

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS



**“PROPUESTA DE UN MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS
PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO
POR VEHÍCULOS PARTICULARES. EL CASO DE LA CIUDAD DE
MEXICALI, B. C.”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA DE SISTEMAS

PRESENTA

LORENZO ALEJANDRO SÁNCHEZ BUENO

Mexicali, B. C.

Mayo de 2006

Dedicatorias

Para mi esposa Aurora, a quien amo y siento una gran admiración de siempre. Gracias por tu apoyo, paciencia, y el tiempo que me has brindado para el término de ésta.

Para mi hijo Andrés, para quien deseo ser un motivo de superación en su vida.

A mi madre Consuelo, por su desinteresado apoyo ofrecido durante mi vida y el cual hizo posible mi carrera.

A mis amigos y compañeros del Instituto de Ingeniería, por todo el apoyo que me manifestaron.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Baja California por su apoyo recibido para realizar mis estudios de Maestría.

Al Instituto de Ingeniería por todas las facilidades que me ha brindado para culminar mis estudios de Maestría.

Muy especialmente a mi director de tesis M. C. Onofre Rafael García Cueto por el esfuerzo y la dirección que me brindó.

Agradezco a los miembros del sínodo por las sugerencias que han mejorado esta tesis. Dra. Sara Ojeda Benítez, M. I. Moisés Galindo Duarte, Dr. Margarito Quintero Núñez y Dr. Benjamín Valdez Salas.

RESUMEN de la Tesis de LORENZO ALEJANDRO SÁNCHEZ BUENO, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS. Mexicali, Baja California, México. Mayo de 2006.

“PROPUESTA DE UN MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO POR VEHÍCULOS PARTICULARES. EL CASO DE LA CIUDAD DE MEXICALI, B. C.”

Resumen aprobado por:

M.C. Onofre Rafael García Cueto
Director de tesis

Se presenta en este trabajo la aplicación del enfoque de sistemas para identificar los elementos del proceso de emisión de monóxido de carbono por vehículos particulares en la ciudad de Mexicali, B. C. con el interés de entender los mecanismos que generan un modelo de Dinámica de Sistemas para representar, predecir y de explicar, al menos parcialmente, el problema real.

Por otra parte, la rápida urbanización, el incremento de las actividades manufactureras e industriales y el incremento del tránsito vehicular en la ciudad de Mexicali han incrementado la contaminación del aire impactando consecuentemente en la salud. Debido a lo anterior los residentes de la ciudad de Mexicali, están expuestos a niveles dañinos de monóxido de carbono: En 1997 este contaminante excedió la norma en 51 días del año (15%) y, de manera consecutiva, en 1998 rebasó la norma en 77 días (21%)

Se estima que el parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali es de alrededor del 20%, mientras que el parque vehicular oficial representa el restante 80%. Los vehículos con placas fronterizas que circulan en la ciudad de Mexicali constituyen aproximadamente el 69%, los vehículos de placas nacionales el 14% y los de placas extranjeras el 17%. En promedio, la edad del parque vehicular es del

año 1992 y los conductores utilizan sus vehículos para recorrer una distancia diaria de 29 kilómetros o bien, los utilizan para realizar sus actividades por un tiempo de 2 horas. Aproximadamente el 52% de los conductores compran por semana 234 pesos de gasolina en México, mientras que el restante 48% de los conductores compran 23 dólares de gasolina en Estados Unidos. Las gasolinas que más demandan los conductores son la magna (mexicana) y la gasolina regular (Estados Unidos) con el 34% y el 36% respectivamente.

Palabras clave: Dinámica de Sistemas, Monóxido de Carbono, Ingeniería de Sistemas, Modelo.

Tabla de contenido

| | Página |
|--|--------|
| Lista de figuras | iv |
| Lista de tablas | vii |
| Abreviaciones y acrónimos | viii |
| | |
| Introducción | 1 |
| | |
| Capítulo 1: Objetivos | 6 |
| 1.1. Objetivo general | 6 |
| 1.2. Objetivos específicos | 6 |
| | |
| Capítulo 2: Esquema de fundamentos | 8 |
| 2.1. Marco conceptual | 8 |
| 2.1.1. Sistema | 8 |
| 2.1.2. Sistema Dinámico | 8 |
| 2.1.3. Análisis de sistemas | 9 |
| 2.1.4. Dinámica de Sistemas | 9 |
| 2.1.5. Modelo | 9 |
| 2.1.6. Simulación | 10 |
| 2.1.7. Monóxido de carbono | 10 |
| 2.2. Marco teórico | 11 |
| 2.2.1. La Teoría General de Sistemas | 11 |
| 2.2.1.1. Orígenes de la teoría general de sistemas | 11 |
| 2.2.1.2. El enfoque de sistemas | 12 |
| 2.2.2. La Dinámica de Sistemas | 13 |
| 2.2.2.1. La metodología de Dinámica de Sistemas | 15 |
| 2.2.2.2. Los modelos de Dinámica de Sistemas | 16 |
| 2.2.2.2.1. Los diagramas causales | 17 |
| 2.2.2.2.2. Los procesos de realimentación | 18 |
| 2.2.2.2.3. Los tipos de variables | 18 |
| 2.2.2.2.4. La simbología de Dinámica de Sistemas | 20 |
| 2.2.3. La contaminación del aire | 20 |
| 2.2.3.1. Principales tipos de contaminantes del aire | 22 |
| 2.2.3.2. Principales contaminantes emitidos por vehículos | 23 |
| 2.2.3.2.1. Humos negros | 24 |
| 2.2.3.2.2. Hidrocarburos | 24 |
| 2.2.3.2.3. Óxidos de nitrógeno | 24 |
| 2.2.3.2.4. Óxidos de azufre | 25 |
| 2.2.3.2.5. Plomo | 25 |
| 2.2.3.2.6. Monóxido de carbono | 25 |
| 2.2.3.2.6.1. Los efectos del CO en la salud | 25 |
| 2.2.3.3. El tipo de contaminante de un vehículo a gasolina | 27 |
| 2.2.3.4. Normatividad Mexicana para emisiones vehiculares | 28 |
| 2.2.3.4.1. Norma Oficial Mexicana 041-ECOL-1996 | 28 |

| | |
|---|----|
| 2.2.3.4.2. Norma Oficial Mexicana 042-ECOL-1999..... | 29 |
| 2.2.3.4.2.1. Definiciones en la Norma Oficial Mexicana | 31 |
| 2.2.3.4.3. Normas Mexicanas y Normas Americanas..... | 32 |
| 2.2.3.5. El clima y la topografía local..... | 33 |
| 2.2.3.6. Monitoreo y evaluación de la calidad de aire | 35 |
| 2.2.3.6.1. Tendencias futuras de la calidad del aire..... | 35 |
| 2.2.3.6.2. Inventario de emisiones 1996 | 36 |
| 2.2.3.6.2.1. Emisiones vehiculares en Mexicali | 38 |
| 2.3. Marco contextual | 40 |
| 2.3.1. La ciudad de Mexicali..... | 40 |
| 2.3.1.1. Ubicación y extensión | 40 |
| 2.3.1.2. Clima y topografía | 40 |
| 2.3.1.3. Crecimiento poblacional | 41 |
| 2.3.1.4. Parque vehicular en Mexicali | 43 |
| 2.3.1.4.1. Características del parque vehicular en Mexicali | 43 |
| Capítulo 3: Materiales y método | 45 |
| 3.1. Materiales y método | 45 |
| 3.2. Metodología..... | 46 |
| 3.2.1. Primera etapa: distribución de vehículos en Mexicali..... | 46 |
| 3.2.2. Segunda etapa: aplicación del instrumento de medición | 46 |
| 3.2.3. Tercera etapa: el desarrollo del modelo conceptual..... | 47 |
| 3.2.4. Cuarta etapa: el desarrollo del modelo cuantitativo..... | 48 |
| 3.2.5. Quinta etapa: simulación de los modelos propuestos | 48 |
| Capítulo 4: Resultados y discusiones | 49 |
| 4.1. Descripción de los resultados de la primera etapa | 49 |
| 4.1.1. Primer conteo | 49 |
| 4.1.1.1. Vehículos particulares en “Plaza la Cachanilla”..... | 49 |
| 4.1.1.2. Vehículos particulares en “Plaza Nuevo Mexicali” | 50 |
| 4.1.1.3. Distribución promedio de vehículos particulares | 50 |
| 4.1.2. Segundo conteo | 51 |
| 4.1.2.1. Distribución promedio de vehículos particulares | 51 |
| 4.1.2.2. Descripción detallada de la distribución de vehículos particulares.. | 51 |
| 4.2. Descripción de los resultados de la segunda etapa | 54 |
| 4.2.1. Ciudad de residencia..... | 54 |
| 4.2.2. Ciudad donde labora | 54 |
| 4.2.3. Edad promedio de los vehículos particulares | 54 |
| 4.2.4. Tipo de placas de los vehículos particulares | 55 |
| 4.2.5. Tiempo de desplazamiento diario | 56 |
| 4.2.6. Tipo de combustible utilizado | 56 |
| 4.2.7. Consumo de combustible por semana | 56 |
| 4.2.8. Preferencia por el lugar de adquisición del combustible..... | 57 |
| 4.2.8.1. ¿Porqué prefiere comprar el combustible en Estados Unidos? | 57 |
| 4.2.8.2. ¿Cuándo compraría el combustible en México?..... | 57 |
| 4.2.9. ¿Porqué utiliza el vehículo particular? | 58 |
| 4.2.10. Utilización del transporte público..... | 59 |

| | |
|--|--------|
| 4.3. Descripción de los resultados de la tercera etapa | 60 |
| 4.3.1. Modelo “crecimiento del PVO en Mexicali” | 60 |
| 4.3.2. Modelo “distribución del PVO en Mexicali” | 60 |
| 4.3.3. Modelo “crecimiento del PVFL en Mexicali” | 62 |
| 4.3.4. Modelo “distribución del PVFL en Mexicali” | 62 |
| 4.3.4.1. Modelo “distribución del PVE en Mexicali” | 63 |
| 4.3.4.2. Modelo “distribución del PVFO en Mexicali” | 63 |
| 4.3.5. Modelo “emisiones de CO por VP en Mexicali” | 65 |
| 4.3.6. Modelo “emisiones de CO por el PVO en Mexicali” | 65 |
| 4.3.6.1. Modelo “emisiones de CO por VF del PVO” | 66 |
| 4.3.6.2. Modelo “emisiones de CO por VN del PVO” | 66 |
| 4.3.7. Modelo “emisiones de CO por el PVFL en Mexicali” | 67 |
| 4.3.7.1. Modelo “emisiones de CO por VE del PVFL” | 68 |
| 4.3.7.2. Modelo “emisiones de CO por el VFO del PVFL” | 68 |
| 4.3.7.2.1. Modelo “emisiones de CO por VN del PVFL” | 69 |
| 4.3.7.2.2. Modelo “emisiones de CO por VF del PVFL” | 70 |
| 4.4. Descripción de los resultados de la cuarta etapa | 72 |
| 4.4.1. Ecuaciones del modelo “crecimiento del PVO en Mexicali” | 72 |
| 4.4.2. Ecuaciones del modelo “distribución del PVO en Mexicali” | 72 |
| 4.4.3. Ecuaciones del modelo “crecimiento del PVFL en Mexicali” | 74 |
| 4.4.4. Ecuaciones del modelo “distribución del PVFL en Mexicali” | 75 |
| 4.4.5. Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VP en Mexicali” | 77 |
| 4.4.6. Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por el PVO en Mexicali” | 78 |
| 4.4.6.1. Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VF del PVO” | 78 |
| 4.4.6.2. Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VN del PVO” | 79 |
| 4.4.7. Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por el PVFL en Mexicali” | 80 |
| 4.4.7.1. Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VE del PVFL” | 80 |
| 4.4.7.2. Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por el VFO del PVFL” | 81 |
| 4.4.7.2.1. Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VN del PVFL” | 81 |
| 4.4.7.2.2. Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VF del PVFL” | 82 |
| 4.5. Descripción de los resultados de la quinta etapa | 84 |
| Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones | 88 |
| Referencias | 91 |
| Apéndice A: Instrumento de medición | 97 |
| Apéndice B: Datos de las encuestas | 99 |

Lista de figuras

| Figura | Descripción | Página |
|--------|---|--------|
| 2.1 | Representación de un diagrama causal de las relaciones entre variables: a) relación directa; b) relación inversa. | 17 |
| 2.2 | Símbolos que comúnmente se utilizan en la elaboración de los diagramas de Forrester o de Dinámica de Sistemas mediante el programa Stella. | 20 |
| 2.3 | Ciudades con estaciones automáticas de monitoreo de la calidad del aire. | 35 |
| 2.4 | Distribución, por sexo, de la población en el municipio de Mexicali en el año 2000. | 41 |
| 2.5 | Distribución, por edad, de la población en el municipio de Mexicali en el año 2000. | 42 |
| 2.6 | Distribución por zona de la población en el municipio de Mexicali en el año 2000. | 42 |
| 4.1 | Distribución de vehículos particulares, por tipo de placas, en “Plaza la Cachanilla” en el mes de abril del 2001. | 49 |
| 4.2 | Distribución de vehículos particulares, por tipo de placas, en “Plaza Nuevo Mexicali” en el mes de abril del 2001. | 50 |
| 4.3 | Distribución promedio de vehículos particulares, por tipo de placas, en ambas plazas comerciales en el mes de abril del 2001. | 50 |
| 4.4 | Distribución promedio de vehículos particulares, por tipo de placas, en ambas plazas comerciales en el mes de octubre del 2001. | 51 |
| 4.5 | Comparación de la distribución promedio de vehículos particulares, por tipo de placas, en ambas plazas comerciales durante los meses de abril y octubre del 2001. | 52 |
| 4.6 | Distribución detallada, por tipo de placa, de vehículos particulares en Mexicali en el 2001. | 52 |

| Figura | Descripción | Página |
|--------|---|--------|
| 4.7 | Distribución de vehículos particulares en los meses de abril y octubre del 2001. | 53 |
| 4.8 | Distribución del lugar de residencia. | 54 |
| 4.9 | Distribución del lugar donde labora. | 55 |
| 4.10 | Distribución de los vehículos por tipo de placa y Estado. | 55 |
| 4.11 | Distribución del tipo de combustible utilizado. | 56 |
| 4.12 | Razón por la que los conductores compran el combustible en Estados Unidos. | 57 |
| 4.13 | Razón por la que los conductores comprarían el combustible en México. | 58 |
| 4.14 | Razón por la que se utiliza el vehículo particular. | 58 |
| 4.15 | Razón para utilizar el transporte público. | 59 |
| 4.16 | Modelo representativo del crecimiento del parque vehicular oficial en la ciudad de Mexicali. | 60 |
| 4.17 | Modelo representativo de la distribución del parque vehicular oficial en la ciudad de Mexicali. | 61 |
| 4.18 | Modelo representativo del crecimiento del parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali. | 62 |
| 4.19 | Modelo representativo de la distribución del parque vehicular extranjero en la ciudad de Mexicali. | 63 |
| 4.20 | Modelo representativo de la distribución del parque vehicular foráneo en la ciudad de Mexicali. | 64 |
| 4.21 | Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos particulares en la ciudad de Mexicali. | 65 |
| 4.22 | Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por el parque vehicular oficial en la ciudad de Mexicali. | 65 |

| Figura | Descripción | Página |
|--------|---|--------|
| 4.23 | Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos fronterizos del parque vehicular oficial en la ciudad de Mexicali. | 66 |
| 4.24 | Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos nacionales del parque vehicular oficial en la ciudad de Mexicali. | 67 |
| 4.25 | Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por el parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali. | 68 |
| 4.26 | Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos extranjeros del parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali. | 69 |
| 4.27 | Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos nacionales del parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali. | 70 |
| 4.28 | Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos fronterizos del parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali. | 71 |
| 4.29 | Comparación de comportamiento del parque vehicular en la ciudad de Mexicali para tres escenarios distintos con datos de INEGI. | 84 |
| 4.30 | Resultados de una corrida a los modelos correspondientes al comportamiento del parque vehicular oficial y el parque vehicular flotante en el periodo de 1989 al 2005. | 85 |
| 4.31 | Emisiones estimadas de monóxido para la ciudad de Mexicali durante el periodo de 1989 al 2005. | 86 |

Lista de tablas

| Tabla | Descripción | Página |
|-------|--|--------|
| 2.1 | Norma 041-ECOL-1996 para vehículos que utilizan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos con peso bruto de 400kg a 3,857kg. | 28 |
| 2.2 | Norma 041-ECOL-1996 para camiones comerciales, ligeros y de usos múltiples o utilitarios hasta 3,857kg de peso bruto vehicular. | 29 |
| 2.3 | Norma 042-ECOL-1996 para vehículos que utilizan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos con peso bruto de 400kg a 3,857kg. | 30 |
| 2.4 | Norma 042-ECOL-1996 para vehículos que utilizan diesel con peso bruto de 400kg a 3,857kg. | 30 |
| 2.5 | Normas de México y Estados Unidos para regular emisiones de escape de vehículos de pasajeros. | 33 |
| 2.6 | Normas oficiales de México y Estados Unidos para regular emisiones de escape de vehículos de hasta 3,525kg de peso bruto vehicular (camionetas y camiones de carga ligeros). | 33 |
| 2.7 | Población y parque vehicular de algunas ciudades de México. | 37 |
| 2.8 | Resumen de emisiones en Mexicali 1996 (toneladas). | 38 |
| 2.9 | Emisiones totales de fuentes vehiculares 1996 (toneladas). | 39 |
| 2.10 | Crecimiento demográfico en la ciudad de Mexicali Baja California. | 43 |
| 2.11 | Comportamiento del parque vehicular en Mexicali. | 44 |

Abreviaturas y acrónimos

| | |
|--------------------------------|----------------------------|
| C ₆ H ₆ | Benceno |
| CFC | Clorofluorocarburos |
| CH ₂ O | Formaldehído |
| CH ₄ | Metano |
| CL1 | Camiones ligeros grupo 1 |
| CL2 | Camiones ligeros grupo 2 |
| CL3 | Camiones ligeros grupo 3 |
| CL4 | Camiones ligeros grupo 4 |
| CO | Monóxido de carbono |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| DS | Dinámica de Sistemas |
| H ₂ O ₂ | Peróxido de hidrógeno |
| H ₂ SO ₄ | Ácido sulfúrico |
| HC | Hidrocarburos |
| HCEV | Hidrocarburos evaporativos |
| HCNM | Hidrocarburos no metálicos |
| HCT | Hidrocarburos totales |
| N ₂ O | Óxido nitroso |
| NO | Óxido nítrico |
| NO ₂ | Dióxido de nitrógeno |
| NO ₃ | Sales de nitrato |
| NOM | Normas Oficiales Mexicanas |
| NO _x | Los óxidos de nitrógeno |
| O ₃ | Ozono |
| Pb | Plomo |

| | |
|-------------------------------|---|
| PBV | Peso bruto vehicular |
| PM10 | Partículas de materia menor a 10 micras |
| PP | Peso prueba |
| PVE | Parque vehicular extranjero |
| PVFL | Parque vehicular flotante |
| PVFO | Parque vehicular foráneo |
| PVO | Parque vehicular oficial |
| SD | Sistema Dinámico |
| SD | Sistemas Dinámicos |
| SO ₂ | Dióxido de azufre |
| SO ₃ | Trióxido de azufre |
| SO ₄ ²⁻ | Sulfato |
| SO _x | Óxidos de azufre |
| TGS | Teoría General de Sistemas |
| UABC | Universidad Autónoma de Baja California |
| VF | Vehículo fronterizo |
| VN | Vehículo nacional |
| VP | Vehículo particular |
| VU | Vehículo utilitario |
| ZMM | Zona Metropolitana de Monterrey |
| ZMVG | Zona Metropolitana del Valle de Guadalajara |
| ZMVM | Zona Metropolitana del Valle de México |
| ZMVT | Zona Metropolitana del Valle de Toluca |

Introducción

Uno de los problemas ambientales, de origen antropogénico, que ha adquirido importancia creciente en todo el mundo es el de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, que ocasionan no solamente una mala calidad del aire, sino que incluso se han visto involucrados en temas tan delicados como el cambio climático global; esta contaminación es generada sobre todo en las zonas urbanas que cuentan con una planta vehicular en mal estado, ó de industrias que generan productos de desecho.

En el mundo las emisiones anuales del sector transporte ascendieron a 1,300 millones de toneladas de dióxido de carbono (el 17% de las emisiones antropogénicas o causadas por el hombre), 120 millones de toneladas de monóxido de carbono (60% de las emisiones), 35 millones de toneladas de óxidos de nitrógeno (42% del total), 25 millones de toneladas de hidrocarburos (40%), 9 millones de toneladas de partículas (13%) y tres millones y medio de toneladas de óxidos de azufre (3%) (Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 2002).

En México, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMVG) y la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), que cuentan con más de tres millones de habitantes, son las que más contribuyen a las emisiones de monóxido de carbono. Otras ciudades como Toluca, Tijuana, Mexicali y Ciudad Juárez, que tienen una población de alrededor de un millón de habitantes, contribuyen de manera importante a estas emisiones (INE, 1999c).

En conjunto, en la ZMVM se emiten 3.1 millones de toneladas al año, le sigue la ZMM con 1.9 millones, la ZMG con 1.4 millones, Ciudad Juárez con poco mas de 600 mil, la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) con casi medio millón de toneladas y Mexicali con 400 mil toneladas por año (INE, 2000).

En términos relativos la contribución del sector transporte es en Ciudad Juárez del 88%, en la ZMVM del 85%, en la ZMG del 74%, en la ZMVT y Mexicali del 68%, y en la ZMM del 53% (INE, 1999c).

La ciudad de Mexicali enfrenta problemas de salud pública, que bien pueden estar o no asociados a la exposición de contaminantes atmosféricos. Estos contaminantes podrían ser un factor que contribuye a la presencia de ciertas patologías en la población residente en esta ciudad, entre las cuales, se pueden incluir; dolor de cabeza, vértigo, náuseas y fatiga (Aronow, 1974) así como irritación de ojos, nariz y garganta (Romieu, 1996).

Las condiciones que han impactado la salud ambiental en la ciudad son: la rápida urbanización sin el adecuado desarrollo de la infraestructura de salud y medio ambiente; el incremento de las actividades manufactureras e industriales; el incremento del tránsito vehicular interfronterizo que ha dado como resultado un incremento de la contaminación del aire proveniente de fuentes móviles, ocasionado por el congestionamiento que se presenta para cruzar la frontera y calles sin pavimentar (INE, 1999a).

En el aire, se vierten diariamente grandes cantidades de contaminantes. Hoy en día, la principal fuente emisora de estos contaminantes son los vehículos, ya que las emisiones industriales tienden a disminuir por la implantación de nuevas tecnologías menos contaminantes y por el desplazamiento progresivo de las industrias fuera del núcleo urbano.

Puede constatar que las vías de circulación densamente transitadas son susceptibles de sufrir niveles de contaminación atmosférica elevados, especialmente en invierno y principios de primavera, cuando los contaminantes se dispersan con mayor dificultad. En Mexicali, durante 1998 se presentaron valores máximos de monóxido de carbono mayores a la norma Mexicana (establecida en 11 ppm) alcanzando un valor de 37 ppm en el mes de diciembre (Fierro, 2002).

La cantidad de gases emitidos por los vehículos depende de diferentes factores como son: El tipo de vehículo, ya que aspectos como la potencia o el tipo de gasolina que utilice determinará el volumen y los tipos de contaminantes emitidos; El tipo de vía por donde se circula ya que afecta al consumo de combustible y a la velocidad de circulación; Las características propias de la conducción, aceleraciones, frenazos entre otros que afectan al consumo de combustible (INE, 1999a).

Resultados publicados por el Instituto Nacional de Ecología en el segundo y tercer informes de calidad del aire en ciudades mexicanas muestran que la ciudad de Mexicali ocupó, en 1997, el primer lugar nacional en rebasar la norma para el monóxido de carbono en 51 de los días del año (15%) (INE, 1998) y, de manera consecutiva, en 1998 rebasó la norma en 77 días del año (21%) (INE, 1999c).

La ciudad de Mexicali, se ubica a nivel nacional como uno de los centros urbanos con mayor índice de vehículos por habitante; un vehículo por cada tres habitantes. El parque vehicular oficialmente registrado en Mexicali en el año 1989, según Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, fue de 202,357 unidades mientras que en el año 2003 esta cantidad se elevó a 453,930 vehículos.

Estos vehículos cuentan con varios años de uso y en su gran mayoría han sido modificados en sus sistemas anticontaminantes, predominando los automóviles particulares con el (70% del parque vehicular). La edad de más del 45% del parque vehicular correspondía a modelos 1980 y anteriores, 48% eran modelos de 1981 a 1990 y casi el 4% eran modelo 1991 y posteriores (INE, 1999a).

Puede considerarse que los residentes de la ciudad de Mexicali, están expuestos a niveles dañinos de contaminantes atmosféricos entre los cuales se incluye el monóxido de carbono como uno de los más importantes.

En la actualidad, se utiliza el programa MOBILE5-Mexico para estimar las emisiones en la ciudad de Mexicali. Este programa calcula los factores de emisión en gramos por kilómetro recorrido para monóxido de carbono en ocho tipos de vehículos que utilicen como combustible gasolina o diesel en cinco regiones de México. El valor específico de emisión depende de varias condiciones como la temperatura, velocidad promedio de conducción, modelo de los vehículos en circulación, volatilidad del combustible, distancia promedio recorrida entre otras. Con el programa MOBILE5-Mexico pueden estimarse factores de emisión entre los años 1960 y 2020 (Eastern Research Group and Radian International, 2000).

Por otra parte, la Dinámica de Sistemas es una herramienta que utiliza el enfoque de sistemas para identificar no solo los aspectos físicos de un proceso, sino también a las políticas y a las tradiciones, ambas tangibles e intangibles que forman parte en la toma de decisiones.

En este caso, el interés vital es entender como los mecanismos generativos de un modelo de dinámica de sistemas pueden utilizarse para representar, predecir y de alguna forma explicar parte del problema real.

En el presente trabajo se aplicó la Dinámica de Sistemas como metodología para el desarrollo de un modelo que permita no solo estimar los niveles de monóxido de carbono en la zona urbana, sino también entender cómo se deteriora la calidad del aire derivada de las emisiones de un creciente número de vehículos, muchos de los cuales son anticuados y carecen de un mantenimiento apropiado.

Para su realización, se analizaron diversas fuentes de información vehicular local y nacional, así como también se analizaron y compararon las Normas Oficiales de emisión vehicular tanto de México y los Estados Unidos.

Además, se realizaron dos conteos de vehículos en la ciudad de Mexicali, para determinar la distribución del parque vehicular en cuanto al lugar de registro de la

unidad, y se encuestó a una muestra de conductores para determinar; sus preferencias por el tipo, cantidad y lugar donde adquieren el combustible para sus unidades, la distancia que recorren por día así como el tiempo que utilizan para ello y su desplazamiento a través de la frontera entre México y los Estados Unidos.

Capítulo 1

Objetivos

1.1 Objetivo general

Analizar la problemática actual de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos automotores en la ciudad de Mexicali con el propósito de determinar los factores que más contribuyen a la misma y que permitan modelar y simular los volúmenes de emisión de monóxido de carbono.

1.2 Objetivos específicos

1. Aplicar la Dinámica de Sistemas como metodología para elaborar un modelo que permita simular las emisiones vehiculares de monóxido de carbono en la zona urbana de la ciudad de Mexicali.
2. Conocer la relación población-vehículos existente en la ciudad de Mexicali.
3. Conocer los volúmenes oficiales de monóxido de carbono que se emiten en la ciudad de Mexicali.
4. Determinar la distribución de los vehículos particulares que circulan en la ciudad de Mexicali según el tipo de placa.
5. Determinar la distribución de los vehículos particulares que circulan en la ciudad de Mexicali según el lugar de residencia y trabajo.
6. Determinar la edad promedio del parque vehicular particular en la ciudad de Mexicali.
7. Determinar el tiempo y desplazamiento diario de los usuarios de vehículos particulares en la ciudad de Mexicali.
8. Determinar el tipo y la cantidad de combustible que utilizan los usuarios de vehículos particulares en la ciudad de Mexicali.

9. Determinar el efecto de las políticas de precios en los combustibles sobre las preferencias de los usuarios de vehículos particulares en la ciudad de Mexicali.
10. Determinar las preferencias de los usuarios por el uso de vehículos automotores en la ciudad de Mexicali.

Capítulo 2

Esquema de fundamentos

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Sistema

Es un conjunto de componentes interrelacionados que poseen un límite y funcionan como una unidad. Es cualquier conjunto de materiales y procesos que se comunican para realizar una serie de funciones. Un sistema es un conjunto de procesos interconectados caracterizado por muchas vías recíprocas de causa-efecto (Grant *et al.*, 1997).

Se entiende por sistema un conjunto de partes operativamente interrelacionados en el que interesa considerar fundamentalmente su comportamiento global. Un sistema real puede entenderse como una fuente de datos observables de comportamiento (Zeigler *et al.*, 1976).

También se entiende por sistema como una unidad cuyos elementos interaccionan juntos, ya que continuamente se afectan unos a otros, de modo que operan hacia una meta común. Es algo que se percibe como una identidad que lo distingue de lo que la rodea, y que es capaz de mantener esa identidad a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes (Aracil y Gordillo, 1997).

