UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO-CHILE

# ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA RESTRICCIÓN VEHICULAR EN FLUJO VIAL, EMISIONES Y CALIDAD DEL AIRE EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO.

GONZALO IGNACIO ANTÚNEZ RETAMAL

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

Profesor Guía: Dr. Mauricio Osses

Profesor Correferente: MSc. Sebastián Tolvett

Julio 2018.

## Agradecimientos

A mi familia, por brindarme su apoyo en todo momento.

Se agradece la colaboración del proyecto FONDAP 15110009 en la elaboración de este trabajo.

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal determinar el impacto que produce la implementación de la política de Restricción Vehicular en días donde se decretan episodios críticos de calidad del aire en la Región Metropolitana de Santiago. Se estudia el comportamiento de tres variables: flujos vehiculares, emisiones y niveles de calidad del aire.

Se determina que, durante los episodios de preemergencia ambiental decretados durante el año 2015, se presenta una disminución en los flujos vehiculares en la Región Metropolitana durante la aplicación de la medida de un 6.05%, con una incertidumbre de un 0.49%, lejano al 20.00% de reducción teórica. El impacto que tiene la medida sobre los flujos varía dependiendo la geolocalización de las estaciones de medición, en la zona oriente donde se tiene un alto índice de motorización por hogar, se presentan reducciones de un 2.20%; en la zona comercial de la ciudad, donde predomina el transporte público, se presentan disminuciones de un 3.20%; mientras tanto en el resto de la Región Metropolitana el impacto es más significativo, disminuyendo en un 7.00% la cantidad de vehículos circulantes.

La implementación de la medida provoca una disminución en la cantidad de fuentes móviles de contaminantes y también un aumento en la velocidad media de desplazamiento de los vehículos, lo que conlleva una variación en los factores de emisión de algunos contaminantes. Ambos factores contribuyen a disminuir las emisiones diarias de los vehículos livianos, se presentan reducciones de un 7.67% de $CO$, 7.59% de $HC$, 6.36% de $NO_x$, 6.59% de $MP$, 6.83 % de $CO_2$, 5.21% de $N_2O$, 5.21% de $CH_4$ y 6.83% de $SO_x$.

En cuanto a la calidad del aire, no se encuentran indicios de que al implementar una medida de restricción vehicular se produzca una mejora significativa en los niveles de concentración de contaminantes.

Finalmente, se estudia el comportamiento de las variables estudiadas considerando dos escenarios de restricción vehicular con grados de penetración distintos al escenario base analizado. Se estudia el caso de la RV en 2015 para episodios críticos de calidad del aire considerando el caso ideal, con una disminución del flujo vehicular de un 20.00%, y se estudia el caso ideal de RV permanente implementada el 2018 (afecta solo a vehículos inscritos antes de Septiembre del año 2010), con una disminución teórica del flujo vehicular de un 6.85%.

Ambos escenarios presentan magnitudes de variación de emisiones mayores a las obtenidas para el caso base estudiado. Para el caso ideal del 2015 el mayor impacto en las emisiones es debido a la diferencia en el impacto en los flujos (6.05% y 20.00%); mientras que, para el caso ideal del 2018, la diferencia en el impacto en emisiones radica en gran parte en que la medida ya no afecta a todo el parque automotriz, sino que solo a vehículos que poseen, en su mayoría, motores con normas de emisión más antiguas.

## Abstract

The main object of this work is to determine the effect of a driving restriction on vehicular flow, emissions and air quality in Santiago, for critical episodes of air quality.

For pre-emergency episodes enacted at 2015, vehicular flow on RM decreases 6.05% ± 0.49% during the policy periods. The effect of driving restriction on vehicular flow varies depending on the geolocation of the measuring stations: in the east zone of the city, where it is a high rating of motorization per household, it presents decreasement 2.20%; in the commercial area, where prevails the public transport, it present a decreasement 3.20%; meanwhile in the rest of city, the impact is the most significant, decreasing the amount of circulating vehicles by 7.00%.

The implementation of this policy declines the number of mobile sources of pollutants and also increases the average speed of the vehicles. Both factors promote the reduction of daily emission of ligthweigth vehicles: 7.67% of $CO$, 7.59% of $HC$, 6.36% of $NO_x$, 6.59% of $MP$, 6.83 % of $CO_2$, 5.21% of $N_2O$, 5.21% of $CH_4$ and 6.83% of $SO_x$.

Regarding air quality, there are no indications that when implementing a driving restriction policy there is a significant improvement in the concentration levels pollutants.

Finally, it studies the behaviour of the variables studied considering two stages of driving restriction with degrees of distinct penetration to the basic stage analyzed. It studies the case of the RV in 2015 for critical episodes, considering the ideal case, with a decrease of the vehicular flow of 20.00%, and studies the ideal case of RV permanent implemented at 2018 (only vehicles inscribed before September, 2010 are affect), with a theoretical decrease of the vehicular flow of 6.85%.

Both stages present magnitudes of emissions variation greater than those obtained for the base case studied. For the ideal case of the 2015 the greater impact on the emissions is due to the difference in the impact on the vehicular flows (6.05% and 20.00%); whereas, for the ideal case of the 2018, the difference in the impact on emissions is largely due to the fact that the policy no longer affects the entire automotive fleet, but only affects to vehicles that possess, the most of them, emissions standars older.

