



LIBERTAD Y DESARROLLO

SERIE INFORME **ECONÓMICO**

Restricción vehicular y variaciones en los flujos: **Un análisis multimodal para Santiago**

Rodrigo Troncoso / Louis de Grange

**SERIE
INFORME
ECONÓMICO**
ISSN 0717 - 1536

Julio 2017

266

RODRIGO TRONCOSO

es ingeniero comercial y doctor en Economía de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Es Director del Centro de Datos de LyD y Director del Magister en Políticas Públicas de la Universidad del Desarrollo.

LOUIS DE GRANGE

es ingeniero civil de industrias, MSc en Ciencias de la Ingeniería y PhD en transporte de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Profesor asociado de la Escuela de Ingeniería Civil Industrial de la Universidad Diego Portales.

CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO **05**

1. INTRODUCCIÓN 06

**2. CASOS DE RESTRICCIÓN VEHICULAR
EN EL MUNDO Y REVISIÓN DE
ESTUDIOS EMPÍRICOS 07**

3. DATOS Y MÉTODO 10

4. RESULTADOS 12

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES 14

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 16

7. ANEXOS 17

2.1 Ciudades en las que se ha implementado Restricción Vehicular	07
2.2 Revisión Bibliográfica de Análisis y Resultados Empíricos	09

Resumen Ejecutivo

En este trabajo estimamos el impacto que genera la restricción vehicular impuesta a cerca del 20% de los vehículos (dos dígitos de patente) sobre los flujos de automóviles, bicicletas y uso del transporte público en la ciudad de Santiago. Esta restricción se aplica durante los días en que se proyecta una alta contaminación ambiental. Estimamos que en los días de restricción vehicular, el aumento en el uso del transporte público es poco significativo.

Por otra parte, el flujo vehicular en una autopista y en las 26 calles analizadas baja aproximadamente un 13% durante los días de restricción. También estimamos un aumento de casi 3% en el flujo de la autopista en los horarios en que no rige la restricción vehicular, causado por el cambio en los horarios en que algunos automovilistas viajan para evitar la restricción. Vimos además que el flujo de bicicletas en las ciclovías baja un 9% durante los días de restricción vehicular debido posiblemente a la mayor contaminación ambiental que se proyecta para dichos días de restricción y al llamado de las autoridades a no realizar actividad física.

Los resultados son consistentes con una menor actividad en la ciudad durante los días de restricción, lo que tiene asociados costos económicos y sociales, sin que esto se traduzca en un mayor uso del transporte público. Este resultado se suma a la evidencia internacional desfavorable en cuanto a los efectos que tendrían las restricciones vehiculares sobre los niveles de contaminación.

1. INTRODUCCIÓN

Previamente, en De Grange y Troncoso (2011) estimamos mediante análisis de regresión múltiple (corte longitudinal y datos de panel), los efectos que las restricciones vehiculares esporádicas (no permanentes) generan sobre los flujos de autos, Metro y buses en la ciudad de Santiago, usando datos para el año 2008. En el presente trabajo actualizamos las estimaciones usando datos para el año 2015, y además extendemos el análisis considerando el impacto sobre los flujos de bicicletas en ciclovías y sobre los vehículos en una importante autopista urbana de Santiago (Autopista Costanera Norte).

La restricción vehicular se implementa sólo los días en que, la noche anterior, se prevé que habrá altos niveles de contaminación en la ciudad (e.g. pre-emergencia y emergencia ambiental). Los días de pre-emergencia ambiental se implementan 2 dígitos de restricción a los vehículos con convertidor catalítico, y los días de emergencia ambiental se implementan 4 dígitos de restricción a los vehículos con convertidor catalítico. Esta restricción rige entre las 7:30 y 21:00 hrs. Los vehículos con convertidor catalítico representan prácticamente la totalidad del parque automotriz de Santiago (sólo los vehículos anteriores a 1993 no tienen convertidor catalítico, por lo que enfrentan restricción vehicular permanente entre abril y agosto de cada año).

Algunas de las principales conclusiones en el trabajo previo expuesto en De Grange y Troncoso (2011), al implementar restricción vehicular de dos dígitos (pre-emergencia ambiental), fueron: (i) se redujo en un 5.5% los flujos observados de vehículos en las principales calles de la ciudad; (ii) se detectaron cambios poco significativos en el uso del transporte público, en especial de los buses; y (iii) algunos automovilistas modifican los horarios de sus viajes para evitar las horas en las que rige la restricción vehicular. La emergencia ambiental no fue implementada durante el año 2008, por lo que se omitió del análisis.

Al actualizar este análisis con datos de 2015 encontramos que, a pesar que las restricciones se traducen en un

menor uso del automóvil, esto no significa un mayor uso del transporte público. Por otro lado, la restricción a la circulación de cerca del 20% del parque vehicular se traduce en una disminución cercana al 13% de los flujos observados tanto en las calles de la ciudad, como en la autopista estudiada; este valor es mayor al 5,5% estimado en De Grange y Troncoso (2011) con datos del 2008, lo que se explicaría en parte por el aumento en el valor de las multas por no acatar la restricción y la prohibición adicional para los autos de circular en algunas importantes calles de la ciudad. También encontramos que, en los días en que se decretó restricción de dos dígitos, los flujos en la autopista estudiada aumentaron casi un 3% durante las horas en que no rige esta medida, debido a un efecto sustitución: algunos viajeros tienden a cambiar su horario de viaje para evitar así la restricción vehicular (viajan antes de las 7:30 hrs. y después de las 21:00 hrs.). Por último, los flujos en bicicleta sobre las ciclovías estudiadas disminuyen en cerca de 9% los días de restricción de dos dígitos, debido probablemente a la mala calidad del aire y los llamados de la autoridad a no hacer actividad física durante estos días.

