

Evaluación de Impacto en la motorización como Consecuencia de las Políticas de Restricción Vehicular, Aproximación Metodológica para el caso de Bogotá y Villavicencio - Colombia

Carlos A. Moncada⁽¹⁾, Juan P. Bocarejo⁽²⁾ y Diego A. Escobar⁽³⁾

(1) Facultad de Ingeniería, Depto. de Ingeniería Civil y Agrícola. Univ. Nacional de Colombia, Sede Bogotá

(2) Facultad de Ingeniería, Depto. de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes

(3) Facultad de Ingeniería, Depto. de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales
(e-mail: camoncadaa@unal.edu.co; jbocarej@uniandes.edu.co; daescobarga@unal.edu.co)

Recibido Mar. 24, 2017; Aceptado May. 24, 2017; Versión final Jul. 12, 2017, Publicado Feb. 2018

Resumen

Este trabajo hace un aporte metodológico al análisis del impacto de políticas de transporte, utilizando métodos cuasi-experimentales comparando hogares de tratamiento y control para estimar los efectos en la motorización. La congestión vehicular y la sostenibilidad de la movilidad se han identificado como los problemas principales de las ciudades latinoamericanas. Medidas como la prohibición de la utilización del vehículo en algunas horas del día, conocidas como restricciones vehiculares, son el objetivo de esta investigación. Sin embargo, luego de años de implementadas las medidas, se observa que en lugar de contribuir a la reducción del uso del vehículo particular, éstas han promovido la compra de más automóviles. Los resultados de este trabajo sugieren que las políticas de restricción durante todo el día, como se han implementado en ciudades como Bogotá y México, han promovido la compra de más coches en los estratos más altos. Los hogares afectados por la medida muestran una tendencia de un 20% más a comprar otro vehículo cuando se comparan con hogares de una ciudad sin políticas de restricción vehicular.

Palabras clave: restricción vehicular; políticas de transporte; control a la congestión; uso del automóvil

Impact Assessment on Motorization as a Consequence of Vehicle Restriction Policies, Methodological Approach for the case of Bogotá and Villavicencio - Colombia

Abstract

This work makes a methodological contribution to the analysis of the impact of transport policies, using quasi-experimental methods, comparing treatment and control households to estimate the effects on motorization. Vehicle congestion and sustainability of mobility have been identified as the main problems in latin-american cities. Measures such as the prohibition of using vehicles during some periods of the day, which are known as vehicle restrictions, are the main objectives of this research. However, after several years of implementation of these measures, it is observed that vehicle restrictions have promoted the purchase of more vehicles. The results of this research suggest that all-day restriction policies as they have been implemented in cities such as Bogotá and México, instead of contributing to the reduction of the use of private vehicles have promoted the purchase of more cars among higher-income families. Families affected by the measure show a tendency of 20% more willingness to purchasing another vehicle when they are compared with households in cities without vehicle restriction policies.

Keywords: vehicle restriction; transportation policies; congestion control; automotive driving

INTRODUCCIÓN

Las restricciones vehiculares temporales en las ciudades de países en vías de desarrollo son programas de control a la circulación (Bamberg et al, 2011), que han sido descritas ampliamente y que buscan reducir las emisiones como en el caso de México o la congestión como en el caso de Bogotá. En Noviembre de 1989 inició el programa denominado "Hoy no circula" con el objetivo de combatir los problemas de la contaminación del aire en la Ciudad de México (Davis, 2008). El programa se convirtió oficialmente en obligatorio para los vehículos particulares a partir de marzo de 1990 y desde enero de 1991 para todos los vehículos de transporte público. El período de restricción era desde las 5 a.m. hasta las 10 p.m. El programa fue extendido a Guadalajara, Pachuca, Puebla y Toluca. En 2008 el programa se amplió en la Ciudad de México también para restringir el movimiento de un sábado al mes. Otras ciudades como Santiago de Chile en los años 90's integraron similares medidas de restricción vehicular como control de emisiones (De Grange y Troncoso, 2011). En Latinoamérica, en la ciudad de Bogotá en 1998, se aplicó por primera vez una medida de restricción tipo "push" a la entrada de vehículos a las vías urbanas conocida como "vehicle restriction" (Mahendra, 2008). Esta medida se utilizó para mitigar la congestión en las horas punta. La política se ejerció con el último dígito de matrícula, e implicaba la restricción de grupos de 4 dígitos por día, lo que resultaba en que cada vehículo no debería circular en total durante 4 horas por dos días a la semana (Gómez y Obando, 2014). El horario comprendía el período entre las 7 y las 9 a.m. y entre las 5:30 y las 7:30 p.m. Muy pronto el horario de la mañana se extendió entre las 6:00 y las 9:00 a.m. Bajo este esquema la restricción funcionó cerca de 11 años.

Para finales de la década del 2000, se planteó la necesidad de hacer más estricta la medida, en consecuencia para el año 2009, debido al crecimiento sostenido del parque automotor (Fig. 1) y a las obras de reparación de la infraestructura vial de la ciudad, se decide ampliar el período de restricción a todo el día entre las 6:00 am y las 8:00 p.m.

