de precipitación pluvial es de 347.0 mm, la mayor precipitación anual ocurrió en 1986 con 762.3 mm y la menor precipitación anual en 1982 con 236.5 mm, existiendo 3 días con granizo y 3 días con nevada. Hay 71 días de lluvias al año y una humedad relativa del 49%.

Respecto al período vegetativo, el medio es de 236 días, el máximo de 296 días y el mínimo de 170 días. Existen 112 días al año de heladas, 3 días de heladas tardías, principalmente en abril; 4 días de heladas tempranas, en octubre y noviembre. Los vientos dominantes son del suroeste.

Figura 7.2 Climograma de la estación Chihuahua



Fuente: García Amaro, E. 1988

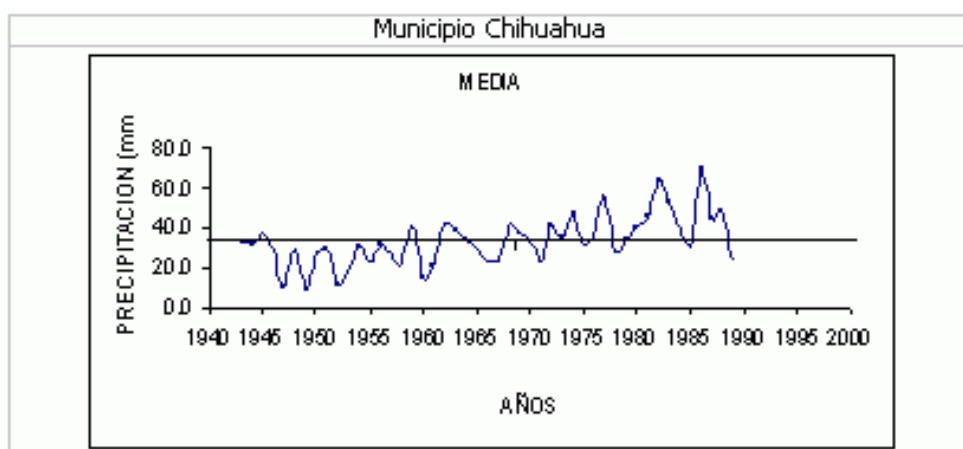
El análisis meteorológico se realizó para el Municipio de Chihuahua, en el periodo 1943-2000. En esta sección, se considera el término "normal" desde el punto de vista estadístico. El valor normal se obtiene promediando los valores de precipitación anual de todo el periodo considerado, es decir, es un valor promedio histórico para la región considerada.

7.2.1 Análisis de las precipitaciones pluviales

Los siguientes resultados muestran la secuencia histórica de periodos secos y húmedos por estación y se evalúa la magnitud en porcentaje respecto del valor normal, duración en años.

Para hacer un primer análisis de los datos, se elaboró la gráfica de la precipitación media anual que se presenta en la figura siguiente,

Figura 7.3 Precipitación anual promedio

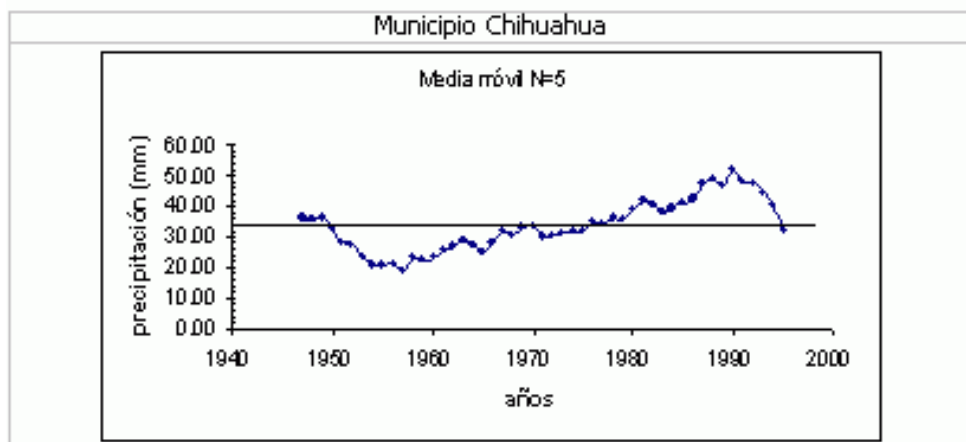


Fuente: Base Eric II con datos de la SMN

Para la década de 1990-2000, los datos de precipitación media muestran valores por arriba del promedio hasta el año de 1994, y con sequía alrededor del año 1997 y hasta el fin del periodo.

Ya que las gráficas de la precipitación anual promedio son muy variables, se aplica un suavizado por medio de una media móvil que facilite identificar los periodos secos y húmedos. Los resultados se muestran en el Figura 7.3. Estas figuras se complementan con la Tabla 7.2, donde se incluyen los periodos secos y húmedos, su duración e intensidad en porcentaje respecto del promedio de todo el periodo.

Figura 7.4 Media móvil de precipitación



Fuente: Base Eric II con datos de la SMN

Tabla 7.2 Secuencias históricas de periodos secos y húmedos con duración mayor a un año

Municipio de Chihuahua (Centro)					
Periodos secos			Periodos húmedos		
Fecha	Duración	Magnitud	Fecha	Duración	Magnitud
1950-1962	13 años	67%	1967-1968	2 años	109%
1964-1965	2 años	53%	1972-1973	2 años	117%
1969-1971	3 años	76%	1980-1981	2 años	141%
1993-1995	3 años	65%	1984-1988	5 años	144%
			1990-1992	3 años	162%

Fuente: Base Eric II con datos de la SMN

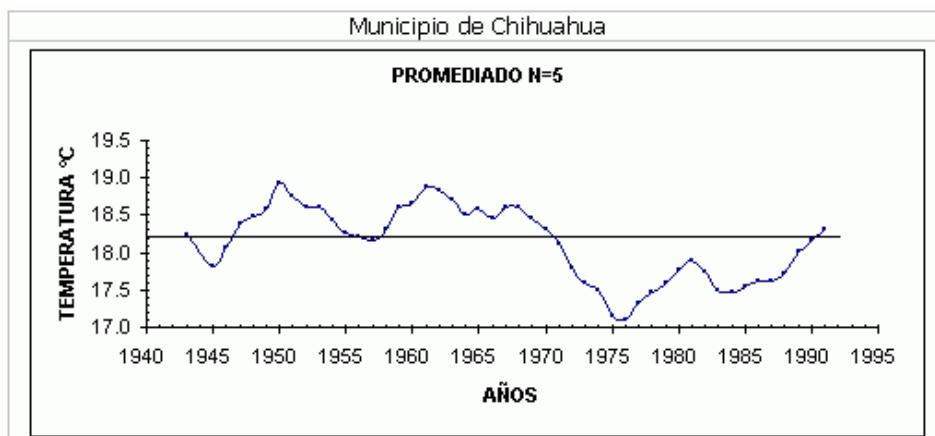
7.2.2 Análisis de la temperatura en la ciudad

La sequía meteorológica es el resultado de un déficit en la precipitación, sin embargo, existen otros factores que influyen en su severidad: la temperatura, la intensidad del viento, la humedad relativa, la insolación y la nubosidad.

Se sabe que las temperaturas altas pueden agravar una condición de sequía, para el caso de este análisis, se agregan datos de temperatura para las mismas estaciones con el fin de investigar si existe una correlación negativa significativa entre las variables precipitación y temperatura. De esta forma, se determina si la temperatura fue un factor agravante de la sequía en un periodo dado.

En la estación Chihuahua se alcanzó un valor promedio máximo de temperatura de 19.5°C y un mínimo de 16.4°C en el periodo considerado (1943-1995). La gráfica de media móvil y los periodos de temperatura arriba del promedio y por debajo del promedio se presentan en la Figura 7.5.

Figura 7.5 Promedio móvil de temperatura, para el municipio de Chihuahua



Gráfica del promedio móvil para el municipio de Chihuahua al Centro del estado de Chihuahua.

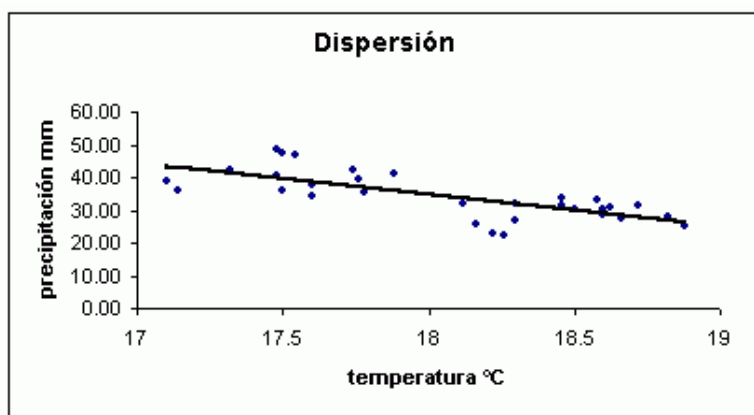
Temperatura: Municipio de Chihuahua (Centro)					
Periodos por arriba del promedio			Periodos por debajo del promedio		
Fecha	Duración	Magnitud	Fecha	Duración	Magnitud
1947-1955	9 años	102 %	1971-1990	20 años	98 %
1958-1970	13 años	102 %			

Secuencias históricas de periodos por arriba y por debajo del promedio con duración mayor a un año.

De acuerdo con la figura anterior de dispersión, en el caso de la estación Chihuahua se presenta una tendencia lineal negativa, lo que significa que al aumentar la temperatura disminuye la precipitación.

Al calcular el coeficiente de correlación entre las variables de interés se obtiene un valor igual a -0.73 . Este valor es significativo y al ser negativo, expresa que al aumentar la temperatura disminuye la precipitación. Por lo tanto, en el caso de la estación Chihuahua y para el periodo considerado, se puede afirmar que las altas temperaturas si fueron un factor agravante de la sequía.