En la Sección 2 de este artículo presentamos antecedentes relevantes para entender la política de restricción vehicular que se implementa en Santiago de Chile, acompañada de una revisión bibliográfica actualizada. En la Sección 3 presentamos un resumen de los datos utilizados y la metodología considerada para el análisis empírico. En la Sección 4 presentamos los principales resultados obtenidos, y en la Sección 5 finalizamos con una discusión y las conclusiones del trabajo desarrollado.

2. CASOS DE RESTRICCIÓN VEHICULAR EN EL MUNDO Y REVISIÓN DE ESTUDIOS EMPÍRICOS

2.1 Ciudades en las que se ha implementado Restricción Vehicular

La restricción vehicular es una política de regulación al uso del automóvil que data desde hace varias décadas, y que ha sido principalmente impulsada en ciudades de países latinoamericanos (Bull, 2003), y en menor medida en ciudades europeas y asiáticas.

Ya en la década de 1970 se implementó una restricción de ingreso a sectores céntricos de la ciudad de Buenos Aires, basándose para ello en el último dígito de la placa de patente de los automóviles particulares. Otra de las primeras ciudades en prohibir la circulación de automóviles en su área central fue Atenas en la década de los '80. La restricción de circulación se denominó "Dactylios" en griego, y coincidía con el anillo interior de circunvalación del área metropolitana. El objetivo principal de la medida fue disminuir los altos niveles de contaminación del aire, producidos por la alta congestión de tránsito existente en aquella época y por las condiciones meteorológicas del valle donde se ubica la ciudad. El sistema restringía la circulación de lunes a viernes en forma alternada para los vehículos con matrícula terminada en números par e impar.

En Santiago de Chile, la restricción vehicular comenzó a aplicarse en el año 1986, producto de los altos niveles de contaminación atmosférica. El sistema consistió en prohibir el tránsito de los automóviles cuyos últimos números de la placa vehicular terminen en alguno de los dos dígitos fijados como restringidos para cada día hábil.

Originalmente la restricción se aplicaba a la mayoría de los vehículos particulares a excepción de aquellos equipados con convertidor catalítico, con el fin de disminuir el material particulado grueso (PM10) producido por la combustión. Con el paso de los años, el número de automóviles equipados con convertidor catalítico superó a los tradicionales y en la actualidad estos últimos representan un muy bajo porcentaje del total (inferior al 4%). A partir del año 2001, los días en que se decreta preemergencia o emergencia ambiental debido a los altos niveles de

contaminación, se implementa restricción vehicular también a los automóviles con convertidor catalítico. En pre-emergencia la restricción a autos catalíticos es de dos dígitos y los días de emergencia es de cuatro dígitos. Desde el año 2014, se decretan pre-emergencias o emergencias ambientales considerando el material particulado fino (PM2,5) en lugar del PM10. El impacto medioambiental de las distintas políticas implementadas durante los días de emergencia y pre-emergencia ambiental en Santiago pueden consultarse en Troncoso y De Grange (2012).

En Caracas, capital de Venezuela, se implementó entre 1979 y 1990 un plan de restricción de circulación vehicular de un día a la semana, que se denominó "Día de Parada". Se hizo con el fin de mitigar los constantes atascos de tráfico en la ciudad. El entonces Ministerio de Transporte y Comunicaciones (hoy Ministerio del Poder Popular para la Infraestructura) asignaba un número según el cual tenían prohibición de circulación un día a la semana.

En Ciudad de México, en noviembre de 1989, se inició el programa denominado "Hoy no Circula", con el objetivo principal de combatir los problemas de contaminación del aire. El programa se volvió oficialmente obligatorio para los autos a partir de marzo de 1990 y desde enero de 1991 para todos los vehículos del transporte público. Posteriormente el programa se ha extendido a Pachuca, Puebla y Toluca. En 2008 el programa se amplió en la ciudad de México para restringir la circulación un sábado al mes.

En la ciudad de Sao Paulo se introdujo en 1997 la restricción vehicular, conocida como "Rodízio Veicular". La restricción de circulación aplicaba a los automóviles particulares a base del último dígito del número de matrícula, restringiendo dos números por día, de lunes a viernes, en las horas punta de la mañana y de la tarde (7:00-10:00; 17:00-20:00). A partir de 2003 el gobierno municipal decidió ampliar las restricciones de circulación para los vehículos pesados y a partir del 30 de junio de 2008 se

incluyeron los vehículos de reparto comercial. En mayo de 2014 la Municipalidad de Sao Paulo aprobó una ley que prevé que los vehículos eléctricos, híbridos eléctricos y los movidos a pila de hidrógeno estarán libres de la restricción vehicular.