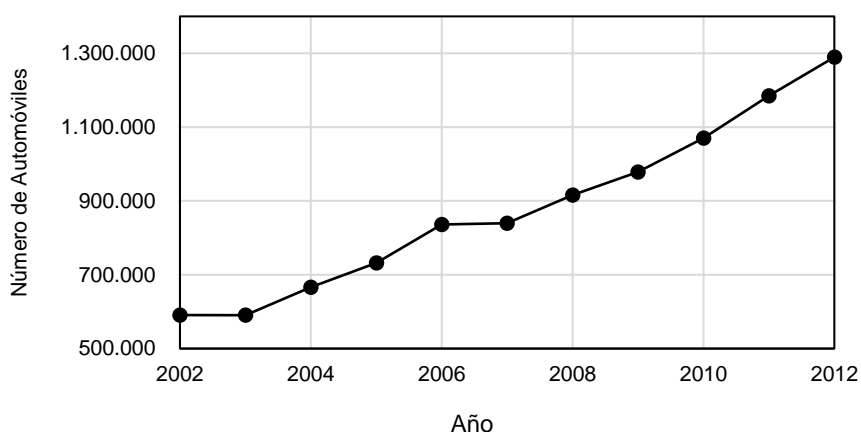


Fig. 1: Crecimiento del parque automotor para la ciudad de Bogotá 2002-2006 (Datos tomados de la SDM y de la Secretaría de Medio Ambiente, 2007-2013)

Es evidente que la medida no ha sido efectiva en términos de reducir la congestión, y por el contrario ha tenido efectos negativos en el desarrollo de la ciudad (Medina y Velez, 2011). De acuerdo con cifras de la Secretaría de Movilidad el parque automotor ha incrementado significativamente desde la ampliación de la medida, y no han sido diseñados mecanismos para la evaluación de impacto de la política; en particular, el incremento por la compra de un segundo vehículo (Moncada y Bocarejo, 2015). Otras ciudades en Colombia, han experimentado crecimiento del parque automotor, sin embargo aún muchas de ellas no han implementado medidas de control o han mantenido restricciones por horas como es el caso en la ciudad de Medellín. La única ciudad que cuenta con restricciones para todo el día es la ciudad de Bogotá (Cantillo y Ortúzar, 2014). La ciudad de Villavicencio cuenta en la actualidad con 487.246 habitantes de acuerdo con la cifras de proyecciones del censo nacional (DANE, 2005) y con una tendencia de crecimiento del parque automotor cercana a los 5.000 vehículos por año, siguiendo una tendencia de crecimiento similar a la observada en Colombia (Fig. 2). Con un total de 675 Km de vías y un indicador per cápita de 0.0013 km/hab la malla vial de Villavicencio supera levemente los 0.0019 km/hab de la ciudad de Bogotá.

En Colombia, las cifras de crecimiento del parque automotor se han mantenido constantes a través de los últimos años en todas las ciudades afectadas o no con medidas de restricción (Jaramillo et al, 2009). Sin embargo, la ciudad que presenta las mayores tasas de incremento del parque automotor es Bogotá. Por esta razón, se busca realizar una medida cuantitativa sobre la dinámica de crecimiento del parque automotor como respuesta a las políticas de restricción implantadas por las administraciones de la ciudad

de Bogotá. Establecer si efectivamente han sido eficientes para racionalizar el uso del automóvil, o si por el contrario, las políticas han contribuido a que los hogares con mayor capacidad económica compren un segundo vehículo para evadir la restricción. Para estimar el efecto de las políticas de restricción vehicular en la ciudad de Bogotá y su posible contribución al incremento del parque automotor, se aplicaron las técnicas de evaluación de impacto descritas a continuación utilizando una aproximación cuasi-experimental utilizada en otros análisis de tipo cuantitativo de políticas de transporte (Li et al, 2013; Bocarejo et al, 2013).

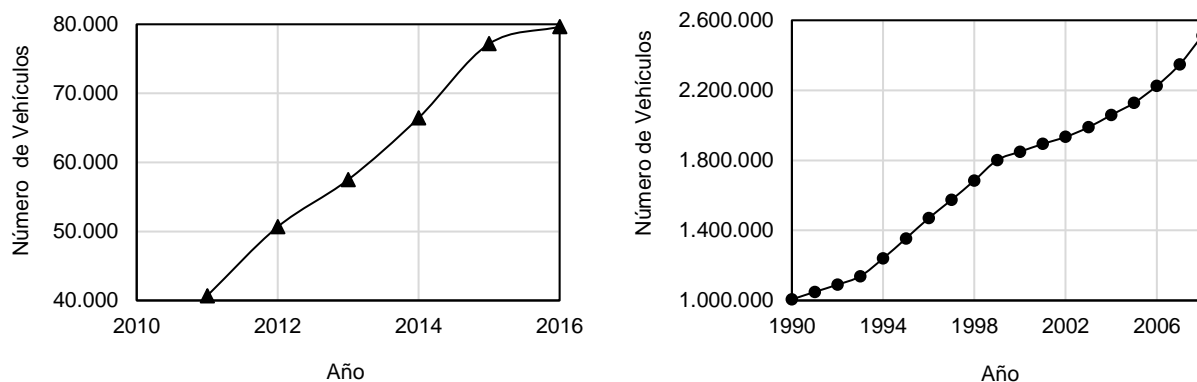


Fig. 2: Crecimiento del parque automotor para Villavicencio 2011-2014 y Colombia 1990-2008, y (Datos tomados de Mintransporte, 2015)

