

Impacto del consumo doméstico en el medio ambiente urbano: el caso del uso del transporte en la ciudad de México

José Luis Lezama*

Los resultados de la investigación¹ que aquí se presentan constituyen una primera aproximación para el estudio de las relaciones entre consumo y medio ambiente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Es objetivo central de este análisis explorar la forma en la que los patrones de consumo, y los factores sociales que los determinan, afectan al medio ambiente.

Hemos elaborado una metodología que nos permite analizar el impacto del consumo doméstico de los hogares de la ciudad de México sobre la contaminación atmosférica de esta región, basada en dos fuentes de información (el Inventario de Emisiones y la Encuesta Nacional de Ingreso-Gasto de los Hogares) que, combinadas, constituyen una medida del impacto ambiental por el uso del transporte público y privado. El transporte es considerado en este trabajo como “gasto en transporte” el cual, al ser combinado con las emisiones de sustancias a la atmósfera, nos permite medir, indirectamente, la manera en la que una de las formas específicas del consumo doméstico, aquella que tiene que ver con el transporte de las personas, contamina al medio ambiente urbano.

Introducción

Existen varios factores responsables de la contaminación del aire en el valle de México. Por una parte, se encuentran los factores naturales, las condiciones geográficas y meteorológicas. Por otra, figura el estado de la tecnología predominante en los diferentes procesos productivos y de consumo que se llevan a cabo en la ciudad de México en un contexto social particular el cual, en nuestro estudio, toma la forma de factores demográficos, económicos y culturales. Estos factores trasladados al nivel doméstico serán medidos mediante variables específicas como lo son el tamaño de la familia (TAMHOG), ingreso de los hogares (INGHOG), sexo y escolaridad del jefe de familia (SEXO) y (ESCJEFE), y el número de automóviles con los que cuenta cada familia (NCAR).

Así, el objetivo de esta investigación es analizar algunas de las características sociales que afectan al consumo doméstico² y la forma en

* Profesor-investigador del Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano de El Colegio de México.

¹ Fortino Vela Peón y Silvia Luna Santos realizaron los modelos de regresión. Adriana Oropeza Lliteras estuvo a cargo de los distintos momentos del proceso de edición.

² En este caso el transporte se considera como una forma de consumo doméstico.

que éstas se traducen en efectos diferenciales en la calidad del aire de la ciudad de México. Nuestra hipótesis es que el consumo en el ámbito doméstico está determinado por los factores sociodemográficos ya mencionados, así como por determinadas conductas que configuran la vida cotidiana de la población.

Éste es un análisis transversal cuyo propósito es relacionar el consumo doméstico con el cambio ambiental bajo diversas condiciones económicas, sociales y demográficas. Se presenta como una primera aproximación al entendimiento de las relaciones entre población, consumo y medio ambiente, que son relaciones de enorme complejidad, por lo que los resultados del análisis apenas esbozan estas relaciones y sólo constituyen una contribución a su entendimiento.

Este artículo cubre la primera parte de un proyecto general que incluye también una dimensión cualitativa que hace intervenir el aspecto subjetivo (cultura, percepciones, etc.) del consumo en los hogares. Lo que aquí se presenta es el análisis cuantitativo y es planteado como propuesta para estimar el efecto del consumo doméstico en el volumen de las principales emisiones de contaminantes atmosféricos, para así contribuir al entendimiento de estas relaciones. Para lograrlo, esta parte del estudio se llevó a cabo en tres etapas: Primero se calcularon los coeficientes de contaminación utilizando *a)* datos de las emisiones de algunos contaminantes atmosféricos: monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas totales (PST), hidrocarburos (HC) y el volumen total de emisiones; *b)* el gasto doméstico total en gasolina y en transporte público; *c)* ingreso total del hogar, y *d)* tamaño de la familia. Con base en los diversos coeficientes de contaminación se construyeron variables dependientes y se seleccionó un grupo de variables socioeconómicas en el ámbito doméstico como variables independientes. Finalmente, se utilizaron distintos modelos de regresión lineal multivariados para examinar el efecto neto de cada variable y una ecuación de regresión para conocer el efecto de las variables independientes como un todo sobre las variables dependientes.

El consumo doméstico opera directa e indirectamente (a través de los procesos productivos), generando cambios y problemas ambientales. Por ejemplo, en el caso del transporte privado, el efecto directo se debe a la cantidad de gasolina consumida, mientras que el efecto indirecto al aumento en la demanda de este combustible que, a su vez, aumenta su producción.

El presente análisis se centra en el efecto directo. Por eso se utilizó la información sobre el gasto doméstico en el transporte tanto pri-

vado como público, pues este último también tiene un efecto sobre el medio ambiente.

Al decir México, se hace referencia a la ciudad de México, es decir, a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Esta zona se extiende sobre un área de 4 564.31 km², e incluye las 16 delegaciones del Distrito Federal y 27 municipios del Estado de México.³ En este momento, la ZMCM es el área más poblada del país, con una densidad poblacional de 3 659 habitantes por km². Este núcleo urbano altamente concentrado ha producido las condiciones para una severa contaminación del aire.

A continuación se describe la metodología cuantitativa usada para identificar el efecto directo del consumo doméstico en la contaminación del aire.

El análisis se basó en dos fuentes de datos: la Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares (ENIGH) (INEGI, 1994) y la información proveniente del Inventario de Emisiones (DDF, Gobierno del Estado de México, Semarnap y SS, 1996), ambas para 1994. La ENIGH se llevó a cabo del 12 de septiembre al 20 de diciembre de ese año. Esta encuesta es representativa en el nivel nacional, con un total de 12 815 casos y también lo es para la ZMCM, con 1 737 casos. La muestra seleccionada para la ENIGH se ponderó para producir una estimación de la población total. El proceso de ponderación implicó multiplicar cada caso por un factor estadístico, incluido en la misma encuesta.⁴ Así, se obtuvieron medidas directas para el gasto doméstico en gasolina y transporte público en la ZMCM, así como sobre el grupo de variables sociodemográficas selectas. También fue posible relacionar la información doméstica contenida en la ENIGH de la ZMCM con datos

³ Las delegaciones son: Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Cuauhtémoc, Coyoacán, Cuajimalpa de Morelos, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, Xochimilco y Venustiano Carranza. De acuerdo con la más reciente división administrativa y política del Estado de México, éste cuenta con 122 municipios. En términos de la delimitación geográfica la definición de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México puede variar. Para este estudio se incluyeron los siguientes municipios: Acolman, Atenco, Atizapán de Zaragoza, Chalco, Chicoloapan, Chimalhuacán, Coacalco, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec, Huixquilucan, Ixtapaluca, Jaltenco, Melchor Ocampo, Naucalpan de Juárez, Nezahualcóyotl, Nicolás Romero, La Paz, Tecamac, Teoloyucan, Tepotzotlán, Texcoco, Tlanepantla, Tultepec, Tultitlán y Zumpango.

⁴ Se compararon los datos de la muestra ponderada de la ENIGH para la ZMCM con el censo de 1990. Este ejercicio mostró que la muestra utilizada en este reporte no presenta sesgos demográficos significativos.

sobre la emisión de contaminantes para el área total de la ciudad de México.

Los datos sobre emisiones de contaminantes se obtuvieron del Inventario de Emisiones para 1994, incluido en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México, 1995-2000 (DDF, Gobierno del Estado de México, Semarnap y SS, 1996). Este programa contiene datos oficiales medidos en términos de toneladas/año. En el presente análisis únicamente se utilizaron datos de PST, CO, HC y el total de emisiones debidas al uso de transporte tanto privado como público.

La ENIGH llevada a cabo en México en 1994 contiene 1 737 casos para el área de la ciudad de México. En este estudio se utilizan como variables explicativas a INGHOG, el TAMHOG, SEXO, ESCJEFE y NCAR. Las relaciones más directas corresponden a INGHOG con el NCAR (0.5988), y al INGHOG con el nivel de ESCJEFE (0.5144). La mayoría de los jefes de familia son hombres (83.1%)⁵ y hay muy pocos jefes de familia menores de 30 años (15.8 por ciento).

El tamaño de la familia generalmente es de tres a cinco miembros (60.8%). De los casos restantes, una quinta parte tiene más de cinco o sólo uno o dos miembros. Se puede observar que la mayoría de las familias con jefe de familia mujer tiene menos de tres miembros (41.3%), lo cual contrasta con el porcentaje correspondiente cuando el jefe de familia es hombre (14.0%). Esto hace pensar en las madres solteras con uno o más hijos.

En cuanto al ingreso, la mayoría de las familias gana menos de 20 000 pesos al año (44.8%), mientras que únicamente una quinta parte gana más de 50 000 pesos al año. Esto, obviamente, da cuenta de una distribución desigual del ingreso entre la población de la ciudad de México.

Es interesante notar que las familias con jefe de familia mujer ganan menos que aquellas con jefe de familia hombre. Más de la mitad de las primeras están en el grupo de menores ingresos (53.9 por ciento).