En 1998, en la ciudad de Bogotá fue aplicada por primera una medida de restricción para el ingreso de automóviles a las vías denominada "Pico y Placa". Esta medida fue aplicada con el fin de mitigar la congestión en las horas punta. La restricción se ejercía, como es costumbre, con el último número de la placa patente, restringiendo la entrada de 4 dígitos por día, lo que resulta en que cada automóvil no debe salir en dos días de la semana. La ciudad implementó la rotación anual de los números para evitar que los días de la semana de la restricción fueran fijos para siempre. Así los vehículos restringidos los martes y los jueves de un año, cambian a miércoles y viernes al año siguiente y así sucesivamente. Desde 2008 el "Pico y Placa" fue ampliado a 14 horas en Bogotá, desde las 6:00 hasta las 20:00 horas. A partir de diciembre de 2012 el "Pico y Placa" en Bogotá aumentó la prohibición de circulación al 50% de los vehículos cada día, considerando si el último dígito de la placa es par o impar, y la restricción va desde las 6:00 hasta las 9:00 horas de la mañana, y entre las 17:00 y las 19:30 horas en la tarde.

En Managua, Nicaragua, a partir de 2001 se aplica una restricción a la circulación de la mitad del parque de taxis, para evitar la congestión que causa el exceso de vehículos existentes. Los que tienen placas pares circulan entre las 6 y las 14 horas, en tanto que las impares pueden hacerlo entre las 14 y las 22 horas.

En la ciudad de La Paz, capital de Bolivia, en enero de 2003 entró en vigencia un programa de restricción para acceder el centro antiguo de ciudad, en un área de 10 km². La medida tiene tres horarios de restricción: de 8:00 a 9:30, de 12:00 a 13:00 y de 18:00 a 20:00.

Con el propósito de mitigar el efecto en la economía de los altos precios del petróleo, en agosto de 2005 fue implantada la restricción vehicular para acceder el área central de San José de Costa Rica considerando el último número de la placa patente, restringiendo dos números por día. La restricción vehicular inicialmente se aplicó solo en las horas punta, de lunes a viernes entre las 7:00 y las 8:30 en la mañana, y entre las 16:00 y las 17:30 en la tarde. En junio de 2008, el área de restricción vehicular fue expandida y a partir del 10 de julio de 2008 el racionamiento del espacio vial se amplió a 13 horas para los automóviles particulares y vehículos de carga liviana, desde las 6:00 hasta las 19:00 horas. A los vehículos de carga pesada también se les aplicó la restricción vehicular, pero solo durante las horas punta. Con el propósito de impulsar el uso de energías

limpias en el país, desde octubre de 2012 los vehículos híbridos eléctricos y los 100% eléctricos están exentos de restricción vehicular.

La alcaldía de Beijing implantó, en forma temporal, un sistema de restricción vehicular durante los Juegos Olímpicos de 2008. Su objetivo era mejorar la calidad del aire. La restricción entró en vigor a partir del 20 de julio de 2008 y se aplicó durante dos meses, ya que las Olimpiadas fueron seguidas por los Juegos Paraolímpicos del 6 al 17 de septiembre. El control policial de la medida se realizó con la ayuda de una red de 10 mil dispositivos de vigilancia automática del tránsito. La restricción fue del 50% del parque automotor y se aplicaba en días alternados, dependiendo si el número final de la placa de matrícula era par o impar. Los resultados de la reducción vehicular durante las Olimpiadas fueron considerados exitosos, razón por la cual la medida fue implantada de forma permanente a partir de octubre de 2008, pero restringiendo la circulación de solo el 20% de los vehículos de lunes a viernes.

En París, durante el mes de marzo de 2014, la circulación de automóviles fue restringida temporalmente debido a un elevado nivel de partículas en suspensión. El 17 de marzo de 2014 fue decretada una restricción parcial a la circulación con base en el número de placa en París y sus alrededores. A vehículos con placas terminadas en números impares, incluyendo automóviles privados y vehículos comerciales con más de 3.5 toneladas les fue prohibido ingresar a la ciudad entre las 5:30 de la mañana y hasta las 24:00 horas. Los vehículos eléctricos, híbridos eléctricos, los movidos a gas natural y los automóviles de uso compartido (carpool) con tres o más pasajeros fueron exentos de la restricción. No fue necesario extender la restricción vehicular al día siguiente debido a que la calidad del aire mejoró. Otro caso de contaminación del aire afectó a París en la tercera semana de marzo de 2015. A solicitud de la alcaldesa de París, Anne Hidalgo, el gobierno nacional ordenó una restricción de circulación en París y 22 ciudades de la región administrativa de Île-de-France para el lunes 23 de marzo. Todos los vehículos motorizados con placas patente terminadas en números impares, incluyendo automóviles privados y vehículos comerciales con más de 3.5 toneladas fueron prohibidos de entrar a la capital y las otras ciudades del área metropolitana dentro del área restringida. De forma similar al episodio de 2014, durante la restricción se permitió el libre tránsito de taxis, ambulancias, vehículos con tres pasajeros o más, carros eléctricos y otros vehículos amigables con el ambiente.

2.2 Revisión Bibliográfica de Análisis y Resultados Empíricos

De acuerdo a Kornhauser y Fehlig (2003), la restricción vehicular (road space rationing) es una técnica de gestión de la demanda por calles que, en lugar de cobrar por conducir (como la tarificación vial), restringe los días o las horas en las que un conductor puede usar vías congestionadas. Si bien en la opinión de estos autores la restricción vehicular es una medida más equitativa para mitigar el problema de la congestión vehicular que la tarificación vial, hay que considerar también que la restricción vehicular, como existe en Santiago, afecta de manera bastante heterogénea a los usuarios. Algunos motivos para esto es que: (i) para algunos usuarios es más fácil reemplazar el viaje en auto (como los que viven cerca de la red de Metro o cerca del trabajo); (ii) algunos usuarios tienen un segundo auto que pueden usar durante esos días; (iii) no distingue en la importancia (disposición a pagar) de los distintos viajes.