FUENTES DE DATOS

Los datos utilizados para el análisis de este trabajo, se extraen de las encuestas de movilidad llevadas a cabo en Bogotá en 1996 y 2011. Las encuestas de hogares han sido metodologías utilizadas en Colombia y Latinoamérica en los últimos años para establecer no sólo las características de la demanda de transporte (Ampt y Ortúzar 2004), sino también como mecanismos para establecer los indicadores de motorización de la población (Hajinasab et al, 2014; Metz, 2012, Santana, 2009). La Agencia de Cooperación Internacional de Japón llevó a cabo la encuesta de movilidad para el Plan Maestro de la Ciudad en el año 1996 y la Secretaría de Movilidad de la ciudad de Bogotá realizó dos encuestas más en los años 2005 y 2011. Estas encuestas, proporcionan información de manera desagregada sobre las características socioeconómicas de los hogares, características de los miembros del hogar, el número de vehículos disponibles, y los viajes realizados en todos los modos de transporte. Para efectos de este estudio, sólo fueron tenidas en cuenta las encuestas de los años 1996 y 2011 por contar con la información completa incluyendo los ingresos del hogar. Los tamaños de las muestras eran de 15.518 y 15.592 hogares respectivamente.

Para la ciudad de Villavicencio se tomaron en cuenta los registros de la encuesta realizada por la firma Ivarssons para el diagnóstico de la movilidad para el Municipio de Villavicencio en el año 2008 y en segundo lugar, la actualización de la encuesta realizada por la Universidad Nacional (UN) para la formulación del Plan de Movilidad para el mismo municipio en el año 2012. Las encuestas aplicaron la misma metodología y formato de captura de datos, lo que hace compatible la comparación entre ellas. Los tamaños de las muestras fueron 3.328 y 795 hogares respectivamente. La estructura poblacional de ambas ciudades se rige por el sistema nacional de estratificación socioeconómica de las entidades de planeación nacional compiladas en la metodología del Departamento Nacional de Estadísticas (DANE). La estructura de hogares y sus porcentajes de cada una de las ciudades analizadas demuestra que el 78% de los hogares en Bogotá se encuentran en los rangos de ingresos bajos a medios, en tanto en Villavicencio es del orden del 89%. La distribución detallada por estrato se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Estructura de Hogares por ciudad (Datos tomados de DANE, proyecciones 2014)

Estrato Socio-económico	Hogares			
	Bogotá	%	Villavicencio	%
1	135,196	7.0%	17,989	17.5%
2	675,980	35.0%	32,586	31.7%
3	710,745	36.8%	41,221	40.1%
4	251,078	13.0%	7,298	7.1%
5	88,843	4.6%	2,878	2.8%
6	69,529	3.6%	822	0.8%
Total	1,931,372	100.0%	102,795	100.0%

Para analizar el comportamiento económico de ambas ciudades, también fue comparado el índice de precios al consumidor IPC (Consumer Price Index) como una variable proxy de la inflación y sus valores fueron correlacionados de manera que no hubieran diferencias significativas entre sus valores anuales, es decir, afectaciones particulares en la economía que afectarían las decisiones de compras de vehículos. Este análisis arrojó que los valores entre las dos ciudades tienen correlacionados sus IPC en cerca del 90%, como se ve en la Fig. 3.

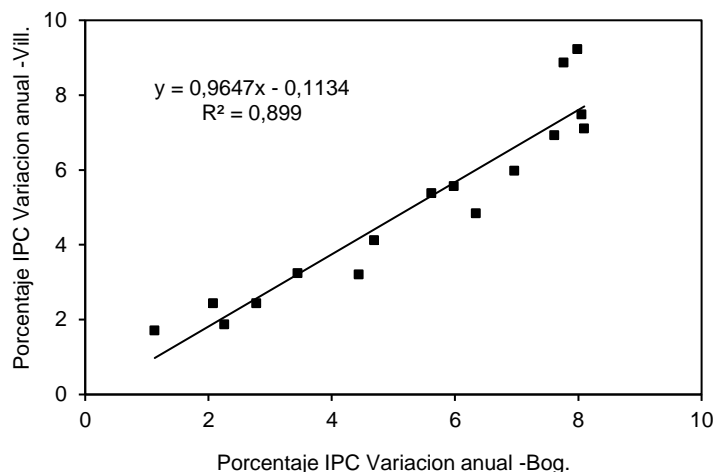


Fig. 3: Correlación de los IPC de las ciudades Bogotá-Villavicencio 1999-2014 (Datos tomados de DANE, 2016)

METODOLOGÍA

El método aplicado consistió en una evaluación utilizando la metodología cuasi-experimental de dobles diferencias emparejadas entre dos poblaciones (Randolph, et al, 2014) (Bertrand et al, 2004), que busca identificar las mismas expectativas de tenencia de vehículos. Esta metodología realiza una ponderación de las observaciones tanto del grupo de tratamiento como de control para que la distribución de características observables sea similar en ambos grupos (Abadie e Imbens, 2016), (Bernal y Peña, 2011). La diferencia de tenencia de vehículos de los hogares, que para nuestro caso es la variable de resultado, es contrastada con los estimadores utilizados en el emparejamiento usando las variables explicativas dado que cuentan con la misma probabilidad de participación en la política de restricción $P(X)$. Está demostrado, que al realizar el emparejamiento en función de $P(X)$ se obtienen estimadores consistentes, que en consecuencia serán aplicables para determinar el efecto del tratamiento (Yang et al, 2016), (Rosembaum y Rubin, 1983).