La experiencia ha demostrado que el ingreso está estrechamente relacionado con la educación. Este vínculo apareció también en los datos del presente estudio, así que se procuró ser cautelosos en la interpretación de modelos donde se combinaron las variables de ingreso y educación como variables independientes. Se tomó esto en consideración al usar modelos de regresión lineal.

⁵ De los 1 737 casos de la encuesta, 1 444 son hombres y 293 son mujeres.

En cuanto al grado de escolaridad de los jefes de familia, es posible observar que casi la mitad de ellos tienen el nivel básico o menos (46.3%). También se puede observar que una proporción significativa ha tenido alguna clase de educación secundaria (34.2%) y casi una quinta parte ha tenido educación universitaria (19.4%). Sin embargo, hay diferencias significativas entre hombres y mujeres. Las segundas tienen un menor grado de escolaridad; efectivamente, casi 60% expresó que había asistido a la escuela durante seis años o menos.

La mayoría de las familias no cuenta con ningún automóvil (64.9%). La proporción de las familias que tienen uno es de 24.1%, mientras que sólo 10.9% tiene más de uno. Esto es altamente significativo para el estudio pues se analizó la contaminación generada por el transporte privado, provocada, como se puede ver, por menos de la mitad de la población de la ciudad de México.

Es interesante observar que cuando los jefes de familia son mujeres, varía la distribución del número de automóviles en su poder. Parecería que es más difícil para una mujer tener uno cuando ella está a cargo de la familia.

Existen algunos aspectos que deben tomarse en cuenta al combinar las fuentes de información mencionadas anteriormente. Por un lado, se está utilizando el gasto en gasolina y en transporte público, el INGHOG y el TAMHOG como los criterios principales para medir la contribución doméstica a la contaminación urbana del aire en la ciudad de México. Sin embargo, esto puede no ser una medida exacta de la aportación real. El gasto en gasolina y en transporte público es un valor monetario que, al ser ponderado y puesto en una escala de tiempo, muestra promedios en lugar de gastos reales o ingresos relacionados con la contaminación. Al considerar el TAMHOG, tampoco se toma en cuenta la distribución por edades, que debe tener alguna influencia, puesto que es más probable que el comportamiento de los adultos contribuya en mayor medida a la contaminación.

Por otro lado, las cifras de emisiones de contaminantes no son una medida exacta del volumen real de éstos en la atmósfera. Ello se debe a los procedimientos de medición, que no son del todo precisos.

Estos aspectos revelan las restricciones significativas del estudio, por lo cual los resultados que de él se deriven deben interpretarse con el cuidado que requiere este tipo de análisis exploratorio.

Aspectos metodológicos

Variables dependientes

Para poder convertir las medidas del ENIGH y del Inventario de Emisiones a medidas de consumo de transporte privado y público, se desarrollaron algunos coeficientes de contaminación, basados en: emisiones de PST, CO, HC y total de emisiones de contaminantes, gasto doméstico total en transporte, datos anuales de ingreso y de la población total. Estos coeficientes miden la contaminación por cada peso gastado en gasolina por familia (CCTPR, CCTPU, CCTPP), la contaminación por nivel de ingreso (CINTPR, CINTPU, CINTPP) y la contaminación per cápita (CPCTPR, CPCTPU, CPCTPP). En términos generales, estos coeficientes se definen como la razón entre emisiones específicas de contaminantes y el gasto familiar total en transporte (privado, público o combinado), el número total de miembros en la familia y el ingreso familiar total, en la muestra ponderada. Este paso era necesario para poder combinar la información sobre emisión de contaminantes, válida para toda la ZMCM, con la información de la ENIGH, que es sólo una muestra del total de familias de la ciudad de México.

Los primeros tres coeficientes miden la contaminación por peso gastado en distintos tipos de transporte –privado y público–, mientras que los otros dos miden la contaminación por ingreso familiar y per cápita, respectivamente. Los coeficientes de contaminación permiten la elaboración de las siguientes variables dependientes:

- 1) Contaminación por uso familiar de transporte privado (CCTPR).
- 2) Contaminación por uso familiar de transporte público (CCTPU).
- 3) Contaminación por uso familiar de transporte tanto privado como público (CCTPP).
- 4) Contaminación debida al transporte privado, por ingreso familiar (CINTPR).
- 5) Contaminación debida al transporte público, por ingreso familiar (CINTPU).
- 6) Contaminación debida al transporte tanto privado como público, por ingreso familiar (CINTPP).
- 7) Contaminación debida al transporte privado, por miembro de la familia (per cápita) (CPCTPR).
- 8) Contaminación debida al transporte público, por miembro de la familia (per cápita) (CPCTPU).

9) Contaminación debida al transporte tanto privado como público, por miembro de la familia (per cápita) (CPCTPP).

Contaminación por uso familiar del transporte privado, público y ambos. Para estimar la cantidad de contaminación producida por cada peso gastado por la familia en los distintos tipos de transporte –privado y público–, se dividieron las emisiones de contaminantes relacionados con cada tipo de transporte entre el gasto familiar total en cada uno y luego entre la suma del gasto en ambos tipos.

Los coeficientes de contaminación para cada contaminante (PST, CO, HC y el total), son los siguientes:

$$\text{CCTPR} = \frac{\text{Emisiones anuales debidas al transporte privado}}{\text{Gasto anual total en gasolina}}$$

$$\text{CCTPU} = \frac{\text{Emisiones anuales debidas al transporte público}}{\text{Gasto anual total en transporte público}}$$

$$\text{CCTPP} = \frac{\text{Emisiones anuales debidas al transporte privado y público}}{\text{Gasto anual total en transporte privado y público}}$$

Cada uno de estos coeficientes se multiplicó por el gasto familiar individual en gasolina, en transporte público y tanto en gasolina como en transporte público, respectivamente, para obtener las variables correspondientes (1, 2 y 3).

Debe aclararse que entre los usuarios del transporte privado, sólo se consideraron los que tenían al menos un automóvil, mientras que entre los usuarios de transporte público se consideraron los que no tenían automóvil. Esta distinción se mantuvo para todas las variables dependientes.

Contaminación por ingreso familiar. Para estimar la cantidad de contaminación generada en el nivel doméstico por cada peso de ingreso, debida al transporte privado, público y combinado, se dividieron las emisiones de contaminantes (PST, CO, HC y el total) relacionadas con cada tipo de transporte entre el total del ingreso familiar. Los coeficientes de contaminación para cada contaminante (PST, CO, HC y el total) se calcularon de la siguiente manera:

$$\text{CINTPR} = \frac{\text{Emisiones anuales debidas al transporte privado}}{\text{Ingreso anual familiar total}}$$

Para este coeficiente CINTPR sólo se consideraron las familias que tenían al menos un automóvil.

$$\text{CINTPU} = \frac{\text{Emisiones anuales debidas al transporte público}}{\text{Ingreso anual familiar total}}$$

Para este coeficiente CINTPU sólo se consideraron las familias sin automóvil.

$$\text{CINTPP} = \frac{\text{Emisiones anuales debidas al transporte privado y público}}{\text{Ingreso anual familiar total}}$$

Para este CINTPP se consideraron todas las familias.

Estos coeficientes se multiplicaron por cada ingreso familiar para obtener las correspondientes variables dependientes (4, 5 y 6).

Contaminación per cápita y uso de transporte privado, público y combinado. Para calcular la cantidad de contaminación producida por persona en el nivel doméstico debido al uso de transporte privado, público y combinado, se dividieron las emisiones de contaminantes (PST, CO, HC y el total) relacionadas con ambos tipos de transporte entre el número total de miembros en las familias de la ciudad de México (muestra ponderada de la ENIGH). Los coeficientes de contaminación para cada contaminante (PST, CO, HC y el total) se calcularon de la siguiente manera:

$$\text{CPCTPR} = \frac{\text{Emisiones anuales debidas al transporte privado}}{\text{Total de individuos en las familias}}$$

Para este coeficiente CPCTPR únicamente se consideraron las familias que tenían al menos un automóvil.

$$\text{CPCTPU} = \frac{\text{Emisiones anuales debidas al transporte público}}{\text{Total de individuos en las familias}}$$

Para este coeficiente CPCTPU únicamente se consideraron las familias que no tenían automóvil.

$$\text{CPCTPP} = \frac{\text{Emisiones anuales debidas al transporte privado y público}}{\text{Total de individuos de las familias}}$$

Para crear las variables dependientes correspondientes (7, 8 y 9) cada uno de estos coeficientes se multiplicó por cada tamaño de familia.

De este modo, habiendo calculado los coeficientes de contaminación, fue posible calcular las variables dependientes utilizadas en los modelos de regresión, al ponderar cada caso de la muestra de acuerdo con su gasto específico en gasolina, transporte público y transporte tanto público como privado, así como con el tamaño de la familia, su ingreso y el tipo de transporte empleado.