Por otro lado, algunos técnicos se han opuesto a esta medida, definiéndola como injusta e ineficiente. Dentro de este grupo, Eskeland y Feyzioglu (1995) encuentran, mediante un análisis de series de tiempo, que la restricción vehicular en el largo plazo aumenta la congestión y la contaminación, debido a que los afectados tienden a adquirir un vehículo adicional, el cual normalmente correspondería a un vehículo más antiguo y por lo tanto, más contaminante, y también tienden a conducir más durante los días en que no se ven afectados por la medida, compensando negativamente los eventuales beneficios que se buscan. La medida afectaría principalmente a conductores de menores ingresos que no disponen de un vehículo adicional.

Para el programa "Hoy No Circula" implementado en Ciudad de México, estudios indican que los impactos negativos de esta medida son mayores que los positivos, entre otras razones, debido a la adquisición de un segundo vehículo, de modo que muchos en la práctica terminan no siendo afectados por la restricción. Evidencias indirectas sugieren también que la polución ambiental se ha exacerbado debido a la restricción (Tovar, 1995). Davis (2008) concluye que los sensores ambientales de contaminación (hora por hora) de México DF no indicaron mejoría; también encuentra que los pasajeros no incrementaron el uso del transporte público. Además, Davis (2008) observó un aumento de compras de gasolina (por encima de lo esperado) y por ende, de contaminación. En conclusión, los hogares perjudicados por la expropiación de parte del flujo de servicios de sus vehículos reaccionaron defensivamente ante la medida, neutralizándola casi completamente. Se argumentó que el programa "Hoy No Circula" indujo a que las familias adquirieran vehículos viejos adicionales, a fin de resolver el problema de circulación producto de la restricción; se señaló además que estos vehículos generalmente habían sido fabricados con peor tecnología y su impacto ambiental sería más severo. Según la Autoridad Ambiental de la Zona Metropolitana del Valle de México, tal fenómeno fue

parcialmente cierto, y se estimó que un 22% de los vehículos adquiridos al iniciar el programa "Hoy No Circula" fueron del tipo descrito (Cifuentes, 2007).

En la región metropolitana de San Pablo, Brasil, a partir de 1995 se han realizado diversas experiencias de restricción vehicular. Se implementó el denominado programa "rodizio", que restringe el uso de vehículos según número de placa (Viegas, 2001). Primero se aplicó la restricción vehicular en forma voluntaria durante una semana; la Secretaría Estatal del Medio Ambiente sugirió dejar el automóvil en casa, tocándole cada día a dos dígitos finales de la placa patente. Los dos primeros días, la adhesión fue relativamente elevada: cerca del 50%, cayendo los días siguientes a un promedio del 38% (Bull, 2003).

En otros contextos, en Manila (Filipinas) hay un esquema de restricción en el cual se prohíbe la circulación de ciertos vehículos, identificados por el número de la placa, para operar en arterias de alto flujo durante períodos de punta (GTZ, 2002).

Un análisis empírico de corto plazo del efecto que genera restringir el 20% del parque vehicular durante cada día de la semana, es el que se expone en Wang et al (2014). Utilizando datos de encuestas de hogares y diarios de viaje para Beijing, analizan el efecto a corto plazo de la política de restricción vehicular en la elección de modo de transporte, e identifican qué grupos demográficos son más propensos a no respetar esta restricción. Las estimaciones revelan que la restricción vehicular no tiene una influencia significativa en las elecciones de los individuos, y que casi el 48% de los propietarios de automóviles regulados no seguían las reglas y conducían "ilegalmente" a sus destinos. Sin embargo, en el trabajo de Gu et al. (2017), también para Beijing, se concluye que el efecto sí sería significativo en términos de la reducción en la cantidad de vehículos-milla.

En un trabajo teórico, Cantillo y Ortúzar (2014) concluyen, utilizando un análisis microeconómico simple apoyado por pruebas recogidas en algunas de las ciudades donde se han implementado políticas de restricción de vehículos, que tales enfoques solo son viables a muy corto plazo y que al final no cumplen los objetivos deseados. En otro trabajo basado en un enfoque teórico, apoyado con simulaciones, Nie (2017) concluye que la restricción vehicular no es una buena política debido principalmente al comportamiento de mediano plazo de los automovilistas. Utilizando un modelo matemático que considera explícitamente la elección del modo y la heterogeneidad del usuario, concluyen que no existe ninguna garantía de que la restricción vehicular termine reduciendo los costos del sistema, debido a la adquisición de nuevos vehículos por parte de la población, y que además puede perjudicar la implementación de otras políticas regulatorias más eficientes, como por ejemplo tarificación vial o impuestos específicos (ver Litman, 2013).

3. DATOS Y MÉTODO

Los datos utilizados corresponden a mediciones de flujos de vehículos (en calles importantes de la ciudad y en una autopista urbana), pasajeros en transporte público (buses y Metro) y bicicletas provenientes de distintas fuentes, todas para el año 2015. Estas fueron:

- (i) Flujos diarios de bicicletas para 7 ciclovías de Santiago medidos por la Municipalidad de Providencia, que es una comuna céntrica de Santiago de Chile.
- (ii) Los flujos diarios y por hora, medidos por la Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT), para 26 puntos de medición distribuidos en distintas calles de la ciudad. La UOCT es la entidad encargada de la gestión de semáforos en las ciudades.
- (iii) Los flujos diarios y por hora medidos en 9 pódicos de la autopista urbana Costanera Norte. Esta autopista de 35 km recorre todo Santiago desde oriente a poniente, con tres pistas por sentido.
- (iv) Las validaciones diarias de buses del sistema Transantiago y de Metro proporcionada por la Dirección de Transporte Público Metropolitano (DTPM), entidad dependiente del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones del Gobierno de Chile.