2.1.2 Sistema Dinámico

Un Sistema Dinámico (SD) se caracteriza por un conjunto de variables relacionadas, que pueden evolucionar con el tiempo en una forma predecible, suponiendo que las influencias externas que actúan sobre el sistema sean conocidas. La evolución de datos observados a lo largo del tiempo se ha formalizado en el concepto de sistema dinámico (Cook, 1994).

2.1.3 Análisis de sistemas

Grant *et al.* (1997) lo definen como la aplicación del método científico a problemas relacionados con sistemas complejos utilizando un conjunto de teorías y técnicas que sirven para estudiar, describir y hacer predicciones acerca de sistemas complejos, y que frecuentemente hace uso de la matemática avanzada, procedimientos estadísticos y computadoras.

2.1.4 Dinámica de Sistemas

La Dinámica de Sistemas (DS) es una metodología para estudiar, mediante la simulación por computadora, sistemas complejos, difíciles de percibir e imposibles de hacer pruebas (Grant *et al.*, 1997).

2.1.5 Modelo

Un modelo es una abstracción de la realidad. Es una descripción formal de un sistema de interés y que puede ser física o matemática (Jeffers, 1978).

El término modelo tiene significados diferentes en las distintas comunidades científicas incluyéndose modelos físicos, modelos simbólicos informales, diagramas, modelos matemáticos o modelos simbólicos formales.

En palabras de Bunge (1981), todo modelo teórico es parcial y aproximativo: no capta sino una parte de las particularidades del objeto representado, y por esta razón fracasará antes o después. Esa idea de limitación o caducidad de un modelo lleva a un doble enfoque del concepto de modelo: uno, más tradicional, que lo expresa en singular, el modelo; y una concepción dinámica que considera el modelo como un estado particular en la modelación, estado en el que se cumplen unos criterios previos de especificación. Se tienen así varios modelos graduales o de distintos niveles. En cada nivel, la modelación puede considerarse como la realización de dos funciones: una de abstracción y otra de transformación de datos (Breuker y Wielinga, 1989).

2.1.6 Simulación

Simulación es el uso de un modelo para imitar o describir paso a paso el comportamiento del sistema de interés. Los modelos de simulación están compuestos de una serie de operaciones aritméticas y lógicas que, en conjunto, representan la estructura (estado) y el comportamiento (cambio de estado) del sistema (Patten, 1971).

Es el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo (Azarang y Gracia, 1997).

Consiste en la construcción de un programa de computadora que describa el comportamiento de un sistema de interés, o refleje el modelo que lo representa, y con el cual se pueda experimentar para llegar a conclusiones que apoyen la toma de decisiones (Ríos *et al.*, 2000).

2.1.7 Monóxido de carbono

Es una combinación de carbono y oxígeno en una atmósfera con insuficiencia de aire. Es un gas incoloro e inodoro, más ligero que el aire, que se quema con una llama azulada produciendo ácido carbónico. Es muy estable y tiene una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses (Wark y Warner, 1998). Químicamente inerte en condiciones normales que, en bajas concentraciones, no produce ningún daño; sin embargo, en concentraciones superiores a la norma establecida para este contaminante, puede afectar seriamente el metabolismo respiratorio dado la alta afinidad de la hemoglobina por éste compuesto (Instituto Nacional de Ecología, 2003).

2.2 Marco teórico

2.2.1 La Teoría General de Sistemas

La teoría general de sistemas (TGS) es el resultado del trabajo del biólogo alemán Ludwig von Bertalanffy quién, desde 1924, venía elaborando una teoría interdisciplinaria capaz de trascender a los problemas tecnológicos de cada ciencia y suministrar principios (sean físicos, biológicos, psicológicos, sociológicos, químicos, etcétera) y modelos generales para todas las ciencias abarcadas, de modo que, los descubrimientos realizados en cada ciencia pudieran ser utilizados por los demás (Chiavenato, 1981).

Su importancia radica en la forma cómo nos enseña a observar el mundo que nos rodea, ya no de una manera reduccionista, sino desde un enfoque más general. En vez de practicar una visión reducida del mundo real, la Teoría de Sistemas plantea la necesidad de visualizarlo desde una perspectiva integral, holística (del griego "holos" que significa entero) con la finalidad, primero, de comprenderlo adecuadamente, y en segundo lugar para que a partir de esa comprensión, se pueda establecer un abordaje pertinente de la situación existente en busca de soluciones y planteamientos adecuados a cada situación concreta.

2.2.1.1 Orígenes de la teoría general de sistemas

La teoría general de sistemas puede remontarse probablemente, a los orígenes de la ciencia y la filosofía, siglos antes de Cristo. Es innovadora y oportuna para los tiempos actuales y futuros, porque los eventos que se vienen suscitando en el mundo se vuelven cada vez más complejos, requiriendo ello de una visión integral. Surge en consecuencia un paradigma que practica una visión y el estudio integral de los acontecimientos y fenómenos que se dan en el mundo real. Ese paradigma es el denominado de Sistemas, siendo una base teórica la Teoría de Sistemas.

Aristóteles afirmó que "el todo es más que la suma de sus partes", ésta es la definición del problema básico de un sistema, el cual todavía hoy en día es válido. En los siglos XVI y XVII durante la revolución científica Galileo declaró que para

lograr la solución de cualquier problema se debería dividir el mismo en la mayor cantidad de elementos posibles y que la suma de las soluciones de cada pequeño problema supondría la solución del problema total.

Algunas de las ideas predicadas por la teoría general de sistemas pueden atribuirse al filósofo alemán, George Whilhem Friedrich Hegel (1770-1831):

- El todo es más que la suma de las partes.
- El todo determina la naturaleza de las partes.
- Las partes no pueden comprenderse si se consideran en forma aislada del todo.
- Las partes están dinámicamente interrelacionadas o son interdependientes.

La idea de la teoría general de sistemas fue desarrollada por L. von Bertalanffy alrededor de 1930, él propuso la teoría de sistemas abiertos, esto es, sistemas que intercambian información con el medio ambiente como todo sistema vivo lo hace. En 1954 se organizó la sociedad para el avance de la TGS, y en 1957 cambió su nombre por el de la sociedad para la investigación general de sistemas.

2.2.1.2 El enfoque de sistemas

Más que investigar problemas particulares de contenido e intentar asignar causas específicas, la teoría general de sistemas se interesa en las preguntas relacionadas con la estructura, proceso, conducta, interacción, función y lo análogo.

Los objetivos originales de la teoría general de sistemas son los siguientes:

- Impulsar el desarrollo de una terminología general que permita describir las características, funciones y comportamientos del sistema en general.
- Desarrollar un conjunto de leyes aplicables a todos estos comportamientos.

- Promover la unidad de las ciencias y obtener la uniformidad del lenguaje científico.

Según von Bertalanffy (1986), la teoría no debe entenderse en su sentido matemático, por lo que él distingue tres aspectos fundamentales:

1. La ontología de sistemas: se preocupa de problemas tales como el distinguir un sistema real de un sistema conceptual. Los sistemas reales son por ejemplo: Galaxias, perros, células y átomos. Los sistemas conceptuales son: la lógica, las matemáticas, la música y en general toda la construcción simbólica.
2. La epistemología de sistemas: marca la diferencia entre que la física sea el lenguaje único de la ciencia y la reflexión para explicar la realidad de las cosas, que es lo que busca la TGS.
3. La filosofía de valores de sistemas: se preocupa de la relación entre los seres humanos y el mundo, ya que la imagen del ser humano será diferente si se entiende al mundo de una forma abstracta y científica.

Puede considerarse a la teoría general de sistemas como una ciencia de la globalidad, en donde las ciencias rigurosas y exactas como la ingeniería y la organización pueden convivir con las ciencias humanas como las ciencias políticas y morales, la sociología, la psicología o las que por su juventud han sido integradas casi desde su nacimiento, como la informática, la inteligencia artificial y la ecología.

2.2.2 La Dinámica de Sistemas

La dinámica de sistemas, originalmente conocida como Dinámica Industrial, se le atribuye a Jay Forrester quien desarrolló una teoría de realimentación de la información y control como un medio de evaluación empresarial y otros contextos organizacionales y sociales.

Las ideas esenciales son muy básicas. Argumenta que cualquier situación puede ser considerada como un complejo, principalmente en términos de sus elementos y relaciones. Se deben incluir todos los elementos influyentes dentro de un límite de tal forma que al conectarlos formen lazos por lo que es de importancia considerar el análisis de la realimentación.

El enfoque de la Dinámica de Sistemas hace énfasis en la estructura y en los procesos dentro la misma, asumiendo que así es como mejor puede ser caracterizado el comportamiento dinámico del mundo real. Así pues, considera que este comportamiento es causado por la estructura (teoría de la estructura y el comportamiento dinámico de los sistemas).

La estructura no incluye solo aspectos físicos de una planta o procesos de producción, sino también a las políticas y a las tradiciones, ambas tangibles e intangibles que forman parte en la toma de decisiones.

El análisis de una situación puede ser emprendida a partir de un punto de vista externo y que la estructura y dinámica de los procesos del mundo real pueden ser recreados tanto como un diagrama de sistemas o un modelo matemático. En este caso el interés vital es entender como los mecanismos generativos de un modelo de Dinámica de Sistemas pueden utilizarse para representar, predecir y de alguna forma explicar parte de la realidad.

En el marco organizacional, muchas situaciones sociales y empresariales pueden caracterizarse por la complejidad en la estructura de sus elementos y los múltiples lazos casuales de realimentación que existe entre los elementos. La salida de un elemento puede ser la entrada de otro elemento y así a lo largo del extenso complejo de intercambios.

La representación de un modelo de dinámica de sistemas representa un paso hacia la codificación en una computadora, la cual permite simular un conjunto de

interacciones y la interconexión de los lazos, creando así una proyección hacia el futuro del sistema.

Es posible determinar los cambios estructurales del modelo y el control de las entradas (perturbaciones del modelo) como si tuviéramos la capacidad real sobre la situación del sistema, habilitándonos para evaluar nuestras ideas y planes y esto, permitirá introducir los planes que, según la simulación, nos ofrece una salida deseable y no aplicar las ideas que evitarían eso.

2.2.2.1 La metodología de Dinámica de Sistemas

Forrester desarrolló esta metodología durante la década de los cincuenta. La primera aplicación fue el análisis de la estructura de una empresa norteamericana, y el estudio de las oscilaciones muy acusadas en las ventas de esta empresa, publicada como "Industrial Dynamics".

En 1969 se publica la obra "Dinámica Urbana", en la que se muestra cómo el "modelado DS" es aplicable a sistemas de ciudades. En 1970, aparece "El modelo del mundo", trabajo que sirvió de base para que Meadows *et al.* (1972) realizaran el Informe al Club de Roma, divulgado posteriormente con el nombre de "Los límites del Crecimiento". Estos trabajos y su discusión popularizaron la Dinámica de Sistemas a nivel mundial.

Forrester (1961) estableció un paralelismo entre los sistemas dinámicos (o en evolución) y uno hidrodinámico, constituido por depósitos, intercomunicados por canales con o sin retardos, variando mediante flujos su nivel, con el concurso de fenómenos exógenos. Todos estos elementos tienen su correspondiente símbolo propio en la Dinámica de Sistemas.

Grant *et al.* (1997) establecen que existen diversos esquemas para aplicar el análisis de sistemas. Sin embargo, éstos se diferencian en los detalles como el

número o el nombre de los pasos, pero todos se basan en la teoría general de sistemas.

Por lo general se utilizan cuatro etapas para el desarrollo y uso de un modelo:

- Desarrollo del modelo conceptual.
- Desarrollo del modelo cuantitativo (matemático).
- Evaluación del modelo.
- Uso del modelo.

2.2.2.2 Los modelos de Dinámica de Sistemas

Estos modelos se utilizan en sistemas complejos cuando se han de proponer acciones para solucionar un problema del que casi no se tiene datos sobre su situación presente y son escasos los de tipo histórico.

El esquema que plantea Forrester (1961) se basa en la creencia de que el mundo real y los sucesos que ocurren en él tienen una racionalidad que puede ser explicada mediante relaciones causales de flujos y niveles.

El flujo está referido a la relación de una variable con el tiempo, haciendo que los niveles aumenten o disminuyan. Los flujos pueden ser número de vehículos que circulan al mes, el número de empresas creadas al año, el valor de incremento o decremento de la calidad de vida de la población al año, etcétera.

El nivel está referido al valor puntual, de acumulación o desacumulación de una variable en el tiempo, valor que es influenciado por el flujo. Usualmente una variable se convierte en variable-nivel, si ésta es una variable crítica para el modelo. Ejemplos son la población, la cantidad de empresas existentes, etcétera.

Uno de los aspectos interesantes de Forrester es su propuesta de modelar el mundo real mediante diagramas causales, los mismos que luego son traducidos a

los diagramas de Forrester y finalmente dichos diagramas son puestos en lenguaje computacional haciendo uso de lenguajes especializados como Dynamo, Stella o Vensim.

A partir de la posibilidad de plasmar estos modelos en la computadora, es posible hacer prospectiva que permita especular sobre diversos cursos de acción y comportamientos del sistema, lo cual puede ayudar en gran medida a establecer procesos de aprendizaje sobre las diversas facetas del comportamiento del sistema de interés.

2.2.2.2.1 Los diagramas causales

Los diagramas causales permiten modelar procesos que se dan en el mundo real. La forma como opera un diagrama causal se basa en la idea de que existen relaciones directas e inversas entre variables.

Una relación es directa, cuando al aumentar (o bajar) el valor de la variable “causa”, la variable “efecto” también aumenta (o disminuye) su valor. Cuando este tipo de relación se da, se le representa a través de una flecha con un signo “+”, figura 2.1a.

Cuando la relación es inversa, al aumentar (o bajar) el valor de la variable “causa”, la variable “efecto” disminuye (o aumenta) su valor respectivamente. Cuando se da este tipo de relación, se le representa a través de una flecha y un signo “-”, figura 2.1b.



Figura 2.1. Representación en un diagrama causal de las relaciones entre variables: (a) relación directa; (b) relación inversa.

2.2.2.2 Los procesos de realimentación

En un proceso con realimentación positiva las relaciones causales existentes entre las variables son todas directas o el número de relaciones inversas es un número par. El efecto de este tipo de proceso tiene la forma de una función exponencial que teóricamente tiende al infinito, de no establecerse un mecanismo que lo controle.

En un proceso con realimentación negativa la cantidad de relaciones inversas es impar. El efecto es aquel cuyo comportamiento trata de ajustarse a una meta u objetivo determinado previamente, quedando el sistema estable una vez que consigue su objetivo teniendo un comportamiento asintótico.

Un proceso con realimentación en S combina los procesos de realimentación positiva y negativa, de manera que la resultante es una función combinada exponencial y asintótica.

2.2.2.3 Los tipos de variables

Existen diversos tipos de variables en los modelos de dinámica de sistemas, las cuales puestas de manera interrelacionada permiten modelar el mundo real en términos dinámicos y bajo un esquema global.

Entre las variables que intervienen en un modelo de dinámica de sistemas se pueden distinguir las siguientes:

- Niveles o variables de estado: son acumulables o desacumulables en el tiempo y toman un valor en un punto determinado del mismo. La acumulación o desacumulación se hace a través de los flujos.
- Flujos: son velocidades de algunas variables en relación al tiempo. Los flujos pueden ser de entrada o de salida a un nivel determinado. Esta velocidad hace que el nivel se acumule o se desacumule a través del tiempo.
- Variables auxiliares: son aquellas que permiten establecer nexos entre los flujos y niveles que no guardan una relación similar en

cuanto a las unidades que manejan. Cuando esto ocurre, las variables auxiliares juegan un papel importante para poder construir e integrar adecuadamente el modelo de dinámica de sistemas.

- Tablas: son variables auxiliares que permiten establecer el comportamiento de una variable dependiente en función de una independiente, de manera que de acuerdo a cómo se comporte la variable independiente, se ha de comportar la variable dependiente. Para la construcción de las tablas que se utilizan en un modelo de dinámica de sistemas se toma información del mundo real, estableciéndose tablas empíricas del comportamiento de las variables.
- Parámetros o tasas: son variables que adoptan un valor específico y que contribuyen en el comportamiento de los flujos. Se denominan parámetros o tasas porque pueden cambiar de valor de acuerdo a las preferencias del modelador en un momento dado. El cambio de los valores de las tasas puede afectar significativamente el comportamiento de un flujo y por lo tanto el comportamiento del sistema total, lo cual puede apreciarse al momento de simular el comportamiento del sistema a través de la computadora.
- Constantes: son aquellas que adoptan un valor determinado y debe permanecer con ese valor a lo largo de toda la simulación del modelo.
- Variables externas: son aquellas que afectan al sistema pero no se ven afectadas por el resto del mismo.

Los diagramas causales constituyen un lenguaje sistémico muy adecuado para ver las diversas interrelaciones directas e inversas que existen en una situación determinada, una representación del mundo real.

2.2.2.2.4 La simbología de Dinámica de Sistemas

Los diagramas de Forrester permiten expresar más claramente el tipo de variables que componen un modelo de Dinámica de Sistemas, determinando gráficamente que variables son niveles, flujos, variables auxiliares, tasas, tablas, constantes o variables exógenas. Mediante el programa Stella es posible la elaboración de diagramas de Dinámica de Sistemas utilizando la simbología común de Forrester, figura 2.2 (Grant *et al.*, 1997).

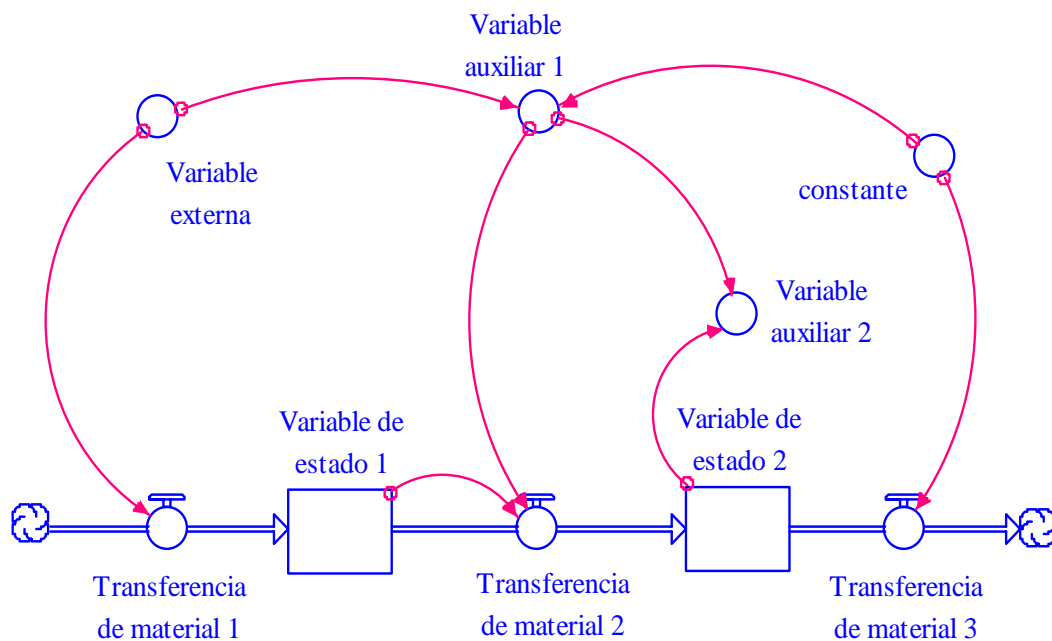


Figura 2.2. Símbolos que comúnmente se utilizan en la elaboración de los diagramas de Forrester o de Dinámica de Sistemas mediante el programa Stella.

2.2.3 La contaminación del aire

Es uno de los principales problemas de nuestra sociedad y se remonta a la época en que el hombre aprendió a utilizar el fuego. El desarrollo tecnológico, el crecimiento demográfico y la industrialización son, entre otros factores, los que

contribuyen a que se liberen al ambiente grandes cantidades de sustancias químicas, sintéticas y naturales (George, 1980).

La exposición a los contaminantes del aire puede sobrecargar o deteriorar las defensas naturales del hombre ocasionando o contribuyendo a la aparición de varias enfermedades respiratorias, como cáncer pulmonar, bronquitis crónica y enfisema. Los niños, las mujeres embarazadas, los senectos y las personas con enfermedades del corazón, asma u otras enfermedades respiratorias son especialmente vulnerables a la contaminación del aire.

Los efectos de la contaminación ambiental sobre la salud pueden adoptar diversas formas, sin embargo, pueden agruparse en tres categorías (Turk *et al.*, 1987):

1. Enfermedad aguda, susceptible de causar la muerte.
2. Enfermedad crónica, como bronquitis crónica, enfisema pulmonar o asma.
3. Síntomas desfavorables generales e irritaciones, incluidos malestar general, estado nervioso, irritación de los ojos y reacciones molestas a olores ofensivos.

Cerca del 95% de la masa del aire de la tierra se encuentra en la capa más interna, conocida como troposfera, que se extiende en promedio unos 17 km por encima de la superficie terrestre. Conforme el aire limpio se mueve sobre la superficie terrestre, colecta diversas sustancias químicas producidas de forma natural y por actividades humanas.

Una vez en la troposfera, estos contaminantes se mezclan vertical y horizontalmente, reaccionando de modo químico entre sí o con componentes naturales de la atmósfera.

Los movimientos del aire y la turbulencia ayudan a diluir los contaminantes potenciales, no siendo el caso de los de larga duración, los cuales son

transportados a grandes distancias antes de que regresen a la superficie de la tierra como partículas sólidas, gotas de líquido o sustancias químicas disueltas en la precipitación.

2.2.3.1 Principales tipos de contaminantes del aire

Son cientos los contaminantes del aire que se encuentran en la troposfera. Sin embargo, nueve clases de contaminantes son los que ocasionan la mayor parte de la contaminación del ambiente (G. Tyler, 1994):

1. Óxidos de carbono: monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂).
2. Óxidos de azufre: dióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre (SO₃).
3. Óxidos de nitrógeno: óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxido nitroso (N₂O).
4. Compuestos orgánicos volátiles: metano (CH₄), benceno (C₆H₆), formaldehído (CH₂O), clorofluorocarburos (CFC) y halones que contienen bromo.
5. Materia particulada suspendida: polvo, hollín, polen, asbestos y plomo, arsénico, cadmio, sales de nitrato (NO₃), sulfato (SO₄²⁻), así como gotículas de sustancias químicas líquidas como el ácido sulfúrico (H₂SO₄), petróleo, PCB (bifenilos policlorados), dioxinas y varios plaguicidas.
6. Oxidantes fotoquímicos: ozono (O₃), PAN (peroxiacil nitratos), peróxido de hidrógeno (H₂O₂), radicales hidroxilo (OH) y aldehídos, como el formaldehído (CH₂O) que se producen en la atmósfera por la reacción del oxígeno, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos volátiles bajo la influencia de luz solar.
7. Sustancias radiactivas: radón 222, yodo 131, estroncio 90, plutonio 239 y otros radioisótopos que entran a la atmósfera como gases o materia particulada en suspensión.

8. Calor: producido cuando cualquier clase de energía se transforma de una clase a otra, especialmente cuando los combustibles fósiles son quemados en los automotores, fábricas, casas y plantas de energía.
9. Ruido: originado por los vehículos de motor, aviones, trenes, maquinaria industrial, maquinaria de construcción, cortadoras de pasto, aspiradoras, sirenas de aviso, audífonos, radios, y conciertos en vivo entre otros.

Las fuentes de contaminación atmosférica se clasifican en naturales y antropogénicas. Las fuentes naturales son producidas sin la intervención del hombre y por lo general son de gran magnitud y alcanzan grandes distancias, tal es el caso de los incendios forestales.

Por otra parte, las fuentes antropogénicas son causadas por las actividades humanas y se concentran en las zonas urbanas. Estas fuentes se clasifican a su vez en fijas y móviles. Las fijas incluyen plantas de energía tanto comerciales como domésticas e industrias de procesos. Las fuentes móviles incluyen vehículos, aviones, trenes entre otros.

Las fuentes que involucran una combinación de fuentes móviles y fijas se denominan fuentes compuestas. Por otra parte, las fuentes que representan una concentración apreciable de fuentes móviles relacionadas con su operación se denominan fuentes indirectas, entre las cuales se encuentran las carreteras, centros comerciales, complejos deportivos entre otros.

2.2.3.2 Principales contaminantes emitidos por vehículos

En las zonas urbanas, se vierten diariamente toneladas de contaminantes, en la actualidad la principal fuente emisora de estos son los vehículos. El lento movimiento en las calles congestionadas provoca un consumo más elevado de combustible y por lo tanto mayores emisiones de contaminantes.

Puede constatar que las vías de circulación densamente transitadas son susceptibles de sufrir niveles de contaminantes atmosféricos elevados, especialmente en invierno, cuando las inversiones térmicas no permiten la dispersión de los contaminantes. A continuación se presentan los principales contaminantes atmosféricos emitidos por vehículos.

2.2.3.2.1 Humos negros

Están formados principalmente por partículas de carbón y de hidrocarburos no quemados; son característicos de los motores de diesel y se hacen muy evidentes al observar el escape de un motor mal regulado (G. Tyler, 1994).

2.2.3.2.2 Hidrocarburos

Los hidrocarburos (HC) son productos orgánicos que se generan por una combustión incompleta de carburantes los cuales son dañinos para la salud y el ambiente; existe evidencia de que algunos hidrocarburos carcinógenos se forman durante esta combustión incompleta (Quadri, 1992).

Una parte de los hidrocarburos emitidos proviene de las pérdidas de vapor de los combustibles, que se tienen en el recorrido entre el tanque y los cilindros; otra parte se forma durante la combustión, a causa de un reajuste de los átomos de carbono e hidrógeno debido a las elevadas condiciones de temperatura y presión (Caselli, 2000).

Además estos compuestos, en combinación con los óxidos de nitrógeno y en presencia de la luz solar, forman oxidantes fotoquímicos que son componentes de la niebla fotoquímica (Quadri, 1992).

2.2.3.2.3 Óxidos de nitrógeno

El nitrógeno forma siete diferentes óxidos, de los cuales sólo el óxido nítrico (NO) y el bióxido de nitrógeno (NO₂) se presentan como contaminantes importantes del aire, aunque otras cuatro variedades pueden también participar en el conjunto de

reacciones que provocan los oxidantes fotoquímicos. Los óxidos de nitrógeno (NO_x) que se forman durante la combustión son el producto de la oxidación de nitrógeno atmosférico, o bien de la oxidación del nitrógeno orgánico del combustible.

En el primer caso, la producción de NO_x se favorece a medida que aumenta la temperatura y, como resultado de esta dependencia, la producción de NO y NO_2 es función también de la relación aire-combustible; es decir de la proporción que guardan el aire y el combustible en la mezcla (Quadri, 1992).

2.2.3.2.4 Óxidos de azufre

Los óxidos de azufre (SO_x) gaseosos se presentan como bióxido de azufre (SO_2) y trióxido de azufre (SO_3). Las emisiones de estos compuestos provienen principalmente de la combustión, como resultado de la oxidación de azufre inorgánico y orgánico contenido en los combustibles (Quadri, 1992).

2.2.3.2.5 Plomo

En el aire, el plomo (Pb) se encuentra en estado sólido y forma parte de las partículas suspendidas. Proviene principalmente de los aditivos plomados de la gasolina (Quadri, 1992).

2.2.3.2.6 Monóxido de carbono

El monóxido de carbono (CO) es un subproducto que se genera por la combustión incompleta del carburante producido por la falta de oxígeno (Instituto Nacional de Ecología, 2003). Se trata de un gas tóxico, inodoro e incoloro, cuya presencia en los embotellamientos de tráfico puede ser elevado (Atmospheric Chemistry and Quality Glossary, 1999).

2.2.3.2.6.1 Los efectos del CO en la salud

El monóxido de carbono es un producto típico de la actividad automotriz, que aumenta su peligrosidad por ser inodoro e incoloro; el peligro tiene que ver con su facilidad para combinarse con la hemoglobina de los glóbulos rojos.

El monóxido de carbono inhalado se combina con la hemoglobina para formar una molécula de carboxihemoglobina. La hemoglobina normalmente transporta el oxígeno a todos los tejidos del cuerpo pero al combinarse con el monóxido de carbono, no puede desempeñar esta función.

Como resultado, el envenenamiento por monóxido de carbono priva al cuerpo de oxígeno, creando rápidamente una situación que atenta contra la vida. Los efectos tóxicos de esta sustancia varían con la duración que tenga la exposición, la concentración de gas inhalado y el estado físico de la víctima, especialmente sus ritmos respiratorio y circulatorio (Wark y Warner, 1998).

Cuando abunda el monóxido de carbono, el aire llega envenenado a los pulmones. Con una pequeña dosis de monóxido de carbono de sólo 0,01 % cuando se le inhala con cierta frecuencia, los síntomas pueden fluctuar desde fatiga, cefalea e irritabilidad, hasta cambios de carácter, amnesias parciales, vértigo, náuseas y otras disfunciones, por ejemplo en el sueño y la visión; si el porcentaje llega al 0,5 % y se prolonga una hora o más, los daños serán muy graves, sobre todo para niños pequeños, mujeres embarazadas y personas mayores. Si alcanzara el 1%, acarrearía un colapso respiratorio acompañado de convulsiones, pérdida de conciencia y muerte muy pronta (Wark y Warner, 1998).