## Glosario

CN: Costanera Norte

UOCT: Unidad Operativa de Control de Tránsito

C/SV: Con Sello Verde

S/SV: Sin Sello Verde

RV: Restricción Vehicular

DMC: Dirección Meteorológica de Chile

ICAP: Índice de Calidad del Aire referido a Partículas

MMA: Ministerio del Medio Ambiente

ECAT: Estación de Conteo Automático de Tráfico

CV: Coeficiente de Variación

EEA: Agencia Europea de Medio Ambiente

IVE: International Vehicule Emission

COPERT: Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport

SINCA: Sistema de Información Nacional de la Calidad del Aire

MAPS: Mitigation Action Plans and Scenarios

INE: Instituto Nacional de Estadísticas

SECTRA: Secretaría de planificación de Transporte

SMA: Superintendencia de Medio Ambiente

# Índice General

Introducción ..... 1

1 Estado del arte ..... 4

1.1 Antecedentes Internacionales ..... 4

1.1.1 Restricción vehicular en México (Ciudad de México-Hoy No Circula) ..... 4

1.1.2 Restricción vehicular en Colombia (Bogotá y Medellín – Pico y Placa) ..... 6

1.1.3 Restricción vehicular en China (Beijing) ..... 7

1.2 Antecedentes Nacionales ..... 10

1.2.1 Impacto en flujos vehiculares RV año 2008 ..... 10

1.2.2 Impacto en flujos vehiculares RV año 2015 ..... 11

1.3 La política de Restricción Vehicular en Santiago ..... 12

1.4 Teoría del Flujo Vehicular ..... 15

2 Restricción vehicular y flujos vehiculares ..... 19

2.1 Metodología flujos vehiculares ..... 21

2.1.1 Obtención de datos ..... 21

2.1.2 Procesamiento de datos ..... 23

2.2 Resultados flujos vehiculares ..... 32

2.2.1 Variabilidad de impacto según episodios ..... 32

2.2.2 Impacto según geolocalización ..... 35

2.2.3 Resultados por episodio ..... 48

2.2.4 Resultado global ..... 55

3 Restricción vehicular y emisiones ..... 57

3.1 Metodología emisiones ..... 57

3.1.1 Modelo de emisión ..... 57

3.1.2 Factores de Emisión ..... 58

3.1.3 Patrones de conducción. ..... 59

3.1.4 Composición de parque automotriz a inventariar ..... 59

3.1.5 Nivel de actividad ..... 61

3.1.6 Estimación de variación de emisiones para episodios críticos ..... 61

3.2 Resultados Emisiones ..... 63
3.2.1 Resultados velocidad y distribución de viajes por zona ..... 63
3.2.2 Resultado Emisiones por contaminante ..... 66
4 Restricción vehicular y calidad del aire ..... 72
4.1 Metodología calidad del aire ..... 72
4.2 Resultados calidad del aire ..... 74
5 Escenarios con distinto grado de penetración ..... 77
5.1 Restricción a vehículos C/SV en episodios críticos, caso ideal. ..... 77
5.2 Restricción permanente a vehículos C/SV, caso 2018 ..... 80
6 Conclusiones ..... 85
6.1 Conclusiones Generales ..... 85
6.2 Conclusiones específicas ..... 86
6.3 Recomendaciones para trabajos futuros ..... 93
7 Referencias ..... 94
8 Anexos ..... 96

# Índice de Tablas

Tabla 1.1: Cantidad de dígitos afectos a RV según tipo de episodio críticos de calidad del aire. 12
Tabla 1.2: Valores de ICAP MP2,5 según concentración del contaminante. ..... 13
Tabla 1.3: Valores de ICAP MP10 según concentración del contaminante. ..... 13
Tabla 1.4: Rango de ICAP para declaración de episodios críticos de contaminación atmosférica. ..... 14
Tabla 2.1: Catastro histórico de parque automotriz en RM para años 2010-2015 ..... 19
Tabla 2.2: Catastro histórico de episodios críticos de calidad de aire decretados en RM para años 2010-2015 ..... 20
Tabla 2.3: Información referente a cada estación de conteo automático de tráfico. ..... 22
Tabla 2.4: Ejemplo de base de datos entregada por UOCT. ..... 23
Tabla 2.5: Detalle de días de comparación para cada episodio crítico de contaminación atmosférica. ..... 25
Tabla 2.6: Extracto de Base de Datos de confección propia. ..... 28
Tabla 2.7: Catastro de estaciones que inciden en el análisis para cada año. ..... 29
Tabla 2.8: Comparación de vehículos en circulación días C/RV y días S/RV para cada episodio. 32
Tabla 2.9: Estaciones de conteo automático de tráfico que inciden en el análisis de los episodios constatados el año 2015. ..... 35
Tabla 2.10: Impacto de la RV en los flujos para distintos periodos, comuna de Lo Barnechea. . 37
Tabla 2.11: : Impacto de la RV en los flujos para distintos periodos, comuna de Macul. ..... 39
Tabla 2.12: : Impacto de la RV en los flujos para distintos periodos, comuna de Estación Central. ..... 40
Tabla 2.13: : Impacto de la RV en los flujos para distintos periodos, comuna de Providencia. .. 41
Tabla 2.14: : Impacto de la RV en los flujos para distintos periodos, comuna de Santiago. ..... 43
Tabla 2.15: Descripción de cada zona de estudio. ..... 46
Tabla 2.16: Impacto en los flujos vehiculares para cada hora del día, según zona de estudio. .. 47
Tabla 2.17: Distribución de viajes según zona de estudio. ..... 48
Tabla 2.18: Resultados de impacto en los flujos vehículares correspondiente al episodio del Viernes 05/06/2015. ..... 49
Tabla 2.19: Escenarios para la determinación de un resultado global de impacto en los flujos vehiculares. ..... 56
Tabla 2.20: Impacto en los flujos vehiculares para los distintos escenarios..... 56
Tabla 3.1: Vehículos a inventariar. ..... 60
Tabla 3.2: Resumen características de vehículos a inventariar. ..... 60
Tabla 3.3:Composición de viajes según hora para RM. ..... 63
Tabla 3.4: Variación de las emisiones para cada contaminante, considerando solo variación en flujo. ..... 67
Tabla 3.5: Variación de las emisiones para cada contaminante, considerando solo variación perfil de velocidad..... 68
Tabla 3.6: Variación de las emisiones para cada contaminante, considerando variación tanto en el flujo como en los perfiles de velocidad..... 69