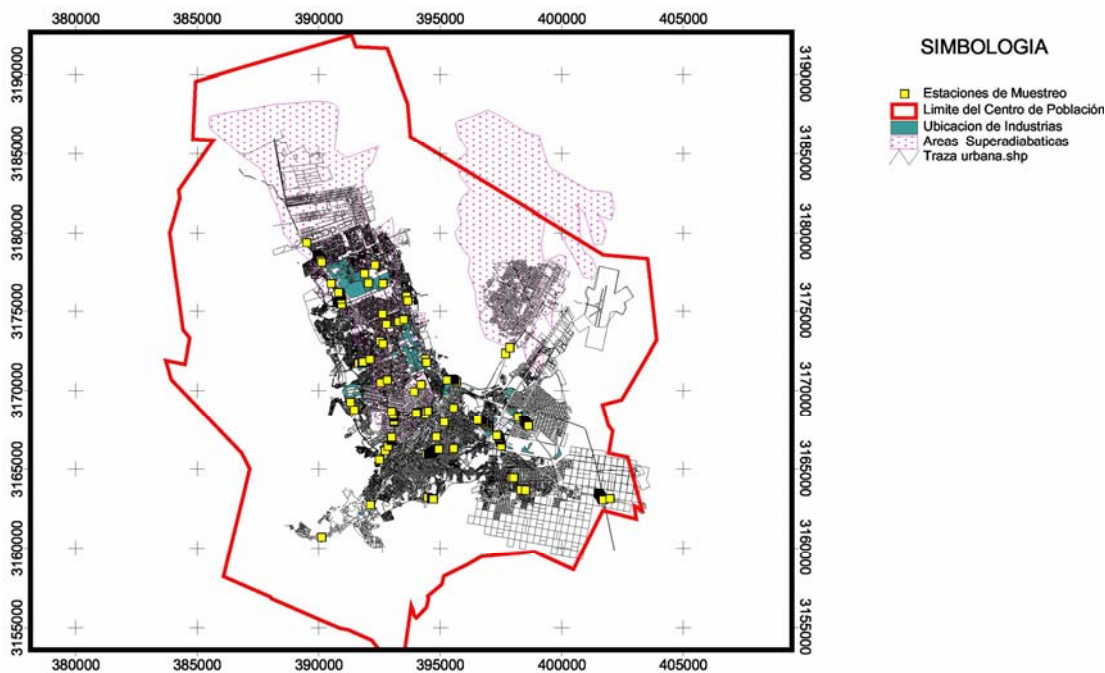
Figura 7.6 Dispersión entre temperatura y precipitación, estación Chihuahua.



Gráfica de la dispersión entre las variables temperatura y precipitación para la estación Chihuahua.

La condición natural tan extremosa, amplia la oscilación térmica prácticamente todo el año, de la estación meteorológica Chihuahua, indica al menos dos condiciones adversas en el hinterlaand regional; el primero de ellos se ubica en la época del invierno en donde se reúnen las condiciones superadiabáticas, en donde las temperaturas del aire caen más de $9.8\text{ }^{\circ}\text{C/Km}$ ($1\text{ }^{\circ}\text{C/100 m}$) como se aprecia en la Figura 7.6, la segunda tiene que ver con la denominada condición subadiabática, en donde la temperatura cae a menos de $9.8\text{ }^{\circ}\text{C/Km}$, siendo comunes los episodios de inversión térmica en ambos periodos.

Figura 7.7 Áreas superadiabáticas en la ciudad de Chihuahua



Fuente: Elaboración propia

Regionalmente, la ciudad de Chihuahua registra un promedio de lluvia de alrededor de 400 mm.al año, con fuertes variaciones, debido a que la mínima precipitación media anual se reporta en la estación Ávalos con 313 mm, y la mínima precipitación anual en la estación Chihuahua, con un promedio de 109 mm.,(en 1953). La estación de lluvias en general, es en verano, con un porcentaje de precipitación invernal que oscila entre el 5 y 10.2%.

La mayor parte del área urbana tiene un coeficiente de escurrimiento que varía de 5 a 10%, y presenta una permeabilidad media, con una densidad de vegetación que cambia de rara a abundante. Este coeficiente se consideró en aquellas superficies cuya permeabilidad es baja, con un tapiz vegetal entre denso y moderado, donde las láminas de lluvia van de 400 a 500 mm.

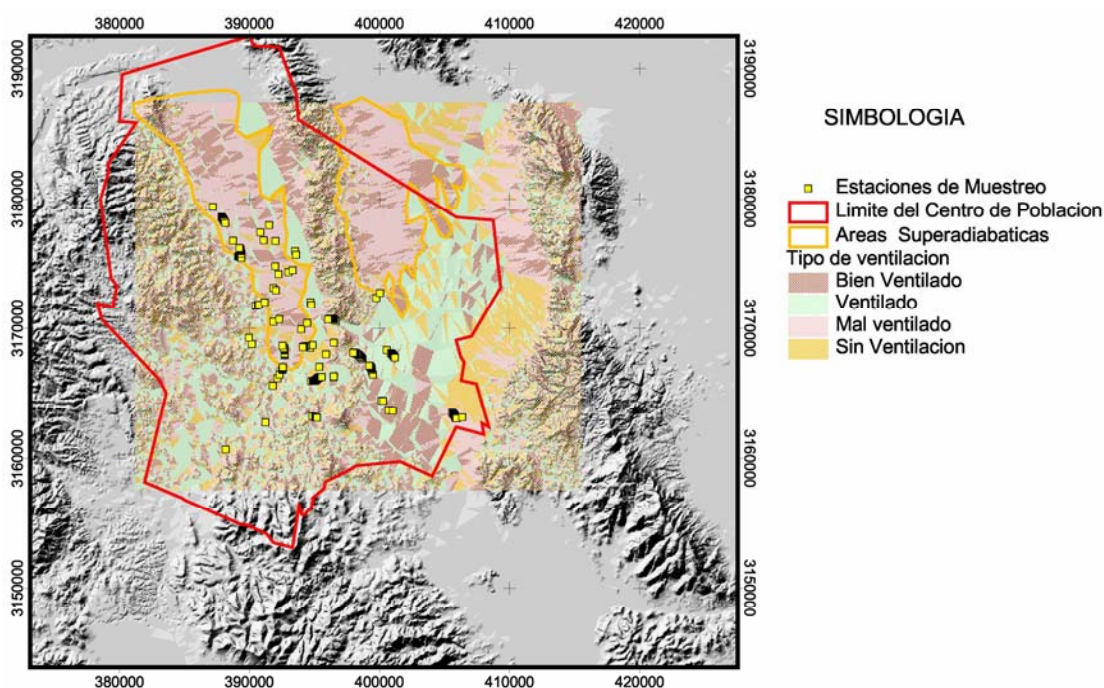
7.2.3 Análisis de los vientos en la ciudad

El viento dominante anual es el del norte, con una velocidad de 15 km/h, llegando a un máximo de 113 km/h con dirección NW (mayo de 1950); durante los ocho meses restantes, prevalece en la dirección sur.

Con información de la Base de Datos Meteorológica ERIC II, que genera el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y con datos del SMN y de las estaciones de la Secretaría de Agricultura, se conformó una base de intensidad-dirección de vientos de la estación Chihuahua, la cual se sobrepuso, al conjunto de formas del relieve con el modelo de elevación digital y se obtuvo un mapa de ventilación de la cuenca atmosférica, donde se determinan las áreas que tienen una mejor posibilidad de dispersar contaminantes del aire, a partir del precepto de una capa de mezclado que se ubica a treinta metros.

En la Figura 7.8, se presentan las diferentes condiciones de ventilación de la ciudad de Chihuahua, donde a lo largo del año y a partir de la dirección del viento predominante, la denominada área Bien Ventilada, se considera un espacio territorial dentro de una forma del relieve plana, que tiene una orientación NE-SW, además que la velocidad del viento puede alcanzar de 7 a 7.5 m/s. Área Ventilada en orientación N-S, en áreas planas o con pendiente ligera, con una fuerza del viento de 5 hasta 7 m/s. La denominada área Mal Ventilada, es un área de pie de monte orientada NW-SW y se considera que llega a arrastrar velocidades de viento de 3 hasta 5 m/s. Finalmente el área catalogada como Sin Ventilación, se ubica en áreas de pendiente medias-altas con orientación W-E, con velocidades de viento entre 0 y 3 m/s.

Figura 7.8 Modelo de ventilación en la cuenca atmosférica del centro urbano de la Ciudad de Chihuahua.



Fuente: Datos propios a partir de datos del SMN y de INEGI

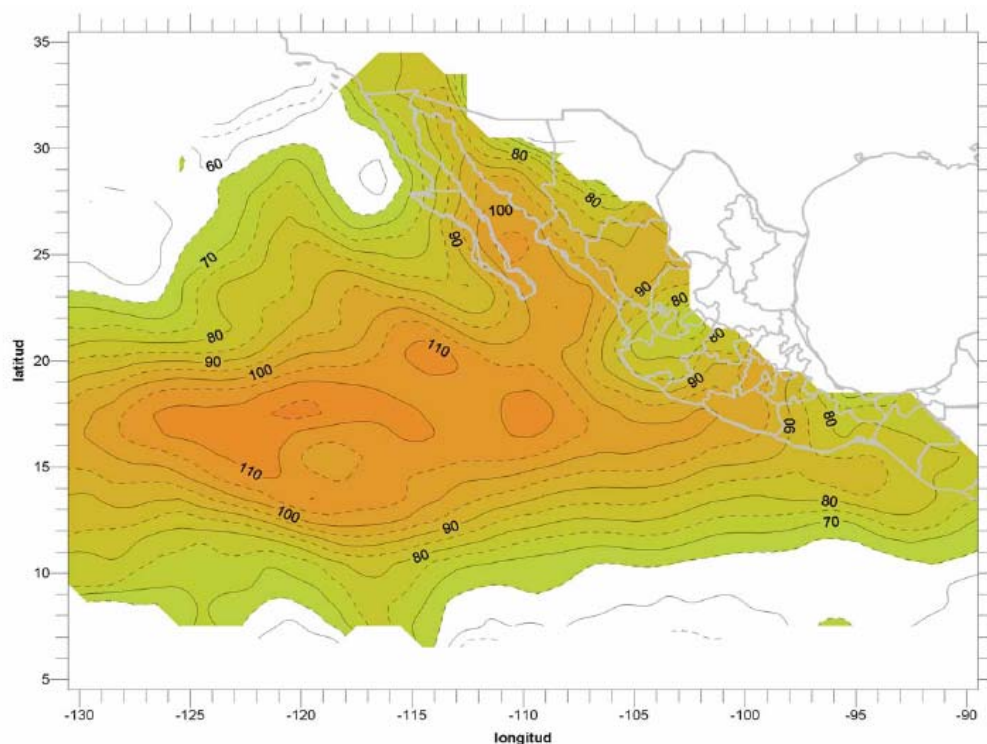
7.2.4 Otros eventos climáticos extremos

La región de estudio está directamente influenciada por el centro anticiclónico del Pacífico Nororiental, durante la época del verano y parte del otoño; la región sufre fenómenos propios de las latitudes medias y bajas, se observa la influencia de la zona intertropical, así como el paso de ciclones tropicales del Océano Pacífico Nororiental, que en su trayectoria más frecuente, avanzan desde las costas de Oaxaca y Guerrero hacia el noreste del país.