Variables utilizadas

Dado que se pretende dar una explicación a la diferencia en la tenencia de automóviles en dos períodos de tiempo, no toda la información incluida en las encuestas de ambas ciudades es relevante para el objeto de este estudio. A continuación, se realizará una descripción del conjunto de variables que explican la propiedad de automóviles en los hogares y que han sido utilizadas con éxito en Colombia para construir modelos de motorización (Gómez y Obando, 2013).

Adultos que trabajan (Workingadults): El número de miembros del hogar que trabajan es un determinante importante en el número de automóviles en el hogar. Cuanto mayor sea el número de miembros que trabajan, serán percibidas mayores necesidades de desplazamiento y por tanto se espera tener una mayor cantidad de automóviles. Sin embargo, no todas las personas tienen las mismas necesidades de movilización. Por lo general se hace una diferenciación de variables entre los adultos que trabajan y aquellos que no trabajan. Para las bases de datos utilizadas se analizaron por separado los adultos reportados que trabajan como aquellos que no trabajan.

Niños en el hogar (Children): De la misma manera, se establece como un referente, que en la medida que existan niños dentro del hogar, las necesidades de movilización y por ende el número de automóviles requeridos incrementa.

Motocicletas (Motorcycles): Dado el aumento de este tipo de vehículos y su fácil acceso en el mercado colombiano, la motocicleta se conforma como un vehículo sustituto del automóvil en los hogares. Como parte del análisis se incluyó esta variable de control al modelo, de manera que se evaluara la influencia de la presencia de un segundo vehículo dentro del hogar y que este fuera una motocicleta.

Rango de ingreso del hogar (incomerange): El ingreso del hogar, por naturaleza, es una de las variables que guardan relación más fuerte con la propiedad de automóviles. En consecuencia, el hogar con mayor nivel de ingresos tiene la tendencia de tener mayor cantidad de vehículos a su servicio. Para este estudio, fueron construidos 8 rangos de ingresos para ambas ciudades que reflejan los cambios en la capacidad de compra de los hogares para las diferentes épocas de las tomas de datos. Para eliminar los efectos fijos propios asociados con el tamaño de la población, el tamaño de la economía de la ciudad y los demás aspectos que pueden integrar efectos no observados dentro del modelo, se realizó una función de ajuste de efectos fijos en el tiempo y atribuibles a la localización. Se utilizaron los ingresos a partir de las encuestas de calidad de vida de cada ciudad de manera que los hogares fueran comparables en su nivel de ingreso para diferentes años.

El corrector de ingresos, se realizó con una función del salario promedio por cada uno de los 6 estratos socioeconómicos obtenidos de la encuesta permanente de hogares EGH del DANE, y el salario promedio percibido por estrato. Para cada época de toma de datos se hizo una equivalencia a partir del crecimiento del índice de precios al consumidor IPC establecido para cada año. De esta manera se eliminaron los efectos en el tiempo de las diferencias de capacidad adquisitiva de los hogares por una parte (efectos fijos debidos al tiempo), y por otra se restableció la equivalencia entre poderes adquisitivos de los hogares de cada ciudad (efectos fijos de localización). Así las cosas, un hogar de Bogotá con un determinado nivel de ingresos en el año 96 corresponderá a un hogar equivalente de la misma ciudad del año 2011, y de la misma manera será equivalente a los hogares del mismo rango de ingresos corregidos para los años de las encuestas 2008 y 2010 de la ciudad de Villavicencio. A continuación se muestra el ajuste de rangos de ingresos de los hogares realizados para las diferentes épocas de las encuestas de cada ciudad (Tabla 2 y Tabla 3).

Tabla 2: Cálculo de rangos de valores de ingreso para los períodos antes y después de tratamiento para la ciudad de Bogotá (Datos tomados de DANE 2005 y UN 2004, Encuesta de Movilidad SDM 2011)

<i>Categorías del ingreso</i>	<i>Rango de valor del ingreso Bogotá 1996</i>	<i>Rango de valor del ingreso Bogotá 2011</i>
1	< \$186.461	< \$535.600
2	\$186.461 - \$417.763	\$535.600 - \$1.200.000
3	\$417.763 - \$696.271	\$1.200.000 - \$2.000.000
4	\$696.271 - \$974.780	\$2.000.000 - \$2.800.000
5	\$974.780 - \$1.392.543	\$2.800.000 - \$4.000.000
6	\$1.392.543 - \$1.914.746	\$4.000.000 - \$5.500.000
7	\$1.914.746 - \$2.785.086	\$5.500.000 - \$8.000.000
8	> \$2.785.086	> \$8.000.000

Tabla 3: Cálculo de rangos de valores de ingreso para la población de control de la ciudad de Villavicencio en los dos periodos de medición (Datos tomados de DANE 2005 y UN 2004, Encuesta de Movilidad para el municipio de Villavicencio Ivarssons 2008 y UN 2012).

