



El trimestre económico

ISSN: 0041-3011

ISSN: 2448-718X

Fondo de Cultura Económica

Pérez-Cirera, Vanessa; Schmelkes, Elisa; López-Corona, Oliver;
Carrera, Francisco; García-Teruel, Ana Paula; Teruel, Graciela
Ingreso y calidad del aire en ciudades: ¿Existe una curva de Kuznets para
las emisiones del transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México?¹
El trimestre económico, vol. LXXXV (4), núm. 340, 2018, Octubre-Diciembre, pp. 745-764
Fondo de Cultura Económica

DOI: 10.20430/ete.v85i340.717

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31359237003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Ingreso y calidad del aire en ciudades. ¿Existe una curva de Kuznets para las emisiones del transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México?*

Income and Air Quality in Cities: Does a Kuznets Curve Exist for
Transport Emissions in the Valley of Mexico's Metropolitan Area?

*Vanessa Pérez-Cirera, Elisa Schmelkes,
Oliver López-Corona, Francisco Carrera,
Ana Paula García-Teruel y Graciela Teruel***

ABSTRACT

Background: Pollution related to transport in big cities in Latin America and its impact on human health, and time loss due to congestion amongst other externalities are a growing concern. There are many analyses exploring this relationship at the macro and meso-levels. However, there are very few studies examining this relationship at the micro-economic level, less so in cities of developing countries.

Methodology: We run a linear, quadratic and cubic ordinary least squares regression between income and three pollutants: carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x) and carbon dioxide (CO₂eq) for a representative sample of 10 582 households within Mexico City Metropolitan Area (ZMVM) from 2010, 2012 and 2014.

Results: The paper shows a monotonic relation (positively linear) for CO and CO₂eq and quadratic (inverted U-shape) for NO_x, the least abundant of the three pollutants.

* Artículo recibido el 21 de julio de 2016 y aceptado el 22 de noviembre de 2017. Los errores remanentes son responsabilidad de los autores.

** Vanessa Pérez-Cirera, coordinadora de medio ambiente en el Instituto de Investigaciones para el Desarrollo con Equidad (Equide), Universidad Iberoamericana (correo electrónico: vanessa.perez@ibero.mx). Elisa Schmelkes, investigadora independiente (correo electrónico: elisa.schmelkes@gmail.com). Oliver López-Corona, investigador en el Equide (correo electrónico: lopezoliverx@otrasenda.org). Francisco Carrera, investigador independiente (correo electrónico: carrerasfj@gmail.com). Ana Paula García-Teruel, asistente en el Equide (correo electrónico: ana.terueln@gmail.com). Graciela Teruel, directora del Equide (correo electrónico: graciela.teruel@ibero.mx).

Conclusions: Evidence shows that even at levels of income above the turning point observed in the literature, richer households still do not choose to internalize the social cost of polluting, therefore it is urgent to design public policies aimed at a switch in ways of transport.

Keywords: urban transport pollution; income and the environment; MOVES model.

JEL Classification: R4, O2, R1.

RESUMEN

Antecedentes: la contaminación atmosférica proveniente del transporte en las urbes y sus impactos a la salud y el bienestar de las personas son preocupaciones crecientes en la región de América Latina. Existen muy pocos análisis que esclarezcan la relación entre los niveles de ingreso y contaminación proveniente del transporte a nivel microeconómico, con un gran vacío en ciudades de países en desarrollo.

Metodología: se corrió un modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) lineal, cuadrático y cúbico del modelo típico de Kuznets para conocer la relación existente entre el ingreso y las variables de contaminación atmosférica. Se construyó una base de datos con información de 2010, 2012 y 2014, con datos del Módulo de Condiciones Socioeconómicas (MCS) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) para una muestra representativa de 1 582 hogares, con datos de ingreso anual e ingreso per cápita por hogar, así como sobre la ubicación del hogar, el número y modelo de los vehículos que éste posee y un estimado propio sobre distancias recorridas, para ponderar las emisiones con el modelo MOVES-México, que utiliza las mediciones de monitoreo atmosférico existentes en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

Resultados: existe una relación monotónica (lineal positiva) entre el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), y cuadrática (U invertida) para los óxidos de nitrógeno (NO_x), por mucho, los menos abundantes de los tres gases.

Conclusiones: inclusive a niveles de ingreso por encima de los puntos de inflexión observados en la literatura, los hogares más ricos siguen sin internalizar el costo social de contaminar. Los resultados sugieren el diseño urgente de políticas públicas que promuevan un cambio en los modos de transporte en la ZMVM.

Palabras clave: emisiones del transporte; ingreso y medio ambiente; modelo MOVES-México. *Clasificación JEL:* R4, O2, R1.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica ha sido una preocupación creciente en los rubros de salud, medio ambiente y política pública, no sólo en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), sino también en diversas ciudades de rápido crecimiento en América Latina, consecuencia principalmente de una marcada tendencia a la motorización en las ciudades de la región (CEPAL, 2015).

De acuerdo con cifras recientes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), por lo menos 100 millones de personas en América Latina y el Caribe están expuestas a niveles de contaminación atmosférica por encima de los que recomienda la OMS (Cienfuentes *et al.*, 2005). Dentro de la región, México, después de Brasil, es el país con el mayor número de muertes inducidas debido a la exposición a contaminantes atmosféricos: la Ciudad de México y su zona conurbada se encuentran todavía en los primeros lugares de las listas de ciudades con peor calidad del aire (Observatorio Mundial de la Salud, 2011).