Para entender cómo se elaboran las variables dependientes, tómese el ejemplo de la variable PINPTPR (emisiones de PST por ingreso familiar de los usuarios de transporte privado). Su coeficiente correspondiente es:

$$\begin{aligned} \text{CINPTPR} &= \frac{11\,370}{111\,056\,702\,187.25} \\ &= 0.000102 \text{ ton/año} \\ &= \text{emisiones anuales de PST debidas al transporte privado. Total de ingreso anual de familias que tienen al menos un automóvil y por lo tanto usan transporte privado.} \end{aligned}$$

El coeficiente se ponderó con el ingreso de cada familia específica que usa transporte privado. Específicamente, se tiene que:

$\text{PCCTTPU}_i = (0.000102) \times \text{ingreso familiar en familias}_i$ que usan transporte privado; donde $i = 1, 2, \dots, 610$ casos.

El mismo procedimiento se repitió para el gasto familiar en gasolina, transporte público y transporte privado y público conjuntamente, así como para el tamaño de la familia y uso del ingreso en transporte privado y público. Las variables dependientes resultantes se interpretaron como *proxy* de la contribución de los hogares a la emisión de contaminantes.

Variables independientes (variables explicativas)

El análisis consideró las siguientes variables demográficas y socioeconómicas, porque se identificaron como explicativas. Dos de ellas se asociaron con el jefe de familia (SEXO y ESCJEFE), mientras que las restantes se asociaron con las características de la familia (INGHOG, TAMHOG, NCAR).

Tamaño de la familia (TAMHOG): Esta variable se refiere al número de miembros de la familia en el momento de la encuesta.

Ingreso familiar (INGHOG). Esta variable se refiere al ingreso monetario actual que abarca trabajo, negocios, propiedades, uniones de producción y transferencias. El reporte de este ingreso monetario en la ENIGH se refiere a un periodo de tres meses. Por lo tanto, fue necesario calcular el monto anual para poder comparar esta información con la de las emisiones de contaminantes. Para hacer esto, se supuso que el ingreso trimestral era constante para todo 1994. Como el índice mexicano de precios tiene como base 1994, no fue necesario hacer ajuste alguno por la inflación.

Escolaridad del jefe de familia (ESCJEFE): La ENIGH incluye información acerca de dos tipos de escolaridad: 1) formal y 2) técnica. Sin embargo, aquí sólo se consideró la escolaridad formal registrada para cada miembro de la familia. La educación técnica sólo se registró en los casos en que los miembros de la fuerza de trabajo habían recibido capacitación especial para sus empleos. Estos casos son muy pocos: representan menos de 10% de los jefes de familia.

Para convertir esta variable a una forma numérica y continua, se utilizó el mismo procedimiento empleado por Bracho y Zamudio en un análisis de los resultados económicos de escolaridad en México (Bracho y Zamudio, 1994). Este procedimiento consiste en asignar un promedio de años de escolaridad a cada categoría educativa registrada en la ENIGH.⁶

Sexo del jefe de familia (SEXO). Esta variable indica el sexo del jefe de familia y se construyó como una variable *dummy*. La categoría de referencia era la de jefe de familia hombre.

Número de automóviles por familia (NCAR). Esta variable indica el número total de automóviles en cada hogar. Para las estimaciones relacionadas con el transporte privado, el valor mínimo de esta variable fue uno. Esto significa que únicamente los hogares con al menos un automóvil se tomaron en cuenta para el análisis del transporte privado. Por consiguiente, la muestra base para este tipo de transporte fue reducida a 610 casos.

⁶ Las categorías reportadas en la ENIGH son: sin educación, primaria incompleta, primaria, secundaria incompleta, secundaria, preparatoria incompleta, preparatoria, licenciatura incompleta, licenciatura y posgrado.

Método analítico

Se llevó a cabo un análisis bivariado y multivariado para determinar la relevancia de varias características sociodemográficas y económicas en el nivel doméstico en la contaminación urbana del aire debida a la emisión de contaminantes (PST, CO, HC y el total).

En el caso de los modelos multivariados, se desarrollaron las siguientes ecuaciones de regresión para cada contaminante:

Modelo 1: Contaminación por gasto en gasolina. Únicamente incluye los datos de hogares con al menos un automóvil.

Variable dependiente 1 = $\beta_0 + \beta_1 \text{INGHOG} + \beta_2 \text{ESCJEFE} + \beta_3 \text{TAMHOG} + \beta_4 \text{SEXO} + \mu_i$

Modelo 2: Contaminación por gasto en gasolina. Únicamente incluye datos sobre los hogares con al menos un automóvil.

Variable dependiente 1 = $\beta_0 + \beta_1 \text{INGHOG} + \beta_2 \text{ESCJEFE} + \beta_3 \text{TAMHOG} + \beta_4 \text{SEXO} + \beta_5 \text{NCAR} + \mu_i$

Modelo 3: Contaminación por gasto en transporte público. Sólo reúne datos de hogares sin automóvil.

Variable dependiente 2 = $\beta_0 + \beta_1 \text{INGHOG} + \beta_2 \text{ESCJEFE} + \beta_3 \text{TAMHOG} + \beta_4 \text{SEXO} + \mu_i$

Modelo 4: Contaminación por gasto en transporte público y privado. Contiene todos los datos de la muestra.

Variable dependiente 3 = $\beta_0 + \beta_1 \text{INGHOG} + \beta_2 \text{ESCJEFE} + \beta_3 \text{TAMHOG} + \beta_4 \text{SEXO} + \mu_i$

Modelo 5: Contaminación por gasto en transporte público y privado. Contiene todos los datos de la muestra.

Variable dependiente 3 = $\beta_0 + \beta_1 \text{INGHOG} + \beta_2 \text{ESCJEFE} + \beta_3 \text{TAMHOG} + \beta_4 \text{SEXO} + \beta_5 \text{NCAR} + \mu_i$

Modelo 6: Contaminación por ingreso, debida al transporte privado. Únicamente reúne datos de hogares con al menos un automóvil.

Variable dependiente 4 = $\beta_0 + \beta_1 \text{ESCJEFE} + \beta_2 \text{TAMHOG} + \beta_3 \text{SEXO} + \beta_4 \text{NCAR} + \mu_i$

Modelo 7: Contaminación por ingreso, debida al transporte público y privado. Comprende todos los datos de la muestra.

Variable dependiente 6 = $\beta_0 + \beta_1 \text{ESCJEFE} + \beta_2 \text{TAMHOG} + \beta_3 \text{SEXO} + \mu_i$

Modelo 8: Contaminación por ingreso en transporte público y privado. Toma en cuenta los datos de toda la muestra.

Variable dependiente 6 = $\beta_0 + \beta_1 \text{ESCJEFE} + \beta_2 \text{TAMHOG} + \beta_3 \text{SEXO} + \beta_4 \text{NCAR} + \mu_i$

Modelo 9: Contaminación per cápita, debida al transporte privado. Incluye los datos de hogares con al menos un automóvil.

Variable dependiente 7 = $\beta_0 + \beta_1 \text{INGHOG} + \beta_2 \text{ESCJEFE} + \beta_3 \text{SEXO} + \mu_i$

Modelo 10: Contaminación per cápita, debida al transporte privado. Sólo incluye datos de hogares con al menos un automóvil.

Variable dependiente 7 = $\beta_0 + \beta_1 \text{INGHOG} + \beta_2 \text{ESCJEFE} + \beta_3 \text{SEXO} + \beta_4 \text{NCAR} + \mu_i$

Modelo 11: Contaminación per cápita, debida al transporte público. Únicamente reúne datos de hogares sin automóvil.

Variable dependiente 8 = $\beta_0 + \beta_1 \text{INGHOG} + \beta_2 \text{ESCJEFE} + \beta_3 \text{SEXO} + \mu_i$

Modelo 12: Contaminación per cápita, debida al transporte privado y público. Contiene todos los datos de la muestra.

Variable dependiente 9 = $\beta_0 + \beta_1 \text{INGHOG} + \beta_2 \text{ESCJEFE} + \beta_3 \text{SEXO} + \mu_i$

Modelo 13: Contaminación per cápita, debida al transporte público y privado. Incorpora todos los datos de la muestra.

Variable dependiente 9 = $\beta_0 + \beta_1 \text{INGHOG} + \beta_2 \text{ESCJEFE} + \beta_3 \text{SEXO} + \beta_4 \text{NCAR} + \mu_i$

Típicamente, estos modelos se ajustan por el método común de mínimos cuadrados. Sin embargo, este método no funciona de manera satisfactoria cuando los términos de error pueden ser heterocedásticos. En el presente estudio se trabajó con datos transversales de hogares, donde parece factible esperar que las familias con bajos ingresos gasten a un ritmo bastante estable, mientras que los patrones de gasto de familias con ingresos elevados sean relativamente volátiles. Esto sugiere que en los modelos donde el gasto constituye la variable dependiente, los errores asociados con los hogares de ingresos elevados serían mayores que sus contrapartes de bajos ingresos. En tales circunstancias, la técnica adecuada ya no es la de mínimos cuadrados, sino la de mínimos cuadrados ponderados. De hecho, se llevaron a cabo distintas pruebas de heterocedasticidad y se encontró este problema en la muestra. Por lo tanto, se calcularon las ecuaciones de contaminación por el método de mínimos cuadrados ponderados para corregir dicho error.