Tabla 4.1: Variación en los promedios diarios de los distintos contaminantes, según episodio. 74
Tabla 4.2: Variación en los máximos diarios de los distintos contaminantes, según episodio. .. 75
Tabla 5.1: Variación de velocidad media diaria según zona para escenario ideal de RV 2015. .. 77
Tabla 5.2:Variación en las emisiones para cada hora según contaminante, escenario ideal de RV2015. ..... 78
Tabla 5.3: Variación de velocidad media diaria según zona para escenario RV 2018. ..... 81
Tabla 5.4: Variación de emisiones por hora según contaminante, RV2018. ..... 82

## Índice de Figuras

Figura 1-1: Relación entre velocidad y densidad, teoría flujo vehicular. ..... 16
Figura 1-2: Relación entre flujo y densidad, teoría del flujo vehicular. ..... 17
Figura 1-3: Relación entre velocidad y flujo, teoría del flujo vehicular. ..... 17
Figura 1-4: Relación entre las tres variables principales de la teoría del flujo vehicular..... 18
Figura 2.1: Distribución geográfica de los ejes donde se cuenta con ECAT en la Región Metropolitana de Santiago de Chile. ..... 21
Figura 2.2: Cantidad de vehículos que circulan por cada ECAT dependiendo el día de la semana. ..... 24
Figura 2.3: Diagrama de bloque de criterio de eliminación de datos anómalos. ..... 27
Figura 2.4: Metodología para obtener perfil de flujos caracteristico para cada comuna y zona. 30
Figura 2.5: Perfil de flujos promedio S/RV y C/RV, correspondiente al episodio de preemergencia ambiental declarado el día miércoles 18/06/2014. ..... 34
Figura 2.6: Perfiles promedio de flujo C/RV y S/RV para comuna de Lo Barnechea. ..... 36
Figura 2-7: Perfiles promedio de flujo C/RV y S/RV para comuna de Macul. ..... 38
Figura 2.8: Perfiles promedio de flujo C/RV y S/RV para comuna de Estación Central. ..... 39
Figura 2.9: Perfiles promedio de flujo C/RV y S/RV para comuna de Providencia. ..... 41
Figura 2.10: Perfiles promedio de flujo C/RV y S/RV para comuna de Santiago. ..... 42
Figura 2.11: Impacto en los flujos durante aplicación de RV según zona de estudio, para los distintos episodios constatados el año 2015. ..... 50
Figura 2.12: Impacto en los flujos en horas anteriores a la aplicación de RV según zona de estudio, para los distintos episodios constatados el año 2015. ..... 51
Figura 2.13: Impacto en los flujos durante aplicación de RV según zona de estudio, para los distintos episodios constatados el periodo 2010-2014.. ..... 53
Figura 2.14: Impacto en los flujos en horas anteriores a la aplicación de RV según zona de estudio, para los distintos episodios constatados el periodo 2010-2014. ..... 53
Figura 2.15 Impacto en los flujos vehículares en la RM según episodio, durante horas anteriores al inicio de la RV. ..... 54
Figura 3-1: Perfil de velocidad C/RV y S/RV representativo zona I. ..... 64
Figura 3-2: Perfil de velocidad C/RV y S/RV representativo zona II. ..... 64
Figura 3-3: Perfil de velocidad C/RV y S/RV representativo zona III. ..... 65
Figura 3-4: Comparación de emisiones día S/RV entre CCVC y ERV. ..... 66
Figura 3-5: Reducción porcentual de emisiones según contaminante. ..... 70
Figura 3-6: Composición de la reducción de emisiones para cada contaminante. ..... 70
Figura 4-1: Ubicación de estaciones de monitoreo de calidad del aire utilizadas en el estudio. 73
Figura 5-1: Reducción porcentual de emisiones según contaminante, escenario ideal RV2015. 79
Figura 5-2: Composición de la reducción de emisiones para cada contaminante, escenario ideal RV2015. ..... 79
Figura 5-3: Reducción porcentual de emisiones según contaminante, RV2018. ..... 83
Figura 5-4: Composición de la reducción de emisiones para cada contaminante, RV2018. ..... 83
Figura 6-1: Perfil de flujos para episodios coincidentes con vacaciones de invierno. ..... 87

Figura 6-2: Reducción porcentual de emisiones según contaminante para RV 2015 ..... 90
Figura 6-3: Composición de la reducción de emisiones para cada contaminante, RV2015. ..... 90
Figura 6-4: Reducción de emisiones según contaminante para los distintos modos de RV estudiados. ..... 92

## Introducción

Uno de los principales desafíos del mundo actual radica en mejorar los niveles de contaminación atmosférica presentes en las grandes urbes del planeta. Para esto los gobiernos han tomado medidas en el asunto, implementando políticas que apunten a mejorar la calidad del aire, y así disminuir la cantidad de enfermedades y muertes atribuibles a los altos índices de concentración de contaminantes presentes en la atmósfera.