Los grupos con mayores afectaciones por contaminantes atmosféricos son niños, adultos mayores y personas que sufren deficiencias pulmonares y cardiovasculares; no obstante, por su vulnerabilidad, también las poblaciones de estratos económicos bajos se incluyen en la lista.¹ Los principales efectos del monóxido de carbono (CO) se asocian con afectaciones en el transporte de oxígeno, lo que trae consigo consecuencias como la hipoxia, déficits neurológicos e incluso la mortalidad inducida para personas con afectaciones respiratorias. Por su parte, los óxidos de nitrógeno (NOx) afectan parámetros de función pulmonar en niños y bronquitis y conjuntivitis en diferentes grupos de edad en exposición prolongada. A pesar de las ventajas para la salud humana que tiene inhalar ciertas concentraciones de CO₂eq, además de sus impactos ambientales como precursores de calentamiento global, altos niveles de éste pueden producir diversos daños a la salud, sobre todo aquellos asociados a la hiperventilación (OMS, 2005).

La OCDE prevé que para el año 2020 la contaminación del aire será la causa ambiental de mortalidad prematura más importante en la región de América Latina y el Caribe, con un impacto hasta de 2% del PIB, producido por gastos públicos en salud, reducciones en productividad, estrés y tiempos de traslado (OCDE, 2012). El Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo valoró las externalidades negativas del congestionamiento

¹Para una revisión extensiva de la literatura sobre impactos por grupos poblacionales, véase Peled (2011).

miento, la contaminación local y los gases de efecto invernadero de cinco zonas metropolitanas en México, incluyendo la ZMVM, aproximadamente en 4% del PIB de la ciudad (ITDP, 2012).

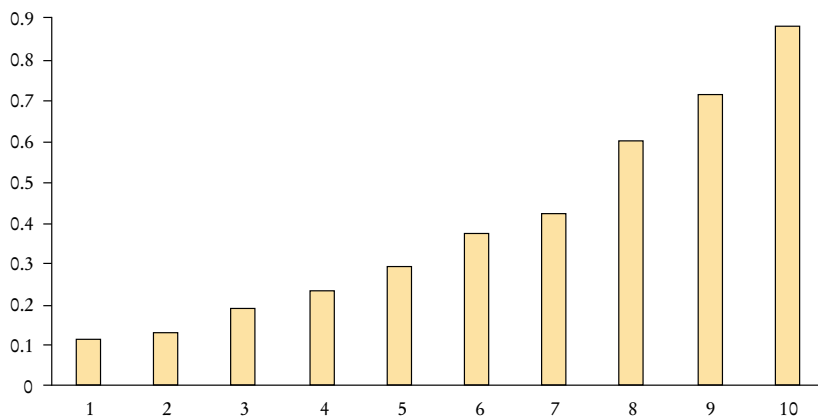
La ZMVM está conformada por las 16 delegaciones de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y un municipio de Hidalgo. En la ZMVM los vehículos automotores son la fuente más importante de generación de emisiones de CO y NOx (véase la gráfica 4). Con más de 21 millones de habitantes y 245 vehículos por cada 1 000 habitantes, la ZMVM cuenta con una de las flotas vehiculares más grandes del país, con tasas de crecimiento alarmantes (Conapo, 2012). El número de autos registrados en la ZMVM prácticamente se duplicó en ocho años (2005-2013), al pasar de 3.5 millones a 6.8 millones (véase la gráfica 2). En décadas anteriores, este fenómeno había tardado 25 años en suceder (1980-2005).

De acuerdo con el último Inventario de Emisiones Contaminantes y Gases de Efecto Invernadero 2012 que publica la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (Sedema-CDMX, 2013), del parque vehicular en la ZMVM, compuesto por cinco millones de vehículos aproximadamente, 78% de los vehículos es particular (véase la gráfica 3). Del total de vehículos, 94% utiliza gasolina, 5% consume diésel y 1% gas LP. Del parque vehicular que utiliza gasolina, 52% es anterior a 1990, carece de tecnología ambiental, es altamente emisor y aporta cerca de 68% de las emisiones totales. El restante 48% de los vehículos pertenece a 1991 o en adelante y cuenta con tecnología ambiental. Sin embargo, aún participa con 32% de las emisiones.

A pesar de la relevancia que ha adquirido el tema de la calidad del aire urbano todavía hay muy pocos análisis empíricos que vinculen ingreso con decisiones ambientales en los hogares, con un vacío importante en países en desarrollo. La llamada curva ambiental de Kuznets (EKC, por sus siglas en inglés) sugiere una relación de U invertida entre crecimiento económico y calidad ambiental. Esta relación ha sido estimada previamente en tres niveles: *i*) datos agregados para país con relaciones tipo EKC; *ii*) datos agregados para ciudad, que mostraron resultados mixtos, y *iii*) pocos análisis para hogar, realizados en ciudades de países desarrollados, que han rebatido en general la hipótesis de la curva. Estos análisis se abordarán con más detalle en la siguiente sección.

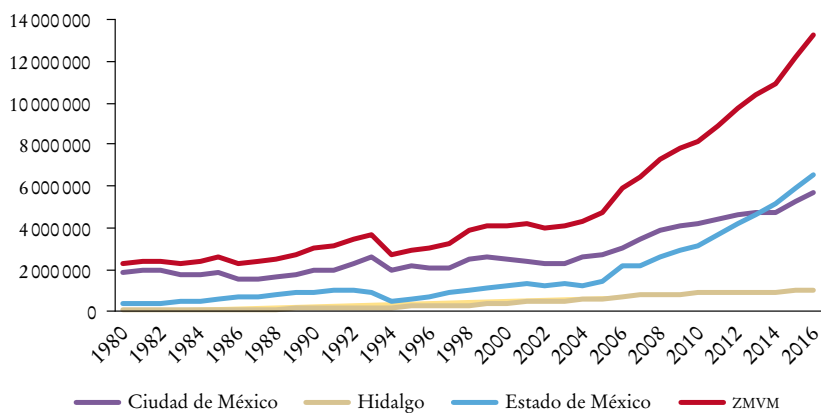
Este artículo examina la relación entre ingreso y contaminación atmosférica por emisiones del transporte en la ZMVM usando tres contaminantes asociados: el monóxido de carbono (CO), el cual se origina mayoritariamente por vehículos que usan gasolina; los óxidos de nitrógeno (NOx), que provienen mayoritariamente de los vehículos de diésel, y el dióxido de carbono (CO₂eq), que es generado tanto por los vehículos de diésel como por los que usan gasolina, según diversos factores de eficiencia del motor (INEC, 2014).