Pero estos no son los únicos problemas, además los agentes contaminantes dañan de forma irreversible las cilias que se encuentran en bronquios y bronquiolos y que nos permiten detener grandes toneladas de microbios.

El monóxido de carbono no es el único destructor de nuestra respiración, existen además: el dióxido de carbono, el plomotetraetilo y ciertas sustancias oxidantes (todos emitidos por los tubos de escape), junto con el dióxido de azufre que deriva en ácido sulfúrico y los óxidos nitrogenados que derivan en ácido nítrico (responsables estos dos de la lluvia ácida) y por último el ozono, que es necesario

en la atmósfera, pero que a la altura de la vida humana es altamente tóxico (G. Tyler, 1994).

2.2.3.3 El tipo de contaminante de un vehículo a gasolina

El tipo de contaminante de un vehículo a gasolina es el siguiente:

- Carga de combustible: durante el llenado del tanque de combustible, los hidrocarburos que se encuentran en fase de vapor son empujados hacia el exterior.
- Motor apagado: el motor permanece caliente por un periodo de tiempo después de haber sido apagado, produciendo evaporación de gasolina cuando el automóvil está estacionado.
- Pérdidas en movimiento: el motor caliente y el sistema de escape, vaporizan gasolina cuando el automóvil está en movimiento, estas pérdidas ocurren generalmente en autos carburados.
- Diurna: la evaporación de gasolina aumenta con el incremento de la temperatura durante el día; el tanque de combustible se calienta, produciendo vapores de gasolina mismos que tienden a escaparse al ambiente.

La cantidad de gases emitidos por los vehículos depende de los siguientes factores:

- El tipo de vehículo, ya que aspectos como la potencia o tipo de gasolina que utilice determinarán el volumen y los tipos de contaminantes emitidos.
- El tipo de vía por donde circula, ya que afecta, por ejemplo, al consumo de combustible y a la velocidad de circulación.
- Las características propias de la conducción, como las manera de acelerar y de frenar, que afectan al consumo de combustible.

2.2.3.4 Normatividad Mexicana para emisiones vehiculares

A finales de los años ochenta se empezó a construir una infraestructura normativa y regulatoria para combatir los altos niveles de contaminación del aire por emisiones vehiculares.

A partir de la creación de la Ley de Metrología y Normalización estas normas se convirtieron en Normas Oficiales Mexicanas (NOM), y posteriormente fueron modificadas en función de las nuevas posibilidades tecnológicas de las empresas automotrices en México.

2.2.3.4.1 Norma Oficial Mexicana 041-ECOL-1996

Esta norma, para vehículos en circulación, establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno y nivel mínimo y máximo de dilución que provienen de vehículos automotores en circulación y que usan gasolina como combustible (Diario Oficial de la Federación, 1998). Los niveles máximos permisibles están en función del año, modelo, peso y uso de los vehículos automotores, tablas 2.1 y 2.2.

Tabla 2.1. Norma 041-ECOL-1996 para vehículos que utilizan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos con peso bruto de 400kg a 3,857kg.

| Año y modelo del vehículo | Hidrocarburos (ppm) | Monóxido de Carbono (% vol) | Oxígeno (% vol) | Dilución (% vol) | |
|---------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|--------|
| | | | | mínimo | máximo |
| 1979 y anteriores | 700 | 6 | 6 | 7 | 18 |
| 1980 a 1986 | 500 | 4 | 6 | 7 | 18 |
| 1987 a 1993 | 400 | 3 | 6 | 7 | 18 |
| 1994 y posteriores | 200 | 2 | 6 | 7 | 18 |

Fuente: Diario Oficial de la Federación, diciembre de 1998.

Tabla 2.2. Norma 041-ECOL-1996 para camiones comerciales, ligeros y de usos múltiples o utilitarios hasta 3,857kg de peso bruto vehicular.

| Año y modelo del vehículo | Hidrocarburos (ppm) | Monóxido de Carbono (% vol) | Oxígeno (% vol) | Dilución (% vol) | |
|---------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|--------|
| | | | | mínimo | máximo |
| 1979 y anteriores | 700 | 6 | 6 | 7 | 18 |
| 1980 a 1985 | 600 | 5 | 6 | 7 | 18 |
| 1986 a 1991 | 500 | 4 | 6 | 7 | 18 |
| 1992 a 1993 | 400 | 3 | 6 | 7 | 18 |
| 1994 y posteriores | 200 | 2 | 6 | 7 | 18 |

Fuente: Diario Oficial de la Federación, diciembre de 1998.

2.2.3.4.2 Norma Oficial Mexicana 042-ECOL-1999

La norma 042-ECOL-1999, para vehículos nuevos, establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape de vehículos automotores nuevos en planta, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible que utilizan gasolina, gas licuado de petróleo (gas LP), gas natural y otros combustibles alternos con peso bruto vehicular de 400kg a 3,857kg.

Esta norma es obligatoria para los fabricantes e importadores de vehículos automotores, tablas 2.3 y 2.4 (Diario Oficial de la Federación, 1999).

Tabla 2.3. Norma 042-ECOL-1999 para vehículos que utilizan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos con peso bruto de 400kg a 3,857kg.

| Tipo de vehículo | Año y modelo | HCT g/km | HCNM g/km | CO g/km | NO _x g/km | HCEV g/prueba |
|------------------|--------------------|----------|-----------|---------|----------------------|---------------|
| VP | 1999-2000 | 0.25 | | 2.11 | 0.62 | 2.0 |
| | 2001 y posteriores | | 0.156 | 2.11 | 0.25 | 2.0 |
| CL1 y VU | 1999-2000 | 0.63 | | 8.75 | 1.44 | 2.0 |
| | 2001 y posteriores | | 0.156 | 2.11 | 0.25 | 2.0 |
| CL2 y VU | 1999-2000 | 0.63 | | 8.75 | 1.44 | 2.0 |
| | 2001 y posteriores | | 0.20 | 2.74 | 0.44 | 2.0 |
| CL3 y VU | 1999-2000 | 0.63 | | 8.75 | 1.44 | 2.0 |
| | 2001 y posteriores | | 0.20 | 2.74 | 0.44 | 2.0 |
| CL4 y VU | 1999-2000 | 0.63 | | 8.75 | 1.44 | 2.0 |
| | 2001 y posteriores | | 0.24 | 3.11 | 0.68 | 2.0 |

Fuente: Diario Oficial de la Federación, septiembre de 1999.

HCT (hidrocarburos totales), HCNM (hidrocarburos no metálicos), CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrógeno), HCEV (evaporativos).

Tabla 2.4. Norma 042-ECOL-1999 para vehículos que utilizan diesel con peso bruto de 400kg a 3,857kg.

| Tipo de vehículo | Año y modelo | HCT g/km | HCNM g/km | CO g/km | NO _x g/km | HCEV g/prueba |
|------------------|--------------------|----------|-----------|---------|----------------------|---------------|
| VP | 1999-2000 | 0.25 | | 2.11 | 0.62 | 0.07 |
| | 2001 y posteriores | | 0.156 | 2.11 | 0.62 | 0.07 |
| CL1 y VU | 1999-2000 | 0.63 | | 8.75 | 1.44 | 0.07 |
| | 2001 y posteriores | | 0.156 | 2.11 | 0.62 | 0.07 |
| CL2 y VU | 1999-2000 | 0.63 | | 8.75 | 1.44 | 0.07 |
| | 2001 y posteriores | | 0.20 | 2.74 | 0.62 | 0.07 |
| CL3 y VU | 1999-2000 | 0.63 | | 8.75 | 1.44 | 0.07 |
| | 2001 y posteriores | | 0.20 | 2.74 | 0.62 | 0.07 |
| CL4 y VU | 1999-2000 | 0.63 | | 8.75 | 1.44 | 0.1 |
| | 2001 y posteriores | | 0.24 | 3.11 | 0.62 | 0.1 |

Fuente: Diario Oficial de la Federación, septiembre de 1999.

HCT (hidrocarburos totales), HCNM (hidrocarburos no metálicos), CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrógeno), HCEV (evaporativos).

2.2.3.4.2.1 Definiciones en la Norma Oficial Mexicana

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana (NOM) los vehículos automotores se definen y clasifican de la siguiente manera (Diario Oficial de la Federación, 1999):

- VP (vehículo particular): Automóvil, o su derivado, excepto el vehículo de uso múltiple o utilitario y remolque, diseñado para el transporte de hasta 10 personas.
- CL1: Camiones ligeros, grupo uno, cuyo peso bruto vehicular es de hasta 2,722kg y con peso de prueba (PP) de hasta 1,701kg.
- CL2: Camiones ligeros, grupo dos, cuyo peso bruto vehicular es de hasta 2,722kg y con peso de prueba (PP) mayor de 1,701kg y hasta 2,608kg.
- CL3: Camiones ligeros, grupo tres, cuyo peso bruto vehicular es de hasta 2,722kg y hasta 3,856kg y con peso de prueba (PP1) de hasta 2,608kg.
- CL4: Camiones ligeros, grupo cuatro, cuyo peso bruto vehicular es de hasta 2,722kg y hasta 3,856kg y con peso de prueba (PP1) mayor de 2,608kg y hasta 3,856kg.
- Vehículo automotor nuevo en planta: Automóvil o camión antes de ser enajenado por primera vez por el fabricante, distribuidor o importador.
- VU (Vehículo de uso múltiple o utilitario): Vehículo automotor diseñado para el transporte de personas y/o productos, con o sin chasis o con equipo especial para operar ocasionalmente fuera del camino. Para efectos de prueba se clasificarán igual que los camiones ligeros.
- PBV (Peso Bruto Vehicular): Es el peso máximo del vehículo especificado por el fabricante expresado en kilogramos, consistente en el peso nominal del vehículo sumado al de su máxima capacidad

de carga, con el tanque de combustible lleno a su capacidad nominal.

- PP (Peso Prueba): El peso del vehículo con el tanque de combustible lleno, más 136kg.
- PP1 (Peso Prueba): El peso del vehículo con el tanque de combustible lleno, más el peso bruto vehicular, entre 2.
- Planta: La empresa importadora que realiza la comercialización o fabricante de vehículos automotores que realiza el ensamble final de éstos.

2.2.3.4.3 Normas Mexicanas y Normas Americanas

En México no existen periodos mínimos de cumplimiento de los niveles máximos permisibles de emisiones. En Estados Unidos, mediante periodos mínimos que varían entre 5 años (50 mil millas) o 10 años (100/120 mil millas) se garantiza que los automóviles en planta y después en circulación cumplan con una regulación estricta durante un intervalo considerable de tiempo.

Además, algunos estándares establecidos en las normas son menos estrictos que en las normas de Estados Unidos. Pueden observarse las diferencias entre los niveles máximos permisibles expresados en g/km entre la norma mexicana 042-ECOL-1996, la norma Tier 1 (vigente en Estados Unidos) y la norma Tier 2 que se implementará en los Estados Unidos entre 2004 y 2006, tablas 2.5 y 2.6 (Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable, 2004).

En cuanto a automóviles, los límites de la NOM-42 son iguales a los de la Tier 1 para hidrocarburos y monóxido de carbono, no así para los óxidos de nitrógeno donde esta norma permite casi tres veces más. Destacan los límites de monóxido de carbono mucho más estrictos que los de la NOM-42.

Tabla 2.5. Normas de México y Estados Unidos para regular emisiones de escape de vehículos de pasajeros.

| País | Niveles máximos permisibles de emisión (g/km) | | | |
|----------------|---|-----|---------------------|------|
| | Norma | THC | Monóxido de carbono | NOx |
| México | NOM-042 | 0.3 | 2.11 | 0.62 |
| Estados Unidos | Tier 1 | 0.3 | 2.11 | 0.25 |
| Estados Unidos | Tier 2 | 0.3 | 2.11 | 0.06 |

Fuente: Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable. Evaluación Comparativa de la Normatividad entre México y Estados Unidos, 2004. http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No_Amb/cap_5.html.

Tabla 2.6. Normas oficiales de México y Estados Unidos para regular emisiones de escape de vehículos de hasta 3,525kg de peso bruto vehicular (camionetas y camiones de carga ligeros).

| País | Niveles máximos permisibles de emisión (g/km) | | | |
|----------------|---|------|---------------------|------|
| | Norma | THC | Monóxido de carbono | NOx |
| México | NOM-042 | 0.63 | 8.75 | 1.44 |
| Estados Unidos | Tier 1 | 0.50 | 3.1 | 0.68 |
| Estados Unidos | Tier 2 | 0.50 | 2.11 | 0.06 |

Fuente: Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable. Evaluación Comparativa de la Normatividad entre México y Estados Unidos, 2004. http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No_Amb/cap_5.html.

Los máximos permisibles establecidos para camionetas y camiones de carga ligeros hasta 3,825Kg de peso entre la normatividad mexicana y de Estados Unidos difieren significativamente. En este caso la NOM-42 es mucho menos estricta que la Tier 1 y la Tier 2 donde permite, en cuanto al monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, más del doble de emisiones de estos contaminantes.

2.2.3.5 El clima y la topografía local

La frecuencia y severidad de los contaminantes en un área depende del clima y la topografía local, la densidad de la población e industria, y los principales combustibles utilizados en la industria, la calefacción y el transporte. En áreas con

alta precipitación media anual, la lluvia ayuda a limpiar el aire de contaminantes. Los vientos también ayudan a arrastrarlos y traer aire más puro, pero pueden transferir algunos contaminantes a áreas distantes. Los edificios en las ciudades disminuyen la velocidad del aire y reducen la dilución y remoción de los contaminantes (G. Tyler, 1994).

Durante el día, el sol calienta el aire cerca de la superficie de la Tierra. Normalmente, este aire calentado se expande y eleva, transportando contaminantes situados abajo, hasta gran altura en la troposfera. Luego el aire más denso y más frío de las áreas de alta presión circundantes, se abate sobre el área de baja presión creada cuando asciende el aire caliente.

Esta mezcla continua de aire frío y caliente ayuda a evitar que los contaminantes alcancen niveles peligrosos en el área cercana al suelo. Sin embargo, en ocasiones las condiciones del tiempo atrapan una capa de aire denso y frío, debajo de una capa de aire caliente menos denso en una cuenca urbana o valle. A esto se le llama inversión térmica. Una capa de aire caliente cubre la región y evita que se desarrollen las corrientes de aire ascendente, que dispersarían los contaminantes (G. Tyler, 1994).

Los materiales de que está compuesta la ciudad alteran el clima original del lugar. Los edificios y pavimentos constituyen una alteración profunda del paisaje natural. Los materiales de que está hecha la ciudad conducen el calor unas tres veces más rápidamente que el suelo de los campos, y por la noche despiden con más lentitud el calor recibido en el día. Además, en la ciudad se genera calor por la quema de combustibles en vehículos y fábricas.

Estas características hacen que el aire urbano sea más tibio que el de los alrededores produciéndose lo que se conoce como isla de calor. La isla de calor genera a su vez una convergencia del aire superficial hacia el centro del área

urbana. Este flujo convergente tiende a reducir la ventilación dentro del área urbana (Gutiérrez *et al.*, 1997).

2.2.3.6 Monitoreo y evaluación de la calidad del aire

La calidad del aire depende en todo momento de la emisión de contaminantes, del comportamiento físico-químico de éstos y la dinámica meteorológica que determinan su dispersión, transformación y remoción.

Los efectos de la contaminación del aire dependen a su vez de las concentraciones, la frecuencia y tiempo de exposición, en todo caso medir y analizar la calidad del aire en todo momento es importante.

Por ello en diversas ciudades de la República Mexicana se han instalado redes de automáticas de monitoreo de la calidad del aire, figura 2.3. (Instituto Nacional de Ecología, 2004).



Figura 2.3. Ciudades con estaciones automáticas de monitoreo de la calidad del aire. Fuente: Instituto Nacional de Ecología, 2004.

2.2.3.6.1 Tendencias futuras de la calidad del aire

De acuerdo con los datos recientes de las redes de monitoreo de las ciudades donde se cuenta con el programa de calidad del aire (PROAIRES), la comparación de los mismos con las metas iniciales previstas, y si además se continúa con los programas actuales llevándose a cabo revisiones para corregir rumbos, y se incluyen otras medidas adicionales como la incorporación de combustibles y tecnologías limpias se puede esperar avances sustanciales para los próximos años (Instituto Nacional de Ecología, 1999a).

En los últimos diez años se han aplicado algunas acciones de normatividad Federal que han traído beneficios en la calidad del aire en todo el país; por ejemplo, mejora en los combustibles y normatividad estricta de emisiones en vehículos nuevos y en circulación.

Existe la posibilidad que no se alcancen tasas de crecimiento del parque vehicular tan importantes en las siete ciudades que cuentan con PROAIRES, ya que las necesidades de desplazamiento y las formas en que éste se da, varía de una ciudad a otra. Sin embargo, la rápida expansión territorial y las conurbaciones que se están produciendo en algunas regiones del país hacen que estas proyecciones tengan algún sentido, sobre todo si prevalece el uso del parque vehicular y no se incentiva al uso del transporte de pasajeros. La tabla 2.7 muestra la relación población y parque vehicular en algunas ciudades de la República Mexicana (Instituto Nacional de Ecología, 1999a).

2.2.3.6.2 Inventario de emisiones 1996

La integración del inventario de emisiones incluye las emisiones generadas por las fuentes puntuales registradas de jurisdicción federal como estatal. Además, el inventario de emisiones de fuentes de área incluye las emisiones que por su tamaño se consideran pequeñas, son numerosas y se encuentran dispersas por lo cual es difícil incluirlas adecuadamente.

Tabla 2.7. Población y parque vehicular de algunas ciudades de México.

| Ciudades | Población 2000 | Población 2010 | Número de Vehículos 2000 | Número de Vehículos 2010 | |
|--|-------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------|
| | | | | tasa del 1% | tasa del 5% |
| Zonas metropolitanas y ciudades con PROAIRES | | | | | |
| ZMVM | 16,430,878 | 19,188,023 | 2,720,000 | 3,658,148 | 6,252,375 |
| ZMG | 3,491,540 | 4,077,430 | 662,437 | 767,381 | 1,311,580 |
| ZMM | 3,311,470 | 3,867,143 | 618,996 | 717,058 | 1,225,570 |
| Tijuana, Rosarito | 1,275,781 | 1,489,860 | 371,032 | 420,876 | 666,320 |
| Cd. Juárez | 1,217,818 | 1,422,171 | 366,739 | 420,399 | 691,541 |
| ZMVT | 1,140,912 | 1,332,360 | 224,844 | 257,742 | 423,977 |
| Mexicali | 764,902 | 893,255 | 240,810 | 276,044 | 454,083 |
| Zonas Urbano-Industriales | | | | | |
| Salamanca, Celaya, Irapuato y Cortazar | 1,130,198 | 1,319,848 | 122,248 | 140,135 | 230,517 |
| Cd. Madero, Tampico y Altamira | 604,291 | 705,693 | 79,734 | 92,366 | 157,868 |
| Coatzacoalcos y Minatitlán | 420,020 | 490,500 | 42,016 | 48,672 | 83,189 |
| Tula, Tepeji, Tlaxcoapan, Atitalaquia y Apaxco | 236,212 | 275,849 | 38,354 | 44,430 | 75,938 |

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, 1999a.

Las fuentes de área agrupan las emisiones de fuentes similares dentro de categorías y consta de las siguientes:

- Combustión en fuentes estacionarias
- Fuentes móviles que no circulan por carreteras
- Uso de solventes
- Almacenamiento, transporte y distribución de productos de petróleo
- Fuentes industriales ligeras y comerciales
- Agricultura
- Manejo de residuos
- Fuentes de área misceláneas

En cuanto a fuentes naturales, el inventario considera las emisiones generadas por la vegetación urbana, la vegetación nativa de la región y los cultivos, cuyos contaminantes se emiten por efecto de factores climáticos y por el tipo de la vegetación. También se incluyen en esta clasificación las emisiones provocadas por la acción de los vientos sobre los terrenos de cultivo, terrenos baldíos y calles sin pavimentar. Puede observarse en la tabla 2.8 un resumen de las emisiones por cada tipo de fuente y para cada uno de los contaminantes (Instituto Nacional de Ecología, 1999a).

Tabla 2.8. Resumen de emisiones en Mexicali 1996 (toneladas).

| Sector | PM10 | SO ₂ | CO | NO _x | HC | Pb | Total |
|---------------------|--------|-----------------|---------|-----------------|--------|-----|---------|
| Fuentes puntuales | 1,994 | 2,849 | 4,721 | 1,537 | 1,407 | 0.2 | 15,568 |
| Fuentes de área | 61,932 | 11 | 18,944 | 735 | 15,379 | NE | 101,750 |
| Fuentes vehiculares | 515 | 937 | 243,073 | 14,927 | 31,184 | 2 | 290,638 |
| Fuentes naturales | 20,548 | NE | NE | 1,348 | 3,441 | NA | 25,337 |
| Total | 84,989 | 3797 | 266,738 | 18,547 | 51,411 | 2 | 433,293 |

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, 1999a.

PM10 (partículas de materia menor a 10 micras), SO₂ (dióxido de azufre), CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrógeno), HC (hidrocarburos), Pb (plomo).

2.2.3.6.2.1 Emisiones vehiculares en Mexicali

En Mexicali las emisiones generadas por los vehículos automotores contribuyen significativamente en el deterioro de la calidad del aire, lo cual es producto del consumo de combustibles fósiles por el parque vehicular, cuya cantidad se ha venido incrementando significativamente en los últimos años. En la tabla 2.9 se muestra el resumen de las emisiones estimadas para la ciudad de Mexicali en 1996 por cada tipo de vehículo (Instituto Nacional de Ecología, 1999a).

Tabla 2.9. Emisiones totales de fuentes vehiculares 1996 (toneladas).

| Categoría de vehículo | PM10 | SO ₂ | CO | NO _x | HC | Pb | Total |
|-------------------------------------|------|-----------------|---------|-----------------|--------|----|---------|
| Autos particulares | 80 | 507 | 143,957 | 6,283 | 18,427 | 1 | 169,255 |
| Taxis | 1 | 7 | 2,102 | 92 | 269 | NS | 2,471 |
| Pick-up | 34 | 216 | 58,828 | 2,570 | 7,742 | 1 | 69,391 |
| Camiones de pasajeros a diesel | 2 | 10 | 4,623 | 206 | 454 | NS | 5,295 |
| Camiones de pasajeros a diesel | 22 | 7 | 159 | 248 | 41 | NA | 477 |
| Camiones de carga ligera a diesel | 5 | 32 | 8,694 | 441 | 1,289 | NA | 10,461 |
| Camiones de carga pesada a gasolina | 7 | 47 | 21,621 | 962 | 2,122 | NS | 24,759 |
| Camiones de carga pesada a diesel | 363 | 107 | 2,638 | 4,113 | 673 | NA | 7,894 |
| Motocicletas | 1 | 4 | 451 | 12 | 167 | NS | 635 |
| Total | 515 | 937 | 243,073 | 14,927 | 31,184 | 2 | 290,638 |

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, 1999a.

PM10 (partículas de materia menor a 10 micras), SO₂ (dióxido de azufre), CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrógeno), HC (hidrocarburos), Pb (plomo).

2.3. Marco contextual

2.3.1 La ciudad de Mexicali

El escenario donde se realizó el estudio fue la ciudad de Mexicali, Baja California que tiene las siguientes características:

2.3.1.1 Ubicación y extensión

La ciudad de Mexicali se ubica en el municipio del mismo nombre el cual limita al norte con el valle Imperial de California (Estados Unidos), al oeste y sur con los municipios de Tecate y Ensenada, al este con Yuma Arizona (Estados Unidos) compartiendo la frontera natural del Río Colorado, el Estado de Sonora y el Golfo de California (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2001).

Las coordenadas geográficas de la ciudad de Mexicali son: latitud norte 32°39'; longitud oeste 115°28'; altitud 1° msnm; su extensión es de 13,700 km² (Instituto Nacional de Ecología, 1999a).

2.3.1.2 Clima y topografía

Mexicali presenta una temperatura promedio anual de 22.4°C, observándose que su marcha mensual experimenta un periodo extremadamente cálido, que abarca desde junio hasta septiembre, con temperaturas medias arriba de los 30°C, correspondiendo a julio ser en promedio el mes más caliente del año con una media de 33.1°C y una media máxima de 41.8°C; el mes más frío corresponde a enero con una media mensual de 12.4°C. Se han registrado grandes contrastes térmicos en Mexicali B.C., con temperaturas tan altas como 54.3°C, y tan bajas como -7.0°C (Fierro, 2002). La precipitación promedio anual es muy baja (75 mm/año).

Existe poca vegetación natural, las dos especies dominantes del Desierto Micrófilo son: *Larrea tridentata* (gobernadora) y *Franseria dumosa* (hierba del burro), ambas especies de arbustos. Asimismo, se encuentran algunos otros géneros de cactáceas, como *Opuntia cineracea* y de especies xerorriparias como *Chilopsis*

linearis y Dalea spinosa (Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California, 2005).

2.3.1.3 Crecimiento poblacional

El total de la población municipal de Mexicali en el 2000 fue de 764,602 habitantes (49.7% mujeres, 50.3% hombres, figura 2.4; 30.05% menores de 15 años, 27.16% de 15 a 29 años, 20.20% de 30 a 44 años y 22.59% de más de 45 años, figura 2.5) de los cuales 549,873 (71.9%) corresponde a la zona urbana de la ciudad de Mexicali, figura 2.6 (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2001).

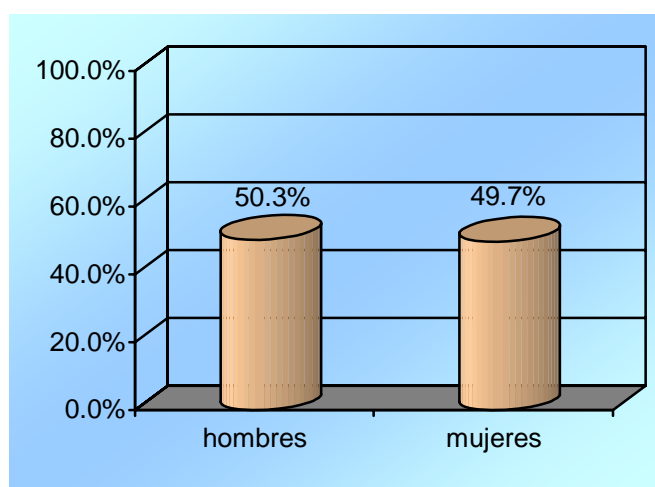


Figura 2.4. Distribución, por sexo, de la población en el municipio de Mexicali en el año 2000. Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2001.

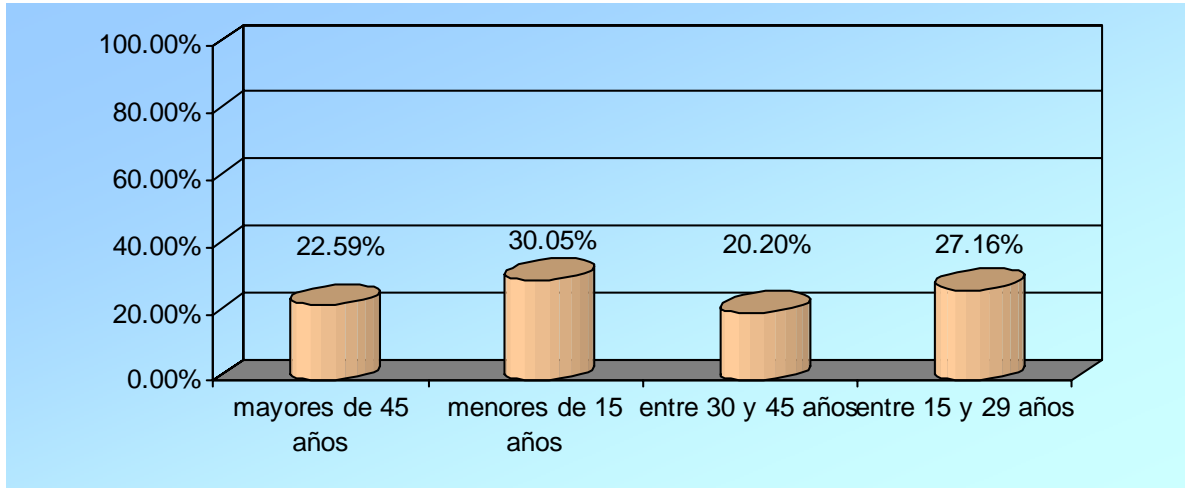


Figura 2.5. Distribución, por edad, de la población en el municipio de Mexicali en el año 2000. Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2001.

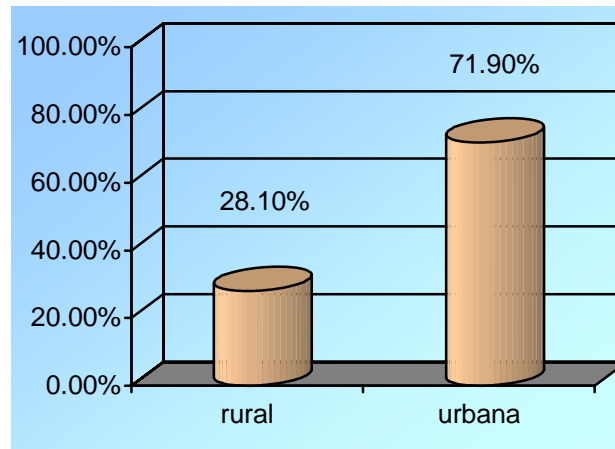


Figura 2.6. Distribución por zona de la población en el municipio de Mexicali en el año 2000. Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2001.