Una de estas medidas es la Restricción Vehicular, que consiste en restringir la libre circulación de algunos vehículos, para así disminuir las emisiones de contaminantes producidos por fuentes móviles.

La política de Restricción Vehicular se encuentra en tela de juicio, divididas son las posturas de si realmente es una medida efectiva para combatir la problemática medioambiental.

El presente trabajo de título busca analizar de manera técnica el real impacto de la medida estudiando tres variables principalmente: el nivel de emisiones, el flujo vehicular y los niveles de calidad del aire.

En el primer capítulo, correspondiente al estado del arte, se presenta en primera instancia una recopilación de antecedentes referidos al impacto que ha generado la política de Restricción Vehicular en distintos lugares del mundo. Posteriormente se presenta una descripción del modelo de Restricción Vehicular implementado en la ciudad de Santiago de Chile y una breve descripción de la teoría que modela el comportamiento de los vehículos en la Ciudad.

El segundo capítulo, presenta el análisis referido al impacto que tiene la aplicación de la medida sobre los flujos vehiculares, comparando los perfiles de flujo para días donde se aplica Restricción Vehicular en la ciudad y días donde no se restringe la libre circulación a ningún vehículo. Se exponen los resultados obtenidos para distintos periodos del día y distintas zonas de estudio dentro de la Región Metropolitana de Santiago.

El tercer capítulo, corresponde al estudio del impacto de la implementación de una restricción Vehicular en la variable emisiones, se utiliza una metodología del tipo Bottom-Up para estimar la reducción de emisiones de distintos contaminantes, acompañado de un análisis referente a la variación de los perfiles de velocidad en distintas zonas producto de la disminución en el flujo vehicular presente en las calles en días donde rige la medida.

En el cuarto capítulo se estudia el impacto que tiene la implementación de la medida en los niveles de concentración de distintos contaminantes, en base a mediciones efectuadas en estaciones de monitoreo de calidad del aire presentes en la Región Metropolitana. El estudio se basa en la variación de los promedios diarios y en los niveles máximos registrados para cada contaminante.

En el capítulo cinco se analizan escenarios de Restricción Vehicular para la Región Metropolitana con grados de penetración distintos al caso estudiado en los capítulos anteriores, determinando como afectaría su implementación a las variables de emisiones, flujos vehiculares y calidad del aire presente en la ciudad.

Finalmente, se realiza una recopilación de los principales resultados y conclusiones obtenidos a lo largo del estudio, indicando algunas recomendaciones para futuros trabajos relacionados al tema.

**Objetivo general**:

Analizar el impacto de la restricción vehicular en flujo vial, emisiones y calidad del aire en la Región Metropolitana de Santiago.

**Objetivos específicos**:

• Revisión de antecedentes nacionales e internacionales relacionados a las restricciones vehiculares.

• Determinar la variación de flujos vehiculares en la ciudad en días con restricción vehicular respecto a días donde no se restringe la circulación a ningún vehículo.

• Determinar la variación de emisiones de contaminantes generados por vehículos motorizados, debido a la aplicación de restricción vehicular.

• Determinar la variación de calidad del aire en la Región Metropolitana al aplicar la medida en el periodo 2010-2015.

• Analizar escenarios de distintos grados de penetración de la restricción vehicular en flujos vehiculares, emisiones y calidad del aire.

# 1 Estado del arte

La medida de restricción vehicular discriminando según último dígito de placa patente se ha utilizado en distintas partes del mundo. En algunas localidades se implementa debido a una mala calidad del aire en la región, y en otros casos se aplica buscando descongestionar el tránsito en regiones donde el parque automotriz circulante es muy grande en comparación con la capacidad vial que se tiene en el sector. Se han realizado diversos estudios buscando determinar la efectividad de implementar tales medidas, obteniendo resultados bien variados.

Los distintos análisis que se han realizado en el ámbito internacional sobre el impacto que tiene implementar la medida de restricción vehicular en una región son estudios a medidas permanentes, en los cuales se compara la situación antes y después de la implementación de la medida. El caso de Chile es distinto, debido a que la restricción vehicular permanente aplicada a los vehículos sin convertidor catalítico afecta a un porcentaje muy bajo del parque automotriz, los días en que realmente se podrían presentar variaciones en las distintas variables a estudiar es cuando se aplica una preemergencia o emergencia ambiental, por lo que el análisis se debe realizar en dichos días.[1]

## 1.1 Antecedentes Internacionales

### 1.1.1 Restricción vehicular en México (Ciudad de México-Hoy No Circula)

El 20 de Noviembre de 1989 se introduce en Ciudad de México el programa "Hoy No Circula" (HNC), una medida para combatir la mala calidad del aire que se presentaba en la ciudad. El programa HNC consistía en revocar el derecho de circular por el área central de la Ciudad de México a los vehículos que terminaran con cierto número su placa patente, con esto cada vehículo se encontraba imposibilitado de circular una vez a la semana entre 05:00 – 22:00 horas. La medida se introduce con un horizonte de cinco años.