GRÁFICA 1. *Porcentaje de hogares al menos con un automóvil por decil de ingreso en México, 2012*



FUENTE: INEGI, 2013.

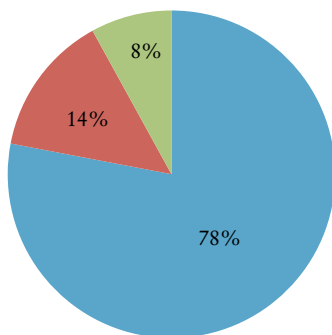
GRÁFICA 2. *Crecimiento de la flota vehicular en la ZMVM, 1980-2016*



FUENTE: INEGI, 2016.

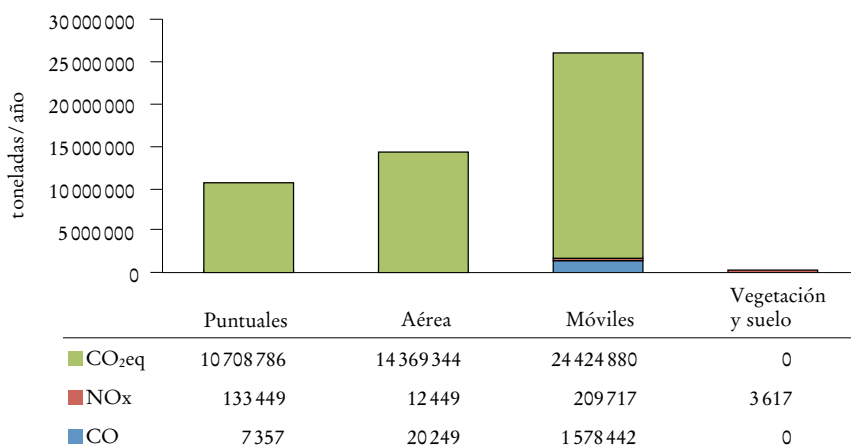
GRÁFICA 3. *Número y porcentaje de vehículos por tipo en la ZMVM, 2012*
(En millones)

■ Particular: 3.9 ■ Carga: 0.7 ■ Pasaje: 0.4



FUENTE: Sedema, 2013.

GRÁFICA 4. *Emisiones contaminantes de CO, NO_x y CO₂eq por fuente en la ZMVM (ton/año en 2012)*



FUENTE: Sedema, 2013.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la sección I describe los orígenes, la hipótesis y los principales usos de la curva ambiental de Kuznets (EKC); la sección II describe el modelo genérico de la EKC, los datos usados para realizar el análisis y sus fuentes, y la sección III presenta los resultados del modelo. Finalmente, en las conclusiones se resumen y discuten los resultados en términos de sus implicaciones políticas y de su aportación a la literatura.

I. LA CURVA DE KUZNETS Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La EKC tiene sus orígenes en Kuznets (1955), quien teorizó que la inequidad en el ingreso primero incrementa y luego disminuye a medida que aumenta el crecimiento económico. Esta teoría fue llevada al campo ambiental a principios de la década de 1990. El uso extensivo de la curva de Kuznets en la arena ambiental se originó con los artículos de Grossman y Krueger (1991) sobre los impactos ambientales del TLCAN y de Shafik y Bandyopadhyay (1992) sobre ingreso y medio ambiente, que sirvieron de base para el World Development Report del Banco Mundial, en 1992. Ambos documentos rebatían la visión generalizada en ese entonces en el sentido de que la contaminación, que era una función lineal positiva con el ingreso, en la que se introducía una función inversa a niveles altos de ingreso y la demanda por una mayor calidad ambiental, así como inversiones tecnológicas, derivarían en una menor contaminación. Las aplicaciones más usadas de la curva de Kuznets se han hecho sobre variables de contaminación en aire, agua y suelo, a nivel macroeconómico. Las variables más estudiadas en el caso del aire son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los nitratos, el óxido de nitrógeno, el óxido de azufre y las partículas suspendidas; la mayoría de los casos muestran la forma de una parábola que abre hacia abajo (véanse Dinda, 2004; Grossman y Krueger, 1991; Hettige *et al.*, 1995; Hettige *et al.*, 1996; Shafik y Bandyopadhyay, 1992; Stern, 2003).

Tanto a nivel macro, meso y micro, la pregunta fundamental que formula la hipótesis de la EKC es: ¿realmente mayores niveles de ingreso llevan a mejores resultados ambientales?, y de ser así, ¿dónde se encuentra el punto de inflexión?

A nivel macroeconómico, la relación descrita por la EKC ha sido estimada por una variedad de autores que emplearon datos agregados de muestras de países con distintos niveles de ingreso y cuyos diversos resultados, que dependieron del tipo de contaminante y de las políticas públicas en

marcha, en general sugirieron una parábola que abre hacia abajo, consistente con la hipótesis de la EKC.²

A nivel meso, a lo largo de la última década se han multiplicado los estudios que evalúan las relaciones entre ingreso, transporte y contaminación en las ciudades (véanse, por ejemplo, Meunie y Pouyanne, 2009; Liddle, 2015; Mraihi *et al.*, 2015; Sousa *et al.*, 2015). Entre ellos, destacan el análisis de Mraihi *et al.* (2015), para el que usaron el producto interno bruto per cápita y las emisiones de la ciudad y cuyo resultado fue una U invertida para las emisiones de CO₂, una N para las emisiones de O₃ y una función tipo L para NO₂; y el de Meunie y Pouyanne (2009), quienes utilizaron emisiones per cápita en un comparativo entre ciudades de diferentes niveles de ingreso, con resultados mixtos dependiendo del contexto. Con este estudio resolvieron algunos problemas de escala y arrojaron luz sobre el papel de la política local, pero no sobre el comportamiento de los individuos.