En los niveles superiores de la troposfera, especialmente a principios del verano y hasta finales del otoño, la corriente de chorro o Jet stream, ejerce sus máximos efectos a los 200 mb (12 Km) y, aunque es más bien un sistema característico del invierno, su presencia es patente. Su efecto prácticamente desaparece en el verano.

Durante el verano, Altiplanicie Mexicana (hinterlaand del área de estudio), dada su enorme extensión, presenta condiciones de continentalidad y se calienta mucho más que el aire libre, al mismo nivel, sobre las tierras bajas o el mar, de manera que ocasiona un fuerte gradiente de presión entre el aire que descansa en la altiplanicie (presión baja) y el que gravita en los océanos vecinos (presión alta).

Figura 7.9 Media de la “velocidad de vientos máximos sostenidos” (Km/h) para ciclones tropicales en el Pacífico, 1949 a 2000.



El viento al seguir la pendiente barométrica sopla de los océanos al continente en una especie de monzón, el cual, se desplaza del Pacífico al interior e introduce humedad; llega también algo del Atlántico, pero su presencia se enmascara por la presencia de la circulación del este dominante sobre el Golfo de México.

La precipitación media anual es de 197 mm con el periodo establecido en el verano entre los meses de julio, agosto y septiembre; sin embargo se observan precipitaciones máximas mensuales de 170 mm (Septiembre de 1974), y diaria (periodo de 24 horas) de 67 mm (julio de 1968), con máximas históricas registradas en julio de 1881 de 208 mm y 165 mm respectivamente.

Tabla 7.3 Periodo de retorno de precipitaciones intensas

Periodo de Retorno (Años)	Duración (minutos)	Isoyeta más cercana (mm/h)	Valor de la Ciudad (Chihuahua)
10	10	90	88
10	30	50	49
10	60	35	29
10	120	20	18
10	240	10	11
25	10	100	100
25	30	60	58
25	60	40	38
25	120	25	18
25	240	12	10
50	10	120	120
50	30	70	68
50	60	50	45
50	120	29	26
50	240	15	14

Fuente: Secretaría de Comunicación y Transportes, 1990

Se pueden presentar episodios de alta intensidad, la precipitación se concentra espacialmente entre julio, agosto y septiembre en donde han llegado a caer tormentas muy importantes. No es extraño tener 25 mm en una hora y, en los últimos diez años, se han llegado a experimentar precipitaciones de hasta 100 mm en ese mismo periodo.

La topografía de la zona oriente de la Sierra Nombre de Dios muestra que las corrientes intermitentes son muy intensas en épocas de retorno, pero el drenaje del Chuvíscar también muestra que el cauce conduce todo el desagüe de manera completa.

El fenómeno de nevadas se presenta con un promedio anual de 12 cm, distribuidas en los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Marzo, sin embargo la mayor frecuencia se presenta en Enero, la máxima registrada es de 32 cm en noviembre de 1976 y máxima de 24 hr de 20 cm en noviembre de 1961.

7.3 CALIDAD DEL AIRE

Las normas de calidad del aire fijan valores máximos permisibles de concentración de contaminantes, con el propósito de proteger la salud de la población en general y cuyos niveles máximos se consideran seguros.

En México, no existen los recursos, ni la infraestructura para realizar estudios epidemiológicos o toxicológicos y de exposición, ni en animales, ni en seres humanos, por lo cual las normas se establecieron fundamentalmente tomando en cuenta los criterios y estándares adoptados en otros países del mundo. Las normas de calidad del aire aplicables en el municipio de Chihuahua corresponden a las normas de la Secretaría de Salud en el DOF en diciembre de 1994, cuyos valores se presentan en la Tabla 7.4.

La cercanía a la frontera de la ciudad de Chihuahua, en especial la coexistencia de Ciudad Juárez con su ciudad gemela del Paso Texas, puede influir en el futuro sobre el ajuste en la normatividad, el cambio más próximo, es un ajuste de los actuales valores de 1 hora hacia promedios de 8 horas que se consideran más adecuados para la protección de las comunidades urbanas y suburbanas (Tabla 7.4)¹.

¹ Son también valores difíciles de obtener, cuando las condiciones atmosféricas tienden a ser crílicas y crean episodios de origen climático que rompen el proceso de cumplimiento.

Tabla 7.4 Normas de calidad del aire

NORMA			
CONTAMINANTE	Estados Unidos	México	NOM
Monóxido de Carbono (CO)			NOM-021-SSA1-1993
Promedio de 8 horas	9 ppm	11 ppm	
Promedio para 1 hora	35 ppm		
Dióxido de Nitrógeno (NO2)			NOM-023-SSA1-1993
Promedio Anual	0.053 ppm		
Promedio para 1 hora		0.21 ppm	
Ozono (O3) (ver nota)			NOM-020-SSA1-1993
Promedio de 8 horas	0.08 ppm		
Promedio para 1 hora	0.12 ppm	0.11 ppm	
Dióxido de Azufre (SO2)			NOM-022-SSA1-1993
Promedio Anual	0.030 ppm	0.030 ppm	
Promedio para 1 hora	0.14 ppm	0.13 ppm	
Materia Particulada de menos de 2.5 micrometrós (PM2.5)			NOM-025-SSA1-1993
Promedio Anual	15 µg/m3	15 µg/m3	
Promedio para 24 horas	65 µg/m3	65 µg/m3	
Materia Particulada de menos de 10 micrometrós (PM10)			NOM-025-SSA1-1993
Promedio Anual	50 µg/m3	50 µg/m3	
Promedio para 24 horas	150 µg/m3	120 µg/m3	
Materia particulada suspendida total (TSP)			NOM-024-SSA1-1993
Promedio Anual		75 µg/m3	
Promedio para 24 horas		210 µg/m3	
Plomo (Pb)			NOM-026-SSA1-1993
Promedio trimestral	1.5 µg/m3	1.5 µg/m3	

Fuente: SEMARNAT 2002, U.S. EPA 2002

Como información primaria para el diagnóstico ambiental del presente proyecto, ya que la ciudad no cuenta con una red de seguimiento y monitoreo de la calidad del aire, se utilizó la única información disponible, que corresponde a los monitoreos realizados entre 2003 y 2004 por el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. quien desarrolló el estudio “Evaluación de la Calidad del Aire de la Ciudad de Chihuahua con base en la concentración de contaminantes a Nivel de Piso”.

El Estudio consta de 6 objetivos y corresponden a la formación de inventario de contaminantes, determinación de concentración de contaminantes a nivel de piso y la identificación de las principales fuentes de emisión de contaminantes.

La propuesta de medición consistió en designar 8 puntos de muestreo, distribuidos de manera estratégica en el área urbana de la ciudad de Chihuahua; el equipo utilizado fue una estación móvil que determinó los componentes químicos: CO, NO₂, SO₂, ozono y PM₁₀, de acuerdo con los métodos NOM -1993.

Para la simulación de calidad del aire, utilizaron el programa de computo ISCST3, este modelo de análisis se utiliza para fuentes fijas (utiliza el modelo múltiple de chimeneas), lo que dificulta desagregar las emisiones entre fijas y móviles.

Los resultados crudos de las mediciones directas de los niveles de inmisión o calidad del aire, fueron los que se utilizaron como datos aproximados para realizar la calibración del modelo de fuentes móviles Mobile 6, teniendo en cuenta las limitaciones antes mencionadas.

7.3.1 Emisiones contaminantes

Las emisiones que se producen en el área de la ciudad y del estado de Chihuahua, obedecen a varios tipos de fuentes, siendo las más significativas las emisiones de fuentes fijas como industrias, las emisiones fugitivas de material particulado producidas por erosión eólica del suelo y las emisiones de gases de combustión y/o gases de efecto invernadero producidas por el funcionamiento del parque automotor.

Para conocer en forma desagregada el aporte de contaminantes por tipo de actividad y de acuerdo con la información sobre emisiones desagregadas para el Estado de Chihuahua, se estima como mayor contaminante los compuestos orgánicos volátiles (COV) y que más del 95% de estas emisiones, están relacionadas con actividades agrícolas, ganaderas y de incendios forestales, como se observa en la Tabla 7.5. El siguiente es el CO directamente relacionado con la actividad urbana y los PM-10, que mezclan las actividades de erosión del suelo principalmente. Respecto a las fuentes móviles, el aporte de CO, es una

demonstración del alto índice de motorización en el estado, además del NOx que afecta la calidad del aire, lo mismo en Cd. Juárez que en la ciudad de Chihuahua.

Tabla 7.5 Inventario de emisiones para el Estado de Chihuahua en 2005

Contaminante	Emisiones (1,000 Mg/año)	Emisiones anuales (Mg/año)				
		F. Fijas	F. de Area	F. Moviles Carretera	F. Moviles No Carretera	F. Naturales
NO x	112	18,587	14,434	14,677	11,553	52,998
SO x	91	66,817	21,675	833	1,528	0
COV	2,068	2,366	69,787	18,083	2,630	1,974,759
CO	227	14,167	53,703	149,767	9,706	0
PM10	161	7,422	151,001	435	1,968	0
PM2.5	40	6,436	31,526	356	1,810	0
NH3	43	42,772	42,772	254	0	0
Total	2,742	158,567	384,899	184,406	29,195	2,027,757

Fuente: Estimación propia a partir de datos de SEMARNAT 2000

Nota: F. se refiere a fuentes, Carretera significa que son rodantes, No carretera es que es equipo no rodante.

A continuación se presentan algunas generalidades sobre las fuentes fijas existentes en la ciudad de Chihuahua, su localización, así como también la información detallada de las fuentes móviles.

7.3.2 Tipo de fuentes

7.3.2.1 Fuentes fijas.

Las emisiones significativas de fuentes fijas, corresponden a las de industrias localizadas en el municipio de Chihuahua.