La implementación de la restricción vehicular en Ciudad de México es analizada por Lucas W. Davis [Davis, 2008], quien estudia el efecto del programa HNC en la calidad del aire de la ciudad utilizando los valores promedios por hora de concentración medidos por las distintas estaciones de monitoreo para los cinco mayores contaminantes presentes en la ciudad $(CO, NO_2, O_3, NO_x, SO_2)$.

Davis realiza el análisis del impacto del programa HNC sobre la calidad del aire en la ciudad estudiando tres casos distintos: el efecto del HNC en los niveles promedio de

[1] Situación que se mantiene hasta el año 2017, el año 2018 empieza a regir una medida de restricción vehicular permanente para vehículos con sello verde.

contaminación, los niveles de contaminación para distintos periodos de la semana y el efecto del HNC en los niveles máximos de concentración de los distintos contaminantes.

Para estos tres casos Davis utiliza dos métodos distintos para encontrar el efecto que causa la medida, por una parte, plantea una regresión lineal en la cual intervienen los datos de calidad de aire, el factor tiempo (día, hora, mes) y algunos factores climáticos, esta regresión se resuelve en un principio por el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Por otro lado, utiliza un modelo de regresión discontinua (RD). Ambos métodos arrojan resultados muy similares para los tres casos estudiados.

En cuanto al caso que estudia el impacto del HNC sobre los niveles promedios de la calidad del aire el estudio de Davis señala que en términos generales no se aprecia una disminución considerable de ninguno de los contaminantes luego de la implementación del programa HNC.

En el caso en que se estudia el comportamiento que tienen los contaminantes en las distintas horas a lo largo de la semana se determinan 3 grupos horarios: horas de días hábiles donde se aplica la medida (05:00 – 22:00 horas), horas de días hábiles donde no se aplica la medida (22:00 – 05:00 horas) y los fines de semana durante todas las horas.

Para el grupo de horas donde se aplica la medida se encuentra una disminución en los niveles promedio de $CO, NO_2, O_3, NO_x$, y un aumento de los niveles de $SO_2$ respecto los niveles que se presentaban antes de la implementación del programa, sin embargo, estas variaciones no son estadísticamente significativas.

Tanto en el grupo de horas donde no se aplica la medida, dentro de días hábiles, como para el grupo de horas del fin de semana se presenta un aumento en la concentración de la mayoría de los contaminantes, sin embargo, tampoco es un alza importante.

Al estudiar los niveles máximos, se presentan resultados coincidentes con los obtenidos al analizar los niveles medios de concentración de contaminantes, no encontrando evidencia de cambios significativos luego de implementar la medida.

Aparte de los resultados referidos netamente al efecto del HNC en la calidad del aire, Davis señala que en los viajes de transporte público no se ve una variación significativa entre los años anteriores y posteriores a la implementación del plan. Por otro lado, señala que el registro de vehículos después de la implementación de HNC aumentó considerablemente.

Si bien este plan en un principio tenía un horizonte de 5 años, fue extendido hacia años posteriores, un estudio realizado en 1995 reporta que 22% de los conductores obtuvieron un segundo vehículo en respuesta a la extensión de la restricción vehicular “Hoy No Circula” [Onursal y Gautum, 1997].

En conclusión, Davis señala que en base a su estudio no existe evidencia de que la implementación del plan HNC haya mejorado la calidad del aire durante ningún periodo ni para ningún contaminante, añadiendo que la medida fracasa en el objetivo de sustituir el transporte en vehículo por una forma de transporte de más bajas emisiones como el metro, debido a que no se evidencian aumentos en el uso del transporte público. Davis

señala que la implementación de la restricción incrementó el número total de vehículos en circulación y cambió la composición de la flota de vehículos, introduciendo vehículos más antiguos (inclusión de un segundo auto) y por ende más contaminantes, para así poder suplir la imposibilidad de no circular por la ciudad los días en los cuales la restricción afecta a su vehículo principal.

### 1.1.2 Restricción vehicular en Colombia (Bogotá y Medellín – Pico y Placa)

En 1998 se implementa la restricción vehicular en la ciudad de Bogotá bajo el marco del plan "Pico y Placa", la medida afectaba a un 40% de los vehículos particulares cada día, la aplicación de la restricción era válida durante dos intervalos de tiempo, el primero durante la mañana 07:00 – 09:00 horas y el segundo durante las horas de la tarde 17:30 - 19:30 horas, la medida implicaba que cada vehículo estaba imposibilitado de circular por el centro de la ciudad en las horas de mayor congestión vehicular dos días a la semana.

El año 2001 se incorporan a la medida algunos vehículos de transporte público (buses, minibuses, taxis), un 20% de estos vehículos no estaban permitidos circular cada día durante un intervalo continuo de 05:00 – 21:00 horas.

El intervalo de aplicación de la medida para vehículos particulares fue modificado el año 2004 pasando a ser 06:00 – 09:00 horas en la mañana y 16:00 – 19:00 horas en el horario de tarde. Finalmente, en el año 2009 se adopta un periodo continuo entre 06:00 – 20:00 horas para vehículos particulares.