En los hogares, los individuos tienen un conjunto de decisiones que tomar en relación con el transporte y su consiguiente impacto en emisiones, que empiezan por *i*) el modo de transporte por utilizar (caminar, usar bicicleta, transporte público, transporte público masivo o vehículo particular); *ii*) la elección de usar transporte privado, pues se tendrá que elegir el número de vehículos por poseer y el tipo de vehículo por conducir, y finalmente *iii*) la distancia que media entre el hogar y el centro de actividad principal. Es claro que el costo social de manejar es mayor que el costo privado. Sin embargo, de acuerdo con la hipótesis de la EKC, es probable que los hogares más ricos se encuentren en una mejor posición para internalizar estos costos sociales. Esto quiere decir que, en teoría, los hogares con mayor ingreso pueden vivir más cerca de sus centros de actividad económica y, por tanto, los individuos pueden caminar o andar en bicicleta hasta ellos, o comprar autos más nuevos con menores emisiones que, por ende, contaminan menos. Los hogares con menos ingresos contaminarían más por el uso de vehículos más antiguos y por el hecho de encontrarse más lejos.

A nivel microeconómico, entre los pocos análisis empíricos existentes están el de Kahn (1998), quien estudió las emisiones del transporte en California al respecto de los hogares, con un método de cálculo indirecto que presentó evidencia de una U invertida no monotónica tipo EKC entre las emisiones y el ingreso, cuyo punto de inflexión se halló en 35 000 USD en el ingreso anual promedio del hogar. Los resultados de este estudio son consistentes con la proposición teórica propuesta por Pfaff *et al.* (2004), en la que desarrollaron un modelo teórico de producción de los hogares, según

² Para una revisión extensiva de la literatura, véase Dinda (2004).

el cual los más ricos no pueden comprar directamente calidad ambiental, pero pueden contribuir a la reducción de la degradación, adquiriendo bienes con menor impacto ambiental. En contraste, Cox *et al.* (2012) usaron información más reciente e indicadores adicionales en un estudio empírico para hogares en California y mostraron una relación lineal positiva entre emisiones e ingreso. Su estudio sugiere que, a pesar de que las familias más ricas compren autos menos contaminantes, los manejan en menor medida, pues también poseen vehículos viejos, que igualmente manejan y, en términos absolutos, manejan más. Finalmente, Giovanis (2013), en un análisis reciente para el Reino Unido, usó información de la encuesta de panel británica entre 1991 y 2009 y concluyó que no existe una relación estilo EKC cuando se consideran ingresos del hogar, lo que sugiere que la política pública tiene mayor relevancia que las acciones individuales espontáneas.

Las estimaciones de la relación ingreso-contaminación a nivel microeconómico en ciudades de países en desarrollo son fundamentales para entender cómo frenar los índices de contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero, conforme las ciudades de la región crecen en tamaño e ingreso. También son relevantes en el diseño de políticas públicas no regresivas que apunten a objetivos de reducción de emisiones en un contexto de creciente pobreza urbana (véase Di Virgilio *et al.*, 2011).

II. EL MODELO Y LOS DATOS

El modelo de Kuznets simple, comúnmente usado, se representa como:

$$Y_{nt} = \alpha + \beta_1 X_{nt} + \beta_2 X_{nt}^2 + \beta_3 X_{nt}^3 + \varepsilon_{nt} \quad (1)$$

donde Y_{nt} es la variable de contaminación atmosférica en el municipio n en el periodo t y X_{nt} es el ingreso corriente anual del hogar en el municipio n y en el periodo t .³

En este trabajo se corrió un modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) con y sin los coeficientes cuadrático y cúbico del modelo típico de Kuznets, para conocer la relación existente entre el ingreso y las variables de contaminación.

³ Wagner (2008) realiza un buen recuento acerca de las deficiencias econométricas presentadas comúnmente en los análisis de la EKC; las más importantes son: *i*) las transformaciones lineales de regresores integrados, *ii*) las dependencias cross-seccionales en el uso de datos de panel, incluyendo el uso de series de tiempo, y *iii*) técnicas de cointegración. Ninguna de estas técnicas fue utilizada en el presente artículo.

Para realizar el análisis se construyó una base de datos con información de 2010, 2012 y 2014 con datos del Módulo de Condiciones Socioeconómicas (MCS) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), para una muestra representativa de 10 582 hogares, con datos de ingreso anual e ingreso per cápita por hogar, al igual que datos sobre la ubicación de éste y el número y modelo de los vehículos que posee. Posteriormente, utilizamos el modelo MOVES-México⁴ para simular las emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México por tipo de vehículo y modelo (véase el cuadro 1). Este modelo actualmente es usado por la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México para hacer su inventario de emisiones.

Para los hogares que no tienen vehículos, asumimos que las personas se trasladan en microbús (tipo de vehículo, D15). Para estimar las emisiones del hogar dividimos las emisiones de acuerdo con los parámetros recomendados por EMBARQ-México, según la ocupación de los microbuses y los autos individuales, y se multiplicaron por el número de miembros del hogar.

CUADRO 1. *Parámetros ingresados en el modelo MOVES-México*

<i>Tráfico</i>	<i>Vehículo</i>	<i>Hogar</i>	<i>Fechas</i>	<i>Contaminantes</i>	<i>Recorrido</i>
Urbano	Tipo y modelo	Municipio al que pertenece	Junio y diciembre de cada año	CO, NO _x , CO ₂ eq	Distancia promedio diaria por hogar según cálculos propios ^a

FUENTE: Sedema, Dirección de Monitoreo Atmosférico, 2016.