Resultados del análisis cuantitativo

Contexto del consumo doméstico de transporte y contaminación del aire urbano

El sector del transporte es la principal fuente de contaminación en la ciudad de México. Sus contribuciones representan 75.5% de la cantidad total de sustancias que se arrojan anualmente a la atmósfera

(4 millones de toneladas). En 1994 este sector participó con 4.2% de las emisiones de PST, 26.8% de las de SO₂ (bióxido de azufre), 99.5% de las de CO, 71.3% de las de NO_x (óxidos de nitrógeno) y 54.1% de las emisiones totales de HC.

Sin embargo, esta proporción considerable de sustancias no puede atribuirse únicamente al transporte doméstico. Por ello, es necesario omitir las emisiones debidas al transporte de carga, aviones y trenes. Para un análisis en el nivel doméstico, los datos del Inventario de Emisiones podrían interpretarse en el sentido de que aquellos hogares que cuentan con automóvil propio –35% de los del estudio– contribuyen con 35% del total de la contaminación atmosférica. Esto funcionaría del mismo modo para el transporte público. Los hogares que no tienen automóvil se consideran usuarios de este tipo de transporte. Estos últimos constituyen 65% del total de hogares del área estudiada y, por lo tanto, estarían produciendo 30% de todas las sustancias arrojadas a la atmósfera.

Es posible determinar la contribución de cada tipo de transporte al total de emisiones de cada sustancia contaminante. Así, para 1994 los hogares que tenían al menos un automóvil propio son responsables de 2.3% del total de emisiones de PST en la ZMCM, 13% del SO₂, 44% del CO, 25% del NO_x y 25% de los HC. Aquellas familias que no tienen al menos un automóvil y son usuarias del transporte público, de acuerdo con el Inventario de Emisiones de 1994, estarían generando 1.3% del total de PST, 12.8% del de SO₂, 93.5% del de CO, 36% del de NO_x y 24.6% del total de emisiones de HC.

Las partículas suspendidas representan 11% del total de los contaminantes arrojados anualmente a la atmósfera de la ZMCM. Sin embargo, el sector del transporte únicamente contribuye con 4% de esa cantidad, mientras que el 7% restante se debe a factores naturales, particularmente polvos.

En cuanto al transporte en sí, actualmente se registran 36 millones de personas/viajes en la ZMCM. De éstos, 21.4% se hace en automóviles particulares, 50% en transporte público y los restantes en otros medios de transporte como metro, taxi, trolebús, etc. La información existente para 1990 muestra que los automóviles particulares transportan un promedio de 1.5 personas al día, mientras que cada unidad de transporte público da servicio a 27.9 personas al día.

De acuerdo con el Inventario de Emisiones de 1994, aproximadamente cuatro millones de toneladas de contaminantes se arrojan anualmente a la atmósfera. Las sustancias que contribuyen con más

de 10% del total de emisiones son las siguientes: PST (11.27%), CO (58.8%) y HC (25.6%). Es importante enfatizar que el sector del transporte es responsable de una parte importante de las emisiones de CO y HC, mientras que la contribución más importante de PST se debe a factores naturales.

Si se toman las emisiones anuales de PST que no son de origen natural, hay un total de 27 277 ton en la ZMCM. De este total, el sector industrial produce 24.2%, el sector servicios 4.1% y el del transporte 71.1%. Esta última proporción es la única que puede atribuirse al consumo de transporte de las familias.

Consumo, transporte y contaminación de los hogares en la ZMCM

Contaminación promedio por familia

Como se mencionó anteriormente, para poder obtener una medida de la emisión de contaminantes causada por el consumo de transporte de los hogares, se construyeron varios coeficientes de contaminación. Se combinaron datos del Inventario de Emisiones de 1994 respecto a las sustancias contaminantes con los siguientes datos domésticos reportados en la ENIGH de 1994:⁷

- i) Gasto en gasolina.
- ii) Gasto en transporte público.
- iii) Ingreso familiar.
- iv) Tamaño de la familia.

El procedimiento mencionado anteriormente ofrece una estimación de la contaminación generada por gasto en transporte, por ingreso y per cápita en el nivel doméstico. En todos los casos, se consideró al consumo de transporte en forma general y clasificado en uso privado y público.

Los resultados sugieren que cada hogar genera un promedio de 1.3 ton de contaminantes anualmente por su consumo de transporte. Si se consideran las sustancias que representan más de 10% de la contaminación total, se encuentra que en promedio cada hogar produce anualmente 990 kg de CO, 241 kg de HC, y 9 kg de PST.

Sin embargo, estos datos revelan ciertas diferencias al analizarse de acuerdo con los usos del transporte. De este modo, cada hogar

⁷ Ambas fuentes contenían información para la ZMCM.

que cuenta con al menos un automóvil propio genera al año 962 kg del total de la contaminación. Considerando las distintas sustancias contaminantes, cada hogar generaría 746 kg de CO, 181 kg HC y 7.4 kg de PST. Por otra parte, las familias que no cuentan con automóvil propio y cuya demanda de transporte únicamente puede ser satisfecha por el servicio público, generan anualmente un promedio de 317 kg de la contaminación total. Al analizar su contribución por sustancias contaminantes, se encuentra que emiten anualmente 244 kg de CO, 60 kg de HC y 13 kg de PST.

Coeficientes de contaminación y contaminación generada por gasto en transporte

Los resultados de los coeficientes de contaminación permiten estimar el efecto del consumo de transporte por parte de las familias sobre la calidad del aire de la ZMCM. Así, por cada peso que gastan las familias en transporte, sea privado o público, se generan 571 g del total de la contaminación. Considerando los distintos contaminantes, se encontró que por cada peso gastado en transporte, cada hogar produce 441 g de CO, 107 g de HC y casi 4 g de PST.

Sin embargo, el efecto del consumo de transporte en la contaminación del aire es distinto entre hogares que cuentan con al menos un automóvil y aquellos que no cuentan con ninguno, y cuyas necesidades de transporte son satisfechas únicamente por el servicio público.

Para los primeros se estimó que por cada peso gastado en gasolina se generaban 336 g de la contaminación total. Al considerar los diferentes contaminantes se encontró que los hogares pertenecientes a este grupo arrojan anualmente a la atmósfera 260 g de CO, 63 g de HC y 3 g de PST por cada peso gastado en gasolina.

En el segundo caso, se estimó que los hogares que no cuentan con automóvil, por cada peso gastado en transporte público generan anualmente 235 g del total de la contaminación. Analizada por las distintas sustancias contaminantes se encontró que por cada peso gastado en transporte público, generan anualmente 180.5 g de CO, 44.2 g de HC y 0.97 g de PST.

Los coeficientes de contaminación por ingreso indican la cantidad de contaminación por cada peso de ingreso de los hogares de la ZMCM. Al considerar tanto al transporte privado como público se encontró que por cada peso de ingreso se genera una cantidad anual de

0.201 g de PST, 28.434 g de CO, 6.957 g de HC y 36.878 g del total de emisiones.

Si únicamente se considera el coeficiente de contaminación por ingreso para el transporte privado se ve que por cada peso de ingreso familiar se generan 0.102 g de PST, 10.162 g de CO, 2.46 g de HC y 12.994 g del total de emisiones. Al elaborar estos coeficientes para el transporte público aparecen las siguientes cantidades de contaminación generada: 0.099 g de PST, 18.3 g de CO, 4.4 g de HC y 23.9 g del total de emisiones.

Finalmente, se incluyen coeficientes de contaminación per cápita, que indican la contaminación generada por cada habitante de la ZMCM. Al considerar tanto al transporte privado como el público se encontró que por cada individuo se generan anualmente 2.43 kg de PST, 278.7 kg de CO, 68.2 kg de HC y 360 kg del total de las emisiones. Si sólo se toma en cuenta el transporte privado, estos coeficientes indican que por cada habitante de la ZMCM se generan anualmente 1.97 kg de PST, 1.94 kg de CO, 47.4 kg de HC y 250.22 kg del total de las emisiones. En el caso específico del transporte público, estos coeficientes toman los siguientes valores: 0.46 kg para PST, 84.92 kg para CO, 20.78 kg para HC y 110.40 kg del total de emisiones.