El INE² informa que no dispone de la cantidad de establecimientos industriales potencialmente contaminantes que tiene registradas el Departamento de Ecología del Estado de Chihuahua, pero a partir del número de empresas que la Delegación Estatal de la dependencia en el estado, se estima que hay aproximadamente 150 empresas bajo su control en todo el estado, de las cuales el 60% aproximadamente

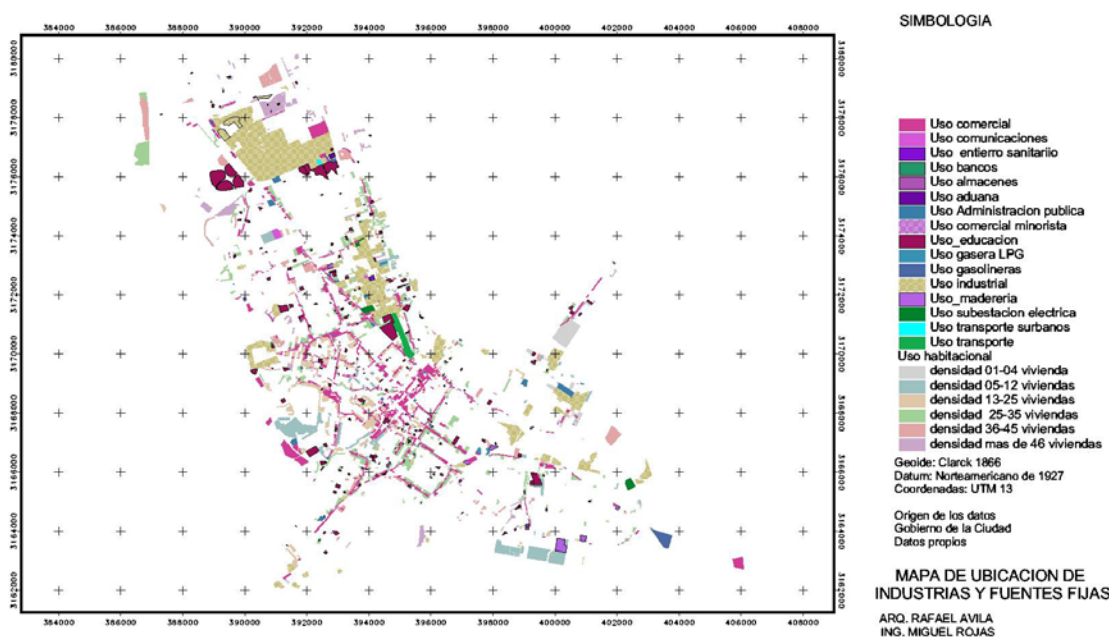
² Sitio del INE en Internet <http://www.ine.gob.mx>

se encuentran en la ciudad capital y el resto en el interior de la entidad, sin contar Ciudad Juárez.

En lo que concierne a empresas potencialmente contaminantes de competencia Federal en el interior del Estado, se cuenta con un registro de 28, el resto es competencia del Gobierno del Estado. El gobierno del estado (Chihuahua 2000), ha señalado que en el área del centro de población existen 10 parques industriales, en donde existen 172 empresas que se especializan en metalmecánica, metalmecánica automotriz, electrónica, electrónica de comunicaciones, electrónica automotriz, talabartería, plásticos, plásticos médicos, confección, textil y bienes de capital.

En la Figura 7.10 se presenta la localización de las actividades y usos del suelo en el centro de Chihuahua, donde se puede ver la localización del uso industrial que predominantemente se encuentra hacia el norte y noreste de la ciudad. Con lo anterior, se pretende visualizar la ubicación y tendencia de las emisiones generadas por las fuentes fijas, y las condiciones meteorológicas, las cuales influyen en mayor o menor grado en los niveles de inmisión medidos hasta ahora, mediante monitoreos puntuales, registrados en el estudio de CIMAV.

Figura 7.10 Usos del suelo en el municipio de Chihuahua.



Fuente: Gobierno Municipal de Chihuahua.

Con base en una estimación para 2005, realizada en este proyecto, y de acuerdo con los datos desagregados del conteo de emisiones de SEMARNAT, se tiene la distribución por actividad económica en el estado Chihuahua, como se presenta en la Tabla 7.6.

Tabla 7.6 Estimación de las emisiones de fuentes fijas Estado de Chihuahua, 2005

TIPO DE ACTIVIDAD	Emisiones Anuales Mg/año (2005)						
	NOx	SOx	COV	CO	PM10	PM2.5	NH3
Uso industrial de Combustibles - Destilados	366	91	3	76	15	4	0
Uso comercial de Combustibles - Destilados	8	2	0	2	0	0	0
Uso industrial de Combustibles - Residual	1,580	19,522	9	168	1,076	700	0
Uso industrial de Combustibles - Gas LP	57	0	1	10	2	2	0
Uso comercial de Combustibles - Gas LP	211	1	5	29	7	7	0
Uso doméstico de Combustibles - Gas LP	1,063	3	26	147	34	34	0
Uso Agrícola de Combustibles - Gas LP	5	0	0	1	0	0	0
Uso en Transporte de Combustibles - Gas LP	2,117	0	1,305	13,144	0	0	0
Uso industrial de Combustibles - Gas Natural	3,453	7	68	1,036	94	94	0
Uso comercial de Combustibles - Gas Natural	68	0	4	57	5	5	0
Uso doméstico de Combustibles - Gas Natural	187	1	11	80	15	15	0
Uso industrial de Combustibles - Queroseno	3	1	0	1	0	0	0
Uso doméstico de Combustibles - Queroseno (diáfano)	2	1	0	1	0	0	0
Uso Agrícola de Combustibles - Queroseno (diáfano)	0	0	0	0	0	0	0
Uso doméstico de Combustibles - Leña	285	41	5,388	23,461	3,111	2,995	0
Uso doméstico de Combustibles - Carbón (producción metalúrgica con coque)	0	30	31	9	47	32	1
Uso doméstico de Combustibles - Bagazo	0	0	0	0	0	0	0
Uso industrial de Combustibles - Gas LP (Locomotoras)	4,296	38	162	424	107	96	0
Aeronaves	166	13	78	282	0	0	0
Cruces Fronterizos	49	0	320	3,671	0	0	0
Distribución de Gasolina	0	0	3,572	0	0	0	0
Distribución de Gas LP	0	0	15,655	0	0	0	0
Recubrimiento Industrial de Superficies	0	0	9,346	0	0	0	0
Solventes para limpieza y desengrasado	0	0	14,294	0	0	0	0
Recubrimiento Arquitectónica de Superficies	0	0	1,588	0	0	0	0
Pintado de carrocerías	0	0	1,530	0	0	0	0
Uso doméstico de solventes	0	0	11,125	0	0	0	0
Lavado en Seco	0	0	411	0	0	0	0
Artes Gráficas	0	0	1,150	0	0	0	0
Pintura para señalización vial	0	0	155	0	0	0	0
Asfaltado	0	0	396	0	0	0	0
Panificación	0	0	391	0	0	0	0
Tratamiento de aguas residuales	0	0	2,447	0	0	0	0
Labranza agrícola	0	0	0	0	5,388	1,194	0
Quemas agrícolas	0	0	84	1,008	110	105	0
Amoniaco Ganadero	0	0	0	0	0	0	8,902
Aplicación de fertilizantes	0	0	0	0	0	0	10,370
Plaguicidas	0	0	1,065	0	0	0	0
Corrales de Engorda (ganado vacuno)	0	0	0	0	215	24	0
Ladrilleras	27	0	349	1,578	236	228	0
Venta ambulante de asados	9	0	32	498	250	200	0
Quema residual a cielo abierto	130	22	185	1,840	822	753	0
Incendio forestales	176	0	1,055	6,154	718	638	0
Incendio de construcciones	0	0	1	10	1	1	0
Actividades de construcción	0	0	0	0	899	187	0
Pollo de caminos pavimentados	0	0	0	0	43,566	10,092	0
Pollo de caminos no pavimentados	0	0	0	0	94,264	14,114	0
Amoniaco doméstico	0	0	0	0	43,566	10,092	0

Fuente: INE Semarnat, U.S. EPA

El resultado total de emisiones generadas por fuentes fijas, tanto en la ciudad como en el estado de Chihuahua, para el año 2005 se presenta en la tabla 7.7.

Tabla 7.7 Emisiones totales anuales (2005), generadas por fuentes fijas

Emisiones Anuales mg/año (2005)						
MUNICIPIO	NOx	SOx	COV	CO	PM10	PM2.5
Chihuahua	4,557	5,202	336	9,521	1,886	1,434
ESTADO	18,587	66,817	2,366	14,167	7,422	6,436

Fuente: Cálculo propio a partir de datos de Semarnat

De acuerdo con los resultados de la Tabla 9, el área urbana de la Ciudad de Chihuahua, aporta el 67% de las emisiones de CO, mientras que su acumulado de SOx es apenas el 7% respecto del estatal, lo cual indica tendencia a combustiones con sistemas de control de SOx muy eficientes y/o utilización de combustibles con bajos contenidos de Azufre.

Para efecto de desagregación de este tipo de emisiones, se realizó un análisis de los parques industriales y de las industrias en la ciudad de Chihuahua, las cuales se presentan en la Tabla 7.8.

Tabla 7.8 Distribución por tipo de actividad en las industrias de la Ciudad de Chihuahua

	Zona Industrial Norte	Zona Industrial Motorola	Complejo Industrial Chihuahua	Zona Industrial Nombre de Dios	Zona Industrial Aeropuerto	Zona Industrial Americas	Zona Industrial Junta de los Rios	Zona Industrial Interceramic Avalos	Zona Industrial Pemex	Zona Industrial Zootecnia
Confección	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0
Construcción	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
electrónica	0	3	7	7	0	7	7	0	0	0
electrónica automotriz	0	0	5	5	5	5	0	0	0	0
Equipos Industriales	3	0	3	0	0	3	0	3	3	3
Investigación Tecnológica	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Inyección plástico	0	0	4	0	0	0	0	3	0	0
Materiales	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
Metalmecánica	2	0	2	0	2	3	2	2	2	2
Metalmecánica automotriz	3	0	3	0	5	0	0	3	3	3
Moldes	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0
Plásticos	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
proveduría	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
Química	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Servicios Sistemas	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Textil	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
otros	5	0	7	0	0	0	0	5	5	5
TOTAL	16	3	42	14	13	20	10	23	15	14

Fuente: Gobierno del Estado de Chihuahua

En las áreas de uso industrial, la Zona Industrial Norte y el Complejo Industrial Chihuahua, acumulan el 71% de las empresas, incluyendo las dos más grandes: la armadora automotriz y la fábrica de Cemento.

Con base en una información muy básica, se contabilizó la posible distribución de las emisiones de las fuentes fijas de acuerdo con su ubicación geográfica, la cual determinó como zona de mayor concentración el complejo industrial Chihuahua con 35% y la zona industrial Norte con 28%. Dicha información se presenta en la Tabla 7.9 en el inventario de emisiones de la ciudad.

Tabla 7.9 Inventario de emisiones por parque industrial

Area Industrial	% Emision
Zona Industrial Norte	28.2353
Complejo Industrial Chihuahua	39.3506
Zona Industrial Motorola	0.4412
Zona Industrial Nombre de Dios	4.1176
Zona industrial Aeropuerto	1.9118
Zona Industrial Americas	2.9412
Zona Industrial Junta de los Rios	5.8824
Zona Industrial Interceramic Avalos	9.7941
Zona Industrial Pemex	2.2059
Zona Industrial Zootecnia	2.0588
Otras Industrias	5.1200
TOTAL	100.0000

Fuente: Estimación propia

Finalmente, las fuentes naturales, son aquellas vinculadas a las actividades agropecuarias producto de la erosión eólica en los distintos suelos del estado (Tabla 7.10).