<i>Categorías del ingreso</i>	<i>Rango de valor del ingreso Villavicencio 2008</i>	<i>Rango de valor del ingreso Villavicencio 2012</i>
1	< \$395.664	< \$442.440
2	\$395.664 - \$783.096	\$442.440 - \$862.370
3	\$783.096 - \$1.305.161	\$862.370 - \$1.437.283
4	\$1.305.161 - \$1.827.225	\$1.437.283 - \$2.012.196
5	\$1.827.225 - \$2.610.322	\$2.012.196 - \$2.874.566
6	\$2.610.322 - \$3.589.192	\$2.874.566 - \$3.952.528
7	\$3.589.192 - \$5.220.643	\$3.952.528 - \$5.749.132
8	> \$5.220.643	> \$5.749.132

FORMULACIÓN DEL MODELO

El método de dobles diferencias emparejadas ajustado por efectos fijos (Abadie et al, 2014), permite suponer que ambas poblaciones han sido sometidas a las mismas políticas acionales en materia económica, libertad de compra de vehículos y demás efectos fijos que se propagan en el tiempo. Esto hace que, tanto la muestra de control como la de tratamiento reflejen en los dos momentos de mediciones los resultados de estos efectos de las variables no observables y que se espera se mantengan constantes en su comportamiento, garantizando la coherencia interna del modelo (Busso et al 2016; Conley y Taber, 2011).

La metodología de dobles diferencias siguen un procedimiento de cálculo en la diferencia de una variable dependiente en dos momentos de tiempo. Las observaciones en dos instantes de tiempo son llamadas datos longitudinales por ser observaciones de los individuos para dos épocas. La variable de estudio y que se pretende evaluar, para este caso será aquella que se calcula realizando la diferencia en la variable de automóviles en el hogar (Vehículos Bog. y Vehículos Villav.) entre los dos periodos antes y después del tratamiento, tanto para la población tratada Ecuación (1) como la población de control Ecuación (2).

$$\text{Efecto de la Política (variouscars)} = \text{Vehículos Bog.}_{2011(t1)} - \text{Vehículos Bog}_{1996(t2)} \quad (1)$$

$$\text{Efecto sin la Política (variouscars)} = \text{Vehículos Villav.}_{2008(t1)} - \text{Vehículos Villav.}_{2012(t2)} \quad (2)$$

El efecto a analizar es el cambio en estas diferencias debido a la participación de la política de restricción vehicular y su influencia en la diferencia en el número de vehículos entre los hogares de las dos ciudades. La posibilidad de comparar los hogares de ambas ciudades, se basa en el proceso de emparejamiento para encontrar una población de control similar a los hogares de tratamiento.

Teniendo en cuenta que se desea analizar el efecto de la política de restricción vehicular en los hogares que tuvieran capacidad de compra de más de un vehículo, se tomó como subgrupo de análisis únicamente los hogares de ambas poblaciones que contaban ya para el primer instante de tiempo de medición con un vehículo. De esta manera se conformó una base de datos combinada de ambas poblaciones de 5.523 observaciones en las que solo se contemplaran aquellos hogares que poseían un vehículo o más para los periodos t_1 y t_2 .

El efecto de cambio en el tiempo en el número de vehículos (variouscars) entre los dos periodos de las ecuaciones (1) y (2), se calculó restando un vehículo a cada uno de los registros de ambas ciudades para el tiempo t_2 que reportaron vehículos. De esta manera: si el hogar contaba con un vehículo en el tiempo de medición t_2 su variación (variouscars) sería 0. Si por el contrario reportaba mas de un vehículo en el tiempo t_2 , la variación del parque automotor (variouscars) sería superior a 1.

Se considera que si el hogar tiene mas de dos vehículos en el tiempo t_2 , la función estima el efecto de haber aumentado en el valor de 1 el número de vehículos del hogar. En los hogares, la tenencia de más de dos vehículos es un efecto que no se presentó en más de 60 casos de la base de datos combinada. El emparejamiento con probabilidad de participación $P(X)$, busca que los hogares de ambas ciudades sean comparables de manera que no haya diferencia alguna entre el hogar tratado y el hogar en tratamiento. Usando las variables anteriormente descritas, se procedió a analizar un modelo de regresión tipo probit que permitiera establecer las posibles interacciones de las variables sobre la probabilidad de participar en tratamiento, es decir de haber sido afectado por la restricción.

Teniendo en cuenta el concepto de soporte común (SC) (Bernal y Peña 2011), se establece que si los hogares comparten el mismo vector de variables explicativas tienen la misma probabilidad de ser objeto o no de la política. El soporte común se verifica analizando el comportamiento predictivo de la variable dependiente, en este caso variouscars a partir de las variables explicativas tanto en el grupo de tratamiento como en el grupo de control.