Resultados de los modelos bivariados

Para tener una referencia empírica de la incidencia estadística de las variables seleccionadas y poder así estimar los modelos multivariados, se calcularon primero algunos modelos de regresión bivariada. Los resultados se presentan a continuación:

Relación entre variables dependientes e independientes asociadas al gasto familiar en transporte

Contaminación debida al transporte privado. En este caso, los coeficientes de determinación más altos fueron aquellos asociados con las variables NCAR (32%) e INGHOG (17%). Las variables estadísticamente significativas fueron las mismas, aunque ESCJEFE también fue significativa. Por lo tanto, las variables NCAR e INGHOG son las más importantes al explicar la contribución del transporte privado a la emisión de contaminantes.

Contaminación debida al transporte público. Para las emisiones generadas por el transporte público, los resultados de la regresión bivaria-

da muestran que los coeficientes de determinación más altos corresponden a la variable INGHOG (21%), seguida por la variable TAMHOG (14%). Los coeficientes estadísticamente significativos incluyen las variables TAMHOG, ESCJEFE y SEXO. En este caso, las últimas variables apenas explican la variación promedio de emisión de contaminantes debida al transporte público.

Contaminación debida al transporte tanto público como privado. Al reunir ambos tipos de transporte en el modelo, se encontró que los coeficientes de determinación más altos eran las variables NCAR e INGHOG. Los coeficientes estadísticamente significativos se asociaron con las variables anteriores, así como con ESCJEFE y SEXO.

Relación entre variables dependientes e independientes,
según el ingreso

Contaminación por ingreso familiar y uso de transporte privado. En cuanto a los modelos bivariados que valoran la contaminación generada por el uso de transporte privado ponderado con el ingreso familiar, la variable que explica el mayor porcentaje de variación (19%) es NCAR. Esta variable, así como ESCJEFE, fueron estadísticamente significativas en estos modelos.

Contaminación por ingreso familiar y uso de transporte público. Para la contaminación generada por el uso de transporte público ponderado con el ingreso familiar se observa que ninguna de las variables muestra un porcentaje relevante de explicación. Todas tienen una importancia estadística de 1%, excepto la de SEXO, que sólo es significativa para 5 por ciento.

Contaminación por ingreso familiar y uso de transporte tanto privado como público. Al considerar la contaminación generada por el transporte privado y público ponderados con el ingreso familiar, los resultados muestran que por cada contaminante, las variables NCAR y ESCJEFE tienen los coeficientes de determinación más altos (26 y 11%, respectivamente). Estas dos variables fueron estadísticamente significativas dentro del modelo, así como la variable SEXO.

Relación entre variables dependientes e independientes
en la contaminación ponderada per cápita

Contaminación per cápita y uso de transporte privado. En cuanto a la contaminación generada por el uso de transporte público, ponderada

per cápita, ninguno de los modelos muestra un coeficiente de determinación relevante. Las únicas variables estadísticamente significativas son ESCJEFE y SEXO.

Contaminación per cápita y uso de transporte público. En el caso de la contaminación generada por el uso de transporte público, ponderada per cápita, los coeficientes de determinación de los modelos son muy bajos, aunque todas las variables son estadísticamente significativas.

Contaminación per cápita y uso de transporte tanto privado como público. Finalmente, al considerar la contaminación generada por el uso de transporte tanto privado como público, ponderada per cápita, se puede observar que los coeficientes de determinación más altos de los modelos corresponden a las variables NCAR y ESCJEFE: 26 y 11% respectivamente. Por otra parte, todas las variables incluidas en los modelos fueron estadísticamente significativas.

Resultados de los análisis multivariados

Comportamiento contaminante de los hogares por tipo de transporte usado

En esta sección se discuten los resultados estimados de los modelos de regresión múltiple. Se comienza con una descripción del transporte privado, seguida de los modelos de transporte público y finalmente, un modelo para el sector del transporte en conjunto, que incluye tanto al transporte privado como al público. En los tres casos se hicieron estimaciones acerca de las cuatro variables básicas del análisis: INGHOG, ESCJEFE, TAMHOG y SEXO. Adicionalmente, se incluyó la NCAR como variable explicativa porque resultó significativa en el análisis.

Como se mencionó antes, los mínimos cuadrados no ponderados no eran apropiados para la estimación de estos modelos debido a un problema econométrico. Los términos de disturbio fueron heterocedásticos. Por lo tanto, para poder abordar el problema de errores heterocedásticos se estimó una ecuación ajustada por el método de mínimos cuadrados ponderados. El ponderador fue la variable INGHOG.

Transporte privado. El total de variables incluidas en cada modelo—donde no se incluyó la variable NCAR— explica 27% de la variación en los diferentes tipos de emisiones contaminantes. Al incluir la variable NCAR, la variación explicada aumentó a 29%. Estos valores no parecen explicar mucha de la variación del comportamiento contaminan-

te de los hogares. Sin embargo, es importante notar que para datos transversales de una muestra grande, los valores bajos de R^2 usualmente se compensan en el nivel individual con coeficientes significativos, tal y como sucedió en nuestro análisis.

De los resultados del primer modelo, el coeficiente asociado con la variable INGHOG en el modelo que considera las emisiones de PST, se indica que cuando las otras variables permanecen constantes, un incremento de 1 000 pesos en el ingreso familiar anual está acompañado por incrementos anuales de aproximadamente 47.1 g en la cantidad promedio de emisiones de PST causadas por el uso de transporte privado.

Este coeficiente puede entenderse como una propensión marginal del transporte privado a crear contaminación. De este modo, se puede decir que la propensión marginal a contaminar en términos de CO es la más alta entre los distintos contaminantes considerados en el análisis (excepto en los casos del total de contaminantes), seguida por el HC y por las PST. Específicamente, se puede decir que por cada incremento de 1 000 pesos en el gasto familiar se generan anualmente 4.77 kg de CO, 1.16 kg de HC y 6.15 kg de la contaminación total.

En cuanto al coeficiente de regresión asociado con la ESCJEFE, se encontró que con cada año adicional de educación formal, las emisiones de PST aumentan 0.1 kg al año. En cuanto a los demás contaminantes, por cada año adicional de educación formal alcanzado por el jefe de familia, aumentan 13.1 kg las emisiones de CO, 3.2 kg las de HC y 16.9 kg las emisiones totales.

El coeficiente de regresión asociado con TAMHOG, indica que por cada miembro adicional en la familia –siempre y cuando las demás variables permanezcan constantes–, el total anual promedio de emisiones contaminantes se incrementa 43.6 kg. Para las otras sustancias contaminantes, se observa que cada miembro adicional en la familia conlleva un incremento anual de 0.33 kg de PST, 33.8 kg de emisiones de CO y 8.2 kg de emisiones de HC.

El coeficiente de regresión asociado con SEXO fue estadísticamente significativo únicamente para las emisiones totales y las de CO. En estos casos, el promedio de contaminación generada por hogares con jefe de familia hombre es menor que el de aquellos donde el jefe de familia es mujer, pues producen 7.9 y 47.7 kg, respectivamente.

Cuando se incluyó la variable NCAR en el modelo, los coeficientes asociados con cada una de las variables independientes se modifica-

ron ligeramente. En lo que a la variable NCAR se refiere, es importante notar que para las emisiones de PST, el coeficiente asociado no fue estadísticamente significativo. Esto puede explicarse por el hecho de que el sector de transporte contribuye únicamente con 0.05% del total de emisiones de PST.

En estos modelos, si la variable INGHOG se incrementa en 1 000 pesos, produce los siguientes incrementos de contaminación por tipo de sustancia: 0.04 kg de PST, 0.41 kg de CO, 1.0 kg de HC y 5.3 kg de las emisiones totales. En lo referente al coeficiente de ESCJEFE, se encontró que un año adicional de educación formal estaría acompañado por 0.14 kg de emisiones anuales de PST. Para las otras sustancias, el incremento sería de: 14.2 kg de CO, 3.5 kg de HC y 18.3 kg del total de emisiones. Para la variable TAMHOG, los incrementos serían como sigue: 0.38 kg de PST, 38.3 kg de CO, 9.3 kg de HC y 49.4 kg del total anual de contaminantes.

Finalmente, el coeficiente asociado con la variable NCAR puede interpretarse como un incremento promedio en la cantidad de emisiones por cada automóvil adicional en el hogar. Como se mencionó antes, en el caso de las emisiones de PST el coeficiente no fue significativo, mientras que para las otras sustancias contaminantes se tienen los siguientes resultados: por cada automóvil adicional en el hogar las emisiones de CO se incrementarían 115.1 kg, las de HC 28.0 kg y las emisiones totales 148.4 kilos.