^aDado que los resultados de la Encuesta Origen Destino 2017 todavía no están disponibles y la que existe anteriormente, EOD-2007, es muy antigua y difícilmente imputable a los hogares sin variaciones importantes, mediante sistemas de información geográfica añadimos la distancia y el tiempo promedio de viaje entre los hogares de las 76 municipalidades y los centros de actividad económica más cercanos reportados en los municipios, controlando la velocidad para tramos carreteros.

Los datos de contaminación atmosférica que pondera MOVES-México de acuerdo con los parámetros ingresados, provienen de la Sedema.⁵ La Sedema cuenta con mediciones para un total de 42 estaciones medidoras para la Ciudad de México y el Estado de México.

⁴ Disponible en: <http://www.plataformaeds.org/images/images/0326944001471877932.pdf>

⁵ Disponible en: <http://www.aire.df.gob.mx/>

CUADRO 2. *Catálogo de estaciones de medición de contaminantes atmosféricos en la ZMVM*

<i>Clave</i>	<i>Nombre</i>	<i>Municipio</i>	<i>Estado</i>
ACO	Acolman	Acolman	Estado de México
AJU	Ajusco	Tlalpan	Ciudad de México
ATI	Atizapán	Atizapán de Zaragoza	Estado de México
CAM	Camarones	Azcapotzalco	Ciudad de México
CHO	Chalco	Chalco	Estado de México
COY	Coyoacán	Coyoacán	Ciudad de México
CUA	Cuajimalpa	Cuajimalpa de Morelos	Ciudad de México
CUT	Cuautitlán	Tepotzotlán	Estado de México
FAC	FES Acatlán	Naucalpan de Juárez	Estado de México
IZT	Iztacalco	Iztacalco	Ciudad de México
LOM	Lomas	Miguel Hidalgo	Ciudad de México
MCM	Museo de la Ciudad de México	Cuauhtémoc	Ciudad de México
MER	Merced	Venustiano Carranza	Ciudad de México
MON	Montecillo	Texcoco	Estado de México
MPA	Milpa Alta	Milpa Alta	Ciudad de México
NEZ	Nezahualcóyotl	Nezahualcóyotl	Estado de México
PED	Pedregal	Álvaro Obregón	Ciudad de México
SJA	San Juan Aragón	Gustavo A. Madero	Ciudad de México
SNT	San Nicolás Totolapan	Magdalena Contreras	Ciudad de México
TAH	Tláhuac	Xochimilco	Ciudad de México
TLA	Tlalnepantla	Tlalnepantla de Baz	Estado de México
TLI	Tultitlán	Tultitlán	Estado de México
UIZ	UAM Iztapalapa	Iztapalapa	Ciudad de México
VIF	Villa de las Flores	Coacalco de Berriozábal	Estado de México
XAL	Xalostoc	Ecatepec de Morelos	Estado de México

FUENTE: Sedema, Dirección de Monitoreo Atmosférico, 2016.

III. RESULTADOS

Los cuadros 3, 4 y 5 exponen los resultados lineales, cuadráticos y cúbicos del modelo de MCO de la EKC. A pesar de que los tres modelos muestran relaciones estadísticamente significativas, los coeficientes de las regresiones

CUADRO 3. *Modelo lineal entre ingreso anual por hogar y emisiones de CO, NOx y CO₂eq*

	(1)	(2)	(3)
	<i>CO₂gen_hogar_anual</i>	<i>NOx₂gen_hogar_anual</i>	<i>CO₂eq₂gen_hogar_anual</i>
	<i>b/t</i>	<i>b/t</i>	<i>b/t</i>
ln_ingcor_anual	77 237.031*** (36.42)	-2 156.589*** (-9.16)	4 356 507.614*** (53.84)
_cons	-820271.716*** (-32.61)	52216.810*** (18.70)	-4.347e+07*** (-45.29)
N	9 773	9 773	9 773
R-sq	0.120	0.009	0.229

FUENTE: elaboración propia.

CUADRO 4. *Modelo cuadrático entre ingreso anual por hogar y emisiones de CO, NOx y CO₂eq*

	(1)	(2)	(3)
	<i>CO₂gen_hogar_anual</i>	<i>NOx₂gen_hogar_anual</i>	<i>CO₂eq₂gen_hogar_anual</i>
	<i>b/t</i>	<i>b/t</i>	<i>b/t</i>
ln_ingcor_anual	-390 738.977*** (-9.85)	23 058.971*** (5.21)	-2.449e+07*** (-16.36)
ln_ingcor_anual_2	19 566.731*** (11.81)	-1 054.298*** (-5.70)	1 205 905.575*** (19.30)
_cons	1 965 752.635*** (8.29)	-97 900.214*** (-3.70)	1.282e+08*** (14.33)
N	9 773	9 773	9 773
R-sq	0.132	0.012	0.257

FUENTE: elaboración propia.

y las funciones presentadas en las gráficas 3 y 4 nos permiten concluir (véase Martín, 2003) que existe una relación monotónica (lineal positiva) estadísticamente significativa entre el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), y cuadrática (U invertida tipo Kuznets) para los óxidos de nitrógeno (NO_x).