Las mediciones de los flujos en bicicleta publicadas por la Municipalidad de Providencia tienen frecuencia horaria. Sin embargo, debido a que no hay motivos para suponer un cambio en el patrón de viajes en bicicleta durante el día de restricción (sustitución horaria), agregamos los datos para que tengan frecuencia diaria.

Adicionalmente, eliminamos de la muestra el único día (en todo el 2014 y 2015) en que la autoridad decretó Emergencia Ambiental y restringió la circulación de prácticamente el 40% del parque vehicular. Como se trata de un único día y la primera vez que se decretaba esta restricción, los cambios en flujos observados pueden ser atribuibles a otros factores distintos a la medida. La inclusión de este día prácticamente no modifica las estimaciones de los efectos de las preemergencias.

La Tabla 1 muestra las estadísticas descriptivas generales de los datos para cada modo analizado, considerando solo las observaciones incluidas en los modelos de regresión. En los casos de datos en panel (9 pódicos de la autopista, 26 calles y 7 ciclovías), se muestran las estadísticas descriptivas agregadas, sin distinguir por punto de medición. En el Anexo se muestran las estadísticas descriptivas de bicicletas, Costanera Norte y UOCT por punto de medición.

Tabla 1
ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS FLUJOS SEGÚN MODO

Fuente: Elaboración propia.

Modo	No. Obs.	Media	Desv. Est.	Min	Max	Frecuencia
Bicicleta	640	2557	999	150	5424	Diaria
Metro	103	2.312.637	214.633	669.187	2.536.264	Diaria
Bus	103	3.121.973	292.589	1.035.400	3.384.824	Diaria
Costanera Norte	927	46.610	16.648	8.915	87.730	Diaria
UOCT	2.168	17.436	10.229	9	39.866	Diaria
Costanera Norte	22.248	1.942	1.571	18	6.764	Horaria
UOCT	44.855	851	663	2	2.964	Horaria

Siguiendo a De Grange y Troncoso (2011) consideramos los días laborales (excluyendo sábados, domingos y feriados), entre los meses de abril y agosto, que son los meses en los cuales las autoridades pueden decretar preemergencias ambientales y, por lo tanto, la restricción vehicular.

En el modelo econométrico, similar al usado recientemente en LV et al. (2015) para evaluar otras políticas públicas en transporte, incluimos como variables de control conjunto de variables dicotómicas por año, mes del año, día de la semana y hora del día (esto último sólo para los datos con frecuencia horaria). Además, incluimos entre las variables explicativas una variable dicotómica que indique el día que ocurre la preemergencia (restricción al 20% del parque).

Adicionalmente, para analizar la sustitución de flujos entre horarios en que rige y no rige la restricción vehicular, particularmente para el caso de los flujos UOCT y de la autopista Costanera Norte, realizamos una regresión adicional que incluía dos variables dicotómicas para los días de preemergencia: (i) una para las horas en que rige la restricción en los días de pre-emergencia (entre 7:00 y 21:00 hrs) y (ii) una para las horas en que no rige la restricción durante los días de pre-emergencia (entre 21:00 y 7:00 hrs). Esto, debido a la posibilidad que tienen los automovilistas de adelantar o postergar sus viajes para evitar la restricción. Debido a que los datos para Costanera Norte (CN) y UOCT tienen frecuencia horaria (y no cada media hora), definimos las variables dicotómicas como si la medida fuese a partir de las 7:00.

En todos los modelos, la variable dependiente corresponde al logaritmo natural del flujo observado para cada período, que puede ser del día o de cada hora, según el caso.

Durante el año 2015 se decretaron 16 episodios de pre-emergencia ambiental, 10 de estos en días laborales. Esta medida restringe la circulación del 20% de los vehículos con convertidor catalítico entre las 7:30 y las 21:00 en la ciudad de Santiago. En la actualidad, los vehículos con convertidor catalítico representan sobre el 95% del parque automotriz total de Santiago. El porcentaje de vehículos sin convertidor catalítico es cercano al 4% (vehículos anteriores a 1993), y enfrentan una restricción vehicular permanente de 4 dígitos entre abril y agosto.

En el caso de las bicicletas, los datos de flujos en la UOCT y en la Costanera Norte tienen estructura de datos en panel, mientras que en el caso de los buses y el Metro, los datos son de corte longitudinal. Adicionalmente, los datos de UOCT y Costanera Norte los usamos con frecuencia horaria para distinguir las horas del día en las que rige la restricción de aquellas en que no lo hace.

De esta forma, definimos tres modelos de regresión. Para el caso de los datos en panel de bicicletas, CN y UOCT el modelo fue:

$$y_{it} = \gamma' X_{it} + \beta D_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

donde X_{it} son las variables de control espacial (ciclovía, pódico de autopista, o calle i) y temporal (día t), y D_{it} es la variable dicotómica que vale 1 si existe restricción vehicular en el período t y 0 si no. Luego, la estimación del parámetro β (su signo y significancia estadística) que acompaña a esta última variable dicotómica permitirá determinar el efecto de la restricción vehicular sobre los flujos diarios para estas cinco modalidades de transporte. Incluimos también un control individual μ_i .