Aproximación metodológica para el emparejamiento

El emparejamiento utilizado en la metodología usando los rangos de ingresos, permitió encontrar dentro del segmento de población de control (Villavicencio) 731 registros con un comportamiento similar. Es decir que fue posible encontrar un "clon" dentro de la población de control con las características socioeconómicas, de personas que trabajan, del número de motocicletas y de niños, tal que fuera posible encontrar decisiones de tener uno o más vehículos basados en la similitud de sus características observables. Los resultados del emparejamiento entre las dos poblaciones hallado con el software STATA 12 que constituye la base del soporte común de los análisis se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Resultados del proceso de emparejamiento entre las poblaciones de tratamiento (Bogotá) y control (Villavicencio)

psmatch2: Treatment assignment	psmatch2: Common support		Total
	Off support	On support	
Untreated	0	731	731
Treated	17	4,775	4,792
Total	17	5,506	5,523

De los 731 hogares del grupo de control, así como los 4.775 hogares del grupo de tratamiento mostraron un comportamiento similar en la distribución de la variable de estudio (variouscars) en el modelo predictivo para el soporte común y con valores de significancia mayores al 95% tal como puede ser observado en las distribuciones alrededor de las variables contempladas dentro del modelo presentadas en la Fig.4:

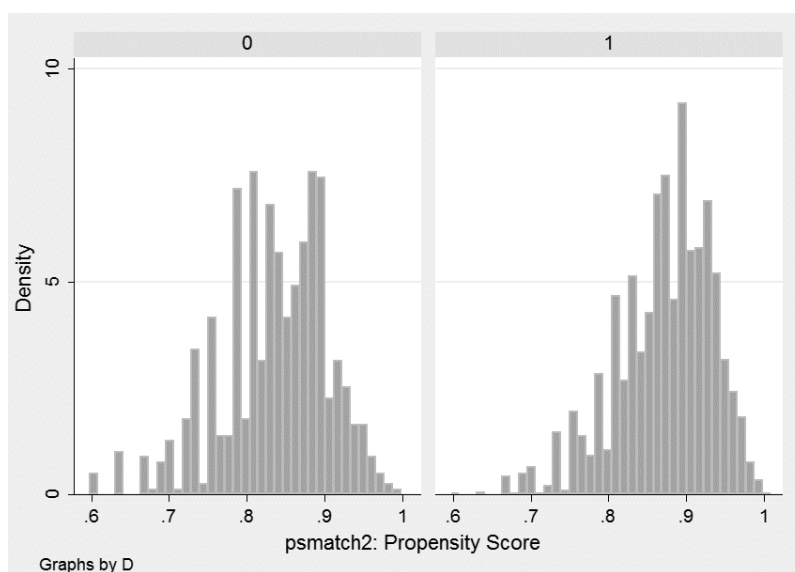


Fig. 4: Comportamiento de la variable a partir del modelo predictivo a partir de las variables observadas tanto para el grupo de tratamiento (1-Bogotá) como para el grupo de control (0-Villavicencio)

El análisis gráfico muestra una tendencia similar de la variable entre los dos grupos, comprobando que las variables incluidas en el modelo probit utilizado para calcular la probabilidad de participar del tratamiento, explican también el comportamiento de las decisiones de los hogares en cuanto al número de vehículos. Esto, se debe a que la evolución de las variables no observadas es independiente de participar o no de la política de restricción. La influencia de las variables dentro del modelo y su significancia e intervalos de confianza son presentados en la Tabla 5.

Tabla 5: Resultados del modelo Probit de emparejamiento y significancia de las variables dentro del modelo predictivo

Probit regresion		Number of obs		=		5523	
S.E. ***p<0.01, **p>0.05		LR chi2	(4)	=		202.09	
Log likelihood		Prob >	chi2	=		0	
-2057.5651		Pseudo	R2	=		0.0468	
Treatment	Coefficients	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]		
incomerange	-0.0865	0.0122***	-7.08	0.000	-0.1104	-0.0625	
motorcycles	-0.0882	0.0439**	-2.01	0.045	-0.1743	-0.0020	
workingadults	0.1890	0.0214***	8.80	0.000	0.1462	0.2311	
children	0.2071	0.0241***	8.57	0.000	0.1597	0.2543	
constant	0.9404	0.0646***	14.54	0.000	0.8137	1.0672	

El ejercicio de incluir las variables que más se ajustaban al modelo, llevó a observar que la variable de adultos que no trabajan no tenía influencia significativa dentro del modelo, por lo que solo fueron incluidas

las variables descritas anteriormente. El supuesto de independencia condicionada IC (Wooldridge, 2010), lleva a concluir que tanto los hogares de la ciudad de Bogotá habrían evolucionado de la misma manera que los hogares de la ciudad de Villavicencio, en el caso que no hubiera sido implantada política alguna de restricción. Es decir que la variable dependiente que representa el cambio en el número de vehículos en el hogar (*variouscars*) mantiene una tendencia común para ambos grupos. El test de significancia conjunta entre las variables y la posibilidad de estar en tratamiento arrojó que las mismas no son significativas para explicar el tratamiento, lo que establece que el método de emparejamiento es robusto.