Dado que en la ciudad se presenta una elevada actividad industrial y de servicios, el aporte por fuentes naturales en el municipio no es significativo respecto del total del Estado de Chihuahua, por ejemplo en NOx, apenas es menor al 5% estatal y en COV (incluyendo el metano), suma menos del 1% estatal.

Tabla 7.10 Inventario de emisiones de fuentes naturales. Año 2005.

Emisiones Anuales mg/año (2005)							
MUNICIPIO	NOx	SOx	COV	CO	PM10	PM2.5	NH3
Chihuahua	2,133	0	95,079	0	0	0	0
ESTADO	52,998	0	1,974,759	0	0	0	0

Fuente: Cálculo propio a partir de datos de Semarnat

7.3.2.2 Fuentes móviles.

En el país y en las áreas urbanas uno de los elementos que más inciden en la generación de contaminantes, es la presencia de una flota vehicular en un gran número para la población y al espacio territorial a la que sirven.

Uno de los factores más representativos es el índice de motorización que existe por unidad política; en la Tabla 11, se indica la evolución que han tenido este indicador, entre el Estado de Chihuahua contra el Distrito Federal, en donde se observa, que la proporción de vehículos del Estado de Chihuahua representa entre 60 al 70% del tamaño de la flota del D.F., teniendo hasta picos de 80%: esto indica que el proceso de movilidad de Chihuahua se da de manera extensiva comparada contra la entidad del centro del país.

Tabla 7.11 Índice de motorización por entidad federativa, 1980-2002

Entidad federativa	1980	1990	1995	2000	2001	2002	2004
Chihuahua(a) Mpio.	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	504
Chihuahua(a) Edo.	136	227	233	266	304	308	314
Distrito Federal	212	277	327	396	391	406	412

NOTA: El índice de motorización es el número de vehículos de motor registrados en circulación por cada 1000 habitantes.(a) Incluye vehículos fronterizos. N/D No disponible

Fuente: INEGI. Dirección de Estadísticas de Recursos Naturales y Medio Ambiente

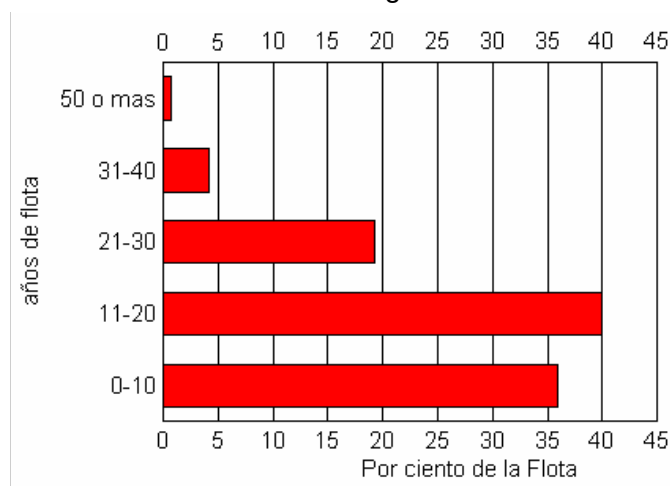
En la Tabla 7.11, se observa que en el municipio de Chihuahua, el índice de motorización es 18% superior al que existe en la capital del país, debido en parte a la distribución de usos del suelo comercial e industrial, que están ubicados en

espacios distantes de los distritos habitacionales, y finalmente conduce a promover un número importante de demanda de viajes.

Para el desarrollo de este proyecto, se recopiló una base de datos que contiene el número de vehículos por año de fabricación, información que indica que existen automotores modelo 1931 (1) hasta 2006 (3434), sumando en total 342,820 vehículos. El análisis estadístico demuestra que cada año se suman aproximadamente 20,000 vehículos y que el conjunto de datos concentra dos quintiles que suman cerca del 70% del total vehicular.

En la Figura 7.11, se presenta la distribución por edad del parque automotor, se aprecia que el 40% del parque automotor se encuentra entre los 11 a 20 años de antigüedad, el 35% de los vehículos tiene entre 0 a 10 años de edad y entre 21 a 30 años de edad se tiene cerca del 18% de vehículos; para fines de análisis, el 90.83% se ubica entre los años 1980-2006.

Figura 7.11 Distribución de la antigüedad de la flota vehicular



Fuente: Municipio de Chihuahua

En la ZMCM se han realizado estudios sobre la eficiencia del transporte privado y público, tomando como unidad de medida un vagón del metro (tren subterráneo), en donde se encontró que la eficiencia del transporte disminuye a medida que se fragmenta en muchas unidades, además que en los taxis se encontró una fuente muy señalada de contaminantes, cuando la flota oscila entre 6 y 14 años, que se ajusta muy bien a las condiciones operativas de la Ciudad de Chihuahua. Como ya se indicó, el parque vehicular municipal estaba formado en el año 2003 por 342,820 vehículos automotores, su distribución por tipo de vehículo se presenta en la Tabla 7.12.

Tabla 7.12 Distribución por tipo de vehículo para el municipio de Chihuahua

Tipo	Porcentaje
Automovil	67.00
Camión	30.06
Motocicleta	0.89
Omnibus	0.44
Tractocamion	1.12
Otro	0.48
Total	100.00

Fuente: INEGI, Anuario Estadístico del Estado de Chihuahua, 2003

Se estima adicionalmente, que la mayoría de la flota opera con gasolina (Tabla 7.13), con excepción del transporte urbano y del de carga que se centra su operación en el uso de diesel; se considera que existe una creciente conversión de autos de gasolina a uso de Gas LP (por un ahorro relativo en el costo de combustible), sin embargo estos se da entre las unidades de mas de 5 años de antigüedad, al no tenerse referencia sobre el proceso de conversión, se estima que pudieran generar más contaminación (10%-15%), que si operaran con gasolina.

Tabla 7.13 Número de vehículos y combustibles utilizados

transporte	unidades	combustible
automóviles	269,688	gasolina
Autobús	1,500	gasolina
taxis	20,300	gasolina
microbús	72	gasolina/gas lpg
mercantil	42,670	gasolina/diesel
oficiales	4,645	gasolina/diesel
carga	3,945	gasolina/diesel
TOTAL	342,820	

Fuente: Estimación propia con datos del Gobierno de Chihuahua

Los automotores (fuentes móviles) emiten gases de combustión, que son principalmente: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂), Hidrocarburos (HC) y Óxidos de Nitrógeno (NOx), estos últimos considerados precursores químicos del ozono y ácidos minerales fuertes diluidos (lluvia ácida). De esta manera un viaje de 16 Km. con tráfico ligero puede requerir 11 minutos y producir 2g de Hidrocarburos; sin embargo, el mismo viaje con tráfico pesado puede requerir 30 minutos y generar 7g de Hidrocarburos, con el consecuente incremento del 250%.

En la Tabla 7.14, se presenta el inventario unitario de emisiones por tipo de vehículo, el cual es un insumo básico para la modelación de emisiones.

Tabla 7.14 Inventario unitario de emisiones por tipo de vehículo. (g/Km)

Tipo de Vehículo y tipo de contaminante	NOx	HC	CO	CH4	SO2	PM10	O3
automovil c/c	1	61	9	1	0	1	3
automovil s/c	2	208	45	1	0	1	5
taxi	2	310	99	1	0	1	16
autobus personal	5	1	65	1	2	5	21
autobus convencional	5	635	35	1	2	5	22
Vehículo de carga (C2)	21	427	76	1	8	6	38
Vehículo de carga (C5)	31	12	70	1	8	20	43

Fuente: Cálculo propio a partir de información de SEMARNAT y US EPA

Un tema importante a ser analizado es el de los vehículos ilegales conocidos informalmente como “vehículos chocolate”. En la Ciudad de Chihuahua, los vehículos de manufactura norteamericana, que se construyeron en años anteriores a 1991, representan un porcentaje importante de la flota vehicular que circula cotidianamente.

Este conjunto automotor que ingresó de manera irregular al país en un alto porcentaje, representa un desafío en los aspectos de volumen de emisión de contaminantes por dos razones técnicas. Primero En EEUU ya no existen una cantidad importante de repuestos automotrices para estos automóviles y en México no se planeó manufacturarlas, por lo que el mantenimiento se da por medio de adaptaciones ingeniosas, que producen resultados inconsistentes en los vehículos y que no siempre son afortunados, en una eficiencia en la combustión del motor.

El segundo aspecto técnico considerado, es la manufactura de gasolina, una de las razones de que estos vehículos sean tan económicos comparados con los hechos en México, es que para efectos legales, la U.S. EPA los considera chatarra rodante.

En efecto estos vehículos no están hechos para aprovechar las distintas reformulaciones que se han hecho en las gasolinas, lo mismo por diseño como por falta de un convertidor catalítico adecuado, lo que produce un aumento de emisiones por km. rodado comparados con aquellos vehículos que fueron manufacturados en 1992 o en años posteriores, dado que estos valores no se han determinado, en conjunto con el proceso de manufactura hace que sea un punto ciego en el proceso de cálculo de emisiones.

7.4 MODELACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES

La estimación de las emisiones vehiculares de la ciudad de Chihuahua es una combinación de criterios de ingeniería en conjunto con información acumulada de estudios llevados a cabo en la Ciudad de México (GDF 2002), Juárez (Haste et al. 1998) y en la misma Ciudad de Chihuahua (CIMAV 2004).

La estimación se realiza con base en la información primaria recolectada en campo, de los aforos vehiculares y con factores de emisión derivados del Modelo MOBILE6-México, que se aplica en México, para fuentes móviles que circulan en carretera.

Las tasas básicas de emisión que conforman el modelo se basan en pruebas de emisiones muy limitadas, realizadas en la Ciudad de México, Ciudad Juárez y Aguascalientes.

El modelo utilizado es el modelo Mobile 6, versión 6.2 (2003), que es un modelo de cálculo matemático desarrollado por la U.S. EPA, para estimar la contaminación por HC, NO_x, SO_x, O₃, CO, NH₃ y material particulado, el cual contiene información relacionada con la movilidad urbana, que es de interés para el protocolo de Kyoto³.

El modelo cuantifica los cambios en los estándares de emisión, cambios en el número de autos y su actividad, las variaciones en las condiciones del medio meteorológico y operativo, como son temperatura, humedad y calidad de combustible. Se ha desarrollado para que cubra una variada lista de condiciones que afectan los niveles de emisión (p. Ej. Temperaturas ambiente, velocidades promedio de tráfico, etc.)