La tasa promedio anual de crecimiento demográfico estimado para el municipio de Mexicali fue del 2.44%. En la tabla 2.10 puede observarse el crecimiento poblacional en el municipio de Mexicali de 1950 al 2000 (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2001).

Tabla 2.10. Crecimiento demográfico en la ciudad de Mexicali Baja California.

| Año | Municipio de Mexicali | Ciudad de Mexicali |
|------|-----------------------|--------------------|
| 1950 | 124,362 | 64,668 |
| 1960 | 281,333 | 197,214 |
| 1970 | 396,324 | 263,498 |
| 1980 | 510,664 | 341,559 |
| 1990 | 601,938 | 438,377 |
| 2000 | 764,602 | 549,873 |

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2001.

2.3.1.4 Parque Vehicular en Mexicali

2.3.1.4.1 Características del parque vehicular en Mexicali

El parque vehicular oficialmente registrado en Mexicali está formado por automóviles, camiones de pasajeros, motocicletas y camiones de carga. La mayoría provienen de los Estados Unidos de donde se importan usados a precios relativamente más bajos que los vehículos nacionales.

Estos vehículos en ocasiones ya presentan fallas mecánicas del motor y los sistemas de control de emisiones están deteriorados.

La facilidad con que se adquieren estos vehículos ha dado lugar al incremento acelerado del parque vehicular, así como a la proliferación de modelos antiguos mutilados de los sistemas de inyección de combustible y los sistemas anticontaminantes, condiciones que los hace más contaminantes que los vehículos nuevos (Instituto Nacional de Ecología, 1999a).

En la distribución por tipo de vehículos se tiene que el mayor porcentaje corresponde a automóviles particulares.

En la tabla 2.11 puede observarse el crecimiento del parque vehicular según las estadísticas oficiales, sin embargo es necesario considerar que para tener datos

precisos de la composición del mismo, a estas cantidades se les debe agregar una cantidad porcentual de vehículos flotantes porque los registros oficiales no contemplan el número de vehículos foráneos y extranjeros utilizados por residentes de Mexicali (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2006).

Tabla 2.11. Comportamiento del parque vehicular en Mexicali.

| Año | Total de vehículos del parque vehicular oficial | Número de vehículos particulares | Porcentaje respecto al total del parque vehicular oficial |
|------|---|----------------------------------|---|
| 1989 | 202,357 | 140,506 | 69.4 |
| 1990 | 205,254 | 139,705 | 68.1 |
| 1991 | 225,616 | 153,675 | 68.1 |
| 1992 | 223,901 | 151,899 | 67.8 |
| 1993 | 223018 | 151,300 | 67.8 |
| 1994 | 224,408 | 151,891 | 67.7 |
| 1995 | 228487 | 159,432 | 69.8 |
| 1996 | 238,379 | 168,160 | 70.5 |
| 1997 | 281,175 | 183,026 | 65.1 |
| 1998 | 246,074 | 154,853 | 62.9 |
| 1999 | 268,997 | 168,871 | 62.8 |
| 2000 | 277,569 | 197,627 | 71.2 |
| 2001 | 314,440 | 232,294 | 73.9 |
| 2002 | 355,239 | 267,038 | 75.2 |
| 2003 | 453,930 | 336,806 | 74.2 |

Fuente: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2006.

Capítulo 3

Materiales y método

3.1 Materiales

Para la realización del presente trabajo se utilizó y analizó la información de las siguientes fuentes:

- Segundo y tercer informes de la calidad del aire en las ciudades de México, 1997 y 1998. Proporcionada por el Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Inventario de Emisiones de Mexicali, informe final, 1999. Proporcionada por el Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Programa para Mejorar la Calidad del Aire de Mexicali 1999-2004. Proporcionada por el Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Normas Oficiales Mexicanas, 041-ECOL-1996 y 042-ECOL-1999 publicadas en el Diario Oficial de la Nación.
- Información de la red de monitoreo en Mexicali de 1997 y 1998 sobre los niveles de monóxido de carbono.

Se diseñó y aplicó un instrumento de medición, ver apéndice A, a una muestra de la población de conductores. Los resultados fueron analizados en una hoja de cálculo del programa Excel de Microsoft versión XP.

Para la elaboración y simulación del modelo de Dinámica de Sistemas se utilizó el programa Stella versión 7 de High Performance Systems.

3.2 Metodología

Las etapas que se llevaron a cabo en este trabajo para el logro de los objetivos planteados en su inicio fueron:

- Primera etapa: conocer la distribución de vehículos en Mexicali.
- Segunda etapa: aplicación del instrumento de medición.
- Tercera etapa: desarrollo del modelo conceptual del sistema.
- Cuarta etapa: desarrollo del modelo cuantitativo del sistema.
- Quinta etapa: simulación de los modelos propuestos.

3.2.1 Primera etapa: distribución de vehículos en Mexicali

Se consideró que los vehículos particulares representan el mayor porcentaje del parque vehicular que circula en la ciudad de Mexicali y por lo tanto, el que mayor contribuye con las emisiones de monóxido de carbono.

Para conocer la distribución de los vehículos particulares, se realizó un conteo durante los meses de abril y octubre del 2001 en los estacionamientos de las plazas comerciales “La Cachanilla” y “Nuevo Mexicali”. En este conteo se registraron el tipo de placas de cada uno de los vehículos que se encontraban estacionados.

Los resultados obtenidos se compararon con los publicados en el inventario de emisiones de Mexicali de 1996, para conocer el comportamiento de la distribución de vehículos registrados oficialmente y los vehículos que, por ser de origen foráneo o extranjero, no se tienen registrados.

3.2.2 Segunda etapa: aplicación del instrumento de medición

Tomando como base que la cantidad de vehículos particulares en la ciudad de Mexicali en el año 2000 fue de 197,627 unidades según el INEGI, se determinó la proporción de vehículos (conductores) a los que habría de aplicárseles el

instrumento de medición a una población de aproximadamente 200,000 unidades con un nivel de significancia del 5% y una precisión del 5%.

Datos:

$$N = 300,000, d = 5\% = 0.05, \alpha = 5\%, p = 0.9 \text{ y } q = 0.1$$

$$Z_{\alpha/2} = 1.96$$

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q}{N \cdot d^2 + Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q} = \frac{200,000(1.96)^2(0.9)(0.1)}{200,000(0.05)^2 + (1.96)^2(0.9)(0.1)} = 138$$

Por lo tanto se aplicaron 140 instrumentos de medición. En el apéndice A se muestra el formato utilizado en el instrumento de medición.

3.2.3 Tercera etapa: el desarrollo del modelo conceptual

El objetivo de esta tercera etapa consistió en desarrollar un modelo conceptual o cualitativo del sistema bajo estudio. En función a los objetivos del estudio se determinaron los componentes del mundo real que debían incluirse en el sistema y cómo se relacionan entre ellos. Luego se clasificaron los componentes del modelo de acuerdo a la función específica que tienen en la estructura del sistema y se identificaron las relaciones entre los componentes que generan la dinámica del sistema. Posteriormente se bosquejó el modelo conceptual de manera formal utilizando la simbología de Dinámica de Sistemas que representan los puntos de acumulación de material y las rutas a través de las cuales el material fluye en el sistema. Los datos con los que se alimenta el modelo lo constituyen:

- Valor inicial del parque vehicular oficial.
- Valor estimado del parque vehicular flotante (foráneo y extranjero).
- Razón de vehículos oficiales que se dan de alta anualmente.
- Razón de vehículos que se dan de baja anualmente.
- Taza de crecimiento anual del parque vehicular extranjero.
- Taza de crecimiento anual del parque vehicular foráneo.

la cantidad inicial de vehículos particulares tanto del parte vehicular oficial y el flotante. Además, el modelo requiere de las tasas con que los vehículos oficiales se dan de alta y baja.

Esta etapa finalizó con la descripción de los patrones esperados del comportamiento del modelo mediante gráficos que representan los cambios a lo largo del tiempo en los valores de las variables del sistema que se consideran importantes.

3.2.4 Cuarta etapa: el desarrollo del modelo cuantitativo

El objetivo de esta cuarta etapa del análisis consistió en desarrollar el modelo cuantitativo del sistema bajo estudio utilizando como base el modelo conceptual. De esta manera se establecieron las reglas que rigen el flujo de material en el modelo mediante representaciones matemáticas.

3.2.5 Quinta etapa: simulación de los modelos propuestos

El objetivo de esta quinta etapa consistió en realizar corridas de los modelos propuestos en el programa Stella versión 7. De esta manera se comparó el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de interés.

Capítulo 4

Resultados y discusiones

4.1 Descripción de los resultados de la primera etapa

En esta primera etapa se analizaron las placas de vehículos particulares (VP) en las dos plazas comerciales de mayor interés en la localidad (Plaza la Cachanilla y Plaza Nuevo Mexicali). Este análisis se realizó a partir de los resultados obtenidos en dos conteos llevados a cabo en los meses de abril y octubre del 2001 de los cuales se desprende lo siguiente:

4.1.1 Primer conteo

El primer conteo de vehículos particulares se realizó el 13 de abril del 2001 entre las 18:00 y 20:00 horas. De los resultados que arrojó este primer conteo describe lo siguiente:

4.1.1.1 Vehículos particulares en “Plaza la Cachanilla”

De un total de 1,325 vehículos analizados en Plaza la Cachanilla, el 78.87% corresponde a unidades con placas fronterizas, el 7.55% a unidades con placas nacionales y el restante 13.58% a unidades con placas extranjeras, figura 4.1.

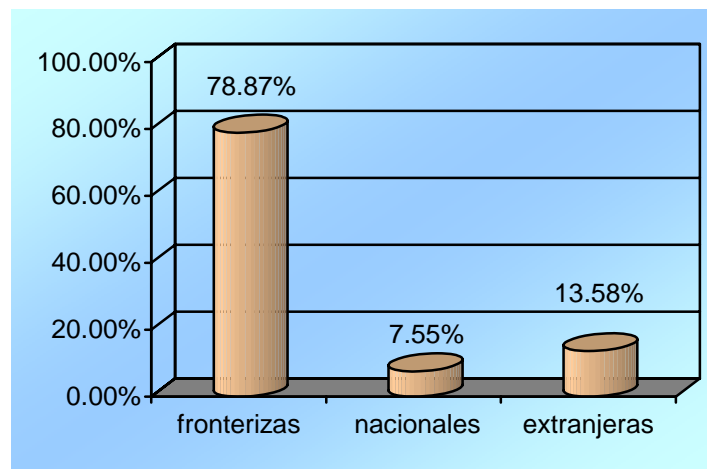


Figura 4.1. Distribución de vehículos particulares, por tipo de placas, en “Plaza la Cachanilla” en el mes de abril del 2001.

4.1.1.2 Vehículos particulares en “Plaza Nuevo Mexicali”

De un total de 759 vehículos analizados en Plaza Nuevo Mexicali, el 82.61% corresponde a unidades con placas fronterizas, el 6.59% a unidades con placas nacionales y el restante 10.80% a unidades con placas extranjeras, figura 4.2.

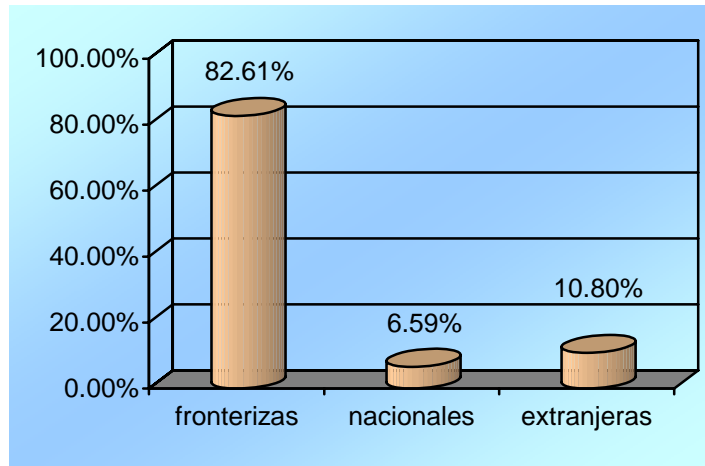


Figura 4.2. Distribución de vehículos particulares, por tipo de placas, en “Plaza Nuevo Mexicali” en el mes de abril del 2001.

4.1.1.3 Distribución promedio de vehículos particulares

En promedio, la distribución de los vehículos particulares en ambas plazas esta formada por un 80.23% que corresponde a unidades con placas fronterizas, el 7.20% a unidades con placas nacionales y el restante 12.57% a unidades con placas extranjeras, figura 4.3.

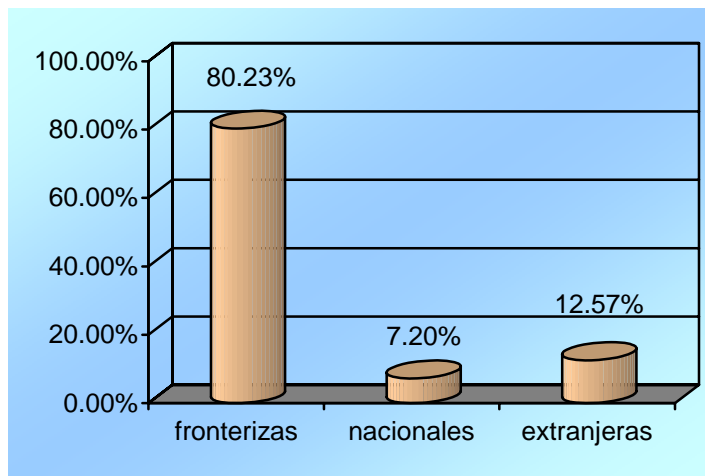


Figura 4.3. Distribución promedio de vehículos particulares, por tipo de placas, en ambas plazas comerciales en el mes de abril del 2001.

4.1.2 Segundo conteo

El segundo conteo de vehículos particulares se realizó el 26 de octubre del 2001 entre las 14:00 y 17:00 horas. De los resultados que arrojó este segundo conteo se describe lo siguiente:

4.1.2.1 Distribución promedio de vehículos particulares

De un total de 1,092 vehículos analizados, el 69.23% corresponde a unidades con placas fronterizas, el 14.01% a unidades con placas nacionales y el restante 16.76% a unidades con placas extranjeras, figura 4.4.

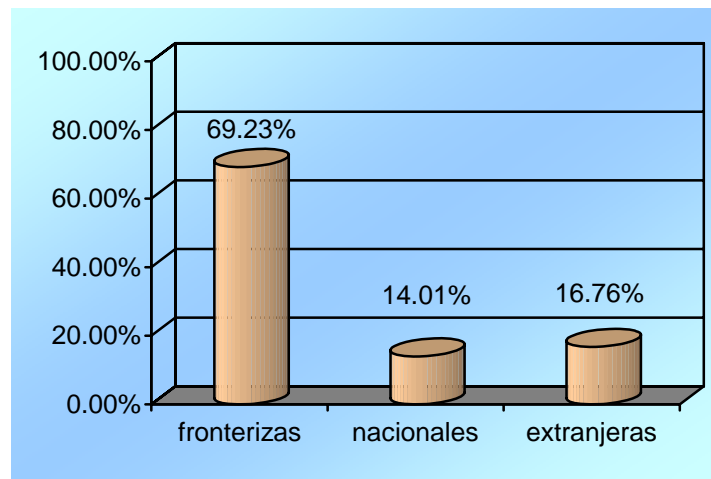


Figura 4.4. Distribución promedio de vehículos particulares, por tipo de placas, en ambas plazas comerciales en el mes de octubre del 2001.

En la figura 4.5 puede apreciarse una gráfica comparativa de la distribución de los vehículos particulares en los periodos de abril y octubre del 2001.

4.1.2.2 Descripción detallada de la distribución de vehículos particulares

Haciendo una descripción con mas detalle, se observa que el 67.67% de los vehículos particulares corresponden a unidades con placas fronterizas de BC, 1.56% a unidades con placas fronterizas de otros Estados, el 11.90% a unidades con placas nacionales de BC, el 2.11% a nacionales de otros Estados, el 15.20% a

unidades con placas de California y el 1.56% con placas extranjeras de otros Estados, figura 4.6.

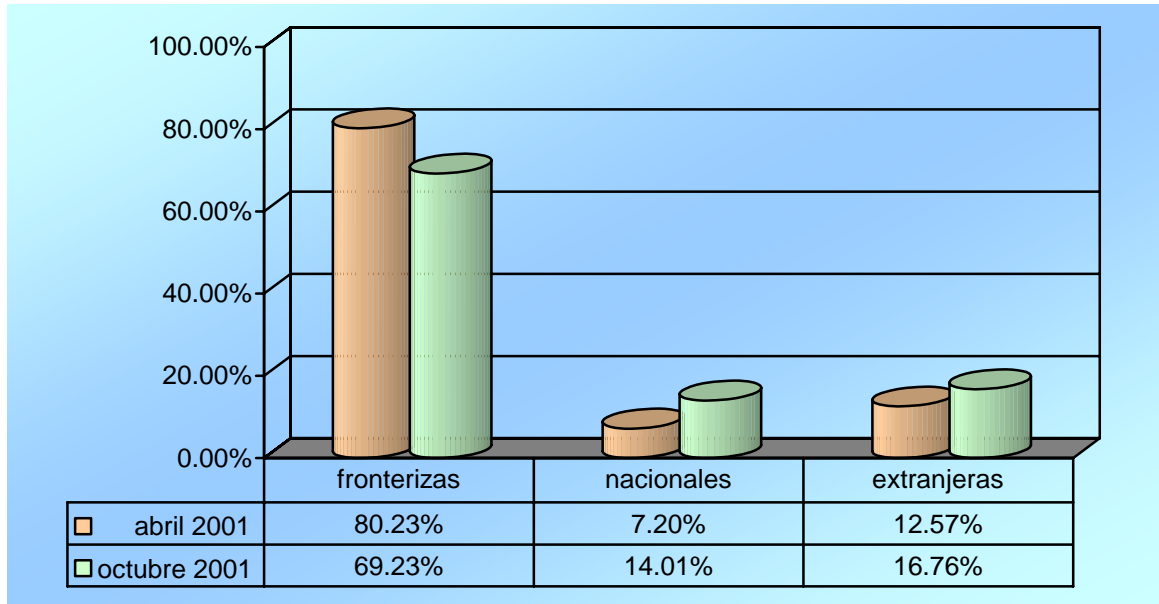


Figura 4.5. Comparación de la distribución promedio de vehículos particulares, por tipo de placas, en ambas plazas comerciales durante los meses de abril y octubre del 2001.

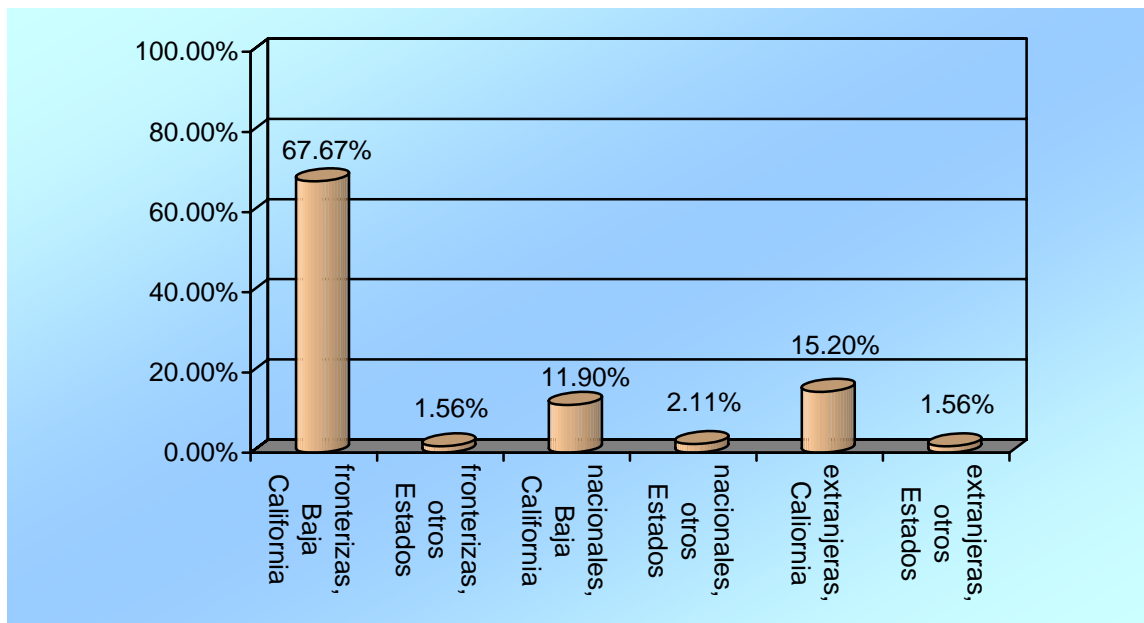


Figura 4.6. Distribución detallada, por tipo de placa, de vehículos particulares en Mexicali en el 2001.

De lo anterior puede observarse que el 79.58% de los vehículos están registrados en Baja California y el restante 20.42% o bien pueden ser de origen extranjero o de otro Estado de la República Mexicana. La figura 4.7 muestra esta relación.

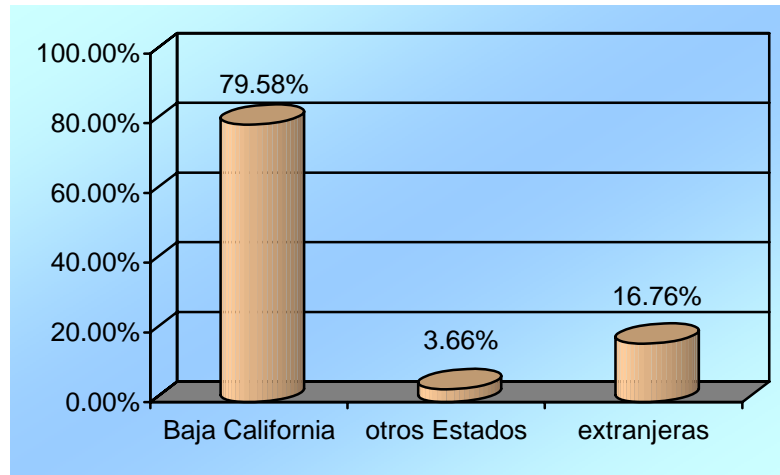


Figura 4.7. Distribución de vehículos particulares en los meses de abril y octubre del 2001.

4.2 Descripción de los resultados de la segunda etapa

La encuesta se aplicó durante la semana del 23 al 29 de junio del 2003 a 140 personas, seleccionadas al azar, al salir de los centros comerciales (Plaza la Cachanilla y Plaza Nuevo Mexicali) y responder afirmativamente que conducía un vehículo particular (los datos de las encuestas se muestran en el apéndice B). El análisis de la encuesta aplicada arrojó los siguientes resultados:

4.2.1 Ciudad de residencia

El 97.86% de los encuestados reside en Mexicali, el 0.71% en la ciudad de Calexico CA, el 1.43% en San Luís RCS, figura 4.8.

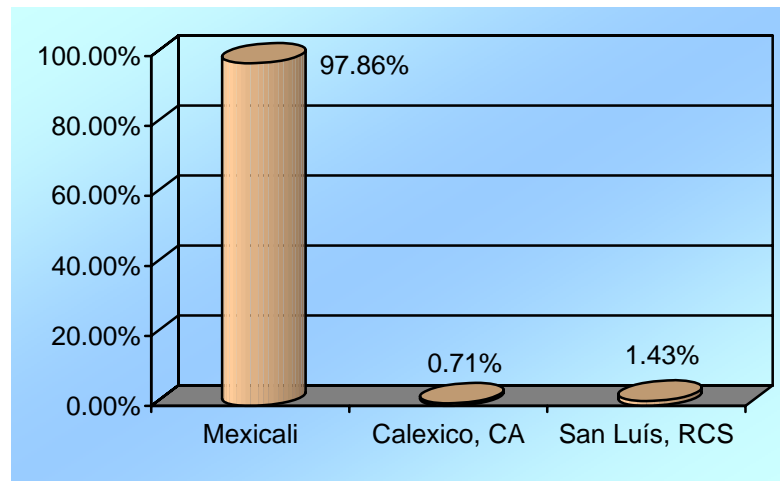


Figura 4.8. Distribución del lugar de residencia.

4.2.2 Ciudad donde labora

El 96.21% de los encuestados labora en Mexicali, el 3.03% en la ciudad de Calexico CA, el 0.76% en San Luís RCS, figura 4.9.

4.2.3 Edad promedio de los vehículos particulares

La edad promedio de los vehículos particulares corresponde a 1992, siendo el modelo 1973 el más antiguo.

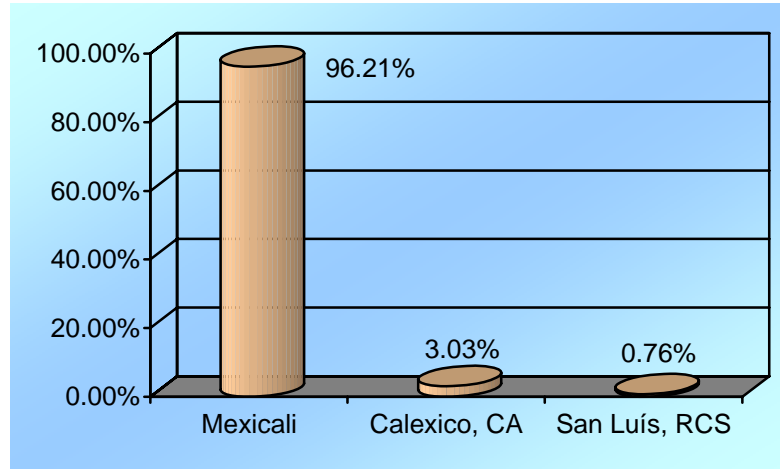


Figura 4.9. Distribución del lugar donde labora.

4.2.4 Tipo de placas de los vehículos particulares

En cuanto al tipo de placas que utilizan los vehículos particulares, la distribución está comprendida de la siguiente forma; el 76.43% corresponde a vehículos con placas fronterizas (VF), el 17.86% a placas nacionales (VN) y el restante 5.71% a placas extranjeras (VE), figura 4.10.

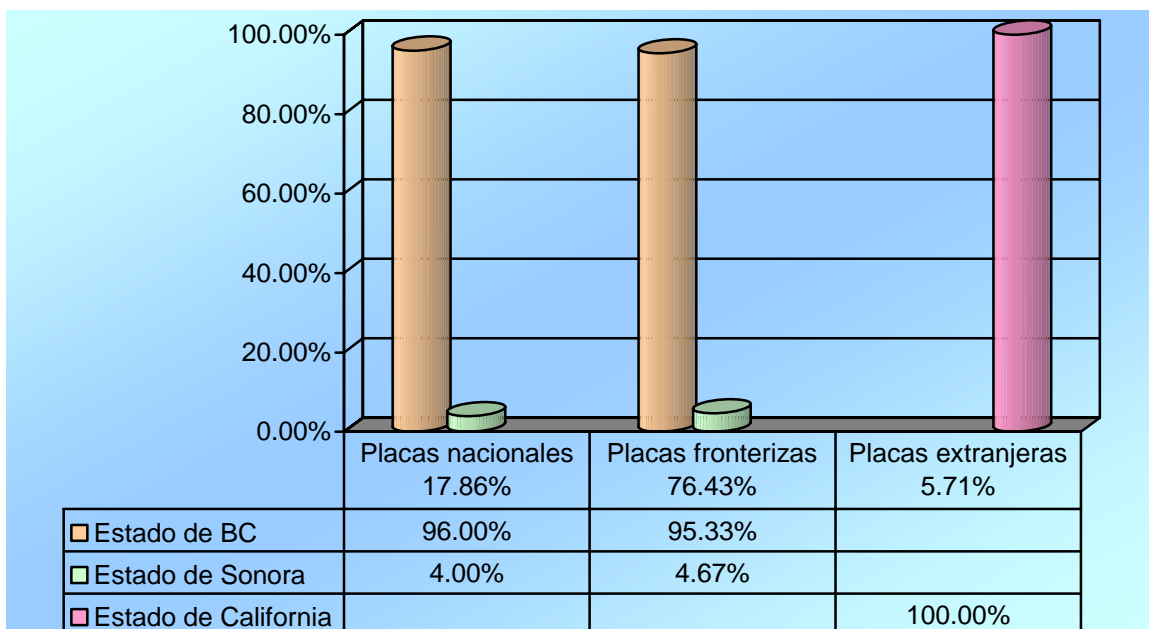


Figura 4.10. Distribución de los vehículos por tipo de placa y Estado.

La distribución de los vehículos por Estado está comprendida de la siguiente manera; el 90% de los vehículos (nacionales y fronterizos) llevan placas de BC, el 4.29% del Estado de Sonora y el restante 5.71% del Estado de California.

4.2.5 Tiempo de desplazamiento diario

La distancia promedio que recorren diariamente los vehículos es de 29 km y el tiempo que utilizan para ello es de 2 horas aproximadamente.