El departamento de agricultura y recursos económicos de la Universidad de California [Lin, 2011] desarrolló un estudio del efecto que tuvo la implementación del Pico y Placa en la ciudad de Bogotá. Para ello se utilizan los datos de concentraciones media y máxima horaria de distintos contaminantes para el periodo comprendido entre los años 1997-2009 (se utiliza la data de 7 estaciones de monitoreo de Bogotá de un total de 14).

La metodología que se utiliza para el análisis de los datos es basada en la que usa Davis en el estudio del efecto de la restricción vehicular en Ciudad de México, utilizando tanto regresiones lineales como modelos de regresión discontinua.

En el estudio se realiza una comparación entre el comportamiento de los contaminantes antes y después de la aplicación de la medida para distintos periodos de estudio. En los resultados del estudio se señala que, si bien se presenta una disminución de la concentración de contaminantes durante las horas en las que se aplica la medida, también existe un aumento de la concentración de los contaminantes durante horas de la noche y los fines de semana. Los autores atribuyen estas variaciones a que los automovilistas modifican el horario de sus viajes los días que son afectados por la medida.

Como conclusión de la investigación, en términos generales no se presentan indicios de que la calidad del aire se haya visto mejorada luego de la implementación de la medida de Pico y Placa. Sin embargo, cabe destacar que los resultados del estudio indican que desde

la implementación de la medida (considerando sus distintos grados de penetración) se han disminuido los máximos diarios de $CO\ y\ MP_{10}$, disminuyendo también los máximos anuales de estos contaminantes.

El año 2005 se implementa en Medellín el programa Pico y Placa. El objetivo principal de implementar una restricción vehicular en esta ciudad fue buscar descongestionar las vías, ya que se presentó un aumento considerable del parque automotriz y la ciudad ya no contaba con espacio suficiente para aumentar los kilómetros de vías para sostener el crecimiento de la flota vehicular.

La medida operaba en dos rangos horarios, al igual que la primera versión en Bogotá, un horario en el tope de congestión vehicular en la mañana (06:30 – 08:30 horas), y otro horario en el tope de congestión vehicular de la tarde (17:30 -19:30 horas). Al igual que en Bogotá cada día el 40% de los vehículos particulares eran afectados por la medida, dependiendo el último digito de su placa patente.

El 2008, luego de pasado algunos años de la implementación de la medida, el área de tránsito de Medellín entregó un informe en el cual se catalogaba la restricción como una medida efectiva para combatir la alta congestión que presentaba la ciudad años anteriores, ya que según sus datos el número de vehículos en las vías disminuyó un 17%, la longitud de las filas o colas en la congestión disminuyó un 12%, los tiempos de espera se redujeron en un 7% y se aumentó un 40% el promedio de velocidad en las vías congestionadas. [Tobón Orozco, 2010]

Sin embargo, luego de la implementación de la restricción, el incremento en el número de matrículas de automóviles ha ido creciendo. David Tobón Orozco señala en su estudio del programa Pico y Placa en Medellín que el incremento acelerado y sostenido en la compra de automóviles y motos termina llevando a la restricción vehicular a ser una medida insostenible en el tiempo, ya que el crecimiento del parque automotriz no es acorde con el aumento en la capacidad vial de la ciudad.

### 1.1.3 Restricción vehicular en China (Beijing)

La política de restricción vehicular se implementó en Beijing el año 2008 durante los Juegos Olímpicos (JJOO) disputados en dicha ciudad, con el fin de disminuir los niveles de congestión en las calles y a su vez mejorar la calidad del aire al que estaban expuestos. Durante los JJOO la restricción afectaba al 50% de los vehículos particulares cada día (*OddEven*), dependiendo si el último digito de la patente era par o impar. Los vehículos afectados por la medida no podían circular por el centro de la ciudad entre 06:00 – 21:00 horas.

El año 2009 la restricción vehicular empezó a afectar al 20% de los vehículos cada día (*OneDay*), reprogramando todos los meses el día en que le tocaba restricción a cada digito, esta reprogramación constante es una medida para evitar que los conductores adquieran un segundo auto.

Algunos años después del cambio en la modalidad de la restricción también se cambia el intervalo de duración de la restricción pasando a ser de 07:00 – 21:00 horas.

Se realizó un estudio por parte de la agencia Enviroment for Development (EfD) en el cuál estudia el impacto de la restricción vehicular que ocurre en Beijing en distintos patrones de transporte [Yang, 2016]. El estudio utiliza datos índices de congestión vehicular, número de viajes de los distintos medios de transporte público, datos de cuantos vehículos son afectados por la restricción dependiendo el último número de la patente y algunos índices climáticos. Para determinar el efecto de la restricción en los distintos parámetros se utilizan diversos modelos de regresiones.

Como resultado señalan que la restricción vehicular es efectiva reduciendo la congestión vehicular, considerando que la disminución de los tiempos de viaje no solo se presenta en las horas donde rige la medida, sino que el efecto se expande 2 horas después de terminada la restricción. En cuanto al efecto generado por la medida sobre los flujos en los distintos medios de transporte público, se tiene que la tasa de sustitución de la conducción de vehículos hacia el transporte público no supera el 13%, siendo el autobús la mayor participación con un 11%.

En cuanto al impacto que tiene la implementación de la restricción vehicular en la calidad del aire, un estudio realizado por académicos de la Universidad de California [Lin, 2011] estima que durante los JJOO en Beijing la concentración promedio diaria de $MP_{10}$ bajo en un 38% producto de la implementación de la restricción vehicular (OddEven).