En el caso de los flujos horarios de vehículos en la CN y la UOCT, el modelo fue el siguiente:

$$y_{it} = \gamma' X_{it} + \beta_R D_{it}^R + \beta_{NR} D_{it}^{NR} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

donde X_{it} son las variables de control espacial (pódico de autopista, o calle i) y temporal (hora t) D_{it}^R vale 1 si, durante el día de restricción, esta se activa en la hora t y 0 si no, y vale 1 si, durante el día de restricción, esta no se activa en la hora t y 0 si no. Notar que en el modelo (2) se omite la variable D_{it} incorporada en (1), pero se agregan las variables D_{it}^R y D_{it}^{NR} para poder analizar la sustitución horaria de los flujos para CN y UOCT. Nuevamente incluimos un control individual μ_i .

Finalmente, para los viajes en buses y Metro, el modelo corresponde a:

$$y_t = \gamma' X_t + \beta D_t + \varepsilon_t$$

donde X_t son las variables de control temporal, D_t corresponde a la variable dicotómica para los días de preemergencia. En todos los modelos, ε representa el error aleatorio.

La estimación de los modelos con datos en panel (1) y (2) se hizo usando los estimadores de efectos fijos, mientras que en el caso de corte longitudinal (3) usamos Mínimos Cuadrados Ordinarios. En todos los casos usamos la estimación robusta a la heteroscedasticidad de la matriz de varianzas y covarianzas de los estimadores, para asegurar la consistencia de los test de hipótesis.

4. RESULTADOS

Las Tablas 2 y 3 muestran los principales resultados de la estimación de los modelos (1), (2) y (3) usando, según corresponda, datos diarios o datos por hora. Los coeficientes β y asociados a las variables de control X no se muestran para mejorar la presentación.

Tabla 2
REGRESIONES USANDO DATOS DIARIOS

Fuente: Elaboración propia.

Dep: Ln(Flujo)	Bicicleta	Bus	Metro	CN	UOCT
Preemergencia ($\hat{\beta}$)	-0,092*** (0,013)	-0,071 (0,113)	-0,093 (0,128)	-0,130*** (0,015)	-0,125*** (0,032)
R^2	0,2823	0,2011	0,1487	0,2494	0,1001
No. Observaciones	640	103	103	927	2168

Errores estándar en paréntesis. *** indica significancia al 1%

En las estimaciones con datos diarios de la Tabla 2, encontramos que los flujos medidos de bicicletas disminuyen en poco más de un 9% los días de preemergencia. Esto lo explicamos principalmente por la mayor contaminación que se estima para dichos días y por las recomendaciones de las autoridades respecto a evitar realizar actividades físicas.

Por otro lado, no encontramos efectos marginales estadísticamente significativos en el uso de buses y Metro producto de la restricción. Es decir, los días de restricción vehicular no habría un traspaso significativo de usuarios del automóvil hacia el transporte público, similar a la conclusión de Wang et al. (2014). En el trabajo de De Grange y Troncoso (2011) se había obtenido la misma conclusión respecto a los buses, pero un leve aumento para el Metro. Ahora estimamos que no existe un aumento significativo en Metro, lo que se puede explicar por la alta saturación permanente que ha experimentado este medio de transporte, en particular durante los últimos años.

Finalmente, para los flujos diarios de CN y UOCT, obtenemos en ambos casos un resultado muy similar: los días de restricción vehicular, en que se restringe la circulación al 20% de los vehículos, el flujo se reduce cerca de un 13% en ambos. En De Grange y Troncoso (2011), se analizó sólo

los datos de la UOCT, estimando una reducción promedio diaria del 5,5%. Este aumento del 5,5% al 12,5% se explica, presumiblemente, porque el año 2008 la multa por no cumplir la restricción vehicular era de aproximadamente 0,5 Unidades Tributarias Mensuales (UTM), mientras que en el año 2015 la multa era de aproximadamente 1,5 UTM. Otra razón adicional que explicaría el aumento de 5,5% a 12,5% es que el 2015 se implementaron los denominados "ejes ambientales", que son ejes viales en los que se prohíbe la circulación de autos durante los períodos punta (entre 7:30 y 10:00 hrs, y entre 17:00 y 21:00 hrs) los días de pre-emergencia ambiental, desincentivando aún más el uso del automóvil.

La Tabla 3 muestra las estimaciones del impacto de la restricción vehicular en los flujos de CN y UOCT en los días de pre-emergencia, distinguiendo las horas en que rige la restricción vehicular de las horas que no rige.

Tabla 3

REGRESIONES USANDO DATOS CON FRECUENCIA HORARIA

Fuente: Elaboración propia.

Dep: Ln(Flujo)	CN	UOCT
Preemergencia rige ($\hat{\beta}_R$)	-0.161*** (0.016)	-0.133*** (0.012)
Preemergencia no rige ($\hat{\beta}_{NR}$)	0.029** (0.011)	0.011 (0.016)
R^2	0,9487	0,7382
No. Observaciones	22.248	44.855

Errores estándar en paréntesis. ** indica significancia al 5% y *** al 1%

Encontramos que los flujos en la CN disminuyen un 16,1% y en los UOCT en 13,3% durante las horas en las que rigió la restricción vehicular (entre 7:00 y 21:00 hrs.), mientras que en las horas en que no rigió la restricción (entre 21:00 y 7:00 hrs.) estimamos un aumento cercano al 3% en los flujos de CN y un aumento no significativo en los flujos UOCT.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al restringirse el uso de vehículos particulares, los usuarios afectados enfrentan tres alternativas: (i) evadir o eludir la medida, (ii) usar el transporte público u otro medio alternativo, y (iii) postergar actividades para otro día. En cuanto al efecto esperado de las restricciones sobre el uso del transporte público pueden existir dos efectos contrapuestos: (i) por un lado, algunos usuarios de automóvil pasan a usar el transporte público ese día, y (ii) algunas actividades se postergan para otro día, por lo que algunos viajes en transporte público se dejan de hacer el día de la restricción.