4.2.6 Tipo de combustible utilizado

El 99.29% de los encuestados utiliza gasolina en sus unidades y el restante 0.71% utiliza gas.

De los encuestados que utilizan gasolina, el 34.29% utiliza gasolina magna, el 14.29% Premium (nacional), el 36.43% regular (americana), el 8.57% plus (americana) y el restante 6.43% Premium (americana). La figura 4.11 muestra esta distribución.

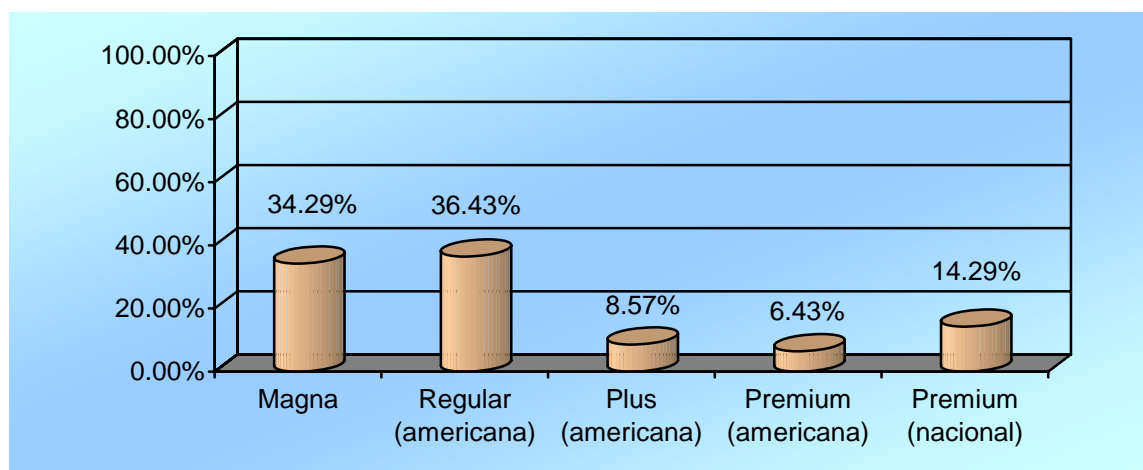


Figura 4.11. Distribución del tipo de combustible utilizado.

4.2.7 Consumo de combustible por semana

El 46.4% compra, en promedio por semana, 228 pesos de gasolina en México y el restante 53.6% compra 22 dólares de gasolina en los Estados Unidos.

4.2.8 Preferencia por el lugar de adquisición del combustible

4.2.8.1 ¿Porqué prefiere comprar el combustible en Estados Unidos?

De las personas que compran la gasolina en los Estados Unidos, el 45.71% piensa que es de mejor calidad, el 48.57% que rinde más y el restante 5.72% porque es mas barata o dan otra razón, figura 4.12.

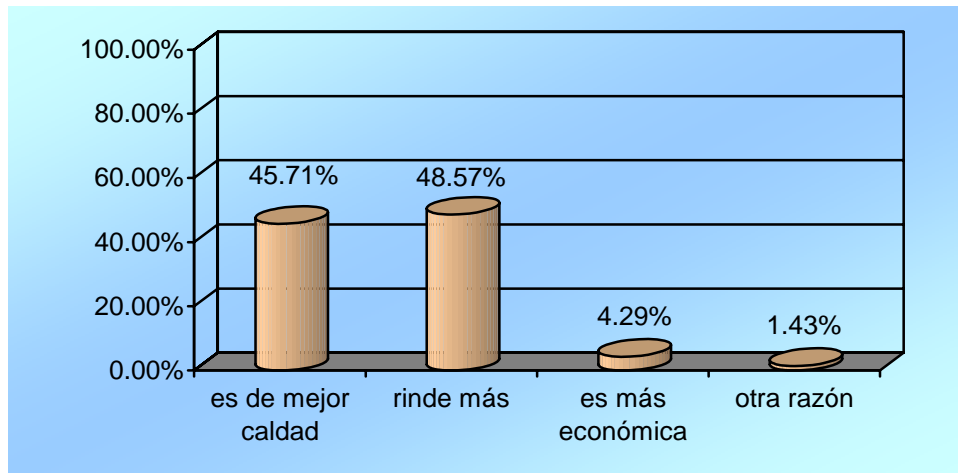


Figura 4.12. Razón por la que los conductores compran el combustible en Estados Unidos.

4.2.8.2 ¿Cuándo compraría el combustible en México?

De los conductores que compran gasolina en los Estados Unidos, piensan adquirirla en México cuando; sea más barata el 8.33%, sea de mejor calidad el 36.11%, cuando sea de la misma calidad y el mismo precio el 51.39%, cuando se incremente el tiempo para cruzar la frontera el 1.39%, nunca u otra razón 2.78%, figura 4.13.

Antes de la homologación de precios de la gasolina el 40% de los conductores compraban la gasolina en México y el restante 60% en los Estados Unidos.

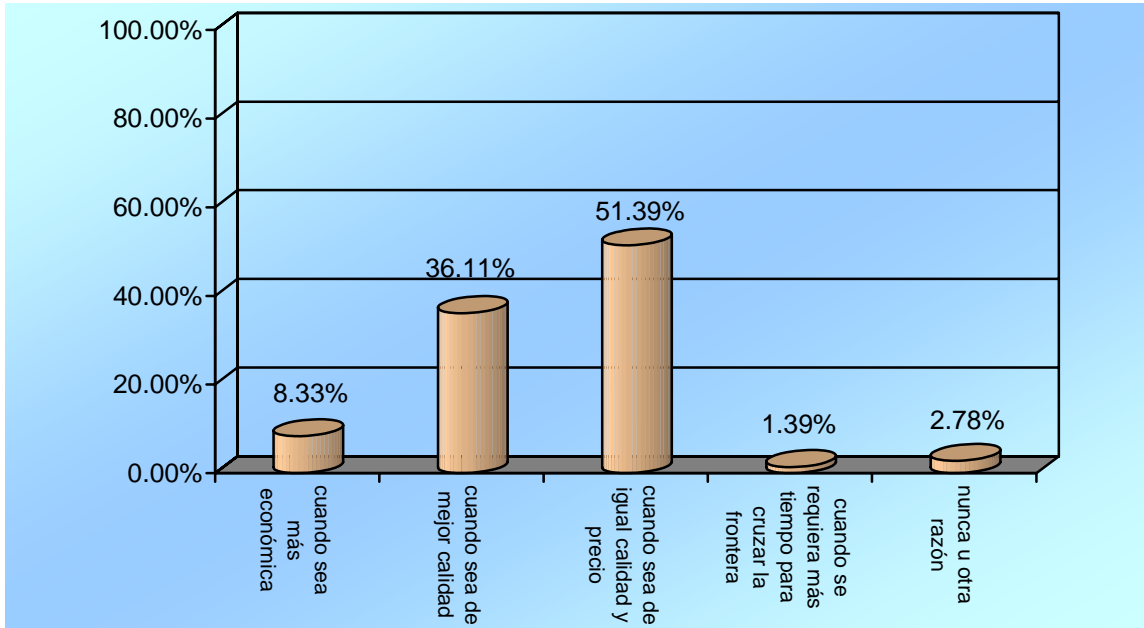


Figura 4.13. Razón por la que los conductores comprarían el combustible en México.

4.2.9 ¿Porqué utiliza el vehículo particular?

El 75.37% de los encuestados manifestó utilizar el vehículo porque pierden menos tiempo, el 11.19% porque se sienten más seguros, el 2.99% porque lo consideran más económico y el restante 10.45% dan otra razón, figura 4.14.

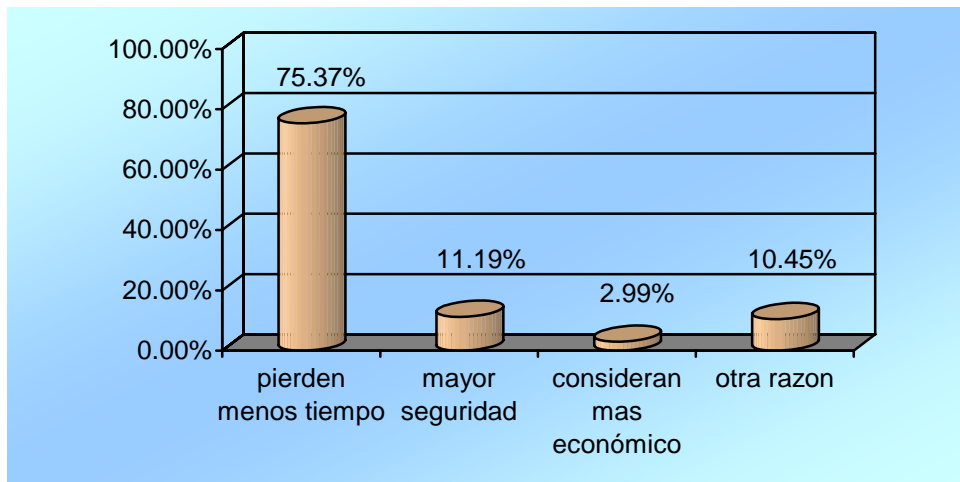


Figura 4.14. Razón por la que se utiliza el vehículo particular.

4.2.10 Utilización del transporte público

El 20.16% de los encuestados manifestaron que utilizarían el transporte público cuando sea más seguro, el 17.83% cuando sea más limpio, el 20.16% cuando existan mejores rutas, el 1.55% cuando sea más económico y el restante 40.31% dieron otras razones, figura 4.15.

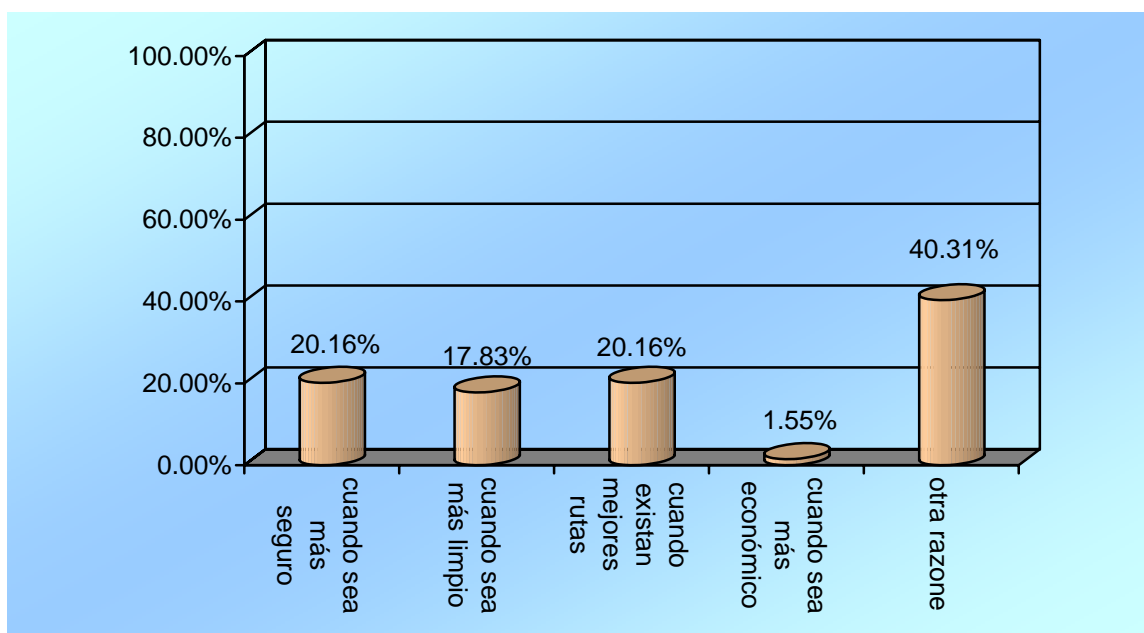


Figura 4.15. Razón para utilizar el transporte público.

4.3 Descripción de los resultados de la tercera etapa

Para el desarrollo de este modelo se tomó en consideración que el sistema de emisión de monóxido de carbono en la ciudad de Mexicali está constituido por un subsistema que representa el crecimiento vehicular, un subsistema que representa la distribución de los vehículos en la ciudad y finalmente un subsistema que representa las emisiones de monóxido de carbono (CO).

La información utilizada para la realización del modelo se obtuvo de fuentes oficiales como el Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI), Diario Oficial de la Federación, Instituto Nacional de Ecología así como de los resultados del conteo de vehículos y la aplicación del instrumento de medición realizados en Mexicali.

4.3.1 Modelo “crecimiento del PVO en Mexicali”

Este modelo considera que el parque vehicular oficial (PVO) está constituido por las unidades ya existentes más las unidades que se dan de alta menos las que se dan de baja anualmente. La figura 4.16 muestra el modelo correspondiente.

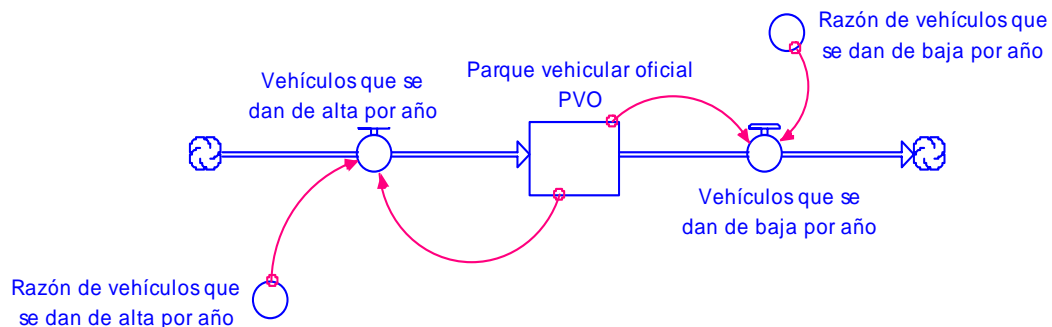


Figura 4.16. Modelo representativo del crecimiento del parque vehicular oficial en la ciudad de Mexicali.

4.3.2 Modelo “distribución del PVO en Mexicali”

A partir del modelo representativo del crecimiento del parque vehicular oficial en la ciudad de Mexicali y la información obtenida de la encuesta, es posible el desarrollo del modelo que representa la distribución del parque vehicular oficial. Ya que el parque vehicular oficial está constituido tanto por unidades fronterizas como por

unidades nacionales, este modelo esta subdividido en dos partes tal como se puede apreciar en la figura 4.17.

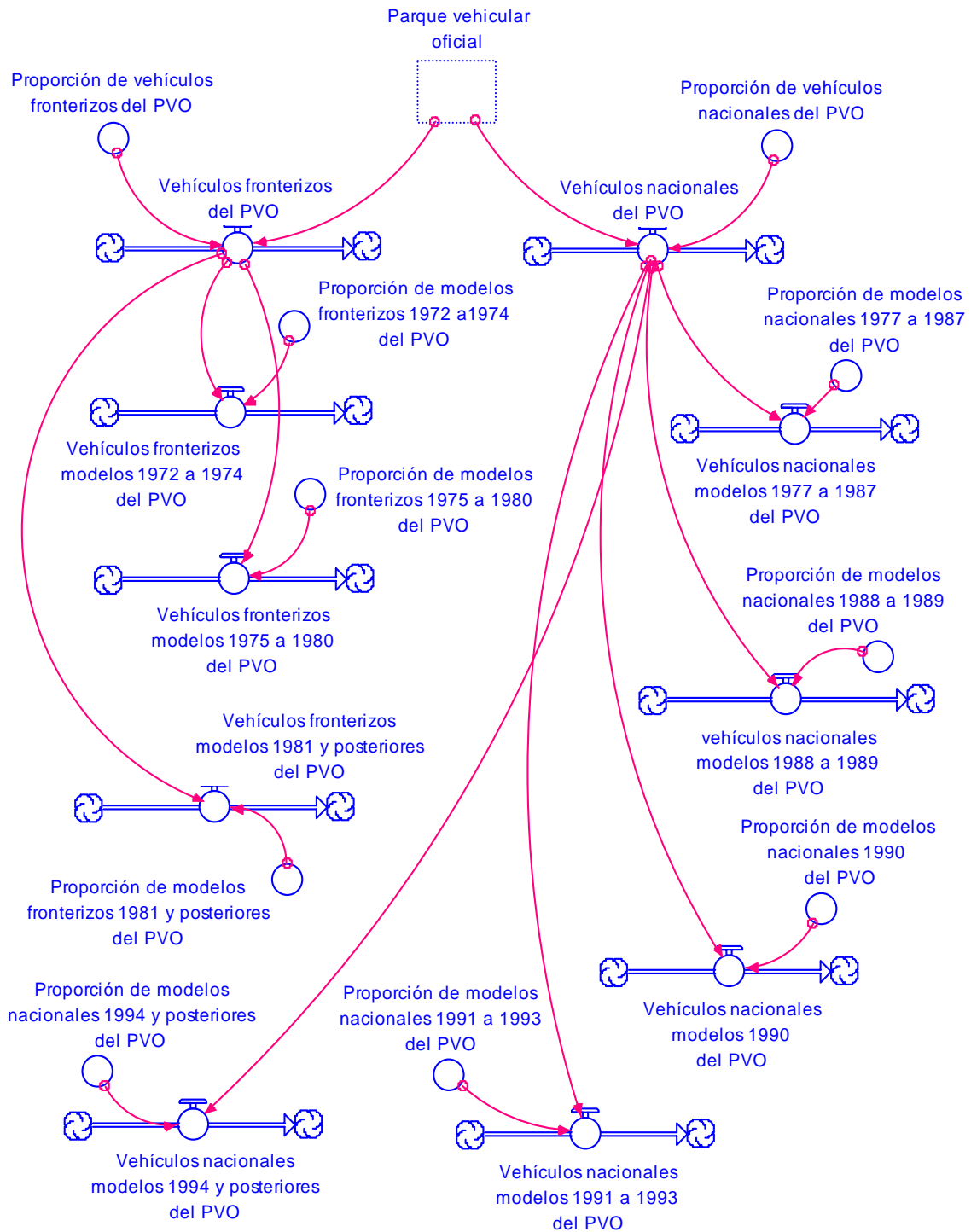


Figura 4.17. Modelo representativo de la distribución del parque vehicular oficial en la ciudad de Mexicali.

4.3.3 Modelo “crecimiento del PVFL en Mexicali”

Este modelo considera que el parque vehicular flotante (PVFL) esta constituido por unidades ya existentes, tanto de origen extranjero como foráneo, más las unidades que se suman al parque vehicular de acuerdo a una tasa de crecimiento anual correspondiente, figura 4.18.

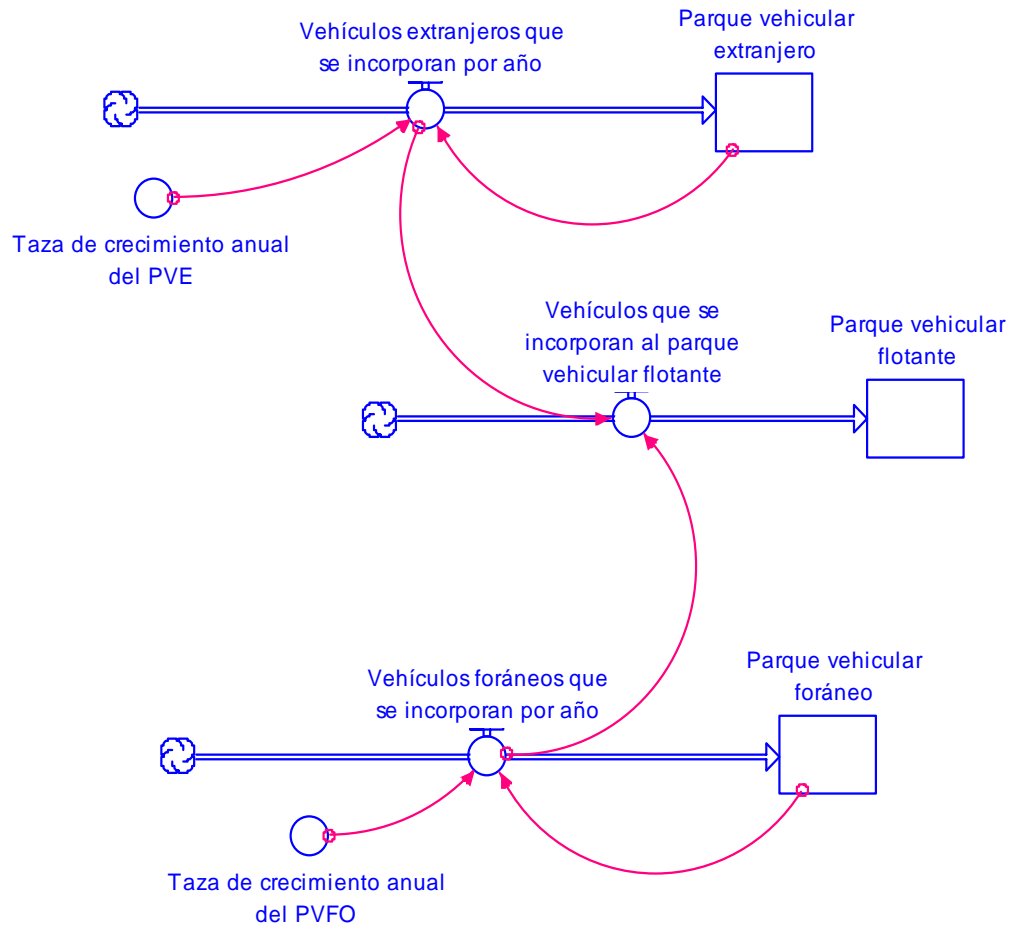


Figura 4.18. Modelo representativo del crecimiento del parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali.

4.3.4 Modelo “distribución del PVFL en Mexicali”

El modelo correspondiente se divide en dos partes, la que representa la distribución del parque vehicular extranjero y el modelo que representa el parque vehicular foráneo.

4.3.4.1 Modelo “distribución del PVE en Mexicali”

La figura 4.19 muestra el modelo de distribución del parque vehicular extranjero (PVE) en la ciudad de Mexicali compuesto en su mayoría por vehículos americanos del Estado de California. La clasificación se realizó en función a la información proporcionada en la norma de emisión de monóxido de carbono americana.

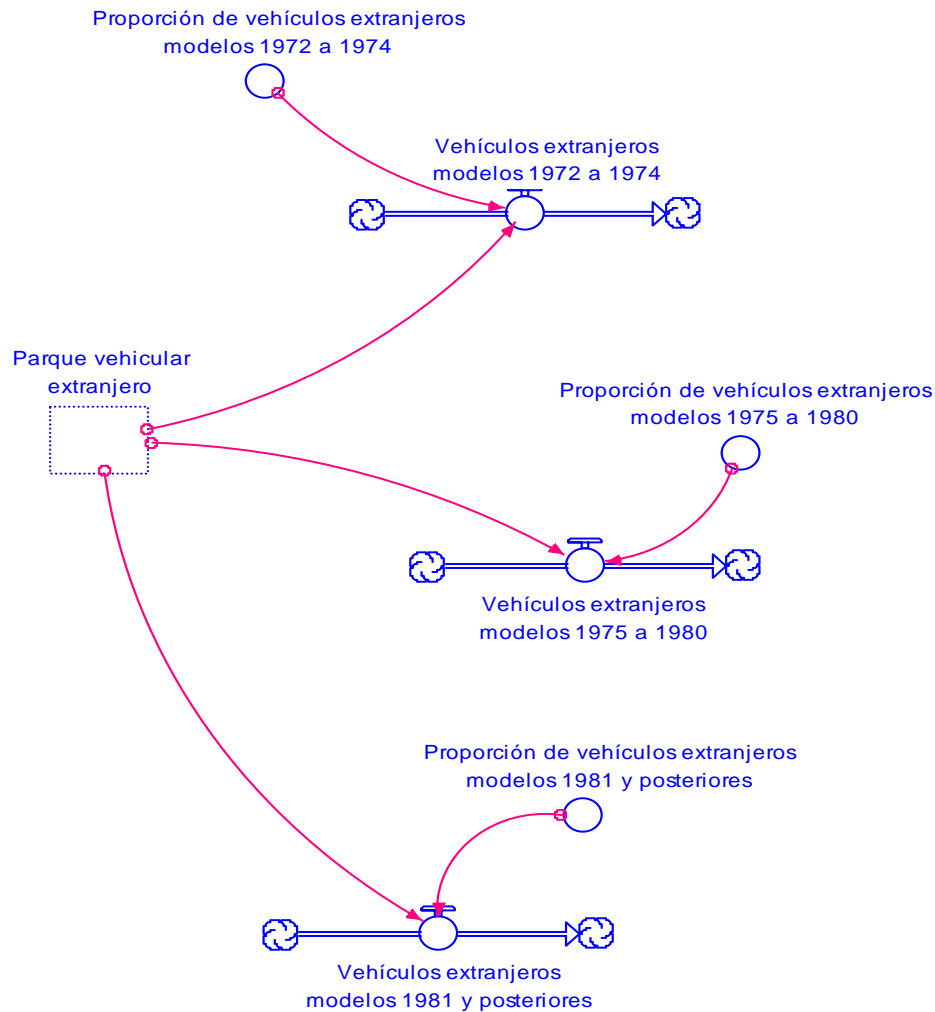


Figura 4.19. Modelo representativo de la distribución del parque vehicular extranjero en la ciudad de Mexicali.

4.3.4.2 Modelo “distribución del PVFO en Mexicali”

El modelo de distribución del parque vehicular foráneo (PVFO) en la ciudad de Mexicali está compuesto en su mayoría por vehículos fronterizos del Estado de

Sonora. La clasificación se realizó en función a la información proporcionada en la Norma Oficial Mexicana 042-ECOL-1999.

Al igual que el modelo para el parque vehicular oficial, el parque vehicular foráneo en la ciudad de Mexicali está constituido tanto por unidades fronterizas como por unidades nacionales, este modelo esta subdividido en dos partes tal como se puede apreciar en la figura 4.20.

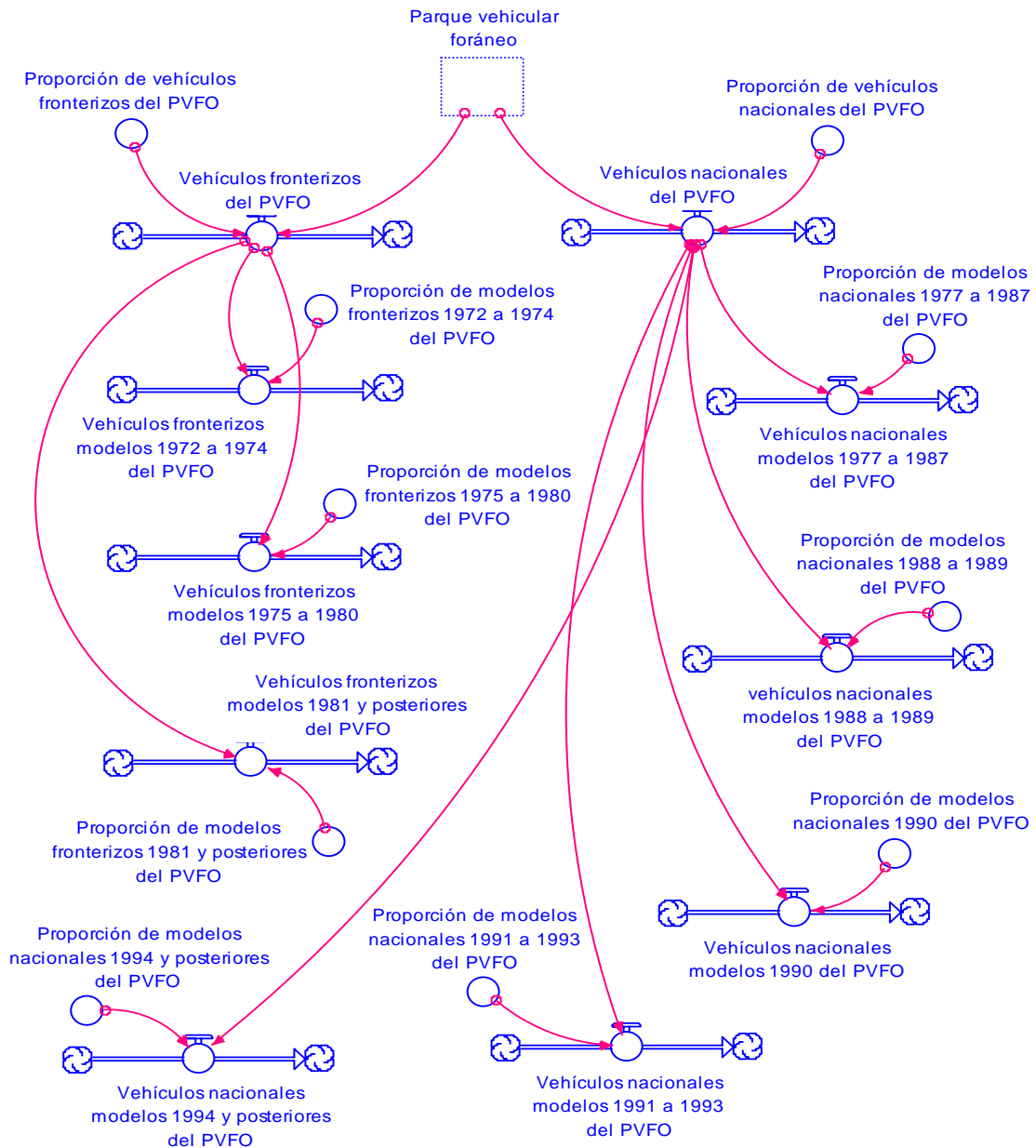


Figura 4.20. Modelo representativo de la distribución del parque vehicular foráneo en la ciudad de Mexicali.