El impacto sobre la calidad del aire también es estudiado por Viard y Fu [Viard, 2015]. Ellos centran su estudio en la variación del *Air Polution Index* (API), un índice de contaminación del aire el cual depende de tres contaminantes: $MP_{10}, NO_2\ y\ SO_2$. Este índice se calcula para cada contaminante por separado, pero solo se reporta el mayor de los tres (el índice API es muy similar al ICA/ICAP que se utiliza en Chile).

Para encontrar el efecto que causa la restricción vehicular sobre los niveles de API se utilizan modelos de regresión discontinua (RD).

El estudio consiste en determinar el efecto que tiene la restricción vehicular en los niveles promedio de API en la ciudad. Como resultado señalan que el API promedio disminuyo un 18% durante la restricción *OddEven* (2008), mientras que la restricción *OneDay* generó una disminución del 21% en los niveles promedio del índice de contaminación del aire.

También señalan que existe una diferencia entre el efecto que ocasiona la restricción vehicular dependiendo la zona geográfica de la ciudad, las estaciones de monitoreo que se encuentran dentro del anillo que delimita el área de aplicación de la medida tiene mayor disminución de los niveles de contaminación que las estaciones de monitoreo que se encuentran fuera del área de aplicación de la restricción.

En términos generales, la aplicación de la política de restricción vehicular en Beijing ha mejorado tanto niveles de congestión vehicular como niveles de calidad de aire. Los autores comparan sus resultados con los obtenidos por Davis al estudiar el caso de Ciudad de México y señalan que la efectividad de la medida en Beijing radica en el nivel de

conformidad que poseen sus habitantes frente a la política de restricción vehicular, y también a medidas complementarias que se han aplicado en la ciudad, como por ejemplo, el aumento de las multas por circular con restricción o la incorporación de la cuota de compra de automóviles, limitando la cantidad de matrículas de autos por año buscando desestimular la compra de un segundo vehículo como alternativa de transporte al vehículo principal.

## 1.2 Antecedentes Nacionales

### 1.2.1 Impacto en flujos vehiculares RV año 2008

El año 2010, Louis de Grange y Rodrigo Troncoso [De Grange, 2010] desarrollan un estudio sobre el impacto que tiene la restricción vehicular sobre los flujos en el trasporte urbano de Santiago.

El objetivo del estudio es estimar el impacto que ha tenido la medida sobre los viajes en Metro, buses y en automóviles en Santiago. Se realiza el análisis del impacto para los dos modos de restricción vehicular que existen en Santiago, la restricción permanente a vehículos sin sello verde (40% de esos vehículos son afectados cada día) y la restricción que ocurre los días que se decreta Preemergencia ambiental (60% de los vehículos sin sello verde y 20% de los vehículos con sello verde). La restricción vehicular en ambos casos opera desde las 7:30 hasta las 21:00 horas y es válida desde el 1 de Abril al 31 de Agosto.

El estudio realiza el análisis basándose en lo ocurrido el año 2008, en el cual se presentaron 8 episodios de Preemergencia Ambiental, de los cuales 2 fueron en un día de fin de semana. Para determinar el impacto de la medida se utilizan modelos de regresión múltiples utilizando como variables endógenas los flujos de viajes de distinto tipo y como variables exógenas se utilizan variables dicotómicas relacionadas a la existencia o no de restricción vehicular en el momento a estudiar.

Como resultado, los académicos señalan que la restricción vehicular permanente a vehículos S/SV no implica un impacto considerable en ninguno de los flujos de transporte en la ciudad debido a que los automóviles afectados por tal medida es un porcentaje muy bajo del total de vehículos inscritos en la ciudad.

El estudio del impacto de la restricción vehicular los días de preemergencia ambiental consideró el análisis de los días hábiles dentro del periodo de vigencia de la restricción vehicular. De acuerdo con las estimaciones indican que los viajes dentro de la red Metro aumentan en un 3% durante los días de Preemergencia, mientras que en la estimación de la variación de los viajes en buses no se encuentran resultados estadísticamente significativos.

Los flujos promedio diarios durante los días de preemergencia se estima que disminuyen un 5,5%, muy bajo considerando que en teoría deberían salir de circulación un 20% de los vehículos que normalmente circulan por la ciudad.

Cuando realizan la estimación de la variación de flujos acotado a las horas donde rige la medida se observa una reducción del 7.4%, por otro lado, estudian la variación de los viajes unas horas antes del comienzo de la restricción a lo que llegan a un aumento en los flujos de un 3.5%.

En conclusión, De Grange y Troncoso señalan que la restricción vehicular tiene un impacto significativo en el flujo de los vehículos particulares pero muy por debajo del

impacto que debiera tener teóricamente, esto debido en parte al adelantamiento de los viajes, la posesión de un segundo vehículo con patente que termine en un digito distinto al primer vehículo, la posibilidad de que algunos conductores no respeten la medida, o finalmente un porcentaje de la población que dispone de un auto pero aun así no lo utiliza y realiza sus viajes diarios ya sea en Metro o buses.

### 1.2.2 Impacto en flujos vehiculares RV año 2015

El año 2017 Louis de Grange y Rodrigo Troncoso [Troncoso, 2017] desarrollan un estudio similar al desarrollado el año 2010, con datos actualizados para episodios críticos desarrollados el año 2015 e incluyendo en el estudio mediciones en ciclovías y en Costanera Norte (CN). [2]

Se estudia el impacto en los flujos para episodios de Preemergencia Ambiental decretados en días hábiles del año 2015 (10 episodios con tal característica). Utiliza una metodología basada en regresiones lineales, similar a la utilizada en el estudio del 2010.