Nuestra estimación del efecto de restringir en un 20% la circulación de vehículos sobre los flujos en la superficie de la ciudad (UOCT) en 2015 fue mayor a la que reportamos para 2008 (disminución de 12,5% vs 5,5%), aunque sigue siendo menor a la teórica de 20%. Este aumento se podría explicar porque en el año 2015 la multa por no cumplir la restricción vehicular era 3 veces superior a la multa existente el año 2008. Adicionalmente, el año 2015 se restringió parte de la vialidad, priorizando la circulación de buses por sobre la de automóviles.

En esta misma línea, la disminución en los flujos en la autopista urbana CN a causa de la restricción vehicular fue de un orden de magnitud similar al de las calles de la ciudad (13%), por lo que no se rechaza la hipótesis que sean iguales para niveles habituales de significancia.

En cuanto a los cambios en el horario de los viajes, encontramos que los días de pre-emergencia los flujos aumentan en 2,9% en la autopista CN durante las horas en que no rige la medida, mientras que no habría cambios significativos de horario en los flujos de la UOCT.

Por su parte, era esperable que la reducción en el uso del transporte particular se tradujera, en alguna medida, en un mayor uso del transporte público. Sin embargo, y consistente con las estimaciones de 2008, no observamos que las restricciones al uso del vehículo particular se traduzcan en un mayor uso del transporte público, ni en los buses ni en el Metro.

Las bicicletas podrían ser un sustituto al auto los días de restricción para algunos usuarios, sin embargo, encontramos que su uso disminuye en un 9% durante esos días. Esto se explicaría en parte por el llamado de las autoridades a no hacer actividad física durante los períodos de preemergencia que se decretan precisamente cuando se registra mala calidad del aire en la ciudad.

De acuerdo con nuestras estimaciones, en 2015 habría una menor propensión a evadir o eludir la restricción por parte de los automovilistas respecto a 2008. Sin embargo, el menor uso del transporte privado no se traduciría necesariamente en un mayor uso de alternativas como el transporte público o las bicicletas. Esto sugiere que el efecto de la menor actividad en la ciudad sobre el uso del transporte público sería de similar magnitud al traspaso de usuarios del transporte privado.

La restricción vehicular es parte de las medidas que adopta la autoridad ambiental durante episodios de preemergencia ambiental, así como la restricción de ciertas actividades industriales contaminantes, el uso de la leña como calefacción, junto a una mayor fiscalización de las quemas ilegales, entre otras medidas. Troncoso et al. (2012) encuentran que el conjunto de medidas logran disminuir significativamente las concentraciones de PM2.5 en Santiago (contaminante que se usa como referencia para decretar episodios críticos). Sin embargo, es improbable que esta disminución sea atribuible a las restricciones a los automóviles particulares, debido a que estos son responsables de una fracción muy menor de las emisiones directas de PM2.5. De hecho, los automóviles bencineros no son responsables directos de las emisiones de PM2.5 (aunque sí indirectos por otros contaminantes que luego forman parte del PM2.5).

Además de la motivación medioambiental para el uso de la restricción vehicular, también se ha planteado como una alternativa para disminuir la congestión e incentivar el uso del transporte público. En este sentido, la evidencia presentada en este trabajo sugiere que en el caso de Santiago, las restricciones vehiculares no se han traducido

en un mayor uso del transporte público. De hecho, las estimaciones indican que también habría una disminución en el uso del transporte público, aunque no resulta ser estadísticamente significativa.

Por otro lado, hay varios estudios que documentan el incentivo a comprar un auto adicional para evitar la restricción. Por ejemplo, para Ciudad de México, Davis (2008) encuentra que las restricciones vehiculares se tradujeron en un aumento del parque vehicular y en los niveles de contaminación.

La restricción vehicular tiene costos económicos y sociales. Un reflejo de esto es el menor número de viajes en todos los modos que presenta la ciudad durante estos episodios. Además, la restricción afecta de forma asimétrica a la población, dependiendo de las alternativas que cada familia tiene para enfrentarla. Sin embargo, la evidencia disponible no ha sido favorable en cuanto a sus eventuales beneficios, y en algunos casos incluso se han documentado resultados contrarios a los esperados.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bull, A. (2003). *Congestión de Tránsito: El Problema y Cómo Enfrentarlo*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) and Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, Naciones Unidas, Santiago.

Cantillo, V. and Ortúzar, J. de D. (2014). *Restricting the use of cars by license plate numbers: A misguided urban transport policy*. DYNA, 81(188), 75-82.

Cifuentes, L. *Diseño y Evaluación de Medidas de Emisiones para el Sector de Transportes en la Región Metropolitana, en preparación para CONAMA RM*. Santiago de Chile: 2007.

Davis, L. (2008). *The Effect of Driving Restrictions on Air Quality in Mexico City*. Journal of Political Economy, 116, 38-81.