4.3.5 Modelo “emisiones de CO por VP en Mexicali”

Este modelo simplificado establece el punto de partida para el desarrollo del modelo conceptual general. Debido a que la información oficial no contempla el parque vehicular flotante, es necesario considerarlo ya que de los resultados obtenidos, de los conteos realizados y la encuesta aplicada, se observa que existe un porcentaje significativo de vehículos de origen flotante, ya sea extranjero o foráneo, que constituyen el parque vehicular flotante (PVFL) y que además contribuye a las emisiones de monóxido de carbono en la ciudad de Mexicali, figura 4.21.

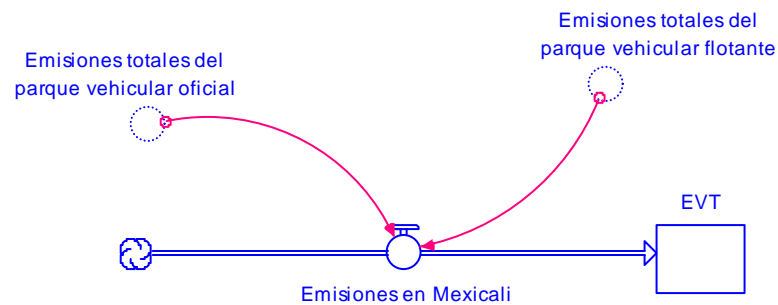


Figura 4.21. Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos particulares en la ciudad de Mexicali.

4.3.6 Modelo “emisiones de CO por el PVO en Mexicali”

Ya que el parque vehicular oficial está formado tanto por unidades nacionales como fronterizas, se realizaron dos modelos de emisiones, uno para las unidades fronterizas y otro para las unidades nacionales. La figura 4.22 muestra el modelo simplificado de las emisiones de monóxido de carbono por el parque vehicular oficial en la ciudad de Mexicali.

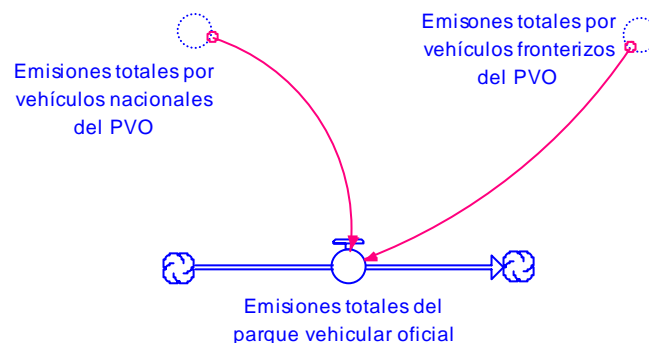


Figura 4.22. Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por el parque vehicular oficial en la ciudad de Mexicali.

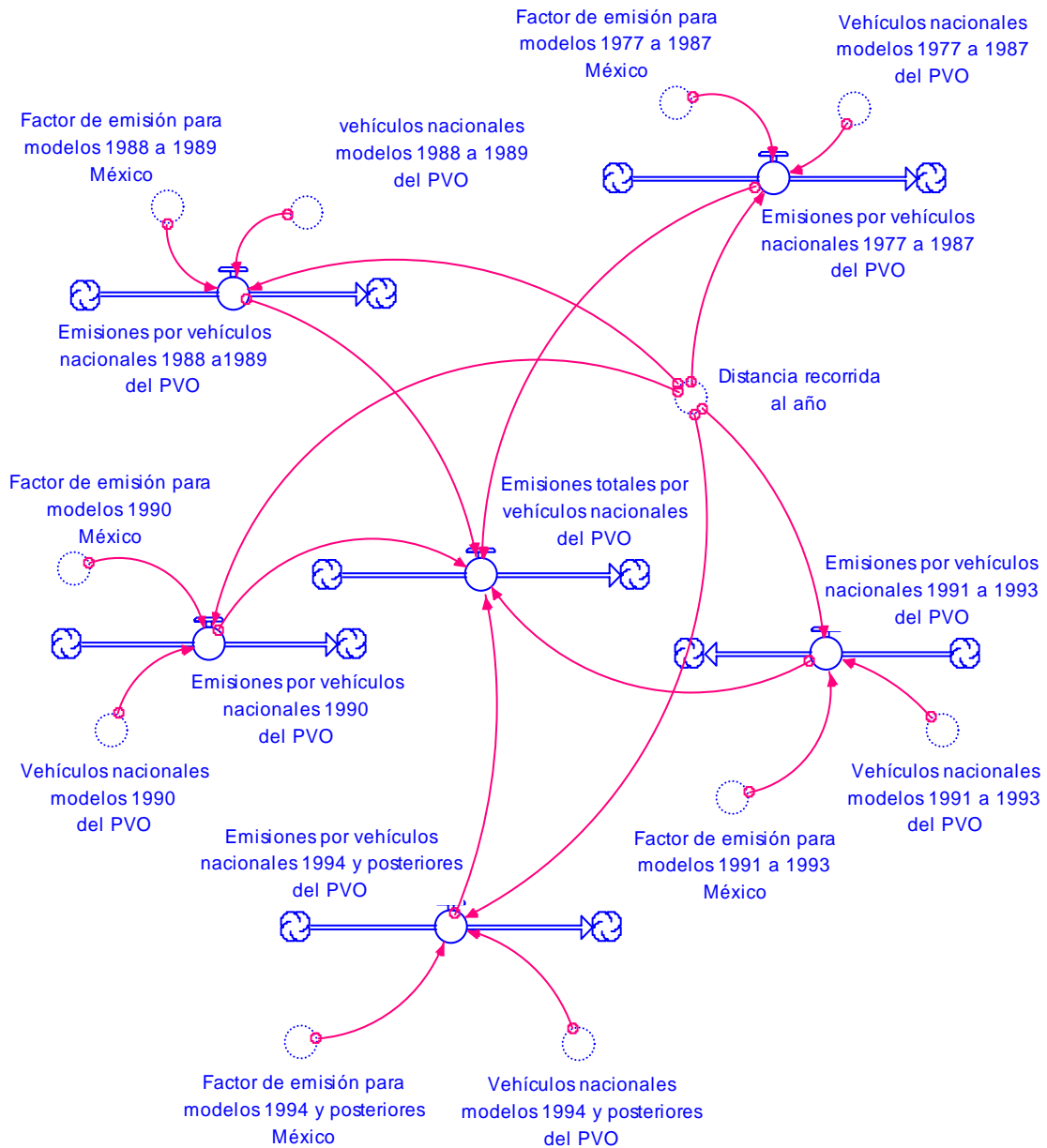


Figura 4.24. Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos nacionales del parque vehicular oficial en la ciudad de Mexicali.

4.3.7 Modelo “emisiones de CO por el PVFL en Mexicali”

Ya que el parque vehicular flotante está formado tanto por vehículos extranjeros como vehículos foráneos (VFO), se realizaron dos modelos de emisiones, uno para las unidades extranjeras y otro para las unidades foráneas. La figura 4.25 muestra el modelo simplificado de emisiones de monóxido de carbono por el parque vehicular flotante.

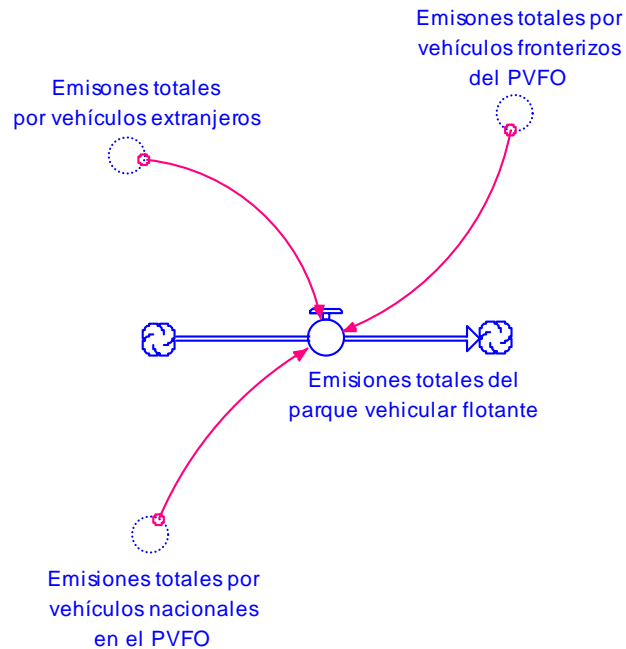


Figura 4.25. Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por el parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali.

4.3.7.1 Modelo “emisiones de CO por VE del PVFL”

La figura 4.26 muestra el modelo correspondiente a las emisiones de monóxido de carbono por vehículos extranjeros del parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali.

4.3.7.2 Modelo “emisiones de CO por VFO del PVFL”

Ya que el parque vehicular foráneo está formado tanto por unidades nacionales como fronterizas, se realizaron dos modelos de emisiones, uno para las unidades fronterizas y otro para las unidades nacionales.

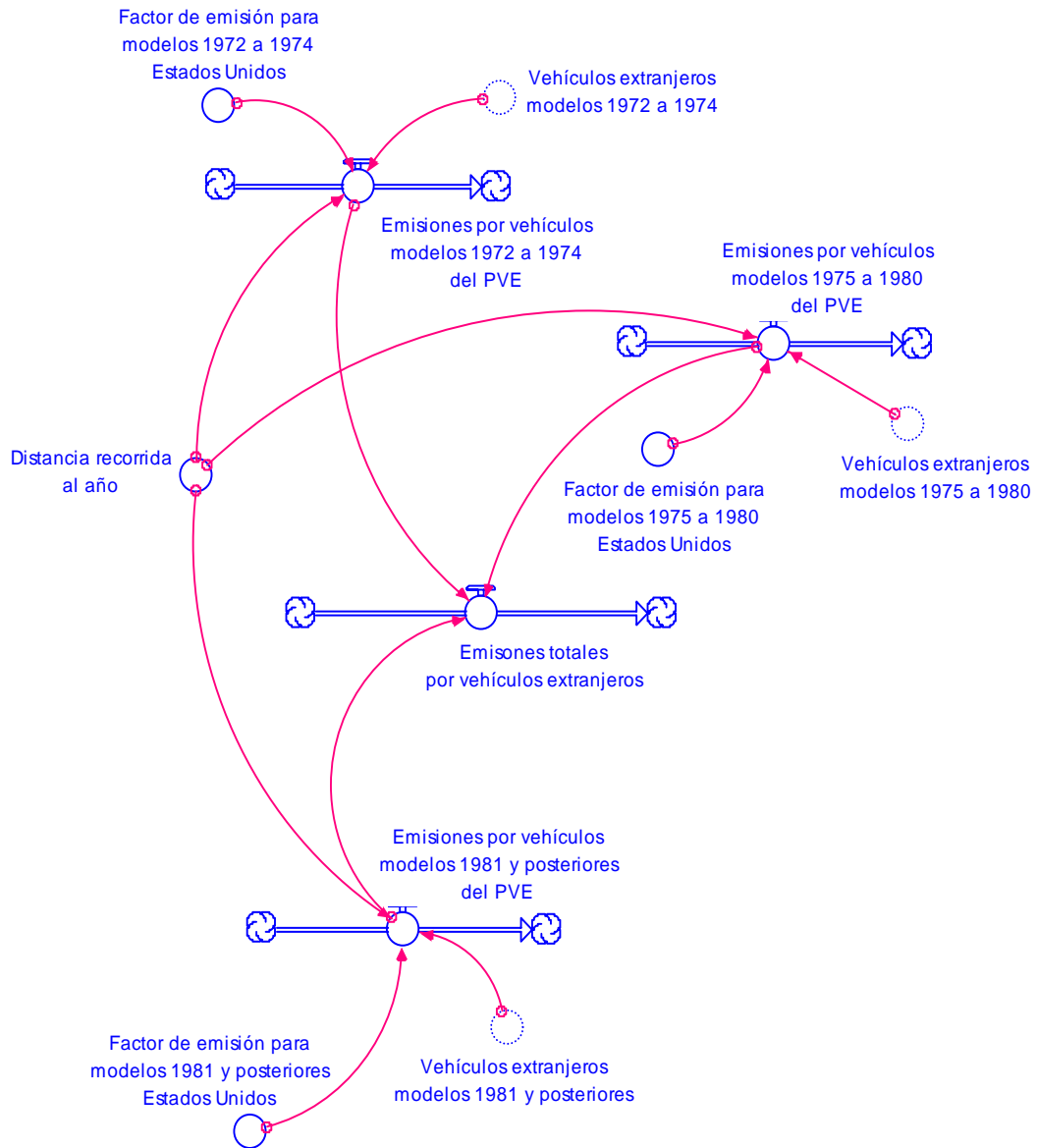


Figura 4.26. Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos extranjeros del parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali.

4.3.7.2.1 Modelo “emisiones de CO por VN del PVFL”

La figura 4.27 muestra el modelo correspondiente a las emisiones de monóxido de carbono por vehículos nacionales del parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali.

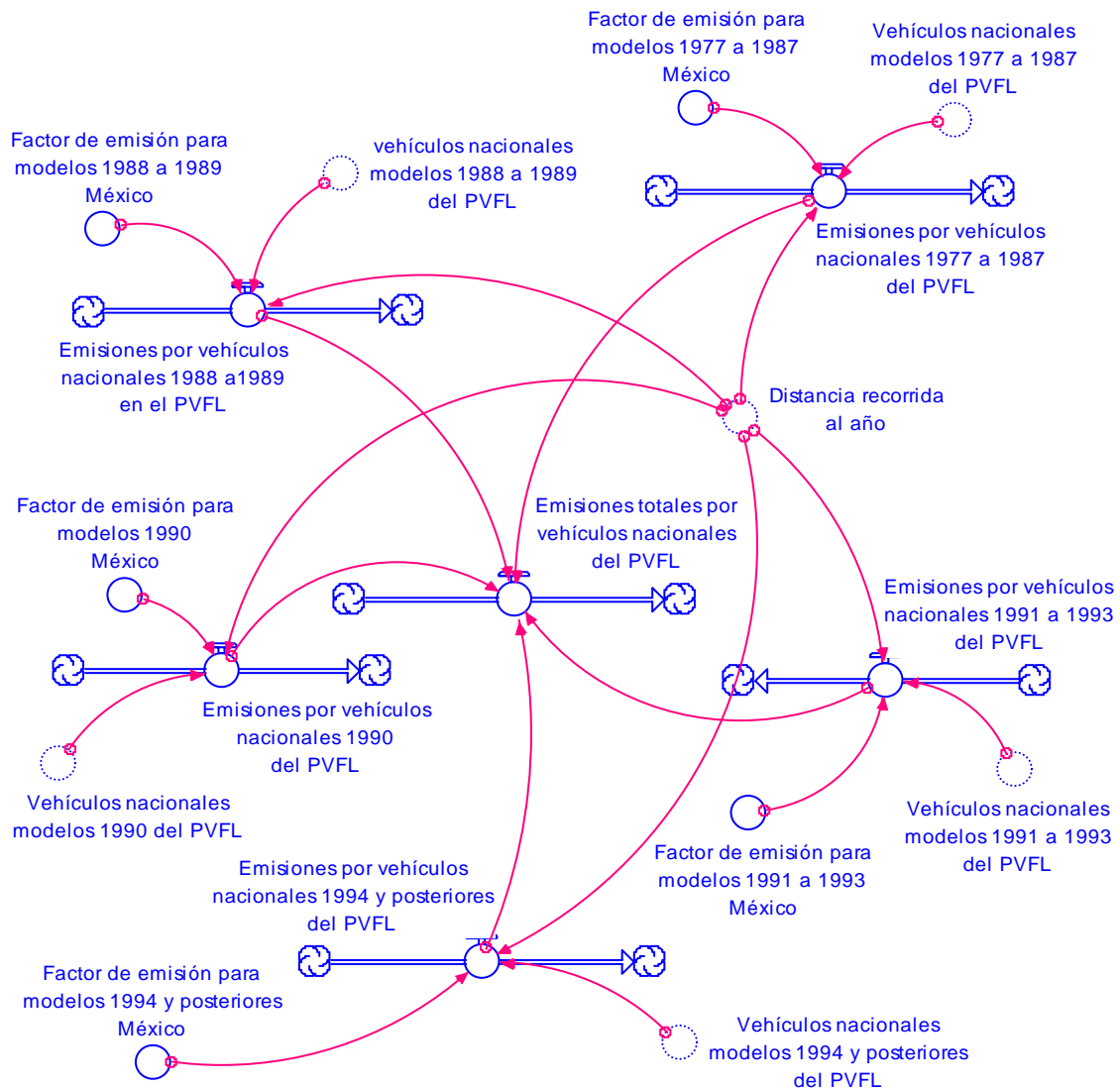


Figura 4.27. Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos nacionales del parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali.

4.3.7.2.2 Modelo “emisiones de CO por VF del PVFL”

La figura 4.28 muestra el modelo correspondiente a las emisiones de monóxido de carbono por vehículos fronterizos del parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali.

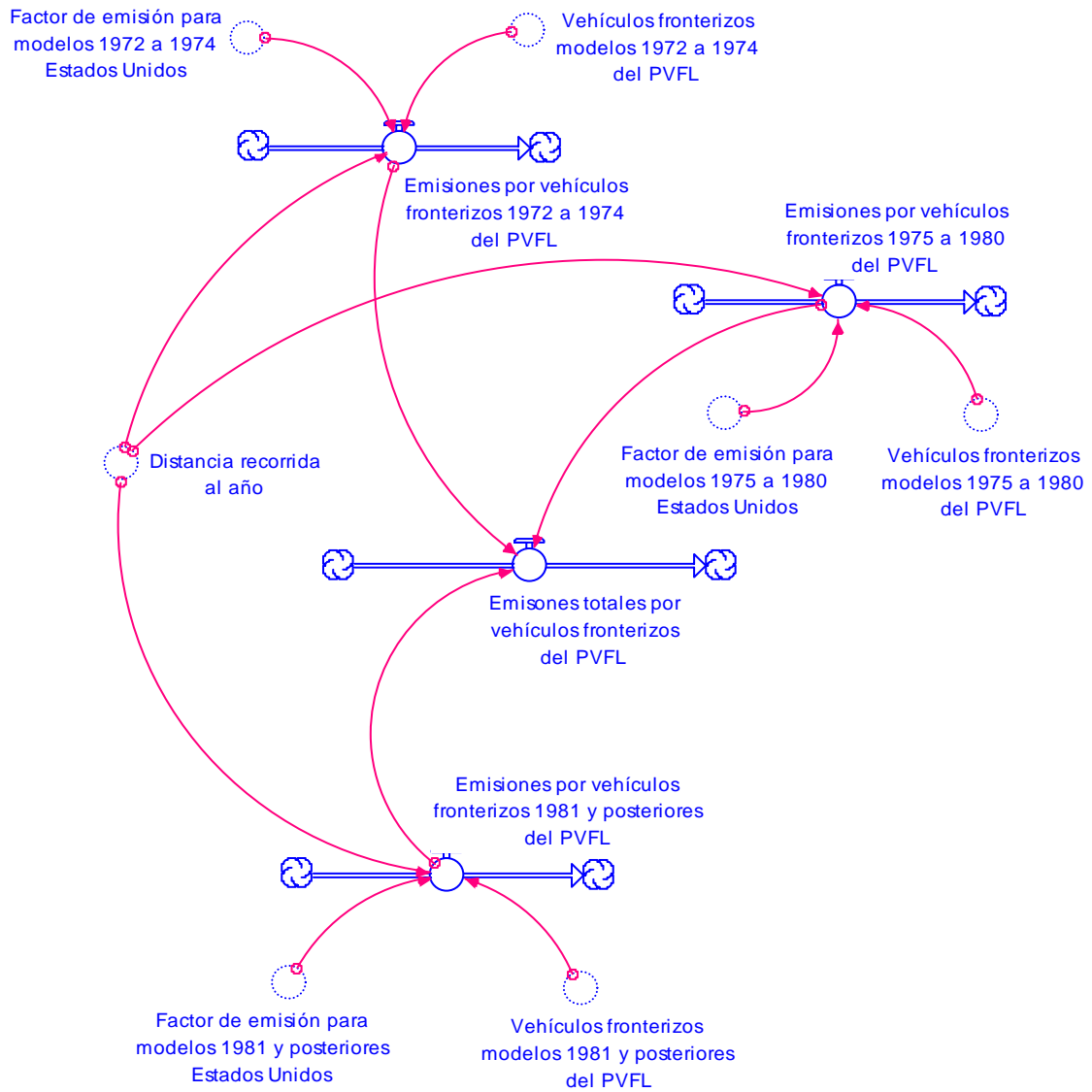


Figura 4.28. Modelo representativo de las emisiones de monóxido de carbono por vehículos fronterizos del parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali.

4.4 Descripción de los resultados de la cuarta etapa

A continuación se presentan las ecuaciones que describen en forma completa tanto el modelo como el comportamiento del sistema de interés.

4.4.1 Ecuaciones del modelo “crecimiento del PVO en Mexicali”

$$\text{Parque_vehicular_oficial}(t) = \text{Parque_vehicular_oficial_PVO}(t - dt) + (\text{Vehículos_que_se_dan_de_alta_por_año} - \text{Vehículos_que_se_dan_de_baja_por_año}) * dt$$

Valor inicial:

$$\text{INIT Parque_vehicular_oficial_PVO} = 140506 \text{ Vehículos}$$

Flujo de entrada:

$$\begin{aligned} \text{Vehículos_que_se_dan_de_alta_por_año} = \\ \text{Parque_vehicular_oficial} * \text{Razón_de_vehículos_que_se_dan_de_baja_por_año} \end{aligned}$$

Flujo de salida:

$$\begin{aligned} \text{Vehículos_que_se_dan_de_baja_por_año} = \\ \text{Parque_vehicular_oficial} * \text{Razón_de_vehículos_que_se_dan_de_alta_por_año} \end{aligned}$$

Variables y constantes:

$$\text{Razón_de_vehículos_que_se_dan_de_alta_por_año} = 3.4\%$$

$$\text{Razón_de_vehículos_que_se_dan_de_baja_por_año} = 0.25\%$$

4.4.2 Ecuaciones del modelo “distribución del PVO en Mexicali”

Flujo de entrada:

$$\begin{aligned} \text{Vehículos_fronterizos_del_PVO} = \\ \text{Parque_vehicular_oficial} * \text{Proporción_de_vehículos_fronterizos_del_PVO} \end{aligned}$$

Vehículos_fronterizos_modelos_1975_a_1980_del_PVO =
Vehículos_fronterizos_del_PVO*Proporción_de_modelos_fronterizos_1975_a_1980
_del_PVO

Vehículos_fronterizos_modelos_1972_a_1974_del_PVO =
Vehículos_fronterizos_del_PVO*Proporción_de_modelos_fronterizos_1972_a1974_
del_PVO

Vehículos_fronterizos_modelos_1981_y_posteriores_del_PVO =
Vehículos_fronterizos_del_PVO*Proporción_de_modelos_fronterizos_1981_y_post
eriores_del_PVO

Vehículos_nacionales_del_PVO =
Parque_vehicular_oficial*Proporción_de_vehículos_nacionales_del_PVO

Vehículos_nacionales_modelos_1977_a_1987_del_PVO =
Vehículos_nacionales_del_PVO*Proporción_de_modelos_nacionales_1977_a_198
7_del_PVO

Vehículos_nacionales_modelos_1988_a_1989_del_PVO =
Vehículos_nacionales_del_PVO*Proporción_de_modelos_nacionales_1988_a_198
9_del_PVO

Vehículos_nacionales_modelos_1990_del_PVO =
Vehículos_nacionales_del_PVO*Proporción_de_modelos_nacionales_1990_del_PV
O

Vehículos_nacionales_modelos_1991_a_1993_del_PVO =
Vehículos_nacionales_del_PVO*Proporción_de_modelos_nacionales_1991_a_199
3_del_PVO

Vehículos_nacionales_modelos_1994_y_posteriores_del_PVO =
Vehículos_nacionales_del_PVO*Proporción_de_modelos_nacionales_1994_y_posteriores_del_PVO

Variables y constantes:

Proporción_de_vehículos_fronterizos_del_PVO = 86%

Proporción_de_vehículos_nacionales_del_PVO = 14%

Proporción_de_modelos_fronterizos_1972_a1974_del_PVO = 1%

Proporción_de_modelos_fronterizos_1975_a_1980_del_PVO = 3%

Proporción_de_modelos_fronterizos_1981_y_posteriores_del_PVO = 96%

Proporción_de_modelos_nacionales_1977_a_1987_del_PVO = 4.2%

Proporción_de_modelos_nacionales_1988_a_1989_del_PVO = 8.3%

Proporción_de_modelos_nacionales_1990_del_PVO = 0%

Proporción_de_modelos_nacionales_1991_a_1993_del_PVO = 16.7%

Proporción_de_modelos_nacionales_1994_y_posteriores_del_PVO = 70.8%

4.4.3 Ecuaciones del modelo “crecimiento del PVFL en Mexicali”

Parque_vehicular_extranjero(t) = Parque_vehicular_extranjero(t - dt) +
(Vehículos_extranjeros_que_se_incorporan_por_año) * dt

Parque_vehicular_flotante(t) = Parque_vehicular_flotante(t - dt) +
(Vehículos_que_se_incorporan_al_parque_vehicular_flotante) * dt

Parque_vehicular_foráneo(t) = Parque_vehicular_foráneo(t - dt) +
(Vehículos_foráneos_que_se_incorporan_por_año) * dt

Valores iniciales:

INIT Parque_vehicular_extranjero = 140506*0.1676

INIT Parque_vehicular_flotante = 140506*(0.1676+0.0367)

INIT Parque_vehicular_foráneo = 140506*0.0367

Flujos de entrada:

Vehículos_extranjeros_que_se_incorporan_por_año =
Parque_vehicular_extranjero*Taza_de_crecimiento_anual_PVE

Vehículos_foráneos_que_se_incorporan_por_año =
Parque_vehicular_foráneo*Taza_de_crecimiento_anual_PVF

Vehículos_que_se_incorporan_al_parque_vehicular_flotante =
Vehículos_extranjeros_que_se_incorporan_por_año+Vehículos_foráneos_que_se_incorporan_por_año

Variables y constantes:

Taza_de_crecimiento_anual_PVF = 3.4%

Taza_de_crecimiento_anual_PVE = 3.4%

4.4.4 Ecuaciones del modelo “distribución del PVFL en Mexicali”

Flujos de entrada:

Vehículos_extranjeros_modelos_1972_a_1974 =
Parque_vehicular_extranjero*Proporción_de_vehículos_extranjeros_modelos_1972_a_1974

Vehículos_extranjeros_modelos_1975_a_1980 =
Parque_vehicular_extranjero*Proporción_de_vehículos_extranjeros_modelos_1975_a_1980

Vehículos_extranjeros_modelos_1981_y_posteriores =
Parque_vehicular_extranjero*Proporción_de_vehículos_extranjeros_modelos_1981_y_posteriores

Vehículos_fronterizos_del_PVFL =
Parque_vehicular_foráneo*Proporción_de_vehículos_fronterizos_del_PVFL

Vehículos_fronterizos_modelos_1975_a_1980_del_PVFL =
Vehículos_fronterizos_del_PVFL*Proporción_de_modelos_fronterizos_1975_a_1980_del_PVFL

Vehículos_fronterizos_modelos_1972_a_1974_del_PVFL =
Vehículos_fronterizos_del_PVFL*Proporción_de_modelos_fronterizos_1972_a_1974_del_PVFL

Vehículos_fronterizos_modelos_1981_y_posteriores_del_PVFL =
Vehículos_fronterizos_del_PVFL*Proporción_de_modelos_fronterizos_1981_y_posteriores_del_PVFL

Vehículos_nacionales_del_PVFL =
Parque_vehicular_foráneo*Proporción_de_vehículos_nacionales_del_PVFL

Vehículos_nacionales_modelos_1977_a_1987_del_PVFL =
Vehículos_nacionales_del_PVFL*Proporción_de_modelos_nacionales_1977_a_1987_del_PVFL

vehículos_nacionales_modelos_1988_a_1989_del_PVFL =
Vehículos_nacionales_del_PVFL*Proporción_de_modelos_nacionales_1988_a_1989_del_PVFL

Vehículos_nacionales_modelos_1990_del_PVFL =
Vehículos_nacionales_del_PVFL*Proporción_de_modelos_nacionales_1990_del_PVFL

Vehículos_nacionales_modelos_1991_a_1993_del_PVFL =
Vehículos_nacionales_del_PVFL*Proporción_de_modelos_nacionales_1991_a_1993_del_PVFL

Vehículos_nacionales_modelos_1994_y_posteriores_del_PVFL =
Vehículos_nacionales_del_PVFL*Proporción_de_modelos_nacionales_1994_y_pos-
teriores_del_PVFL

Variables y constantes:

Proporción_de_vehículos_extranjeros_modelos_1972_a_1974 = 0%
Proporción_de_vehículos_extranjeros_modelos_1975_a_1980 = 0%
Proporción_de_vehículos_extranjeros_modelos_1981_y_posteriores = 100%
Proporción_de_vehículos_fronterizos_del_PVFL = 83.3%
Proporción_de_vehículos_nacionales_del_PVFL = 16.7%
Proporción_de_modelos_fronterizos_1972_a_1974_del_PVFL = 0%
Proporción_de_modelos_fronterizos_1975_a_1980_del_PVFL = 0%
Proporción_de_modelos_fronterizos_1981_y_posteriores_del_PVFL = 100%
Proporción_de_modelos_nacionales_1977_a_1987_del_PVFL = 0%
Proporción_de_modelos_nacionales_1988_a_1989_del_PVFL = 0%
Proporción_de_modelos_nacionales_1990_del_PVFL = 0%
Proporción_de_modelos_nacionales_1991_a_1993_del_PVFL = 0%
Proporción_de_modelos_nacionales_1994_y_posteriores_del_PVFL = 100%

4.4.5 Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VP en Mexicali”

$EVT(t) = EVT(t - dt) + (Emisiones_en_Mexicali) * dt$

Valor inicial:

INIT EVT = Emisiones_en_Mexicali

Flujo de entrada:

Emisiones_en_Mexicali =

(Emisiones_totales_del_parque_vehicular_flotante+Emisiones_totales_del_parque_vehicular_oficial)

4.4.6 Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por el PVO en Mexicali”

Flujo de entrada:

Emisiones_totales_del_parque_vehicular_oficial =
Emisiones_totales_por_vehículos_nacionales_del_PVO+Emisiones_totales_por_vehículos_fronterizos_del_PVO

4.4.6.1 Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VF del PVO”

Flujos de entrada:

Emisiones_totales_por_vehículos_fronterizos_del_PVO =
Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1972_a_1974_del_PVO+Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1975_a_1980_del_PVO+Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1981_y_posteriores_del_PVO

Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1972_a_1974_del_PVO =
Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1972_a_1974_Estados_Unidos*Vehículos_fronterizos_modelos_1972_a_1974_del_PVO

Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1975_a_1980_del_PVO =
Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1975_a_1980_Estados_Unidos*Vehículos_fronterizos_modelos_1975_a_1980_del_PVO

Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1981_y_posteriores_del_PVO =
Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1981_y_posteriores_Estados_Unidos*Vehículos_fronterizos_modelos_1981_y_posteriores_del_PVO

Variables y constantes:

Distancia_recorrida_al_año = 10,585 km

Factor_de_emisión_para_modelos_1972_a_1974_Estados_Unidos = 24.2 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1975_a_1980_Estados_Unidos = 15 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1981_y_posteriores_Estados_Unidos = 2.11 g/km

4.4.6.2 Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VN del PVO”

Flujos de entrada:

Emisiones_totales_por_vehículos_nacionales_del_PVO =

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1977_a_1987_del_PVO+Emisiones_por_vehículos_nacionales_1988_a1989_del_PVO+Emisiones_por_vehículos_nacionales_1990_del_PVO+Emisiones_por_vehículos_nacionales_1991_a_1993_del_PVO+Emisiones_por_vehículos_nacionales_1994_y_posteriores_del_PVO

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1977_a_1987_del_PVO =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1977_a_1987_México*Vehículos_nacionales_modelos_1977_a_1987_del_PVO

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1988_a1989_del_PVO =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1988_a_1989_México*vehículos_nacionales_modelos_1988_a_1989_del_PVO

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1990_del_PVO =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1990_México*Vehículos_nacionales_modelos_1990_del_PVO

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1991_a_1993_del_PVO =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1991_a_1993_México*Vehículos_nacionales_modelos_1991_a_1993_del_PVO

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1994_y_posteriores_del_PVO =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1994_y_posteriores_México*Vehículos_nacionales_modelos_1994_y_posteriores_del_PVO

Variables y constantes:

Distancia_recorrida_al_año = 10,585 km

Factor_de_emisión_para_modelos_1977_a_1987_México = 24.2 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1988_a_1989_México = 22.2 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1990_México = 18 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1991_a_1993_México = 7 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1994_y_posteriores_México = 2.11 g/km

4.4.7 Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por el PVFL en Mexicali”

Flujo de entrada:

Emisiones_totales_del_parque_vehicular_flotante =

Emisiones_totales_por_vehículos_nacionales_del_PVFL+Emisiones_totales_por_vehículos_extranjeros+Emisiones_totales_por_vehículos_fronterizos_del_PVFL

4.4.7.1 Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VE del PVFL”

Flujo de entrada:

Emisiones_totales_por_vehículos_extranjeros =

Emisiones_por_vehículos_modelos_1972_a_1974_del_PVE+Emisiones_por_vehículos_modelos_1975_a_1980_del_PVE+Emisiones_por_vehículos_modelos_1981_y_posteriores_del_PVE

Emisiones_por_vehículos_modelos_1981_y_posteriores_del_PVE =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1981_y_posteriores_Estados_Unidos*Vehículos_extranjeros_modelos_1981_y_posteriores

Emisiones_por_vehículos_modelos_1972_a_1974_del_PVE =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1972_a_1974_Estados_Unidos*Vehículos_extranjeros_modelos_1972_a_1974

Emisiones_por_vehículos_modelos_1975_a_1980_del_PVE =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1975_a_1980_Estados_Unidos*Vehículos_extranjeros_modelos_1975_a_1980

VARIABLES Y CONSTANTES:

Distancia_recorrida_al_año = 10,585 km

Factor_de_emisión_para_modelos_1972_a_1974_Estados_Unidos = 24.2 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1975_a_1980_Estados_Unidos = 15 gm/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1981_y_posteriores_Estados_Unidos = 2.11 g/km

4.4.7.2 Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VFO del PVFL”

4.4.7.2.1 Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VN del PVFL”

Flujo de entrada:

Emisiones_totales_por_vehículos_nacionales_del_PVFL =

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1977_a_1987_del_PVFL+Emisiones_por_vehículos_nacionales_1988_a1989_del_PVFL+Emisiones_por_vehículos_nacionales_1990_del_PVFL+Emisiones_por_vehículos_nacionales_1991_a_1993_del_PVFL+Emisiones_por_vehículos_nacionales_1994_y_posteriores_del_PVFL

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1977_a_1987_del_PVFL =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1977_a_1987_México*Vehículos_nacionales_modelos_1977_a_1987_del_PVFL

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1988_a1989_del_PVFL =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1988_a_1989_México*vehículos_nacionales_modelos_1988_a_1989_del_PVFL

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1990_del_PVFL =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1990_México*Vehículos_nacionales_modelos_1990_del_PVFL

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1991_a_1993_del_PVFL =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1991_a_1993_México*Vehículos_nacionales_modelos_1991_a_1993_del_PVFL

Emisiones_por_vehículos_nacionales_1994_y_posteriores_del_PVFL =
Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1994_y_posteriores
_México*Vehículos_nacionales_modelos_1994_y_posteriores_del_PVFL

VARIABLES Y CONSTANTES:

Distancia_recorrida_al_año = 10,585 km

Factor_de_emisión_para_modelos_1977_a_1987_México = 24.2 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1988_a_1989_México = 22.2 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1990_México = 18 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1991_a_1993_México = 7 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1994_y_posteriores_México = 2.11 g/km

4.4.7.2.2 Ecuaciones del modelo “emisiones de CO por VF del PVFL”

Flujo de entrada:

Emisiones_totales_por_vehículos_fronterizos_del_PVFL =

Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1972_a_1974_del_PVFL+Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1975_a_1980_del_PVFL+Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1981_y_posteriores_del_PVFL

Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1972_a_1974_del_PVFL =

Distancia_recorrida_al_año*Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1972_a_1974_Estados_Unidos*Vehículos_fronterizos_modelos_1972_a_1974_del_PVFL

Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1975_a_1980_del_PVFL =

Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1975_a_1980_Estados_Unidos*Vehículos_fronterizos_modelos_1975_a_1980_del_PVFL

Emisiones_por_vehículos_fronterizos_1981_y_posteriores_del_PVFL =
Distancia_recorrida_al_año*Factor_de_emisión_para_modelos_1981_y_posteriores
_Estados_Unidos*Vehículos_fronterizos_modelos_1981_y_posteriores_del_PVFL

Variables y constantes:

Distancia_recorrida_al_año = 10,585 km

Factor_de_emisión_para_modelos_1972_a_1974_Estados_Unidos = 24.2 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1975_a_1980_Estados_Unidos = 15 g/km

Factor_de_emisión_para_modelos_1981_y_posteriores_Estados_Unidos = 2.11
g/km

4.5 Quinta etapa: resultados de las simulaciones

La figura 4.29 muestra una gráfica con los resultados obtenidos para tres escenarios; el primer escenario considera que la razón de vehículos oficiales que se dan de alta al año en Mexicali es del 3.4% y la de los vehículos que se dan de baja es del 0.25%; el segundo escenario considera que la razón de vehículos oficiales que se dan de alta al año es del 3.4% y la de los vehículos que se dan de baja es del 1.1%; y el tercer escenario considera que la razón de vehículos oficiales que se dan de alta al año es del 3.0% y la de los vehículos que se dan de baja es del 0.2%. En esta gráfica se hace una comparación con los datos proporcionados por el INEGI correspondiente al periodo de 1989 al 2000. Como puede observarse, los resultados de la simulación representan una aproximación, ya que se consideraron constantes las tasas anuales de altas y bajas del parque vehicular oficial para el periodo 1989 al 2000.

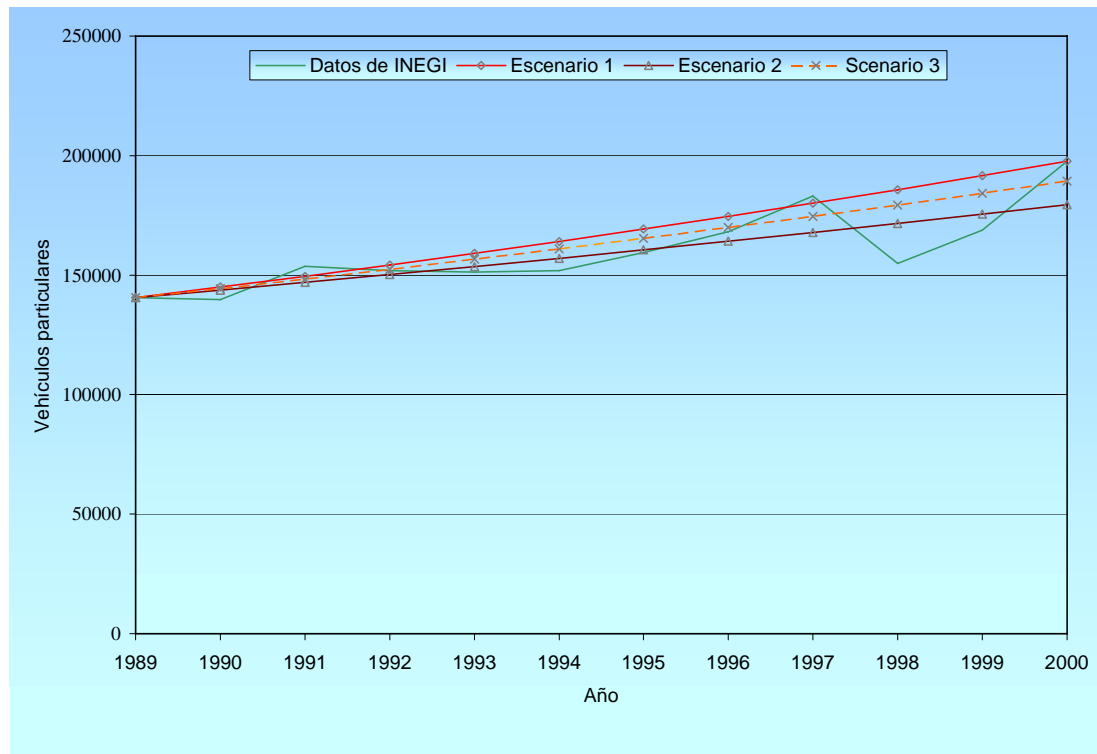


Figura 4.29. Comparación de comportamiento del parque vehicular en la ciudad de Mexicali para tres escenarios distintos con datos de INEGI.

La figura 4.30 muestra los resultados de una corrida a los modelos correspondientes al comportamiento del parque vehicular oficial y el parque vehicular flotante en el periodo de 1989 al 2005. Para el crecimiento anual del parque vehicular flotante se consideraron tasas constantes para este periodo. Los valores estimados para el parque vehicular oficial y flotante para el año 2005 son de 216,872 y 61,797 unidades correspondientemente.

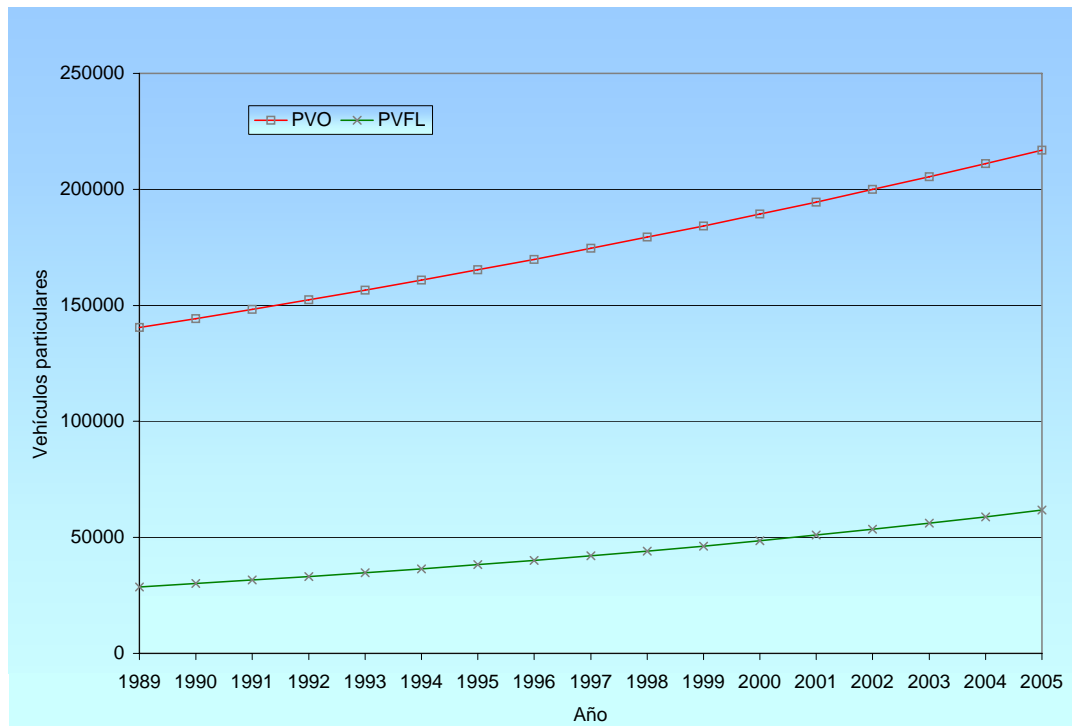


Figura 4.30. Resultados de una corrida a los modelos correspondientes al comportamiento del parque vehicular oficial y el parque vehicular flotante en el periodo de 1989 al 2005.

En la figura 4.31 muestra las emisiones de monóxido de carbono estimadas por el modelo para la ciudad de Mexicali en el periodo de 1989 al 2005

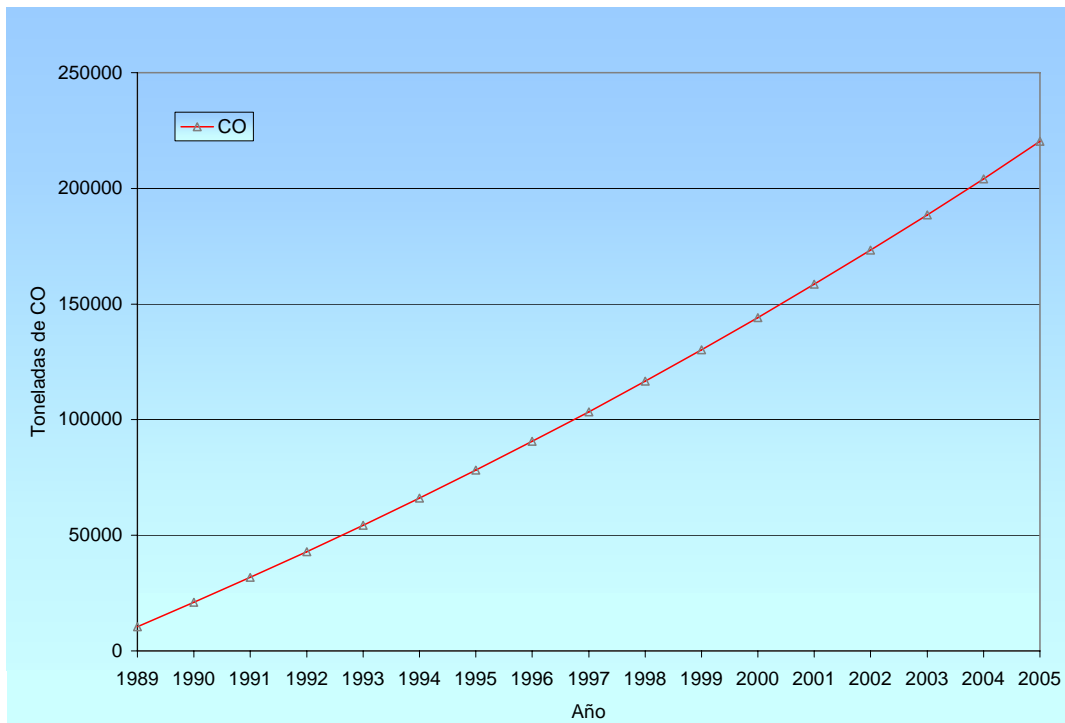


Figura 4.31. Emisiones estimadas de monóxido para la ciudad de Mexicali durante le periodo de 1989 al 2005.

El Instituto Nacional de Ecología estimó en 143,957 toneladas las emisiones de monóxido de carbono en 1996. Para ese mismo año, el modelo da como resultado 90,633 toneladas. Esta diferencia es debida a que en el modelo se consideraron factores de emisión establecidos por las autoridades para los vehículos particulares según el año del mismo. En la realidad, los factores de emisión son mayores debido a las condiciones mecánicas en que se encuentran las unidades por lo que las emisiones de monóxido de carbono son mayores.

Por otra parte, no existe suficiente información sobre las emisiones de monóxido de carbono en la ciudad de Mexicali que sirvieran para alimentar el modelo propuesto, por lo que estas estimaciones se realizaron de manera indirecta partiendo del parque vehicular, la distancia y el tiempo que recorren los conductores al día en la ciudad de Mexicali así como el modelo de los vehículos.

Finalmente, el valor estimado por el modelo de emisión de monóxido de carbono para la ciudad de Mexicali en el año 2005 es de 220,290 toneladas.

Hasta el momento no se encontró información publicada que indique las emisiones estimadas de monóxido de carbono por el transporte en la ciudad de Mexicali después del segundo inventario de emisiones de 1999. Sin embargo, en los informes finales de estos inventarios se hace referencia a que los niveles de emisión tenderían a bajar en los próximos años debido a que el parque vehicular en la ciudad se está volviendo más joven. Esto podría deberse a las políticas crediticias de parte de las compañías automotrices y a una mayor competencia entre ellas. Lo más importante es que se han reducido los intereses en la compra de autos.

La disminución de las emisiones solo por el rejuvenecimiento del parque vehicular no debe considerarse como la única solución al problema ya que estas emisiones son producto de una interacción de factores. También las políticas para el desarrollo urbano en la ciudad de Mexicali, como la pavimentación y la construcción de nuevas vías de comunicación, pueden contribuir a disminuir las emisiones vehiculares.

Por otra parte, no existen en la ciudad de Mexicali centros de verificación de emisiones vehiculares por lo que es necesario implementar políticas de control de emisiones para el parque vehicular de la ciudad así como un continuo seguimiento de las emisiones vehiculares en la ciudad.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos en este trabajo se concluye lo siguientes:

El parque vehicular flotante en la ciudad de Mexicali es de alrededor del 20.43%, un porcentaje significativo que contribuye a las emisiones de monóxido de carbono, mientras que el parque vehicular oficial representa el restante 79.57%. Los vehículos con placas fronterizas que circulan en la ciudad de Mexicali constituyen el 69.23%, los de placas nacionales el 14.01% y los de placas extranjeras el 16.76%.

De la encuesta aplicada en la ciudad de Mexicali se tiene que la edad promedio del parque vehicular es de 1992, siendo los modelos 1973 los más antiguos.

La distancia promedio que los conductores recorren por día es de 29km y el tiempo promedio que se utiliza para ello es de 2 horas.

En promedio, el 52% de los conductores compran por semana 233.5 pesos de gasolina en México, mientras que el restante 48% de los conductores compran 22.7 dólares de gasolina en Estados Unidos.

Las gasolinas que más demandan los conductores son la magna (mexicana) y la gasolina regular (Estados Unidos) con el 34.29% y el 36.43% respectivamente.

El 48.57% de los conductores que compran la gasolina en los Estados Unidos, lo hacen porque piensan que rinde más y el 45.71% porque piensan que es de mejor calidad. Solo el 4.29% compran la gasolina en Estados Unidos porque piensan que es más barata.

Además, de los conductores que compran la gasolina en Estados Unidos el 51.39% indican que comprarían la gasolina en México cuando ésta sea de igual calidad y precio que en Estados Unidos y el 36.11% cuando sea de mejor calidad.

El 22.47% de los encuestados indicó que utilizarían el transporte público cuando existan mejores rutas, el 20.16% cuando sea más seguro, un porcentaje igual cuando sea mas limpio, el 2.25% cuando sea mas económico y el 34.83% dieron otras razones predominando el tener aire acondicionado.

La metodología de Dinámica de Sistemas nos permite modelar y simular el comportamiento no solo del parque vehicular en la ciudad de Mexicali sino también estimar las emisiones de monóxido de carbono que éste emite por año.

El modelo planteado en este trabajo considera no solo el parque vehicular oficial y sus características sino también el parque vehicular flotante del cual la información que se tiene es poca o nula y su contribución a las emisiones de monóxido de carbono puede ser significativa.

Es de esperarse que el parque vehicular en la ciudad de Mexicali aumente con el crecimiento de la población y que la edad promedio de este parque sea más joven, teniendo así una disminución en las emisiones de monóxido de carbono.

Sin embargo, la falta de información, no permitió considerar en el modelo el comportamiento real de la edad del parque vehicular, tan solo se consideró un crecimiento paralelo al del parque vehicular oficial. Por esta razón, se considera necesario recomendar se incluya al modelo el comportamiento real de la edad del parque vehicular.

El modelo en este trabajo solo considera los vehículos particulares por lo que es necesario incluir el resto de los elementos del parque vehicular como los son los

vehículos de carga, vehículos oficiales y motocicletas. Esto permitiría perfeccionar el modelo presente y lograr resultados más cercanos a los oficiales.

Otros factores no se incluyeron en el modelo como lo son la devaluación, las políticas de importación de vehículos y el crecimiento de la población. Por lo que también se recomienda incluirlos en el modelo, en futuros trabajos.

Referencias

Aracil, Santoja Javier y Gordillo, Francisco, 1997. Dinámica de Sistemas. Editorial Alianza, Madrid.

Aronow W. S., 1974. Effect of carbon monoxide exposure on intermittent claudication. Circulation 49: 415, Estados Unidos.

Arriola, H., 2003. Modelación dinámica de la gestión de llantas de desecho. Tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas, Universidad Autónoma de Baja California. México.

Atmospheric Chemistry and Quality Glossary, 1999. Chemistry Department of Sam Houston State University, Estados Unidos.

Averill, M. Law y Kelton, W. David, 2000. Simulation, modeling and analysis. Editorial McGraw Hill, Estados Unidos.

Azarang, Mohammad .R. y García, Dunna Eduardo., 1997. Simulación y análisis de métodos estocásticos. Editorial McGraw Hill, México.

Boletín Ambiental, volumen 1, ejemplar 10, Noviembre 15 de 1996. ITEMS, México.

Breuker, J.A. y Wielinga, B.J., 1989. Models of Expertise in Knowledge Acquisition. Editorial North Holland, Holanda.

Bunge, Mario Augusto, 1981. Teoría y realidad. Editorial Ariel, España.

Cárdenas, Miguel Ángel, 1989. La Ingeniería de Sistemas, filosofía y técnicas. Editorial Limusa, México.

Cárdenas, Miguel Ángel, 1991. El Enfoque de Sistemas. Editorial Limusa, México.

Caselli, Mauricio, 2000. La contaminación atmosférica, causas y fuentes. Editores Siglo 21, México.

Chiavenato, Idalberto, 1981. Introducción a la Teoría General de la Administración. Editorial McGraw Hill, México.

Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable. Evaluación Comparativa de la Normatividad entre México y Estados Unidos (texto). 2004. http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No_Amb/cap_5.html.

Comisión de Planeación para el Desarrollo del Municipio de Mexicali, 1998. Anuario estadístico municipal de Mexicali 1998. XV ayuntamiento de Mexicali, México.

Comisión Nacional de Medio Ambiente, 1998. Orientación metodológica para la medición de variables ambientales. Chile.

Cook, P.A., 1994. Nonlinear Dynamical System. Editorial Prentice Hall, New York.

Coss Bu, Raúl, 1998. Simulación, un enfoque práctico. Editorial Limusa, México.

De Nevers, Noel, 1997. Ingeniería de control de la contaminación del aire. Editorial McGraw Hill, México.

Departamento Español de medio ambiente, 1998. La contaminación de los vehículos: un reto para todos. España.

Diario Oficial de la Federación, diciembre de 1998. México.

Diario Oficial de la Federación, febrero de 1997. México.

Diario Oficial de la Federación, octubre de 1996. México.

Diario Oficial de la Federación, septiembre de 1999. México.

Douglas, C. Montgomery y George, C. Runger, 1996. Probabilidad y estadística. Editorial McGraw Hill, México.

Eastern Research Group and Radian International, 2000. MOBILE5-MEXICO Documentation and User's Guide, Final. Western Governor's Association and Binational Advisory Committee. Estados Unidos.

Enkerlin Hoeflich, Ernesto Christian y Gerónimo Cano, 1997. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. Editorial Thomson, Chile.

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Ciudades para un Futuro más Sostenible (texto). 2002. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n28/ajsan.html>.

Fierro Ochoa, Aurora, 2002. La Contaminación Atmosférica y su Impacto en la Salud de la Población en la Ciudad de Mexicali B.C. Tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas, Universidad Autónoma de Baja California. México.

Forrester, Jay W., 1961. Industrial Dynamics. Editorial MIT, Cambridge, Mass. Estados Unidos.

G. Tyler Miller, Jr., 1994. Ecología y medio ambiente. Editorial Iberoamericana, México.

Gallegos, Ricardo, 1997. La Generación Eléctrica en Baja California y su relación con la Emisión de Contaminantes a la Atmósfera: el caso de Cerro Prieto. Tesis de Maestría en Geotermia, Universidad Autónoma de Baja California. México.

García, Juan Martín, 1999. Curso de Creación de Modelos en Ecología y Gestión de Recursos Humanos. Universitat Politècnica de Catalunya, España.

George, P., 1980. Geografía: energía y población. UNAM, México.

Grant, William E., Marín, Sandra L. y Pedersen, Ellen K., 1997. Ecology and Natural Resource Management: Systems Analysis and Simulation. Editorial John Wiley & Sons, Estados Unidos.

Gutiérrez Avedoy, Víctor Javier, 2000. II Encuentro Latinoamericano de Calidad del Aire y Salud. Instituto Nacional de Ecología.

Gutiérrez, J. Héctor, Romieu, Isabelle, Corey, Germán y Fortoul Van Der Goes, Teresa, 1997. Contaminación del aire: riesgos para la salud. Editorial El Manual moderno, México.

Hernández y Rodríguez, Sergio y Ballesteros Inda, Nicolás, 1984. Fundamentos de administración. Editorial Interamericana, México.

Hernández, Sampieri Roberto, Fernández, Collado Carlos y Baptista, Lucio Pilar, 1999. Metodología de la investigación. Editorial McGraw Hill, México.

INE, 1998. Segundo informe sobre la calidad del aire en ciudades Mexicanas 1997. Instituto Nacional de Ecología, México.

INE, 1999a. Inventario de Emisiones de Mexicali, informe final. Instituto Nacional de Ecología, México.

INE, 1999b. Programa para Mejorar la Calidad del Aire de Mexicali 1999-2004. Instituto Nacional de Ecología, México.

INE, 1999c. Tercer informe sobre la calidad del aire en ciudades Mexicanas 1998. Instituto Nacional de Ecología, México.

INE, 2000. Gestión de la Calidad del Aire en México, logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. Instituto Nacional de Ecología, México.

INE, 2003. Tipos de contaminación de un vehículo a gasolina. Instituto Nacional de Ecología, México.

INE, 2004. Informe Ambiental GEO México 2004. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

INEGI, 2001. Cuaderno Estadístico Municipal de Mexicali Baja California. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI, 2005. Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI, 2006. Sistema Municipal de Base de Datos. Vehículos registrados en circulación (texto). 2006.
http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/simbad/

Jáuregui Ostos, Ernesto, 1979. La isla de calor. UNAM, México.