Transporte público. En este caso se encontró que, juntas, las cuatro variables independientes básicas constituyen 30% de la variación en la emisión de los distintos contaminantes. Esta proporción es ligeramente más alta que la de los modelos de transporte privado.⁸

En cuanto a los valores bajos de R^2 , se debe recordar que se pueden compensar por la significancia estadística individual de los coeficientes asociados a las variables incluidas en el modelo. De hecho, todos estos coeficientes son estadísticamente significativos en 1%. A diferencia de las estimaciones para el transporte privado, la variable SEXO fue significativa para todas las sustancias. Por lo tanto, se puede decir que existen diferencias de comportamiento en la cantidad promedio de emisiones de todos los tipos debidas al uso de transporte público entre hogares con jefe de familia hombre y mujer. Los resul-

⁸ Debe notarse que no se incluye la variable NCAR como explicativa porque los modelos del transporte público sólo consideran las familias que no tienen ningún automóvil.

tados indican un mayor nivel de emisiones para las familias encabezadas por una mujer.

En cuanto a la variable INGHOG, ésta indica que por cada 1 000 pesos de incremento en el ingreso familiar, las emisiones anuales de PST se incrementan anualmente en 0.06 kg, las de CO en 11.7 kg, las de HC en 2.9 kg y el total de emisiones en 15.2 kilos.

Para la variable ESCJEFE, se encontró que un año adicional de educación formal se ve acompañado por un incremento anual de 0.006 kg en las emisiones de PST, 1.1 kg en las de CO, 0.27 kg en las de HC y 1.43 kg en las totales.

El coeficiente para la variable TAMHOG indica que cuanto más grande es la familia, mayor será la cantidad promedio generada de cada contaminante. En particular, la incorporación de un nuevo miembro a la familia incrementa anualmente las emisiones de PST en 0.221 kg, las de CO en 41.0 kg, la de HC en 10.0 kg y las totales en 53.3 kilos.

Transporte privado y público. En esta parte se considera el comportamiento contaminante de los hogares debido al uso de transporte tanto privado como público, es decir, tomando en cuenta el gasto total de los hogares en gasolina y transporte público combinados. Los primeros únicamente se asocian con las cuatro variables independientes básicas, mientras que los otros también incluyen a la variable NCAR.

Juntas, las cuatro variables básicas explican aproximadamente 34% de la variación en las correspondientes variables dependientes, mientras que cuando se incluye la variable NCAR, esta proporción sube a 39%. Vale la pena notar el incremento significativo observado en estos modelos en comparación con los anteriores. Esto puede deberse a la inclusión de todo el gasto en transporte, así como del total de emisiones generadas tanto por el transporte privado como público.

Debe señalarse que como estos modelos implican una mayor agregación, el nivel de explicación de las variables independientes sobre las dependientes es más alto. Esto no es posible al hacer estimaciones en modelos menos agregados.

Cuando no se incluyó la NCAR se encontró que las variables INGHOG, ESCJEFE y TAMHOG, fueron estadísticamente significativas. Todos los coeficientes asociados con estas variables indican que existe una relación directa entre el incremento unitario de cada variable y la cantidad promedio de la emisión de contaminantes.

Después de incluir la variable NCAR, el coeficiente para la SEXO fue significativo en un 5%. Esta estimación indica que, en promedio,

los hogares con jefe de familia hombre generan al año 0.71 kg menos de PST que los hogares donde el jefe de familia es mujer. Esta tendencia es la misma para los distintos contaminantes: los hogares donde el jefe de familia es hombre generan 90.4 kg menos de CO, 21.9 kg menos de HC y 117.1 kg menos del total de emisiones.

En cuanto a la variable INGHOG, cuando los modelos no incluyen la variable NCAR, las estimaciones indican que, mientras las otras variables permanezcan constantes, un incremento anual de 1 000 pesos en el ingreso familiar produce incrementos de 0.5 kg en las emisiones de PST, 19.1 kg en las de CO, 4.63 kg en las de HC y 25 kg en las totales. Después de incluir la variable NCAR, las estimaciones muestran que un incremento anual de 1 000 pesos en el ingreso familiar conduce a incrementos de 0.11 kg en las emisiones de PST, 15 kg en las de CO, 3.5 kg en las de HC y 19 kg en las totales.

Para la variable ESCJEFE, las estimaciones señalan que un año adicional de educación formal incrementa la cantidad promedio de contaminantes por uso de transporte doméstico en 0.16 kg de PST, 20.1 kg de CO, 4.9 kg de HC y 26 kg del total de emisiones. Cuando se incluye en el modelo la variable NCAR, esos incrementos se modifican de la siguiente manera: 0.11 kg de PST, 13.4 kg de CO, 3.3 kg de HC y 17.4 kg del total de contaminantes.

En cuanto a la variable TAMHOG, se encuentra que cada miembro adicional en la familia incrementa las emisiones de PST en 0.76 kg, las de CO en 962.4 kg, las de HC en 23.4 kg y el total de emisiones en 124.7 kg. Cuando se incluyó la variable NCAR, estos incrementos pasaron a ser los siguientes: 0.82 kg de PST, 103.8 kg de CO, 25.2 kg de HC y 134.5 kg del total de emisiones.

El coeficiente asociado con la variable NCAR indica que un automóvil adicional en el hogar incrementa anualmente el promedio de emisiones de contaminantes en 3.2 kg de PST, 410.5 kg de CO, 99.7 kg de HC y 531.8 del total de contaminantes.

Después de analizar los resultados de los modelos para la contaminación doméstica debida al gasto en transporte privado y público, así como los de los modelos que consideran la contaminación relacionada con el gasto en ambos tipos de transporte, se considera que la variabilidad en el comportamiento contaminante de los hogares puede explicarse por las emisiones asociadas con los gastos en gasolina (transporte privado).

Es importante observar que al incluir entre las variables independientes al NCAR los modelos incrementaron su poder explicativo. De

hecho, se incluyó esta variable porque el transporte privado en la ZMCM se ha identificado como la principal fuente de contaminación atmosférica. De acuerdo con datos oficiales, esta fuente es responsable de 34% del total de las emisiones.

Por otro lado, el hecho de encontrar constantemente que la variable INGHOG es estadísticamente significativa en los distintos modelos, particularmente aquellos que consideran tanto al gasto en transporte privado como público, indica una relación directa entre el ingreso y el comportamiento contaminante de los hogares. Lo mismo ocurre con la variable ESCJEFE, pues se observa que los años adicionales de educación formal incrementan el nivel de contaminación familiar. Ciertamente, existe un vínculo muy fuerte entre las variables INGHOG y ESCJEFE, que contribuyen en el nivel de contaminación de los hogares. Por ejemplo, un ingreso más alto genera una mayor escolaridad, lo cual provoca movilidad ocupacional, niveles más altos de consumo y un mayor uso de automóviles particulares.

Comportamiento contaminante de los hogares por ingreso y tipo de transporte utilizado

En esta parte se describen los resultados de los modelos de regresión multivariados, que buscan explicar la contaminación generada por cada peso de ingreso familiar, relacionado a las emisiones de contaminantes generadas por el transporte privado, el público y ambos tipos.

Sin embargo, no se presentan los resultados de los casos donde no se incluyó la variable NCAR en los modelos de contaminación por ingreso relacionados con las emisiones generadas por el transporte privado, porque los coeficientes de correlación fueron muy bajos. Tampoco se muestran los resultados de los modelos relacionados con las emisiones debidas al transporte público, por causa de una alta concentración en el patrón de distribución de ingresos en los grupos extremos, lo cual produce distorsiones severas. Por ejemplo, se encontró que las familias de bajos ingresos y cuyos miembros utilizan transporte público generan más contaminación que aquellas familias que cuentan con un automóvil privado. Por lo tanto, únicamente se consideraron los modelos de ingreso relacionados con las emisiones debidas al transporte privado, incluyendo la variable NCAR y también aquellos relacionados tanto con el transporte privado como público.

Relación entre ingreso y transporte privado. Los resultados de este modelo indican que 27% de la variación de la variable dependiente es explicado por las variables independientes en conjunto (ESCJEFE, TAMHOG, SEXO, NCAR).

Las variables ESCJEFE y NCAR son las únicas cuyos coeficientes asociados son estadísticamente significativos. Se encontró que por cada año adicional de educación formal se producen anualmente 0.69 kg de PST, 97.6 kg de CO, 23.9 kg de HC y 126.5 kg del total de las emisiones. En cuanto a la variable NCAR, un automóvil adicional en el hogar parece crear incrementos anuales de 10 kg en las emisiones de PST, de 1.4 ton en las de CO, de 346.6 kg en las de HC y de 1.8 ton en las totales.

Relación entre el ingreso y transporte tanto privado como público. En este caso, el resultado indica que en conjunto las variables ESCJEFE, TAMHOG y SEXO explican 26% de la variación de la variable dependiente. Cuando se incluye la variable NCAR, este valor se incrementa ligeramente en 30%. Las variables ESCJEFE y TAMHOG son estadísticamente significativas cuando el modelo no incluye la variable NCAR. Ambas permanecen significativas cuando NCAR también se considera estadísticamente significativa en el modelo.