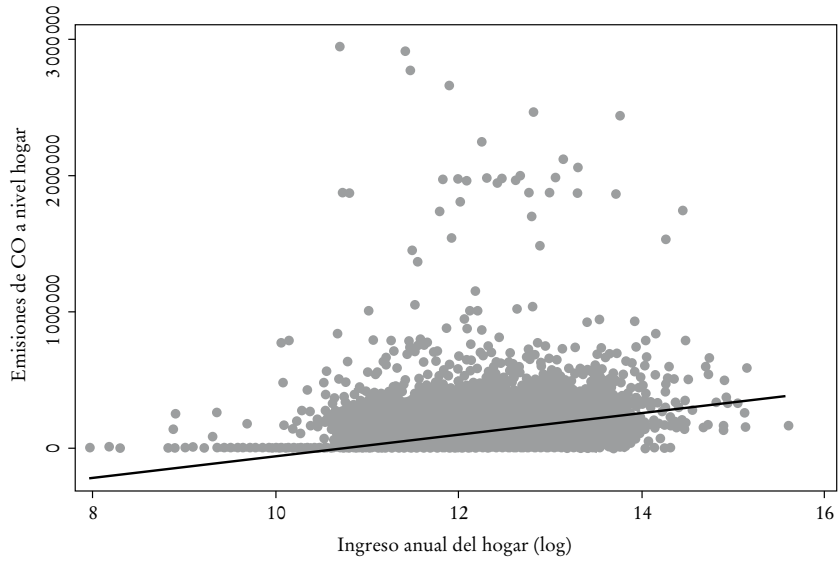
CUADRO 5. *Modelo cúbico entre ingreso anual por hogar y emisiones de CO, NO_x y CO₂eq*

	(1)	(2)	(3)
	CO ₂ gen_hogar_anual	NO _x gen_hogar_anual	CO ₂ gen_hogar_anual
	b/t	b/t	b/t
ln_ingcor_anual	-1 715 945.935*** (-4.32)	282 850.166*** (6.39)	-3.546e+07* (-2.37)
ln_ingcor_anual_2	130 942.007*** (3.94)	-22 888.107*** (-6.18)	2 128 529.575 (1.70)
ln_ingcor_anual_3	-3 103.885*** (-3.36)	608.480*** (5.90)	-25 712.336 (-0.74)
_cons	7 194 587.967*** (4.56)	-1 122 951.711*** (-6.39)	1.715e+08** (2.88)
N	9773	9773	9773
R-sq	0.133	0.015	0.257

FUENTE: elaboración propia.

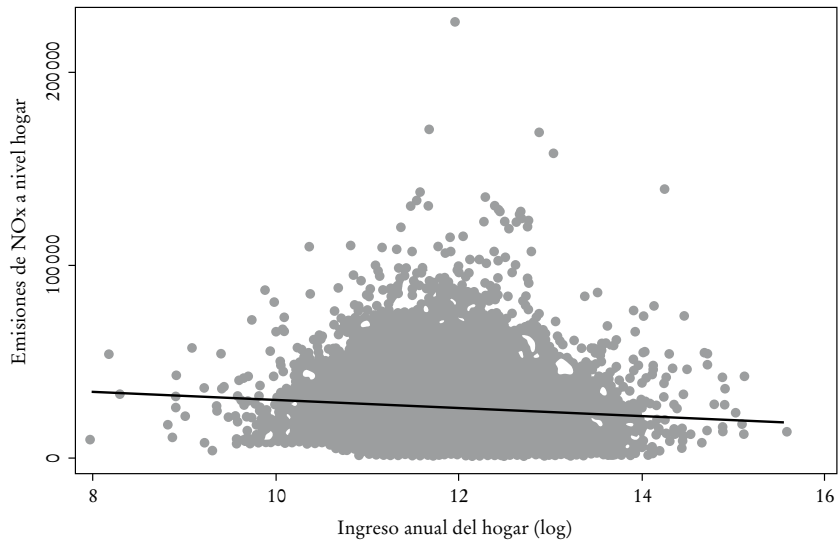
En términos empíricos, dado que los vehículos automotores son la principal fuente de generación de CO, que estas emisiones son casi 7.5 veces más altas que la generación de NO_x (Sedema, 2016) y que el CO₂eq es un buen *proxy* de la actividad en general, podríamos concluir que en términos del modo de transporte y su uso, en la ZMVM los hogares con mayores niveles de ingreso contaminan más.

GRÁFICA 5. Representación gráfica del modelo lineal para CO



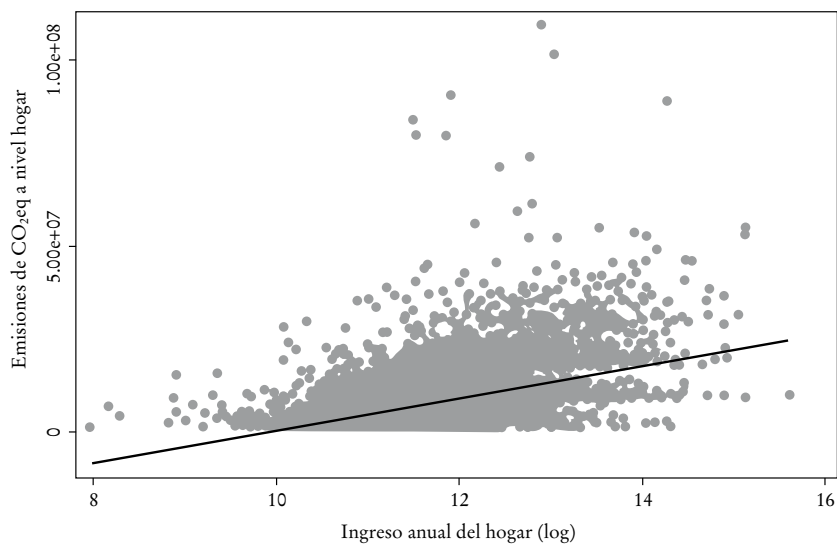
FUENTE: elaboración propia.