Asumiendo que se cumplen las condiciones de soporte común SC y de independencia condicionada IC, dentro del modelo, a partir del emparejamiento realizado, el estimador del efecto promedio de la aplicación de la política de restricción vehicular en la población de tratamiento ($T_{ATT-DDE}$) de las dobles diferencias emparejadas (DDE) dentro de la región de soporte común estaría definido por la Ecuación (3):

$$T_{ATT-DDE} = E_{P(X)/d=1}\{E[(variouscars)/D = 1, P(X)] - E[(variouscars)/D = 0, P(X)]\} \quad (3)$$

La variable (*variouscars*) explicada con la Ecuación (4) dentro del modelo general probit, está acompañada de los coeficientes β que se entienden como aquellos efectos marginales de las variables que influyen el cambio del número de vehículos en el hogar.

$$variouscars = \alpha_i + \beta_1 incomerange + \beta_2 motorcycles + \beta_3 workingadults + \beta_4 children \quad (4)$$

ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados encontrados, la población de tratamiento presentó una variación del 30% en el número de vehículos con respecto a una variación de 10% reportada para los hogares de control. El impacto de la aplicación de la política de restricción vehicular utilizando la metodología explicada en los apartes anteriores, arrojó que el impacto estimado dentro del soporte común es del 20% sobre el incremento de vehículos (*variouscars*) con respecto a la población no tratada.

En otras palabras, esto quiere decir que en comparación con la población no afectada por la medida de restricción vehicular, los hogares afectados por la política de restricción vehicular tienen un 20% de tendencia marginal para la compra de un nuevo vehículo. Hay una variación escasa entre los resultados de los hogares tratados y los de control antes (*unmatched*) y después del emparejamiento (*ATT*). Esto refleja que el emparejamiento no desechó una gran cantidad de observaciones de las bases de datos para integrar el modelo de diferencias. En la Tabla 6 se presentan los resultados de la variable *ATT-DDE*.

Tabla 6: Resultados del modelo luego del emparejamiento

Variable	Sample	Treated	Controls	Difference	S.E.	T-stat
variouscars	Unmatched	0.3134391	0.1108071	0.2026320	0.0237985	8.51
	ATT	0.3128796	0.1056184	0.2072612	0.0182190	11.38

CONCLUSIONES

El enfoque de la metodología consistió en especificar y estimar un modelo de dobles diferencias emparejadas, que explicaran los cambios en el tiempo en la tenencia de automóviles entre las poblaciones de control y de tratamiento. En el modelo de emparejamiento, se obtuvo una asignación de 731 hogares que representaban el grupo de control y que fueron comparables con los hogares afectados por la medida. El algoritmo de emparejamiento se comprobó robusto y coherente con las variables explicativas utilizadas al 95%.

Si bien se presenta un aumento en el número de vehículos en los hogares en general para ambos grupos, probablemente por el efecto combinado del aumento en el poder adquisitivo, la reducción del costo de los automóviles y otros aspectos no observables, los hogares afectados con medidas de restricción tienen la tendencia a tener un mayor número de vehículos.

El modelo de dobles diferencias mostró variaciones significativas en el cambio de número de vehículos para las observaciones de corte transversal de tratamiento y control. Los resultados permiten concluir que en promedio la personas afectadas por la medida de restricción vehicular durante todo el día tal como está aplicada en la ciudad de Bogotá, presentan una tendencia a tener un 20% más de vehículos que los

hogares no afectados por una medida de restricción. La metodología de dobles diferencias emparejadas demostró ser una herramienta de análisis econométrico eficiente para ser aplicada en análisis de transporte privado y público incluyendo efectos fijos en el tiempo, con el uso bases de datos de encuestas OD controladas por variables socioeconómicas para mejorar la significancia de los análisis.

Si bien la literatura recomienda el uso de datos panel para realizar evaluaciones de impacto de manera longitudinal, los emparejamientos combinados con dobles diferencias para construir contrafactuales se han demostrado como metodologías cuasi-experimentales eficientes para realizar análisis comparativos y calcular efectos promedio entre una población tratada y una de control.

REFERENCIAS

Abadie, A., y G. Imbens, Matching on the estimated propensity score, doi: 10.3982/ECTA11293, *Econometrica*, 84 (2), 781–807 (2016)

Abadie, A., G. Imbens y F. Zheng, Inference for Misspecified Models With Fixed Regressors, doi: 10.1080/01621459.2014.928218, *J. of the American Statistical Association*, 109 (508), 1601–1614 (2014)

Ampt, E. y J.D.D. Ortuzar, On Best Practice in Continuous Large-scale Mobility Surveys, doi: 10.1080/0144164032000140703, *Transport Reviews*, (24), 337–363 (2004)

Bamberg, S., S. Fujii, y otro dos autores, Behaviour theory and soft transport policy measures, doi: 10.1016/j.tranpol.2010.08.006, *Transport Policy*, 18 228–235 (2011)

Bernal, R. y X. Peña, Guía Práctica para la Evaluación de Impacto. 1ª Ed., 104-145, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia (2011)

Bertrand, M., E. Duflo y S. Mullainathan, How much should we trust differences-in differences estimates? doi: 10.1162/003355304772839588, *Quarterly Journal of Economics*, 119(1), 249–275 (2004)