Los valores de los coeficientes en el modelo que no incluye la variable NCAR indican que por cada año adicional de educación formal del jefe de familia, la contaminación por ingreso relacionada a las emisiones de PST producidas tanto por el transporte privado como público se incrementan anualmente en 0.072 kg. Para los otros contaminantes, los incrementos serían los siguientes: 10.0 kg de CO, 2.5 kg de HC y 13.2 kg del total de las emisiones.

Por otro lado, un miembro adicional en la familia generaría un incremento anual de 0.410 kg en las emisiones de PST, de 58.0 kg en las de CO, de 14.2 kg en las de HC y de 75.3 en las totales.

Cuando se incluye en los modelos la NCAR, los mencionados valores del coeficiente se modifican de la siguiente manera: por cada año adicional de educación formal que recibe el jefe de familia, las emisiones de PST por cada peso de ingreso familiar se incrementan en 74.1 g, las emisiones de CO se incrementan en 10.5 kg, las de HC en 2.6 kg y el total de emisiones en 13.6 kg. En cuanto a la variable TAMHOG, un miembro adicional en la familia incrementa la contaminación por cada peso de ingreso familiar en 0.422 kg de PST, 59.7 kg de CO, 1.6 kg de HC y 77.4 kg del total de las emisiones.

Los coeficientes asociados a la variable NCAR señalan que un automóvil adicional en el hogar incrementa la contaminación por ingreso

en 0.722 kg de emisiones de PST, 102.2 kg de CO, 25 kg de HC y 132.5 kg de las totales.

Comportamiento contaminante per cápita y por tipo de transporte utilizado

En esta parte se presentan los resultados de los modelos de regresión multivariada, en los que se analiza el comportamiento contaminante por tipo de emisión y modo de transporte per cápita en la ZMCM. Se construyeron modelos para transporte privado, público y ambos tipos.

Contaminación per cápita con transporte privado. Los modelos que describen la contaminación per cápita de los habitantes de la ZMCM en familias que contaban con al menos un automóvil en 1994 muestran que, en conjunto, las variables INGHOG, ESCJEFE y SEXO explican 15% del comportamiento contaminante per cápita.

Cuando se incluye la variable NCAR, esta proporción sube a 17%. Los resultados del modelo que no incluye la variable NCAR muestran coeficientes de regresión estadísticamente significativos para las ESCJEFE y SEXO. Los coeficientes para la variable ESCJEFE indican que un año adicional de educación formal está acompañado por un decremento anual de 0.235 kg de emisiones de PST, 2.31 kg de las de CO, 5.7 kg de las de HC y 29.9 kg de las totales. Vale la pena notar que para el coeficiente de la variable SEXO la contaminación promedio per cápita generada por hogares con jefe de familia hombre es mayor que en hogares con jefe de familia mujer, pues los primeros producen 2.8 kg de PST adicionales, 276.6 kg de CO, 67.7 kg de HC y 357.1 kg de emisiones totales.

Cuando se incluyó la variable NCAR se encontró que las ESCJEFE, SEXO y NCAR eran estadísticamente significativas en los diversos modelos. En cuanto al coeficiente de regresión asociado con la variable ESCJEFE se encontró que con un año más de educación formal la emisión de contaminantes disminuyó anualmente en 0.256 kg de PST, 25.2 kg de CO, 6.2 kg de HC y 32.5 kg del total de emisiones.

Para la variable SEXO se puede observar un comportamiento diferencial en la cantidad promedio de emisiones de todos los tipos debida al uso de transporte privado entre los hogares con jefe de familia hombre y con jefe de familia mujer. Estas diferencias entre las dos cantidades son de 2.8 kg de PST, 272.9 kg de CO, 66.7 kg de HC y 352.4 kg del total de emisiones.

Finalmente, el coeficiente para NCAR indica que por cada automóvil adicional en el hogar, el promedio anual de contaminantes se incrementa en 0.636 kg de PST, 62.5 kg de CO, 15.3 kg de HC y 80.7 kg del total de emisiones.

Contaminación per cápita con transporte público. El comportamiento contaminante per cápita en los hogares de la ZMCM que no cuentan con automóvil indica que 17% de la contaminación generada por cada individuo puede explicarse por el conjunto de las siguientes variables: INGHOG, ESCJEFE y SEXO.

Todas las variables anteriores son estadísticamente significativas. Así, un incremento de 1 000 pesos en el ingreso familiar produce un incremento anual per cápita de 0.23 g de emisiones de PST, 4.1 kg de CO, 1.0 de HC y 5.4 kg de las totales.

Además, un año adicional de educación formal del jefe de familia reduce la contaminación per cápita en 0.056 kg de PST, 10.32 de CO, 2.53 kg de HC y 13.42 kg del total.

En cuanto a la variable SEXO los valores asociados con sus coeficientes de regresión indican un comportamiento diferencial entre los hogares encabezados por hombres y por mujeres. Los primeros producen una cantidad mayor de todos los tipos de emisiones. Las diferencias, en términos anuales, son las siguientes: 0.59 kg adicionales de emisiones de PST, 109.5 de CO, 26.8 kg de HC y 142.4 kg de las totales.

Contaminación per cápita con transporte tanto privado como público. En este caso, las variables INGHOG, ESCJEFE y SEXO en conjunto dan cuenta de 11% de la variación de la variable dependiente. Cuando se incluye la variable NCAR en los modelos, este valor aumenta a 12 por ciento.

Después de analizar por separado las variables en estos modelos, se encontró que todas ellas eran estadísticamente significativas cuando no se tomaba en cuenta la variable NCAR, mientras que cuando sí se incluía, las variables ESCJEFE, SEXO eran significativas en 1%, y las variables INGHOG y NCAR lo eran en 5 por ciento.

De acuerdo con los resultados anteriores, existe una diferencia entre aquellos hogares en que el jefe de familia es hombre y aquellos en que es mujer. Esto se mantiene válido tanto para los modelos que incluyen la variable NCAR como para aquellos que no la incluyen. Los hogares con jefe de familia hombre muestran un comportamiento contaminante mayor. En los modelos donde no se incluyó la variable NCAR, se encontró que los hogares con jefe de familia hombre generan 3.35 kg de PST más que aquellos encabezados por una mujer. En cuanto a los demás contaminantes, las diferencias son las siguientes:

384.6 kg más de CO, 94.1 kg más de HC y 497.7 kg más de las emisiones totales. Cuando no se incluye la variable NCAR, estas diferencias son las siguientes: 3.3 kg más de PST, 382.2 kg más de CO, 93.5 kg más de HC y 494.6 kg más del total.

En cuanto a la variable INGHOG, en los modelos que no consideran la variable NCAR se encontró que un incremento de 1 000 pesos en el ingreso familiar aumenta anualmente la contaminación per cápita por emisiones de PST en 6 g como resultado de usar el transporte tanto privado como público. Para los otros contaminantes, los incrementos anuales son: 0.632 kg de CO, 0.155 kg de HC y 0.818 kg del total de emisiones. Cuando se incluye la variable NCAR, estos valores se modifican de la siguiente manera: 3 g de PST, 0.454 kg de CO, 0.110 de HC y 0.588 kg de las totales. La relación directa entre ingreso y conducta contaminante sugiere que siempre que el ingreso familiar aumenta, se da un aumento correspondiente del comportamiento contaminante de cada miembro de la familia.

Por otra parte, un año adicional de educación del jefe de familia parece reducir anualmente la contaminación per cápita como resultado tanto del transporte privado como público, produciendo decrementos de 0.289 kg en las emisiones de PST, 33.2 kg en las de CO, 8.1 kg en las de HC y 42.9 kg en las totales. Cuando se incluye la variable NCAR, estos valores se modifican de la siguiente manera: por cada año adicional de educación formal que tenga el jefe de familia, hay reducciones en la contaminación per cápita de 0.311 kg en las emisiones de PST, 35.7 kg en las de CO, 8.7 kg en las de HC y 46.2 kg en las totales. La relación inversa entre este incremento en el nivel de escolaridad del jefe de familia y el nivel de conducta contaminante podría interpretarse en el sentido de que la educación crea una mayor conciencia hacia el comportamiento contaminante.

Finalmente, un automóvil adicional en el hogar incrementa anualmente la contaminación per cápita, debida tanto al transporte privado como público, en 0.351 kg de emisiones de PST, 40.4 kg de CO, 9.9 kg de HC y 52.2 kg de las totales.

Resumen

La principal hipótesis probada aquí fue que las características sociodemográficas de los hogares de la ciudad de México tienen una influencia significativa en los patrones de consumo de transporte (tanto priva-

do como público), de los cuales se derivan tipos de comportamiento contaminante específicos que impactan el medio ambiente urbano de la ciudad de México.

El análisis cuantitativo se basa en dos fuentes de información: la Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares y datos del Inventario de Emisiones, ambos disponibles para 1994. El estudio combina estas dos fuentes de información construyendo una serie de coeficientes de contaminación que vinculan los patrones de consumo de transporte de los hogares capitalinos –medido por el gasto en gasolina y/o transporte público– con medidas de varios tipos de sustancias contaminantes incluidas en el Inventario de Emisiones. Así, se pudieron construir variables representantes (*proxy*) de la conducta contaminante familiar.