Jay, L. Devore, 2001. Probabilidad y estadística para Ingenieros y ciencias. Editorial Thomson, México.

Jeffers, J.N.R., 1978. An Introduction to Systems Analysis: with ecological Application. University Park Press, Baltimore. Estados Unidos.

Knox, J.B., 1974. Surface Air Pollutant Concentration Frequency Distributions: implications for urban modeling. Journal of the Air Pollution Control Association, Estados Unidos.

Meadows, Donella H., Meadows, Dennie L., Randers, Jørgen y Behrens, William W., 1972. Los límites del crecimiento: informe al club de Roma sobre el predicamento de la humanidad. Colección popular, México.

Patten, Bernard C., 1971. A primer for ecological modeling and simulation with analog and digital computers. Academic Press, New York.

Petróleos Mexicanos, 1998. Programa integral contra la contaminación atmosférica. PEMEX, México.

Programa Frontera XXI, 1998. Indicadores ambientales para la región fronteriza 1997. SEMARNAP, México.

Quadri de la Torre, Gabriel y Sánchez Cataño, Luis Rubén, 1992. La ciudad de México y la contaminación atmosférica. Editorial Limusa, México.

Quintero Nuñez, Margarito, García Cueto, Onofre Rafael y Sánchez Bueno. Lorenao Alejandro, 1998. Air Problems and Quality Data in Mexicali. San Diego-Tijuana Air Basin Alliance Workshop.

Ríos Insua, David, Ríos Insua, Sixto y Martín Jiménez, Jacinto 2000. Simulación, Métodos y aplicaciones. Editorial Alfaomega, España.

Rivero, Octavio, Rodríguez, Ponciano Guadalupe y Fortoul Van Der Goes, Teresa, 1993. Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria. Fondo de Cultura Económica, México.

Rodríguez Delgado, Rafael, 1984. Teoría de Sistemas y Gestión de las organizaciones. Instituto Andino de Sistemas, Perú.

Rodríguez Ulloa, Ricardo, 1994. La sistémica, los sistemas blandos y los sistemas de información. Universidad del Pacífico, Perú.

Romieu I., Meneses F. y Ruiz S., 1996. Effects of air pollution on respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. Panamerican Health Organization. México.

Rubin, E.S., 1974. The influence of annual Meteorological Variations on Regional Air Pollution Modelling: a Case Study of Allegheny County, Pennsylvania. Journal of the Air Pollution. Control Association, Estados Unidos.

Ruiz, M. y Cruz, X., 1991. Modelos fotoquímicos de contaminantes atmosféricos urbanos. Ciencia, México.

Secretaría de Protección al Ambiente. Nuestro territorio, flora. (texto). 2005. <http://www.bajacalifornia.gob.mx/ecologia/nuestrot/flora.htm>.

Seinfeld, J.H., 1986. Urban Air Pollution. Science, vol. 243, New York. Estados Unidos.

Senge, Peter M., 1998. La Quinta Disciplina en la práctica. Granica; España.

Turk, Amos, Turk, Jonathan y Wittes, Janet, 1987. Ecología-contaminación-medio ambiente. Editorial Interamericana, México.

Turk, Jonathan, Turk, Amos y Arms, Karen, 1988. Environmental Science. Saunder College Publishing.

University and Community College System of Nevada, 1997. Imperial Valley/Mexicali Cross Border PM₁₀ Transport Study. Estados Unidos.

Van Gigch, J., 1997. Teoría general de sistemas. Editorial Trillas, México.

Von Bertalanffy, Ludwig, 1986. Teoría general de los sistemas. Fondo de Cultura Económica, México.

Wark, Kenneth y Warner, Cecil, 1998. Contaminación del Aire: origen y control. Editorial Limusa, México.

Wilson, B., 1984. Systems: concepts, methodologies and applications. Editorial John Wiley & Sons, Estados Unidos.

Zeigler, Bernard P., Praehofer, Herbert y Kim Tag, Gon, 1976. Theory of Modeling and Simulation. Editorial John Willey & Sons, New York, Estados Unidos.

Apéndice A

Instrumento de medición

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Maestría en Ingeniería de Sistemas

“Propuesta de un modelo de Dinámica de Sistemas para estimar las emisiones de monóxido de carbono por vehículos particulares”

1. ¿En qué ciudad reside usted?
 - Mexicali
 - Calexico
 - San Luis RCS
 - El Centro
 - Otra _____

2. ¿En qué ciudad labora usted?
 - Mexicali
 - Calexico
 - San Luis RCS
 - El Centro
 - Otra _____

3. ¿Qué modelo (año) de vehículo utiliza?
 - _____

4. ¿Qué tipo de placas utiliza su vehículo?
 - Nacionales
 - Fronterizas

5. ¿A qué estado corresponden las placas de su vehículo?
 - Baja California
 - Sonora
 - California
 - Arizona
 - Otro _____

6. En promedio, ¿cuántos kilómetros recorre por día en Mexicali?
 - _____ km

7. En promedio, ¿cuánto tiempo utiliza su vehículo por día en Mexicali?
 - _____ hr(s)

8. ¿Qué tipo de combustible utiliza en su vehículo?
 - Gasolina
 - Gas “pasar a pregunta 10”
 - Diesel “pasar a pregunta 10”

9. ¿Qué tipo de gasolina utiliza en su vehículo?
- Verde (magna)
 - Roja (premium)
 - Americana regular
 - Americana plus
 - Americana premium
 - Otra _____
10. En promedio, ¿cuánto combustible compra por semana?
- _____ pesos/dlls.
11. ¿Dónde realiza la compra de combustible?
- México “pasar a pregunta 14”
 - Estados Unidos
12. ¿Por qué compra el combustible en Estados Unidos?
- Es de mejor calidad
 - Rinde más
 - Es más barato
 - Otro _____
13. ¿Qué criterio tomaría para comprar el combustible en México?
- Que sea más barato que en Estados Unidos
 - Que sea de mejor calidad que el de Estados Unidos
 - Que sea de igual calidad y precio que el de Estados Unidos
 - Tener que hacer más cola para cruzar la frontera a Estados Unidos
 - Nunca compraría en México
 - Otra _____
14. Antes de que en México se homologara el precio del combustible con el de los Estados Unidos ¿dónde compraba su combustible?
- México
 - Estados Unidos
15. ¿Tiene usted licencia vigente?
- Si
 - No
16. ¿Por qué prefiere utilizar su vehículo en lugar del transporte público?
- Me siento más seguro
 - Pierdo menos tiempo
 - Es más económico
 - Otro _____
17. ¿Cuándo utilizaría el transporte público?
- Cuando sea más seguro
 - Cuando sea más limpio
 - Cuando existan mejores rutas
 - Cuando sea más económico
 - Otro _____

Apéndice B

Datos de las encuestas

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | | | | |
|--------------------|--------------------|---|------|---|---|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 1 | 1 | 1987 | 2 | 1 | 15 | 2.0 |
| 2 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 50 | 2.0 |
| 3 | 1 | 1 | 1996 | 2 | 1 | 40 | 2.0 |
| 4 | 1 | 1 | 1985 | 2 | 2 | 10 | 1.0 |
| 5 | 1 | 1 | 2001 | 1 | 1 | 15 | 2.0 |
| 6 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 50 | 2.0 |
| 7 | 1 | 1 | 1993 | 2 | 2 | 20 | 2.0 |
| 8 | 1 | 1 | 1987 | 2 | 1 | 25 | 1.0 |
| 9 | 1 | 1 | 1992 | 2 | 1 | 50 | 3.0 |
| 10 | 1 | 1 | 1989 | 2 | 1 | 20 | 3.0 |
| 11 | 1 | 1 | 1974 | 2 | 1 | 20 | 2.0 |
| 12 | 1 | 1 | 1988 | 2 | 1 | 30 | 3.0 |
| 13 | 1 | 1 | 1994 | 1 | 1 | 5 | 1.0 |
| 14 | 1 | 1 | 1993 | 2 | 1 | 20 | 1.0 |
| 15 | 1 | 1 | 1986 | 2 | 1 | 20 | 0.5 |
| 16 | 1 | 1 | 1977 | 2 | 1 | 7 | 1.5 |
| 17 | 1 | 2 | 1995 | 1 | 1 | 30 | 1.0 |
| 18 | 1 | 1 | 1987 | 2 | 1 | 20 | 2.0 |
| 19 | 1 | 1 | 1986 | 2 | 1 | 15 | 1.0 |
| 20 | 1 | 1 | 1988 | 2 | 1 | 10 | 1.0 |
| 21 | 1 | 2 | 1988 | 1 | 1 | 20 | 2.0 |
| 22 | 1 | 1 | 1984 | 2 | 1 | 30 | 3.0 |
| 23 | 1 | 1 | 1993 | 2 | 1 | 25 | 3.0 |
| 24 | 1 | 1 | 1990 | 2 | 1 | 8 | 1.0 |
| 25 | 1 | 1 | 1992 | 2 | 1 | 6 | 1.0 |
| 26 | 1 | 1 | 1993 | 1 | 1 | 20 | 1.0 |
| 27 | 1 | 1 | 1993 | 2 | 1 | 100 | 3.0 |
| 28 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 2 | 10 | 1.0 |
| 29 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 35 | 1.0 |
| 30 | 1 | 1 | 1992 | 2 | 1 | 1 | 1.0 |
| 31 | 1 | 1 | 1992 | 1 | 1 | 40 | 1.3 |
| 32 | 1 | 1 | 1986 | 2 | 1 | 6 | 1.5 |
| 33 | 1 | 1 | 1988 | 2 | 1 | 30 | 2.8 |
| 34 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 50 | 1.5 |
| 35 | 1 | 1 | 2001 | 1 | 1 | 50 | 1.3 |

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | | | | |
|--------------------|--------------------|---|------------|--------------|----|----|----|
| | 8 | 9 | 10 (pesos) | 10 (dólares) | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 1 | 1 | 150 | | 1 | | |
| 2 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 3 | 1 | 2 | 300 | | 1 | | |
| 4 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 5 | 1 | 5 | | 30 | 2 | 1 | 3 |
| 6 | 1 | 1 | 150 | | 1 | | |
| 7 | 1 | 1 | 100 | | 1 | | |
| 8 | 1 | 3 | | 7 | 2 | 2 | 3 |
| 9 | 1 | 3 | | 12 | 2 | 1 | 2 |
| 10 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 2 |
| 11 | 1 | 1 | 150 | | 1 | | |
| 12 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 13 | 1 | 3 | | 20 | 2 | | |
| 14 | 1 | 1 | 100 | | 1 | | |
| 15 | 1 | 1 | 100 | | 1 | | |
| 16 | 1 | 1 | 120 | | 1 | | |
| 17 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 2 | 1 |
| 18 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 2 |
| 19 | 1 | 1 | 100 | | 1 | | |
| 20 | 1 | 2 | 200 | | 1 | | |
| 21 | 1 | 2 | 100 | | 1 | | |
| a22 | 1 | 2 | 150 | | 1 | | |
| 23 | 1 | 1 | 250 | | 1 | | |
| 24 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 25 | 1 | 5 | | 30 | 2 | 2 | 2 |
| 26 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 2 | 2 |
| 27 | 1 | 2 | | 25 | 2 | | 3 |
| 28 | 1 | 3 | | 20 | 2 | | 3 |
| 29 | 1 | 2 | 200 | | 1 | | |
| 30 | 1 | 1 | | 20 | 2 | 1 | 3 |
| 31 | 1 | 1 | 250 | | 1 | | |
| 32 | 1 | 4 | | 20 | 2 | 2 | 2 |
| 33 | 1 | 1 | 350 | | 1 | | |
| 34 | 1 | 3 | | 15 | 2 | 2 | 3 |
| 35 | 1 | 2 | 200 | | 1 | | |

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | |
|--------------------|--------------------|----|----|----|
| | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 5 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 3 | 1 | 1 | | |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| 5 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 7 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| 9 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 10 | | 1 | 2 | 3 |
| 11 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 12 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 13 | 2 | 1 | | 1 |
| 14 | 2 | 1 | | 5 |
| 15 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 16 | 1 | 1 | | 3 |
| 17 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 18 | 2 | 1 | 1 | 5 |
| 19 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 20 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 21 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 23 | 2 | 1 | 4 | 2 |
| 24 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 25 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| 26 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 27 | 2 | 1 | 2 | |
| 28 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 29 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 30 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 31 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| 32 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 33 | 1 | 1 | 2 | |
| 34 | 2 | | 1 | 1 |
| 35 | 1 | 1 | 2 | 2 |

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | | | | |
|--------------------|--------------------|---|------|---|---|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 36 | 1 | 1 | 1989 | 2 | 1 | 30 | 2.0 |
| 37 | 1 | 1 | 1996 | 2 | 1 | 20 | 2.0 |
| 38 | 1 | 1 | 1995 | 2 | 1 | 60 | 2.0 |
| 39 | 1 | 1 | 1993 | 3 | 3 | 20 | 1.5 |
| 40 | 1 | 1 | 1989 | 2 | 1 | 50 | 1.5 |
| 41 | 1 | 1 | 1992 | 2 | 1 | 8 | 0.5 |
| 42 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 25 | 1.5 |
| 43 | 1 | 1 | 1990 | 2 | 1 | 30 | |
| 44 | 1 | 1 | 1995 | 2 | 1 | 110 | 3.0 |
| 45 | 5 | 5 | 1984 | 2 | 1 | 60 | 1.5 |
| 46 | 1 | 1 | 1995 | 2 | 1 | 30 | 1.5 |
| 47 | 5 | 1 | 1989 | 2 | 1 | 90 | 2.0 |
| 48 | 1 | 1 | 1997 | 2 | 1 | 30 | 0.8 |
| 49 | 1 | 1 | 1996 | 2 | 1 | 40 | 1.5 |
| 50 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 50 | 3.5 |
| 51 | 1 | 1 | 1992 | 2 | 1 | 7 | 2.0 |
| 52 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 25 | 1.5 |
| 53 | 1 | 1 | 1989 | 1 | 1 | 25 | 1.0 |
| 54 | 1 | 1 | 1983 | 2 | 1 | 35 | 3.0 |
| 55 | 1 | 1 | 1986 | 2 | 1 | 20 | 3.0 |
| 56 | 1 | 1 | 2003 | 1 | 1 | 150 | |
| 57 | 1 | 1 | 1996 | 2 | 1 | 100 | |
| 58 | 1 | 1 | 1992 | 2 | 1 | 200 | |
| 59 | 1 | 1 | 2002 | 1 | 1 | 25 | 0.8 |
| 60 | 1 | | 1995 | 2 | 1 | 20 | |
| 61 | 1 | 1 | 1993 | 2 | 1 | | |
| 62 | 1 | | 1993 | 2 | 1 | | 3.0 |
| 63 | 1 | | 1998 | 3 | 3 | 20 | 1.0 |
| 64 | 1 | 1 | 1989 | 2 | 1 | 30 | 3.0 |
| 65 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 20 | 3.0 |
| 66 | 1 | 1 | 1994 | 3 | 3 | 15 | 2.0 |
| 67 | 1 | 1 | 1973 | 2 | 1 | 4 | |
| 68 | 1 | 1 | 1991 | 2 | 1 | 20 | 2.0 |
| 69 | 1 | 1 | 1989 | 2 | 1 | 15 | 2.0 |
| 70 | 1 | 1 | 1991 | 2 | 1 | 50 | 2.5 |
| 71 | 1 | 1 | 1981 | 2 | 1 | 20 | |
| 72 | 1 | 1 | 1997 | 2 | 1 | 60 | |
| 73 | 1 | 1 | 1982 | 2 | 1 | 7 | 1.0 |
| 74 | 1 | 1 | 1979 | 2 | 1 | 15 | 3.0 |
| 75 | 1 | 1 | 1996 | 2 | 1 | 10 | |

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | | | | |
|--------------------|--------------------|---|------------|-----------|----|----|----|
| | 8 | 9 | 10 (pesos) | 10 (dlls) | 11 | 12 | 13 |
| 36 | 1 | 2 | 200 | | 1 | | |
| 37 | 1 | 4 | | 15 | 2 | 2 | 2 |
| 38 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 2 | 3 |
| 39 | 1 | 2 | 350 | | 1 | | |
| 40 | 1 | 2 | 280 | | 1 | | |
| 41 | 1 | 4 | | 13 | 2 | 1 | 2 |
| 42 | 1 | 5 | | 20 | 2 | 2 | 3 |
| 43 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 44 | 1 | 4 | | 30 | 2 | 1 | 6 |
| 45 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 46 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 3 |
| 47 | 1 | 1 | 600 | | 1 | | |
| 48 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 3 |
| 49 | 1 | 5 | | 27 | 2 | 2 | 2 |
| 50 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 51 | 1 | 2 | 200 | | 1 | | |
| 52 | 1 | 3 | | 25 | 2 | 1 | 2 |
| 53 | 1 | 1 | 100 | | 1 | | |
| 54 | 1 | 1 | 250 | | 1 | | |
| 55 | 1 | 1 | 250 | | 1 | | |
| 56 | 1 | 3 | | 28 | 2 | 2 | 1 |
| 57 | 1 | 3 | | 38 | 2 | 2 | 1 |
| 58 | 1 | 2 | 300 | | 1 | | |
| 59 | 1 | 2 | 250 | | 1 | | |
| 60 | 1 | 5 | | 27 | 2 | 1 | 2 |
| 61 | 1 | 1 | 150 | | 1 | | |
| 62 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 2 | 2 |
| 63 | 1 | 4 | | | 2 | 1 | 3 |
| 64 | 1 | 3 | | 25 | 2 | 2 | 3 |
| 65 | 1 | 4 | | 30 | 2 | 1 | 3 |
| 66 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 4 |
| 67 | 1 | 1 | 350 | | 1 | | |
| 68 | 1 | 5 | | 30 | 2 | | |
| 69 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 3 |
| 70 | 1 | 1 | 250 | | 1 | | |
| 71 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 2 | 3 |
| 72 | 1 | 1 | 400 | | 1 | | |
| 73 | 1 | 3 | | 15 | 2 | 2 | 3 |
| 74 | 1 | 1 | 100 | | 1 | | |
| 75 | 1 | 3 | | 30 | 2 | 2 | 3 |

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | |
|--------------------|--------------------|----|----|----|
| | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 36 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 37 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 38 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 39 | 1 | 1 | 2 | |
| 40 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| 41 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| 42 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 43 | 1 | 2 | | |
| 44 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 45 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 46 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| 47 | 1 | 2 | 4 | 5 |
| 48 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| 49 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 50 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 51 | 2 | 1 | 1 | |
| 52 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 53 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 54 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| 55 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 56 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 57 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 58 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 59 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 60 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 61 | 1 | 1 | 2 | 2 |

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | | | | |
|--------------------|--------------------|---|------|---|---|----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 76 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 20 | |
| 77 | 1 | 1 | 1995 | 2 | 1 | 30 | 3.0 |
| 78 | 1 | 1 | 1992 | 2 | 1 | 20 | 1.0 |
| 79 | 3 | 1 | 1985 | 2 | 2 | 20 | 0.5 |
| 80 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 20 | 1.0 |
| 81 | 1 | 2 | 2001 | 3 | 3 | 50 | 2.0 |
| 82 | 1 | 1 | 1999 | 1 | 1 | 40 | 1.0 |
| 83 | 1 | 1 | 1995 | 2 | 1 | 15 | 2.0 |
| 84 | 1 | 1 | 1991 | 1 | 1 | 35 | |
| 85 | 1 | 1 | 1985 | 2 | 1 | 20 | |
| 86 | 1 | 1 | 1989 | 2 | 1 | 20 | |
| 87 | 1 | 1 | 1985 | 2 | 1 | 40 | |
| 88 | 1 | 1 | 1985 | 2 | 1 | 30 | |
| 89 | 1 | 1 | 1996 | 3 | 3 | 5 | 3.0 |
| 90 | 2 | 2 | 1996 | 3 | 3 | 5 | 1.0 |
| 91 | 1 | 1 | 1989 | 2 | 1 | 10 | 2.0 |
| 92 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 10 | 0.5 |
| 93 | 1 | 1 | 2000 | 1 | 1 | 15 | 1.5 |
| 94 | 3 | 3 | 1990 | 2 | 2 | 10 | 2.0 |
| 95 | 1 | 5 | 1994 | 2 | 1 | 70 | 1.0 |
| 96 | 1 | 1 | 1985 | 1 | 1 | 10 | 2.0 |
| 97 | 1 | 1 | 1997 | 2 | 1 | 40 | 1.0 |
| 98 | 1 | 1 | 1997 | 2 | 1 | 40 | 1.0 |
| 99 | 1 | 1 | 1995 | 2 | 1 | 20 | 2.0 |
| 100 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 10 | 2.0 |
| 101 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | | 1.5 |
| 102 | 1 | 1 | 2002 | 1 | 1 | 40 | 1.0 |
| 103 | 1 | 1 | 2002 | 1 | 1 | 4 | 1.0 |
| 104 | 1 | 5 | 1993 | 2 | 1 | 15 | 2.0 |
| 105 | 1 | 1 | 2003 | 1 | 1 | | 2.0 |
| 106 | 1 | 1 | 1996 | 2 | 1 | 40 | 3.0 |
| 107 | 1 | 1 | 1997 | 2 | 1 | | |
| 108 | 1 | 1 | | 2 | 1 | | |
| 109 | 1 | 1 | 1989 | 2 | 1 | 15 | 0.5 |
| 110 | 1 | 1 | 1990 | 2 | 1 | 50 | |
| 111 | 1 | 1 | 1993 | 2 | 1 | 10 | 1.0 |
| 112 | 1 | 1 | 1992 | 2 | 1 | 3 | 2.0 |
| 113 | 1 | 1 | 2000 | 1 | 1 | 15 | 3.0 |
| 114 | 1 | 5 | 1981 | 2 | 1 | 3 | 0.8 |
| 115 | 1 | | 2002 | 1 | 1 | | |

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | | | | |
|--------------------|--------------------|---|------------|-----------|----|----|----|
| | 8 | 9 | 10 (pesos) | 10 (dlls) | 11 | 12 | 13 |
| 76 | 1 | 1 | 350 | | 1 | | |
| 77 | 1 | 3 | | 50 | 2 | 1 | 2 |
| 78 | 1 | 3 | | 30 | 2 | | 3 |
| 79 | 1 | 2 | 400 | | 1 | | |
| 80 | 1 | 2 | 250 | | 1 | | |
| 81 | 1 | 3 | | 35 | 2 | 1 | 1 |
| 82 | 1 | 3 | | 25 | 2 | 2 | 3 |
| 83 | 1 | 1 | 300 | | 1 | | |
| 84 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 85 | 1 | 1 | 190 | | 1 | | |
| 86 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 87 | 1 | 1 | 400 | | 1 | | |
| 88 | 1 | 3 | | 15 | 2 | 2 | |
| 89 | 1 | 5 | | 20 | 2 | 1 | 2 |
| 90 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 4 | 5 |
| 91 | 1 | 1 | 250 | | 1 | | |
| 92 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 3 |
| 93 | 1 | 4 | | 25 | 2 | 1 | 2 |
| 94 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 2 | 3 |
| 95 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 96 | 1 | 1 | 300 | | 1 | | |
| 97 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 3 | 2 |
| 98 | 1 | 2 | 300 | | 1 | | |
| 99 | 1 | 3 | | 35 | 2 | 2 | 3 |
| 100 | 1 | 1 | 400 | | 1 | | |
| 101 | 1 | 3 | | 10 | 2 | 3 | 3 |
| 102 | 1 | 4 | | 20 | 2 | 1 | 3 |
| 103 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 3 |
| 104 | 1 | 3 | | 23 | 2 | 1 | 2 |
| 105 | 1 | 2 | 150 | | 1 | | |
| 106 | 1 | 3 | | 25 | 2 | 1 | 2 |
| 107 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 3 |
| 108 | 1 | 1 | 250 | | 1 | | |
| 109 | 2 | 2 | 100 | | 1 | | |
| 110 | 1 | 1 | 300 | | 1 | | |
| 111 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 3 |
| 112 | 1 | 4 | | 25 | 2 | 1 | 2 |
| 113 | 1 | 2 | 100 | | 1 | | |
| 114 | 1 | 3 | | 10 | 2 | 1 | 2 |
| 115 | 1 | 5 | | 40 | 2 | 2 | 1 |

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | |
|--------------------|--------------------|----|----|----|
| | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 76 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 77 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 78 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 79 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 80 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 81 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 82 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 83 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 84 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 85 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 86 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 87 | 1 | 2 | 2 | 5 |
| 88 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 89 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 90 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| 91 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 92 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 93 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 94 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| 95 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 96 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 97 | 2 | 1 | 4 | 2 |
| 98 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 99 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 100 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 101 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 102 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 103 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 104 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 105 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 106 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 107 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 108 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 109 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 110 | 1 | 2 | 4 | 5 |
| 111 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 112 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 113 | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 114 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 115 | 2 | 1 | 1 | 5 |

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | | | | |
|--------------------|--------------------|---|------|---|---|----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 116 | 1 | 1 | 2001 | 1 | 1 | | |
| 117 | 1 | 1 | | 2 | 1 | 50 | 3.0 |
| 118 | 1 | 1 | 1990 | 2 | 1 | 40 | 2.0 |
| 119 | 1 | 1 | 1999 | 3 | 3 | 20 | |
| 120 | 1 | 1 | 1995 | 2 | 1 | | 1.5 |
| 121 | 1 | 1 | 1987 | 2 | 1 | | 3.0 |
| 122 | 1 | 1 | 1988 | 2 | 1 | | 2.0 |
| 123 | 1 | 1 | 1996 | 3 | 3 | 5 | 0.8 |
| 124 | 1 | 1 | 1989 | 2 | 1 | 10 | 0.5 |
| 125 | 1 | 1 | 1986 | 2 | 1 | 12 | 0.7 |
| 126 | 1 | 1 | 1997 | 1 | 2 | 20 | 1.0 |
| 127 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | 7 | 1.5 |
| 128 | 1 | 1 | 1992 | 1 | 1 | 40 | 2.0 |
| 129 | 1 | 1 | 1994 | 2 | 1 | | 1.5 |
| 130 | 1 | 1 | 2002 | 1 | 1 | 40 | 1.0 |
| 131 | 1 | 5 | 1993 | 2 | 1 | 15 | 2.0 |
| 132 | 1 | 1 | 2003 | 1 | 1 | | 2.0 |
| 133 | 1 | 1 | 1996 | 2 | 1 | 40 | 3.0 |
| 134 | 1 | 1 | 1997 | 2 | 1 | | |
| 135 | 1 | 1 | 2002 | 1 | 1 | 40 | 1.0 |
| 136 | 1 | 1 | 1987 | 2 | 1 | | 3.0 |
| 137 | 1 | 1 | 1988 | 2 | 1 | | 2.0 |
| 138 | 1 | 5 | 1981 | 2 | 1 | 3 | 0.7 |
| 139 | 1 | 1 | 1995 | 2 | 1 | | 1.5 |
| 140 | 1 | 1 | 1993 | 2 | 1 | 10 | 1.0 |

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | | | | |
|--------------------|--------------------|---|------------|-----------|----|----|----|
| | 8 | 9 | 10 (pesos) | 10 (dlls) | 11 | 12 | 13 |
| 116 | 1 | 2 | 500 | | 1 | | |
| 117 | 1 | 3 | | 30 | 2 | 2 | 2 |
| 118 | 1 | 1 | 150 | | 1 | | |
| 119 | 1 | 4 | | 30 | 2 | 1 | 2 |
| 120 | 1 | 3 | | 25 | 2 | 2 | 3 |
| 121 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 122 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 123 | 1 | 3 | | 15 | 2 | 2 | 3 |
| 124 | 1 | 4 | | 12 | 2 | 2 | 2 |
| 125 | 1 | 1 | 150 | | 1 | | |
| 126 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 127 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 2 | 1 |
| 128 | 1 | 3 | | 40 | 2 | 3 | 3 |
| 129 | 1 | 3 | | 10 | 2 | 2 | 3 |
| 130 | 1 | 4 | | 20 | 2 | 2 | 3 |
| 131 | 1 | 3 | | 13 | 2 | 1 | 2 |
| 132 | 1 | 5 | | 15 | 2 | 2 | 3 |
| 133 | 1 | 3 | | 25 | 2 | 2 | 2 |
| 134 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 2 | 3 |
| 135 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 3 |
| 136 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 137 | 1 | 1 | 200 | | 1 | | |
| 138 | 1 | 1 | | 12 | 2 | 2 | 2 |
| 139 | 1 | 3 | | 25 | 2 | 2 | 3 |
| 140 | 1 | 3 | | 20 | 2 | 1 | 3 |

| Número de encuesta | Número de pregunta | | | |
|--------------------|--------------------|----|----|----|
| | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 116 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 117 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 118 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 119 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 120 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| 121 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 122 | 1 | 2 | 2 | 5 |
| 123 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 124 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 125 | 1 | 2 | 2 | 5 |
| 126 | 1 | 1 | 4 | 2 |
| 127 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 128 | 2 | | 4 | 3 |
| 129 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 130 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 131 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 132 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 133 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 134 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 135 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| 136 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 137 | 1 | 2 | 2 | 5 |
| 138 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 139 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| 140 | 2 | 1 | 2 | 5 |