Bocarejo, J. P., Portilla, I., y Pérez, M. A., Impact of Transmilenio on density, land use, and land value in Bogotá, doi: 10.1016/j.retrec.2012.06.030, *Research in Transportation Economics*, 40(1), 78–86 (2013)

Busso, M., J. DiNardo, J., McCrary, New Evidence on the Finite Sample Properties of Propensity Score Reweighting and Matching Estimators, doi: 10.1162/REST_a_00431, *Review of Economics and Statistics*, 96 (5), 885-897 (2014)

Cantillo, V. y J.D.D. Ortúzar, Restricting the use of cars by license plate numbers: A misguided urban transport policy, *Revista Dyna*, 81(188), 75–82 (2014)

Conley, T., y C. Taber, Inference with “Difference in Differences” with a Small Number of Policy Changes, doi: 10.1162/REST_a_00049, *Review of Economics and Statistics*, 93(1), 113–125 (2011)

Davis, L. W., The Effect of Driving Restrictions on Air Quality in Mexico City, doi: 10.1086/529398, *Journal of Political Economy*, 116(1), 38–81 (2008)

De Grange, L., y R. Troncoso, Impacts of vehicle restrictions on urban transport flows: The case of Santiago, Chile, doi: 10.1016/j.tranpol.2011.06.001, 18(6), *Transport Policy*, 862–869 (2011)

Departamento Nacional de Estadística, Censo Nacional 2005, (en la web: goo.gl/sTo0Mp, acceso: 10 de febrero 2016), DANE (2005)

Departamento Nacional de Estadística, Encuesta General de Hogares EGIH 2014, (en la web: goo.gl/uDlGQ1, acceso: 10 de febrero 2016), DANE (2014)

Gómez, J., y Obando, C., Joint Disaggregate Modeling of Car and Motorcycle Ownership : A Case Study of Bogotá, Colombia. doi: 10.3141/2451-17, *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 2451(19), 149–156 (2014)

Gómez, J. y Obando C., Modeling Car Ownership in Urban Areas of Developing Countries : A Case Study of Bogotá, Colombia, doi: 10.3141/2394-14, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2394 (19), 111–118 (2013)

Hajinasab, B., P. Davidsson, P., y J. Persson, A Survey on the Use of Computational Models for Ex Ante Analysis of Urban Transport Policy Instruments, doi:10.1016/j.procs.2014.05.434, Procedia Computer Science, 32, 348–355 (2014)

Jaramillo, C., P. Ríos y A. Ortiz, Incremento del parque automotor y su influencia en la congestión de las principales ciudades colombianas. <http://www.researchgate.net/publication/268803221>, XII Encuentro de Geógrafos de América Latina, Montevideo, Uruguay, 3 al 7 de abril (2009)

Li, H., D. Graham, y A. Majumdar, The impacts of speed cameras on road accidents: An application of propensity score matching methods, doi: 10.1016/j.aap.2013.08.003, Accident Analysis and Prevention, 60, 148–157 (2013)

Mahendra, A., Vehicle Restrictions in Four Latin American Cities: Is Congestion Pricing Possible?, doi: 10.1080/01441640701458265, Transport Reviews, 28(1), 105-133 (2008)

Medina, C., y C. Velez, Aglomeración económica y congestión vial: los perjuicios por racionamiento del tráfico vehicular. Borradores de Economía, Banco de La República, 678, 1-55 (2011)

Metz, D., Demographic determinants of daily travel demand, doi: 10.1016/j.tranpol.2012.01.007, Transport Policy 21 20-25 (2012)

MINTRANSPORTE, El Transporte en cifras, versión 2010 (en la web: goo.gl/IDXsCVcontent_copyCopy short URL, acceso: 9 de febrero de 2016), Ministerio de Transporte, Colombia (2010)

Moncada, C.A., y J.P. Bocarejo, Application of a methodology to assess policies to control private vehicle traffic in cities, Proceedings of CODATU XVI, Climate change, air quality and energy challenges, 48-61, Istanbul, Turkey (2015)

Randolph, J., K. Falbe, y otros dos autores, A Step-by-Step Guide to Propensity Score Matching, Practical Assessment, Research & Evaluation, 19(18), 1–6 (2014), <http://www.pareonline.net/getvn.asp?v=19&n=18> Acceso: 3 de julio (2017)

Rosembaum, P. y D. Rubin, The central role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects, <http://biomet.oxfordjournals.org>, Biometrika, 70, 41-50 (1983)

Santana, M., Análisis comparativo de metodologías estadísticas y definición de variables de las encuestas de viajes de Bogotá, años 1995 y 2005, Revista de Ingeniería, U. de Los Andes, Vol. Mayo, 148-155 (2009)

Woldridge, J., Introducción a la Econometría, 4ª Ed., 804-805, Editorial Prentice Hall, Traducido del libro Introductory Econometrics, 4th Edition. South-Western Cengage Learning, Mexico (2010)

Yang, S., Imbens, G. y otros tres autores, Propensity Score Matching and Subclassification in Observational Studies with Multi-level Treatments, doi: 10.1111/biom.12505, Biometrics, 72 (4), 1055-1065 (2016)