Un aspecto que no refleja el modelo, es la formación de la variable denominada *Repair Effectiveness* (algo así, como el registro de reparaciones), toda vez que en México no es obligatorio llevar un registro de mantenimiento, en este caso se usa el valor de la Ciudad de México de 6 meses, dado que en esta área urbana si es obligatorio presentar un examen de verificación de emisiones y el tiempo del dispositivo catalítico es de 3 años.

Del trabajo de campo, se toma la clasificación del parque automotor como información de entrada a la modelación. Esta clasificación, considera para cada tipo de vehículo, el tipo de combustible utilizado, y el peso bruto vehicular (PBV) en

³ El termino gases de invernadero, se refiere a seis gases y familias químicamente similares, los cuales son cubiertos por el protocolo de Kyoto, el dióxido de Carbono (CO₂/CO), metano (CH₄), Oxidos Nitrosos (NO_x), y tres familias de gases industriales, los hidrofluorocarbonados (HFC), perfluorocarbonados (PFC) y la del hexafluoruro de azufre (SF₆). (

libras (lb). A continuación se presenta la lista de las 28 clases vehiculares incluidas en el MOBILE6-México:

Tabla 7.15 Tipo de vehículo usado en el mobile6

Tipo de Vehículo	Tipo de Combustible	Peso Bruto del Vehículo (PVB) lb	Peso del vehículo Cargado (PVC) lb
Vehículos ligeros	Gasolina y diesel		
Camiones ligeros 1	Gasolina	0-6,000	0-3,750
Camiones ligeros 2	Gasolina	0-6,000	3,751- 5,750
Camiones ligeros 3	Gasolina	6,001-8,500	0-5,750
Camiones ligeros 4	Gasolina	6,001-8,500	>5,750
Camiones ligeros 1 y 2	Diesel	0 – 6,000	
Camiones ligeros 3 y 4	Diesel	6,001 – 8,500	
Vehículos pesados clase 2b	Gasolina y diesel	8,501 – 10,000	
Vehículos pesados clase 3	Gasolina y diesel	10,001 – 14,000	
Vehículos pesados clase 4	Gasolina y diesel	14,001 – 16,000	
Vehículos pesados clase 5	Gasolina y diesel	16,001 – 19,500	
Vehículos pesados clase 6	Gasolina y diesel	19,501 – 26,000	
Vehículos pesados clase 7	Gasolina y diesel	26,001 – 3,000	
Vehículos pesados clase 8a	Gasolina y diesel	33,001 – 60,000	
Vehículos pesados clase 8b	Gasolina y diesel	>60,000	
Autobuses escolares, de pasajeros y urbanos	Gasolina		
Autobuses de pasajeros y urbanos	Diesel		
Autobuses escolares	Diesel		
Motocicletas	Gasolina		

Si bien esta clasificación proporciona información considerablemente detallada, el registro de las emisiones para las 28 clases vehiculares, es considerablemente complicada en el manejo de datos. Por lo tanto, para este proyecto, se decidió agregar los resultados de las emisiones de vehículos automotores en las siguientes siete clases, que se ajustan de manera ideal al trabajo de muestreo:

- Vehículos ligeros a gasolina
- Camiones ligeros a gasolina
- Vehículos pesados a gasolina
- Vehículos ligeros a diesel
- Camiones ligeros a diesel
- Camiones pesados a diesel
- Motocicletas

Los datos de actividad para vehículos automotores consistieron en los kilómetros recorridos por vehículo (KRV), y los factores de emisión se estimaron en gramos por KRV. El cálculo de los KRV se hizo multiplicando las tasas de generación de KRV diarios per cápita por la población municipal.

Los resultados de las emisiones de SO_x, PM₁₀ y PM_{2.5} se ajustaron de acuerdo con los contenidos de azufre en gasolina y diesel reportados por PEMEX (2004).

Los valores calculados para los tramos en que se dividió el proyecto para el análisis se presentan en el anexo 7.1 del presente capítulo.

Tabla 7.16 Resultado de las corridas para los tramos muestreados en el Municipio de Chihuahua
(ver anexo 7.1)

Los resultados de la Tabla 7.16, indican que las emisiones del área urbana, pueden oscilar entre 1300 hasta 1500, Toneladas/año, que es una cantidad importante de contaminantes, sin embargo sigue siendo baja en términos de volumen, contra cualquier área metropolitana de México contra la que se compare⁴, sin embargo en

⁴ Se calcula que en la ciudad de México con 3 millones de vehículos produce cerca de 9 mil ton/día, lo que hace que parezca muy poco lo de la ciudad de Chihuahua.

el análisis espacial, persisten algunas preocupaciones debido a la forma en que se distribuyen y se concentran los contaminantes en la cuenca atmosférica.

Simultáneamente a la estimación del volumen de emisiones, se procedió a calcular la calidad del aire⁵ en el *hinterlaand* del Centro Urbano, utilizando los datos generados por MOBILE, resultando, un conjunto de mapas de uso horario para todos los parámetros a analizar, en este caso, tomando un día típico con flujos de tránsito estándar, como se presentan a continuación.

Los resultados de la modelación de calidad del aire, mostraron valores elevados en las variables Ozono y PM₁₀, situación que también se presentó con los muestreos puntuales realizados por CIMAV para concentraciones de material particulado PM₁₀ en el aire ambiente, teniendo en cuenta todas las diferencias y limitaciones ya discutidas, de los dos estudios. En el estudio de CIMAV los promedios diarios máximos medidos fueron superiores a 150 µg/m³ en cinco de los ocho sitios monitoreados, superando las normas de calidad del aire mexicanas (150 µg/m³) en por lo menos una vez. Igualmente los promedio aritméticos fueron superiores a la norma promedio anual (50µg/m³) en siete de las ocho estaciones, estuvieron entre 52 y 100µg/m³.

7.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con base en los análisis de patrones de flujo, se considera que existen cuatro periodos de emisiones que están bien delimitados.

Tabla 7.17 Periodos de tiempo en un día horario

Periodo	Tiempo
A	7 am -9am
B	9am-4pm
C	4pm-8pm
D	8pm-7am

Fuente: Cálculos propios, procesados en Mobil6 y ArcInfo

El análisis se realizó por base horaria debido a los requerimientos de la legislación y los factores de emisión expresados en (gr/Km), se convirtieron a cada especie química de acuerdo con lo marcado por la legislación mexicana. Los volúmenes de tráfico se comportaron como se muestra a continuación:

⁵ Por calidad del aire, se entiende la concentración del conjunto de contaminantes contra el tiempo, que se tiene en un día típico de la ciudad de Chihuahua.

Tabla 7.18 Periodos de tiempo en un día horario

Periodo	Volumen de Tráfico
A	9.8% en periodo de 2 horas
B	39.8% en periodo de 7 horas
C	26.0% en periodo de 4 horas
D	24.4% en periodo de 11 horas

Fuente: Cálculos propios, procesados en Mobil6 y ArcInfo

Esta posible distribución de tráfico es interesante, debido a las condiciones de temperatura de amplia oscilación térmica de la ciudad, sugiere que el volumen más importante se encuentra en el periodo B y C, cuando el sol está en su máximo, sin embargo el valor D tiene mucha importancia en la calidad del aire de la ciudad, dado que cerca de una cuarta parte de las emisiones se dan en este periodo, al presentarse una condición climática adversa, como puede ser calma de vientos y una baja de temperatura más allá de 10°C, cosa común en el otoño y al final del invierno, se pueden presentar episodios de inversión térmica

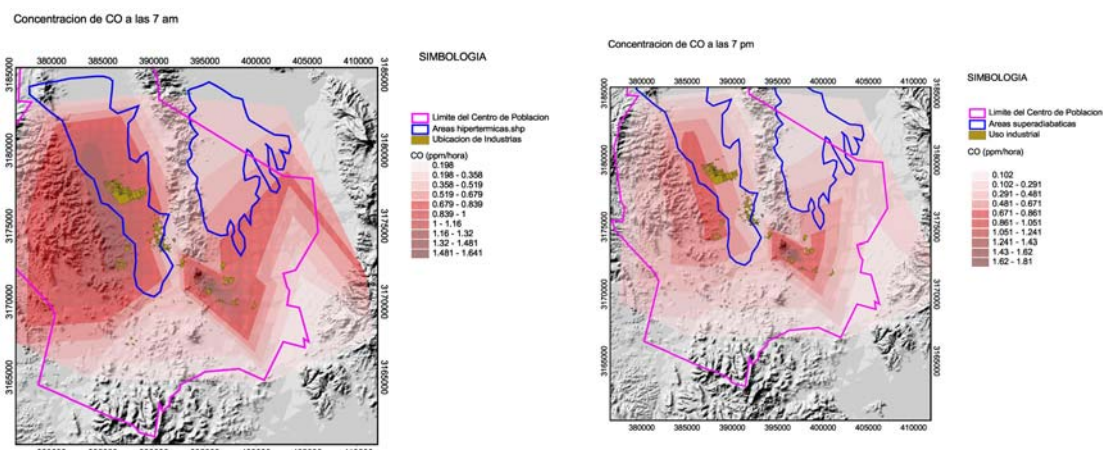
7.5.1 Análisis para el bióxido de carbono (CO₂)

Este gas a diferencia de las otras especies químicas, es el que más directamente está relacionado con la movilidad. La legislación marca que deben existir promedios de una hora con 11 ppm o más, en el modelo que se corrió difícilmente existieron picos de más de 2.1 ppm, un segundo aspecto positivo es el hecho que la Sierra Nombre de Dios, representa una barrera física formidable para los dos valles, el del aeropuerto y el de la ciudad, siendo que por el patrón de viento y la dinámica de mezclado, forman dos masas definidas que incidentalmente se vuelven una, este patrón favorece la disolución de la contaminación de manera genérica durante el año.

Sin embargo, la zona más contaminada va transitando desde el noroeste hacia el suroeste, de mañana a tarde, en un día típico, por efecto de las montañas al oeste de la ciudad, si las condiciones meteorológicas son muy adversas, puede tener valores cercanos a 2 ppm, los efectos epidemiológicos por efecto de CO/CO₂ deben

ser sólo en las poblaciones más vulnerables en condiciones meteorológicas muy difíciles.