GRÁFICA 6. Representación gráfica del modelo lineal para NOx



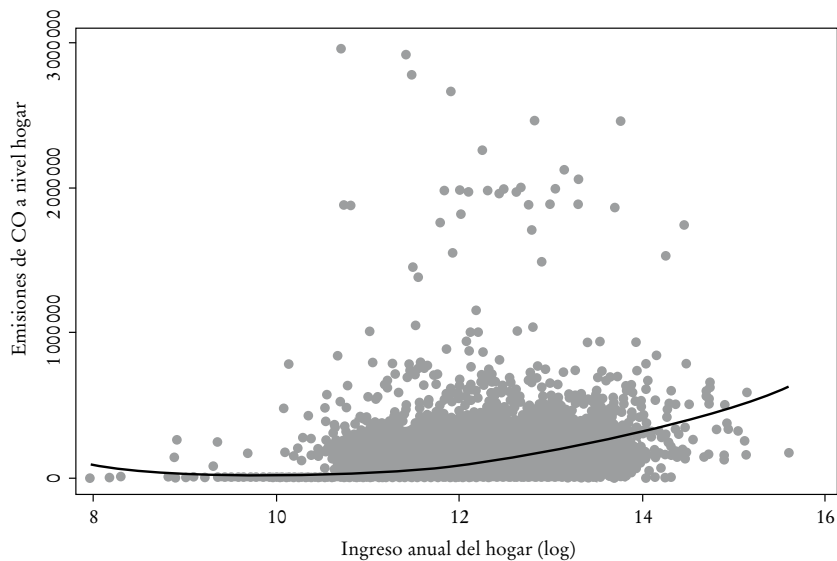
FUENTE: elaboración propia.

GRÁFICA 7. Representación gráfica del modelo lineal para CO_2eq



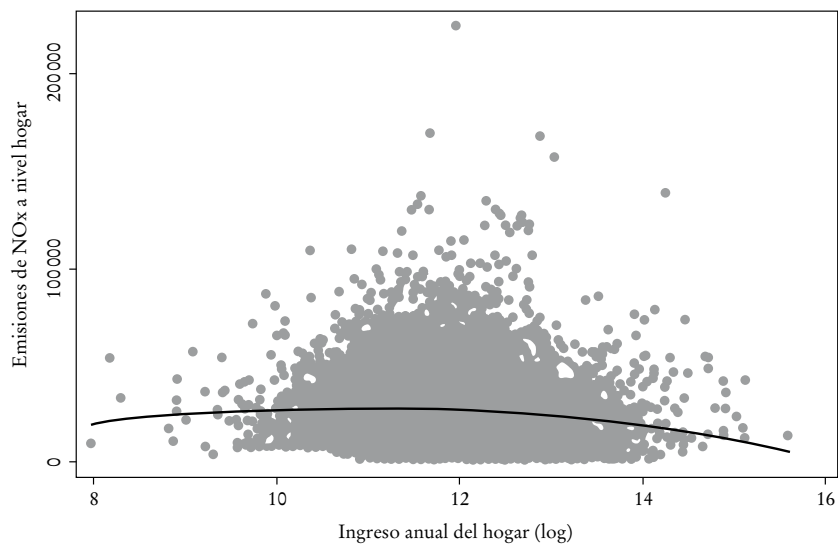
FUENTE: elaboración propia.

GRÁFICA 8. Representación gráfica del modelo cuadrático para CO



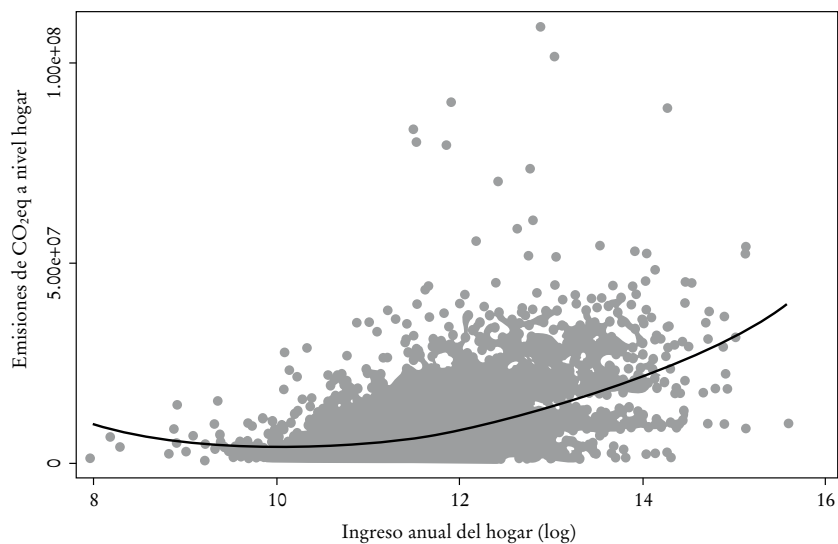
FUENTE: elaboración propia.

GRÁFICA 9. *Representación gráfica del modelo cuadrático para NO_x*



FUENTE: elaboración propia.

GRÁFICA 10. *Representación gráfica del modelo cuadrático para CO₂eq*



FUENTE: elaboración propia.

CONCLUSIONES

El presente trabajo investiga una relación cuadrática tipo U invertida entre el nivel de ingreso y la contaminación atmosférica, sugerido por la establecida curva ambiental de Kuznets, en la Zona Metropolitana del Valle de México. Los resultados muestran, por una parte, una relación creciente en las emisiones, conforme aumenta el ingreso, para las emisiones de monóxido de carbono (CO) y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂eq), y una relación cuadrática (U invertida tipo EKC) para las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), las cuales son mucho menos abundantes que las anteriores, lo que sugiere que los hogares con mayores ingresos contaminan más y, a su vez, que existen problemas de inequidad en las afectaciones sobre la salud para los individuos provenientes de hogares de menores ingresos, que se mueven en transporte público y pasan una mayor cantidad de tiempo expuestos a los contaminantes.

La generalización del modelo de Kuznets en la arena ambiental ha llevado al diseño de políticas erróneas del tipo “crece ahora, limpia después”, cuya motivación es que la contaminación ambiental es un mal que desaparece con el ingreso y, por ende, no hay necesidad de crear políticas de intervención (véase Panayotou, 1997). Dado que las emisiones están directamente relacionadas con la actividad económica, pero son independientes del área en la que son liberadas, resulta muy relevante estudiar las relaciones ingreso / calidad medioambiental a nivel microeconómico.