Adicionalmente, se construyeron otros coeficientes de contaminación que relacionan el ingreso familiar y el número de miembros de la familia con diversas emisiones de contaminantes. Esta parte del estudio también buscó examinar la manera en que las características sociodemográficas de los hogares afectan su conducta contaminante.

El comportamiento contaminante de los hogares fue por lo tanto identificado por medio de tres medidas específicas de contaminación: *i*) gasto en transporte (gasolina y transporte público); *ii*) ingreso familiar y *iii*) tamaño de la familia.

El análisis cuantitativo se llevó a cabo en dos etapas. Durante la primera se construyó la serie de coeficientes de contaminación mencionados anteriormente (por gasto, ingreso y habitante). La segunda sirvió para identificar las medidas específicas de contaminación por hogar, tomando en cuenta el efecto de cada hogar en las variables que componen los coeficientes de contaminación (gasto en transporte y en gasolina, ingreso y número de miembros de la familia). Con esto se pudo establecer una serie de modelos de regresión para cuantificar la influencia de una serie de variables sociodemográficas básicas estudiadas en relación con el comportamiento contaminante. En síntesis, se intentó determinar hasta dónde el ingreso y el tamaño de la familia, así como el sexo y escolaridad del jefe de familia, eran responsables del comportamiento contaminante de los hogares. También se incluyó la variable “número total de automóviles por familia” debido a su importancia como fuente de contaminación del aire en la ciudad de México.

En general, los resultados obtenidos muestran que los modelos de contaminación por gasto en transporte fueron los más significati-

vos en el estudio. Sin embargo, todos los modelos mostraron una baja influencia de las características sociodemográficas de un hogar en su comportamiento contaminante. La variable más importante en la explicación del comportamiento contaminante fue “número de automóviles”, mientras que los modelos mostraron una pérdida de poder explicativo al distinguirse los tipos de transporte (privado o público). En particular, los modelos relacionados con la conducta contaminante de los hogares, medida por medio del gasto en transporte, muestran la influencia individual relativa de las variables INGHOG, TAMHOG, ESCJEFE en el comportamiento contaminante de los hogares de la ciudad de México. Sin embargo, cuando se incluyó la de NCAR, el modelo parecía tener mayor poder explicativo. En lo que se refiere a la contaminación por ingreso, las variables ESCJEFE y TAMHOG son significativas en relación con la conducta contaminante. Finalmente, en cuanto al comportamiento contaminante per cápita o por cada miembro de familia, los resultados de los modelos muestran que, individualmente, las variables de escolaridad y sexo del jefe de familia tienen cierta significancia en el análisis del comportamiento contaminante de los hogares de la ciudad de México. Al igual que en los casos anteriores, incluir la variable NCAR incrementó ligeramente el poder explicativo del modelo.

Conclusiones

De acuerdo con los modelos de regresión utilizados en este estudio, el carácter explicativo del total de las variables socioeconómicas en el comportamiento contaminante de los hogares no parece ser relevante. Sin embargo, estos resultados constituyen una aproximación inicial al entendimiento de la relación entre población, consumo y medio ambiente y por lo tanto se cree que deben presentarse a pesar de sus limitaciones.

Es importante mencionar que para los casos en que se incluyó el gasto en transporte, los modelos de regresión tienen mayor poder explicativo cuando se realizan en forma agregada, es decir, cuando se incluye el gasto en transporte tanto privado como público. Inversamente, cuando el transporte se separa en público y privado se pierde poder explicativo.

La variable ingreso resultó ser relevante en todos los modelos de regresión, *excepto en aquel relacionado con el transporte privado*. Estos re-

sultados sugieren que las variaciones del ingreso familiar afectan el comportamiento contaminante de los hogares debido al uso de transporte. En este sentido, se dice que un alto ingreso permite a los individuos resolver sus problemas de transporte por medio de más alternativas, pero básicamente con el uso del automóvil particular. Esta situación refuerza el modo de transporte privado, que tiene un potencial contaminante mayor. A la vez, refuerza el establecimiento de cargas impositivas para los dueños de automóviles particulares.

En lo referente a la escolaridad del jefe de familia, se encontró que esta variable es tan importante como la del ingreso, pues muestra el efecto sobre la contaminación causado por el consumo familiar de transporte, que corresponde a su nivel de ingreso. Se cree que esta situación se debe a la alta correlación común encontrada entre las variables ingreso y educación. De hecho, un mayor ingreso generalmente espera encontrarse asociado con altos niveles de educación.

Así, los resultados de los modelos de regresión sugieren que un mayor nivel de escolaridad en el jefe de familia incrementaría la contaminación generada por los hogares. Como se mencionó antes, esto se explica por el hecho de que se espera que una mayor educación produzca un nivel más alto de ingresos, lo cual resulta en un mayor potencial de contaminación para los hogares.

Debe notarse que dentro de los modelos de regresión per cápita, la variable ESCJEFE muestra resultados bastante opuestos a los de los demás modelos. En este estudio, el indicador per cápita, así como los indicadores de gasto en transporte e ingreso, equilibraron las contribuciones familiares a la contaminación del aire en los respectivos coeficientes. Sin embargo, no muestra variaciones significativas porque el número de miembros de la familia tiene un rango corto entre el valor mayor y el menor. Esto no sucede con los coeficientes de gasto en transporte e ingreso, donde hay una variabilidad muy grande en los datos, lo cual refuerza los respectivos modelos de regresión.

La variable TAMHOG muestra una relación directa con la contaminación dentro de los modelos de regresión, es decir, siempre que se incrementa el tamaño de la familia, el hogar genera más contaminación, debido a su gasto en transporte, así como a su ingreso. Sin embargo, el impacto sobre la contaminación es más alto entre los hogares que utilizan transporte público, lo cual se explica por el hecho de que están involucradas familias más numerosas.

En cuanto a la variable SEXO del jefe de familia, se encontró que en hogares cuyo jefe de familia era mujer, el gasto en transporte pú-

blico tenía un mayor efecto sobre la contaminación del aire. Esto puede explicarse por el mayor uso de este tipo de transporte entre hogares con jefe de familia mujer, pues ahí es menos común poseer un automóvil que cuando el jefe de familia es hombre.

Sin embargo, se observa un mayor efecto sobre la contaminación per cápita en las familias encabezadas por un hombre, sin tomar en cuenta el tipo de transporte utilizado por sus miembros. Esto ocurre porque la mayor parte de los hogares en la ZMCM tiene jefe de familia hombre.

Finalmente está la variable NCAR que presenta el mayor poder explicativo de todas las variables independientes (socioeconómicas) incluidas en los modelos de regresión. Como se señaló en el primer capítulo, dentro del sector del transporte, el automóvil particular es la principal fuente de contaminación atmosférica en la ZMCM. Por ello los hogares que emplean este tipo de transporte contribuyen con una mayor proporción de la contaminación. Esto sucede a pesar de que los hogares que cuentan con al menos un automóvil representan únicamente 35% del total de hogares de la ZMCM. A pesar de su pequeña proporción, esta variable tiene un gran impacto sobre las cantidades de contaminación.

Los resultados de los modelos de regresión bivariada apoyan la importancia explicativa de la variable NCAR, pues es una de las que muestra los mayores coeficientes de determinación.

Bibliografía

- Bracho, Teresa y Andrés Zamudio (1994), "Rendimientos económicos de la escolaridad: estimaciones para el caso mexicano, 1989", México, Centro de Investigación y Docencia Económicas (documento de trabajo, 31).
- DDF (1990), *Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (PICCA)*, México.
- , Gobierno del Estado de México, Semarnap y SS (1996), *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México, 1995-2000 (Proaire)*, México.
- Gujarati, D. N. (1990), *Econometría*, Colombia, McGraw Hill.
- INEGI (1992), *XI Censo general de población y vivienda, 1990. Resumen general*, México.
- (1994), *Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares, 1994*, Aguascalientes.
- (1994a), *Estadísticas históricas*, Aguascalientes.

- (1995), *Estadísticas del medio ambiente, 1994*, Aguascalientes.
- (1995a), *Perfil estadístico de la población mexicana, una aproximación a las inequidades socioeconómicas, regionales y de género*, Aguascalientes.
- (1997), *Conteo de población y vivienda, 1995. Resultados definitivos. Tabulados Básicos*, México.
- Lizasoain, Luis y Luis Joraristi (1995), *SPSS para Windows: versión 6.01 en castellano*, Madrid, Paraninfo.
- Montoya, J. (1995), *Estado de México: población en movimiento, un análisis demográfico del periodo 1950-1980*, Toluca, UAEM (Colección Avances, 1).
- Partida, V. (1987), "Natalidad y mortalidad en la ciudad de México (1950-1980)" en *Atlas de la ciudad de México*, México, DDF- Colmex.