Figura 7.12 Efecto regional del dióxido de carbono (CO_2) a las 7 am y a las 7pm del día típico en la Cd de Chihuahua



Fuente: Cálculos propios, procesados en Mobil6 y ArcInfo

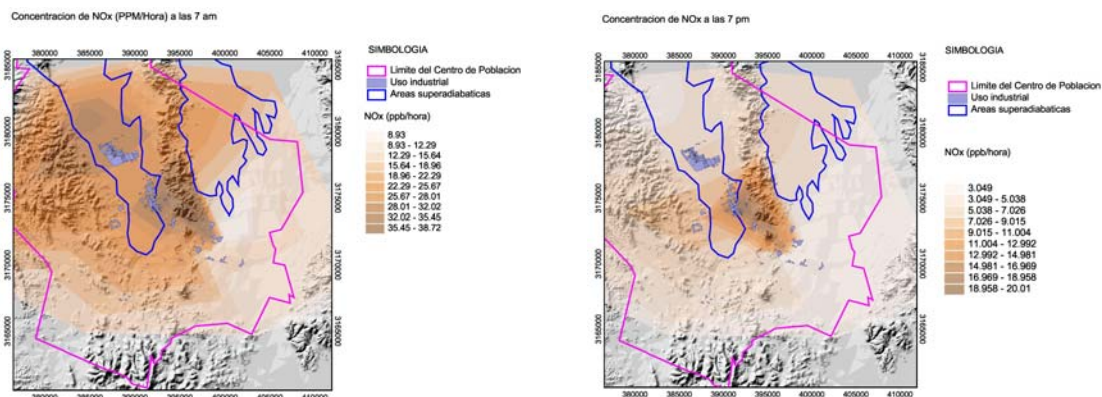
7.5.2 Análisis para óxido de nitrógeno (NO_x)

El NO_x es un especie química, que está relacionada con la eficiencia de la combustión, en conjunto con las condiciones prevalecientes en el medio físico, además de la temperatura, la radiación solar es un factor preponderante en la generación de emisiones.

Con base en los resultados obtenidos, algunas intensidades de 0.21 ppb o más , se presentan de manera focal en área sur y suroeste de la Sierra Nombre de Dios, entre las 7 am y las 4 pm, a partir de esa hora el valor de las mismas desciende rápidamente hasta que cerca de las 7 pm, se tienen valores debajo de la norma.

La Figura 7.13, muestra una dispersión más o menos extendida en toda el área urbana a las 7 am hasta una concentración focalizada al sur de la Sierra. Parte de las emisiones de la mañana, es el acumulado nocturno de los vehículos de carga y de los residuales del día anterior. Otro aspecto colateral, en estas distribuciones diurnas de este contaminante, es que son factor importante en la formación del ozono.

Figura 7.13 Efecto regional del oxido de nitrógeno (NOx) a las 7 am y a las 7pm del día típico en la Cd de Chihuahua.



Fuente: Cálculos propios, procesados en Mobil6 y ArcInfo

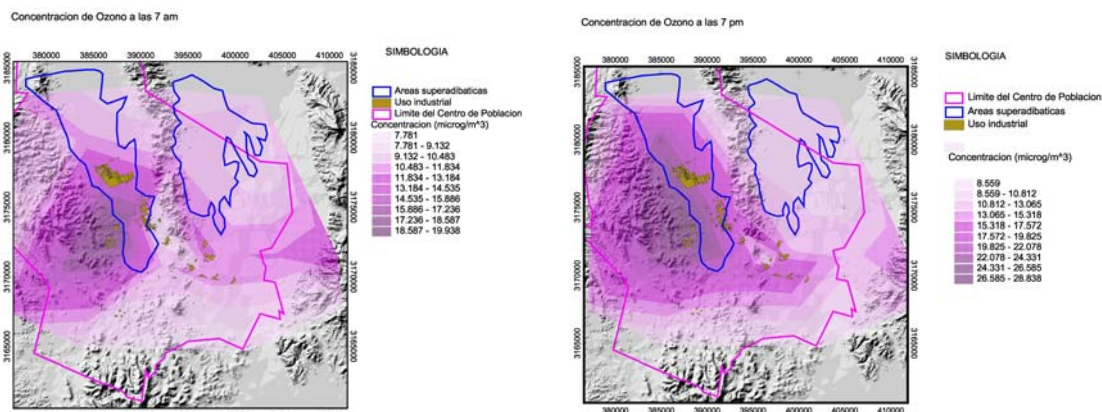
7.5.3 Análisis de ozono

El cálculo del ozono fotoquímico siempre es un tema complejo, debido a la naturaleza de este subproducto que se forma a través de los productos de la combustión y que tienen una naturaleza fotoquímica.

En el caso de la ciudad de Chihuahua, este elemento químico está relacionado con la extensión del NOx y SOx, en el caso de estos precursores tienen un comportamiento distinto en la cuenca, mientras que el primero se ubica al sur-sureste, el otro es norte-noroeste. Esta situación produce que la sombra del ozono en ocasiones cubra toda la cuenca y en otras siguiendo el patrón del viento y la hora, puede tener intensidades que van en la mañana en el norte de la cuenca superadiabítica hacia el límite de la cuenca atmosférica. Si esta acumulación llega antes de las 9 am en este punto, ese día se produce una inversión térmica, como se aprecia en la Figura 7.14.

Los valores que se tiene, también son altos, con valores que oscilan entre 0.0037 y hasta 0.0056 ppm, sin embargo, sin dispersión de viento, que ocurre 11% del año, estos valores pueden trepar hasta 0.09 o hasta 0.12 en algunos episodios, presentándose problemas de inversión térmica.

Figura 7.14 Efecto regional del oxido de nitrógeno (NOx) a las 7 am y a las 7pm del día típico en la Cd de Chihuahua.



Fuente: Cálculos propios, procesados en Mobil6 y ArcInfo

7.5.4 Análisis de material particulado menor a 10 micras (PM-10)

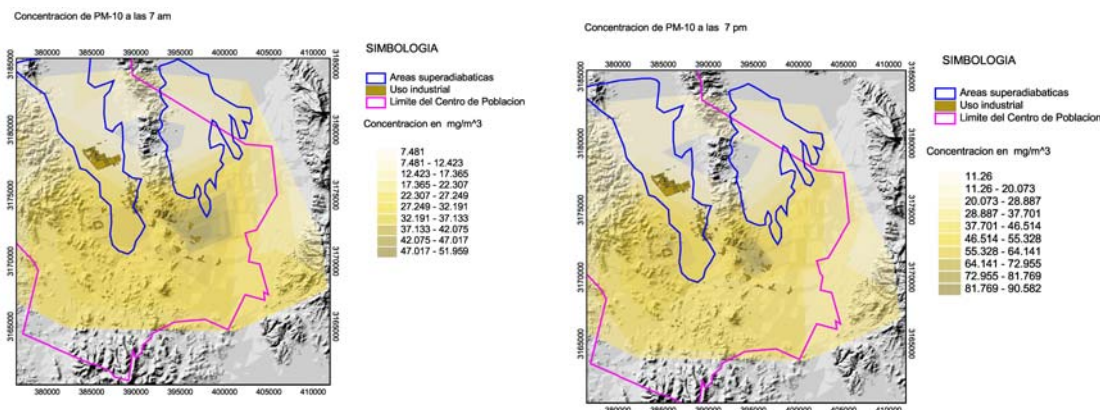
Se considera que las emisiones de vehículos propulsados por diesel son responsables de la mayoría de las emisiones móviles de partículas sólidas.

Esto a manera de localización espacial tiene una conexión con la mayor concentración de partículas sólidas de fuentes fijas en el área norte de la ciudad, en donde la actividad industrial es más intensa.

Adicionalmente es el área multimodal para el tránsito comercial con la zona metropolitana de Juárez-El Paso, por lo que, se infiere que las concentraciones de PM10 son más altas en gran parte del día horario, con excepción probablemente de algunas partes del verano y del invierno en donde el patrón del viento lo lleva con dirección a el paraje de la Cantera o a la Sierra Nombre de Dios.

Desde una perspectiva social, las concentraciones se dan con un patrón similar al del NOx es decir, se dirigen al sur-suroeste en los límites de la Sierra Nombre de Dios, tal como lo indica la Figura 7.15 las concentraciones quedan en un día normal en el límite de la marcado por la legislación es decir valores máximos entre 95-105 µg/m³, concentración que en ocasiones puede crecer a un valor 120, con una calma moderada, o con viento intenso.

Figura 7.15 Efecto regional de material particulado en menos de 10 micras (PM10) a las 7 am y a las 7pm del día típico en la Cd de Chihuahua.



Fuente: Cálculos propios, procesados en Mobil6 y ArcInfo

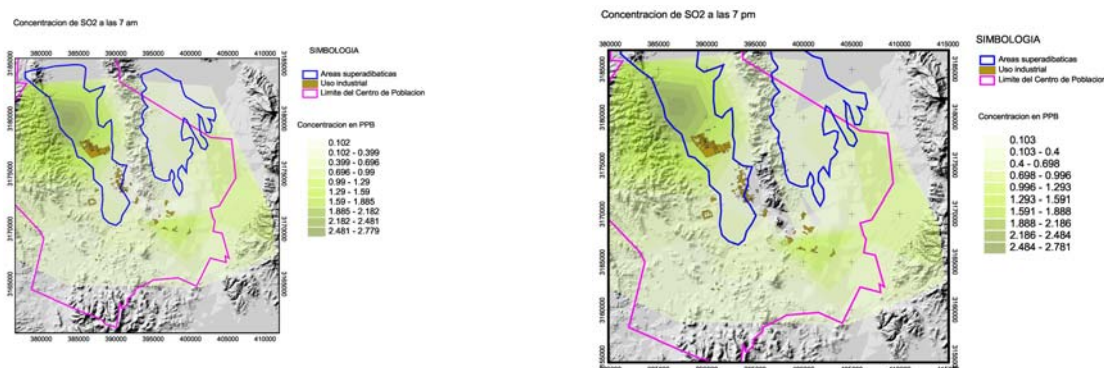
7.5.5 Análisis de dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ es un producto químico indeseable que proviene del contenido del mismo de las gasolinas, debido a su densidad y viscosidad, que es muy similar al del aire.

Tiene un comportamiento en las condiciones del medio físico de Chihuahua de poca movilidad, además de que la intensidad de la radiación solar en esta latitud, lo hace muy activo, por lo que se encontraron dos puntos de concentración. Uno al sur-suroeste del centro histórico, menos importante y que se muestra a lo largo del día, y el de mayor concentración que se forma al norte-noroeste, en donde se ubica el mayor tránsito y el principal de carga.

Desde una perspectiva de concentración, Figura 7.16, el valor de 0.001 a 0.003 ppb, muy por debajo de los requerimientos legales y de momento no es elemento perturbador de calidad del aire.

Figura 7.16 Efecto regional de óxido de azufre SO_x a las 7 am y a las 7pm del día típico en la Cd de Chihuahua.



Fuente: Cálculos propios, procesados en Mobil6 y ArcInfo

7.6 RUIDO AMBIENTAL

7.6.1 Generalidades

El ruido en el medioambiente puede provocar efectos negativos en la salud del hombre y en su comportamiento. Afecta los sistemas internos esenciales tales como el sistema cardiovascular, gastrointestinal, nervioso, muscular y endocrinal.