Una edición especial de los *Proceedings of the National Academy of Science* de los Estados Unidos concluye que en el estudio de las relaciones ingreso-medio ambiente, el lugar importa (Kates y Dasgupta, 2007). Dado el nivel de análisis y la metodología, los mesoanálisis EKC multicidad y/o macro multipaís asumen que un lugar —por ejemplo, una ciudad o un país— tiene un nivel uniforme de ingreso y calidad ambiental. Los análisis sobre la EKC en los hogares nos permiten estudiar una ciudad por grupos de hogares con gradientes significativos de ingreso y generación de contaminación, así como identificar comportamientos a nivel individual.

Los resultados de este estudio sugieren el diseño urgente de políticas públicas que modelen los comportamientos individuales sobre modos y uso de transporte para el bien común.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) (2008), "Emission Facts", EPA. Disponible en: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/final/c01s05.pdf> [consultado el 27 de noviembre de 2017.]
- Cifuentes, L. A., A. J. Krupnick, R. O’Ryan y M. A. Toman (2005), *Urban Air Quality and Human Health in Latin America and the Caribbean*, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D. C.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2015), *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*, CEPAL, Chile.
- Conapo (2012), "Proyecciones de la población 2010-2050", Conapo. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos [consultado el 27 de noviembre de 2017.]
- Cox, A., A. Collins, L. Woods y N. Ferguson (2012), "A Household Level Environmental Kuznets Curve? Some Recent Evidence on Transport Emissions and Income", *Economics Letters*, 115 (2), 187-189.
- Di Virgilio, M. M., M. P. Otero y P. Boniolo (2011), *Pobreza y desigualdad en América Latina y el Caribe*, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (Clacso).
- Dinda, S. (2004), "Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey", *Ecological Economics*, 49 (4), 431-455.
- Giovanis, E. (2013), "Environmental Kuznets Curve: Evidence from the British Household Panel Survey", *Economic Modelling*, 30, 602-611.
- Green, J., y S. Sánchez (2013), *La calidad del aire en América Latina: una visión panorámica*, Clean Air Institute, Washington, D. C.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2011), *El estado de la calidad del aire en México: 18 ciudades*, INECC, México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2016), "Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación", INEGI. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/225>
- Kahn, M. E. (1998), "A Household Level Environmental Kuznets Curve", *Economics Letters*, 59 (2), 269-273.
- Kates, R. W., y P. Dasgupta (2007), "African Poverty: A Grand Challenge for Sustainability Science", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (43), 16747-16750.
- Kuznets, S. (1955), "Economic Growth and Income Inequality", *The American Economic Review*, 45 (1), 1-28.
- Liddle, B. (2015), "Urban Transport Pollution: Revisiting the Environmental

- Kuznets Curve”, *International Journal of Sustainable Transportation*, 9 (7), 502-508.
- Martin, C. (2003), “The Environmental Kuznets Curve – A Survey of the Empirical Evidence and of Possible Causes”, Discussion Paper No. 391, Departamento de Economía, Universidad de Heidelberg.
- Meunie, A., y G. Pouyanne (2009), “Is There an Urban Environmental Kuznets Curve Due to Urban Mobility?”, *Urban Research Symposium*, 5.
- Millimet, D. L., J. A. List y T. Stengos (2003), “The Environmental Kuznets Curve: Real Progress or Misspecified Models?”, *The Review of Economics and Statistics*, 85 (4), 1038-1047.
- Mraihi, R., R. Harizi, T. Mraihi y M. T. Bouzidi (2015), “Urban Air Pollution and Urban Daily Mobility in Large Tunisia’s Cities”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 315-320.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2012), “OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction”, OCDE. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en> [consultado el 27 de noviembre de 2017.]
- Panayotou, T. (1995), “Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development”, en Iftikhar Ahmed, *Beyond Rio: The Environmental Crisis and Sustainable Livelihoods in the Third World*, Macmillan, Basingstoke [Inglaterra], 13-36.
- (1997), “Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool”, *Environment and Development Economics*, 2 (4), 465-484.
- Pfaff, A. S., S. Chaudhuri y H. L. Nye (2004), “Household Production and Environmental Kuznets Curves – Examining the Desirability and Feasibility of Substitution”, *Environmental and Resource Economics*, 27 (2), 187-200.
- Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Ciudad de México (Sedema-GDF) (2013), “Inventario de emisiones contaminantes y de efecto invernadero de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2012”, Sedema-GDF. Disponible en: <http://www.aire.df.gob.mx/default.php?opc=Z6BhnmI=&dc=Zg> [consultado el 27 de noviembre de 2017.]
- Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y Consejo Nacional de Población (Conapo) (2012), “Delimitación de las zonas metropolitanas en México, 2010”. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/Sistemas/multiarchivos/doc/702825003884/DZM20101.pdf> [consultado el 27 de noviembre de 2017.]
- Selden, T. M., y D. Song (1994), “Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 27 (2), 147-162.

- Shafik, N., y S. Bandyopadhyay (1992), "Economic Growth and Environmental Quality: Time-Series and Cross-Country Evidence", 904, Banco Mundial.
- Sousa, C., C. Roseta-Palma y L. F. Martins (2015), "Economic Growth and Transport: On the Road to Sustainability", *Natural Resources Forum*, 39 (1), 3-14.
- Torras, M., y J. K. Boyce (1998), "Income, Inequality, and Pollution: A Reassessment of the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics*, 25 (2), 147-160.
- Wagner, M. (2008), "The Carbon Kuznets Curve: A Cloudy Picture Emitted by Bad Econometrics?", *Resource and Energy Economics*, 30 (3), 388-408.
- Zamudio, D., y V. Alvarado (2014), *ZMVM: hacia el colapso vial*, El Poder del Consumidor, México.