De Grange, L., and Troncoso, R. (2011). *Impacts of vehicle restrictions on urban transport flows: the case of Santiago, Chile*. Transport Policy, 18(6), 862-869.

Eskeland, G. S. and Feyzioglu, F. (1995). *Rationing Can Backfire: The 'Day Without a Car' in Mexico City*. The World Bank. December 1995.

GTZ (2002). *Transport Demand Management: Towards an Integrated Approach*. Regional Workshop on Transport Planning, Demand Management and Air Quality, 26–27 Feb. 2002, Manila.

Gu, Y., Deakin, E., & Long, Y. (2017). *The Effects of Driving Restrictions on Travel Behavior Evidence from Beijing*. Journal of Urban Economics. In Press.

LV, J.; Lord, D.; Zhang, Y. and Chen, Z. (2015). *Investigating Peltzman effects in adopting mandatory seat belt laws in the US: Evidence from non-occupant fatalities*. Transport Policy, 44, 58–64.

Kornhauser, A. and Fehlig, M. (2003). *Marketable Permits for Peak Hour Congestion in New Jersey's Route 1 Corridor*. TRB 2003 Annual Meeting (03-3465).

Litman, T. (2013). *Changing North American vehicle-travel price sensitivities: Implications for transport and energy policy*. Transport Policy, 28, 2–10.

Nie, Y. (2017). *Why is license plate rationing not a good transport policy?* Transportmetrica A: Transport Science, 13(1), 1-23.

Tovar, R. (1995). *Mobile source pollution in Mexico City and market-based alternatives, Regulation*. The Cato Review of Business and Government, vol. 18, N° 2, Washington, D.C.

Troncoso, R., de Grange, L., and Cifuentes, L. A. (2012). *Effects of environmental alerts and pre-emergencies on pollutant concentrations in Santiago, Chile*. Atmospheric Environment, 61, 550-557.

Viegas, J.M. (2001). *Making urban road pricing acceptable and effective: searching for quality and equity in urban mobility*. Transport Policy, 8, 289–294.

Wang, L., Xu, J., & Qin, P. (2014). *Will a driving restriction policy reduce car trips?—The case study of Beijing, China*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 67, 279-290.

7. ANEXOS

Anexo 1

FLUJOS DE VEHÍCULOS POR ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE LA UOCT (26 CALLES)

Fuente: Elaboración propia con datos UOCT.

Estación	No. Obs.	Media	Desv. Est.	Min	Max
E005P0	2.367	1426.88	850,0512	31	2.639
E01100	1.912	1635,085	926,974	52	2.964
E04200	2.367	915,0237	539,2391	42	2.173
E057N0	168	299,2738	184,3346	15	784
E057S0	168	1178,679	693,4602	53	2.278
E061N0	2.272	928,0748	506,5942	39	2.439
E061S0	2.272	983,3341	577,4589	49	2.115
E06400	1.899	653,9421	395,8551	21	1.749
E064P0	2.368	691,8568	425,0847	17	1.643
E06800	59	184,339	110,8447	3	368
E07300	2.260	697,2681	499,7738	2	1.724
E07301	336	898,1935	387,3358	2	1.503
E073P0	2.122	750,4255	519,6822	2	1.705
E073P1	496	474,3649	295,4769	2	1.011
E078N0	1.713	644,829	368,7592	18	1.220
E078S0	1.713	727,2493	422,6032	20	1.452
E08000	2.177	237,7841	203,1054	3	2.085
E080P0	2.177	802,5792	496,5917	14	1.653
E08900	2.309	1282,049	768,9392	23	2.411
E094N0	1.649	258,473	180,8139	2	682
E094N1	1.329	140,4801	230,6587	2	704
E094S0	1.915	418,3305	222,2413	8	784
E11300	2.238	1474,517	659,9923	5	2.291
E11400	2.283	1245,636	623,7366	2	2.518
E116N0	2.143	596,2128	367,4823	2	1.114
E116S0	2.143	881,6351	570,2441	10	1.781

Anexo 2

FLUJOS DE BICICLETA POR CICLOVÍA (7 CICLOVÍAS)

Fuente: Elaboración propia con datos de la Municipalidad de Providencia.

Ciclovía	No. Obs.	Media	Desv. Est.	Min	Max
ANDRES BELLO	103	3290,049	847,1138	167	4702
ANTONIO VARAS	103	1997,922	539,9798	150	2925
BUSTAMANTE	101	1952,941	497,9223	166	3224
MARÍN	103	2015,495	481,805	182	2716
MIGUEL CLARO	24	1168,958	346,8284	172	1585
POCURO	103	3643,777	1073,48	235	5424
RICARDO LYON	103	2754,932	622,1203	268	3719

Anexo 3

FLUJOS DE VEHÍCULOS POR PÓRTICO DE COSTANERA NORTE (9 PÓRTICOS)

Fuente: Elaboración propia con datos de Costanera Norte.

Pórtico	No. Obs.	Media	Desv. Est.	Min	Max
P2.1OP	2472	1477,428	1182,589	25	4819
P2.1PO	2472	1699,021	1253,011	23	4530
P22OP	2472	1281,346	1113,371	18	4965
P22PO	2472	1284,51	944,5274	22	3878
P30-P	2472	2429,212	1666,436	57	5443
P3PO	2472	3372,732	2251,743	90	6764
P4P-O	2472	2631,523	1757,78	56	5524
P50-P	2472	1609,935	1002,383	87	4192
P5P-O	2472	1693,165	1046,233	69	4089