Exposiciones prolongadas a altos niveles sonoros pueden afectar el límite auditivo, siendo éste más alto de lo normal. La sordera, además de dificultar la audición, está acompañada también por problemas económicos, sociales y psicológicos.

En la vida diaria el ruido puede afectar las relaciones entre personas y la comunicación. A partir de 66-70 dB(A) dos personas tienen dificultades en poder conversar sin tener que gritar, por lo que la interrupción en las comunicaciones es molesta y hasta puede llegar a ser peligrosa. El ruido también puede afectar la capacidad humana de llevar a cabo tareas mecánicas y mentales pues incrementa la tensión muscular y favorece la distracción y la falta de concentración.

Por último, el ruido puede afectar al comportamiento social puesto que actividades que se desarrollarían normalmente pueden suspenderse a causa de elevados niveles sonoros, cambiando las costumbres locales (comer al aire libre, zonas de juego infantiles, etc.). La Organización Mundial de la Salud recomienda los niveles máximos sonoros equivalentes (LAeq) que se describen en la Tabla 7.19.

Tabla 7.19 Niveles máximos de ruido recomendados por la OMS (LAeq)

	Día		Noche	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Viviendas	50 dB(A)	55 dB(A)		
Dormitorios			30 dB(A)*	45 dB(A)*
			Máx: 45dB (A)	
Escuelas	35 dB(A)	55 dB(A)		
Hospitales				35 dB(A)
General		35 dB(A)		Máx: 45 dB(A)
Clinica		30 dB (A)		30 dB (A)
				Máx: 40 dB (A)
Salas de concierto	100 dB (A) durante 4h	100 dB (A) durante 4h		
Discotecas	90 dB (A) durante 4h	90 dB (A) durante 4h		

Fuente: Fuente. OMS

7.6.2 Marco normativo

En México se tienen diversas normas para el control de emisión de ruido: la NOM-079-ECOL-1994 establece los límites máximos de vehículos automotores nuevos en planta, expresados en dB(A), y su respectivo método de medición dinámico.

La NOM-080-ECOL-1994 establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación, expresados en dB(A), y el método de medición, el cual es estático y debe realizarse en centros de verificación.

La NOM-081-ECOL-1994 contiene los límites máximos permisibles en fuentes fijas y el correspondiente sistema de medición.

Finalmente la NOM-082-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de ruido de motocicletas y triciclos motorizados nuevos en planta, y su método de medición. Esta normatividad, sin embargo no tiene una previsión de gestión de ruido en ambientes urbanos, por lo que mucho de la necesidad de crear antecedentes legales para el futuro, reside en las autoridades municipales, siendo que numerosas fuentes indican, que un nivel superior a 55 dB(A) produce molestia auditiva.

7.6.3 Análisis de ruido en la Ciudad de Chihuahua

Dentro del análisis de la línea base se han considerado cuatro escenarios, que pretenden reflejar como puede variar el nivel de ruido en función de la utilización de los distintos carriles por los diferentes tipos de vehículos, considerando como públicos exclusivamente a los autobuses y privados el resto de ellos, tanto ligeros como pesados (incluidos taxis).

1. Se asume la situación teórica que debería darse cuando se definió el actual sistema de transporte y que consiste en que el carril izquierdo sea exclusivo de autobuses y el resto de carriles para los vehículos privados.

2. Se contempla la realidad actual donde no se respeta el carril de autobuses y tanto los vehículos públicos como los privados circulan indistintamente por todos los carriles existentes.

3. Se pretende reflejar, que diferencia existiría en el caso de que los actuales autobuses circularan por el carril izquierdo de la vía.

4. Se calcula el ruido generado por la situación proyectada donde se incluye el nuevo tráfico de autobuses y su disposición en el carril izquierdo de las vías.

7.6.3.1 Información requerida

Los datos de partida considerados para el proyecto son:

$K = 18$

QVL, QLP = Dado que el corredor soporta distintos flujos de vehículos, estos datos se definen en función de los distintos tramos identificados según el flujo definido en el estudio de tráfico.

$E =$ Entre 10 y 20 en función de la pendiente de los tramos

$V_m = 60$ Km/h (dato a utilizar aunque la velocidad sea menor)

$d =$ Variable según el tramo

$I_c =$ Variable según el tramo.

$\theta =$ No se proponen correcciones por considerar el frente de los edificios paralelos a la calzada.

Además de la información anterior, se tienen en cuenta la distancia (2m de las fachadas) y altura del receptor a la fuente (1.5 a 2m de altura), correcciones de los niveles de sonido debidos al tipo de barreras existentes, el tipo de suelo (reflectante), correcciones por efectos atmosféricos (importantes para distancias mayores de 150m).

Los datos del estudio de tráfico y las características de las vías por las que discurre el corredor, definen en cada uno de los tramos considerados en las mediciones de campo, los siguientes parámetros: E en función de la rampa, d y lc.

7.6.3.2 Resultados

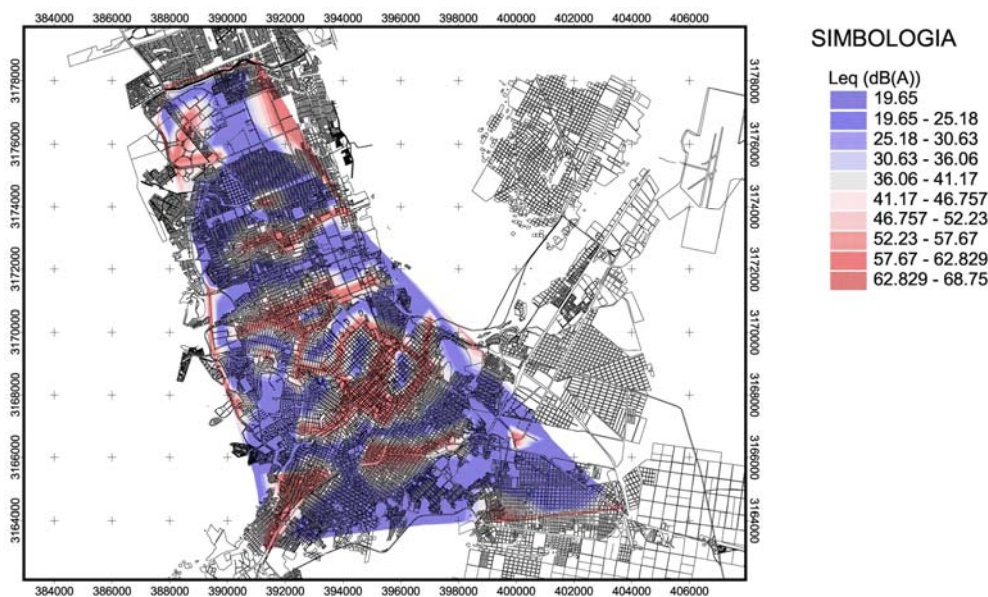
A partir de los datos de partida citados anteriormente y los cálculos realizados con la aplicación del método para los diferentes escenarios se obtienen los niveles de sonido continuo equivalente en la Tabla 7.20 y las curvas isófonas en la Figura 7.17.

Tabla 7.20 Resultados del análisis de ruido ambiental producido por fuentes móviles en los tramos muestreados del centro urbano de chihuahua.

(ver anexo 7.2)

Fuente:

Figura 7.17 Modelado de la contaminación sónica en el centro de población de Chihuahua



Fuente:

Fuente: Datos propios a partir de los datos muestreados en este proyecto

El proceso de análisis indica que es probable que la actual condición de la ciudad no pudiera ser calificada de tener un problema por contaminación de ruido, aun cuando no existe información urbana disponible, el IMT (IMT 2003) ha publicado algunos de sus estudios sobre ruido en entronques urbanos-carreteros, en estos se muestra que aun en las áreas de mayor intensidad de ruido, este todavía mantiene cierta línea promedio con riesgos limitados para la población urbana, aun cuando ya es un riesgo profesional para los agentes de tránsito.

Tabla 7.21 Medición Leq Totales en diferentes lugares de la república

Carretera	Leq Total
México-Querétaro Km. 193+050 (Q)	80.6
Guadalajara-Zacatecas Km. 15+000 (Z)	70.2
Quintil más alto en la Cd. Chihuahua (2005-2006)	67.7

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IMT

La Tabla 7.21, muestra los resultados que se obtuvieron en diferentes partes de la república en periodos muy cercanos, muestran que en el quinto de información más alto, la ciudad no sobrepasa la medida de 68 dB(A) de Leq que se ha busca señalar como limite de generación de ruido en las carreteras nacionales.

El análisis por áreas indica que cerca de un 40% de las zonas muestreadas, que indica, un inicio en el proceso de deterioro ambiental por contaminación del ruido, en el análisis se presentaron valores de Leq cercanos a 70 dB(A), el resto de las áreas mantiene condiciones razonables, en términos de salud, que oscilan en un número cercano a 65 dB(A), 10% de la muestra, y el resto con valores debajo de 70 dB(A).

El modelo sugiere, que a pensar de flujos cercanos a 6 mil vehículos/hora como en Av. Universidad y Av. Tecnológico, la intensidad de la energía sónica se mantiene y en pocas ocasiones sube, lo que puede indicar, que un mayor aumento de tráfico a velocidad constante, es decir en promedio de 50-60 Km. tendrían poco impacto, en el aumento de ruido, en cambio disminuciones en la velocidad de rodamiento, es posible que aumenten la intensidad de la energía, dado que el volumen del tráfico y en algunos puntos la tipología del mismo, como pueden ser vehículos C3 y C5 o autobuses de transporte público.

Desde un punto de vista regional, el sur y algunas porciones del poniente y del norponiente tienden a tener menos intensidad de este tipo de contaminación, en cambio porciones del norte urbano, las cercanas a los parques industriales y el centro urbano, además del centro histórico, mantienen los mayores niveles de contaminación del ruido.

El punto de mayor de incidencia a partir del trabajo de campo en la zona centro lo representa el cruce de Av. Tecnológico y Teofilo Borunda, en la prolongación de Tecnológico se encuentra otro punto problemático en su cruce con Av. 20 de Noviembre, el mismo Teofilo Borunda en su cruce en Universidad, termina de conformar el cuadrángulo del centro con mayor conflicto.

La más intensa de la contaminación sónica en la zona norte de la ciudad es la que incide en el tramo de Cristóbal Colón, con promedio máximo cercano a Leq de 69.0 dB, seguida del tramo de Alejandro Dumas hasta Avenida de las Armas y hasta Homero, siendo muy intenso a la altura de Retorno de la Vega, con número cercanos a un Leq de 65 dB, menos intenso es Periférico de la Juventud a la altura del Circuito Tesis en donde se tienen máximas de 63 dB en el Leq local.