Considerando flujos diarios, sus estimaciones indican: una disminución en los flujos en bicicletas cercana al 9%, una disminución en flujo vehicular para datos de UOCT y CN similares entre sí y cercanas al 13%, mientras que para viajes realizados en transporte público no se presentan variaciones significativas.

Realizando la distinción entre periodo donde rige la medida y donde no rige, estiman una disminución en los flujos durante la aplicación de un 16.1% para CN y 13.3% UOCT. Para las horas donde no rige la medida en CN se presenta un aumento en los flujos de un 2.9% y no se presenta variación significativa para UOCT.

La diferencia entre los resultados de impacto en los flujos vehiculares diarios obtenidos para el estudio de 2010 y 2017 (5.5% y 13.0% respectivamente), según los autores, son atribuibles a que la multa por no cumplir la RV es mayor para los episodios analizados en el último reporte y a la implementación de “ejes ambientales” que desincentivan el uso del vehículo en la ciudad.

[2] Además del estudio de flujos en la red de Metro, Buses del Transantiago y ECAT de UOCT que ya se analizaban en el estudio publicado el año 2010.

## 1.3 La política de Restricción Vehicular en Santiago

En Santiago el año 1986 se instaura la política de restricción vehicular buscando disminuir los niveles de contaminación atmosférica por niveles de $MP_{10}$. En un principio la medida afectaba solo a los vehículos que no contaran con convertidor catalítico (sin sello verde), como una forma de incentivar la compra de vehículos que si contaran con convertidor catalítico y así contribuir a mejorar la calidad del aire Santiago. La medida rige entre las 7:30 y las 21:00 horas.

El año 1996, mediante el Decreto Supremo N°131, se declara a la Región Metropolitana de Santiago zona saturada por $MP_{10}, O_3, CO$; y zona latente por $NO_2$.

A partir del año 2001 se empieza a realizar una gestión de los episodios críticos de calidad de aire en la ciudad, para los días con preemergencia ambiental añade a la medida de restricción al 20% de los vehículos C/SV y durante los episodios de emergencia ambiental se añade a la medida de restricción al 40% de los vehículos particulares C/SV.

El año 2014 se declara a la Región Metropolitana de Santiago como zona saturada por material particulado fino respirable $MP_{2,5}$. Hasta ese entonces la gestión de episodios críticos de calidad del aire eran solo cuando los niveles de $MP_{10}$ se encontraban elevados; desde el año 2015 se adoptan medidas frente a episodios críticos de $MP_{10}$ y $MP_{2,5}$.

En la actualidad la región ya no se encuentra en condición de saturación para $NO_2$ y $CO$; situación que en cambio persiste para $MP_{10}, MP_{2,5}\ y\ O_3$.

Hasta el año 2017 aún seguía la modalidad de restricción vehicular constante para los vehículos sin sello verde (4 dígitos por día), y cuando se presentaban episodios críticos de calidad de aire se aumenta el porcentaje de vehículos sin sello verde, y además se incluyen a los vehículos con sello verde en la restricción dependiendo el nivel de criticidad del episodio.

*Tabla 1.1: Cantidad de dígitos afectos a RV según tipo de episodio críticos de calidad del aire.*

| Episodio Crítico | Número de dígitos afectados | |
|---|---|---|
| | Sin Sello Verde | Con Sello Verde |
| R.V permanente | 4 | - |
| Alerta Ambiental | 6 | - |
| Preemergencia Ambiental | 6 | 2 |
| Emergencia Ambiental | 8 | 4 |

Fuente: SEREMITT R.M

La determinación de un episodio crítico de contaminación atmosférica se realiza en base a un pronóstico de la calidad del aire, el cual se determina aplicando modelos numéricos utilizando datos de mediciones de calidad del aire proporcionados por la red de vigilancia de la calidad del aire MACAM y datos de índole meteorológicos proporcionados por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

El responsable de determinar el nivel de contaminación atmosférica en la región es el Índice de Calidad del Aire referido a partículas (ICAP). La declaración de un episodio critico puede ser debido a un alto nivel de concentración de $MP_{10}$ o por niveles altos de $MP_{2,5}$, por lo que se tienen indicadores para ambos contaminantes basados en los valores límites expuestos en las normas primarias de cada contaminante.

*Tabla 1.2: Valores de ICAP MP2,5 según concentración del contaminante.*

| ICAP MP2,5 | Concentración 24 horas MP2,5 (µg/m³) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 100 | 50 |
| 500 | 170 |

Fuente: MMA

*Tabla 1.3: Valores de ICAP MP10 según concentración del contaminante.*

| ICAP MP10 | Concentración 24 horas MP10 (µg/m³) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 100 | 150 |
| 500 | 330 |

Fuente: MMA

*Tabla 1.4: Rango de ICAP para declaración de episodios críticos de contaminación atmosférica.*

| ICAP | Condición o Episodio |
|---|---|
| 0-99 | Buena |
| 100-199 | Regular |
| 200-299 | Alerta Ambiental |
| 300-499 | Preemergencia Ambiental |
| 500 o más | Emergencia Ambiental |

Fuente: MMA

Teniendo los ICAP para ambos contaminantes se registra el mayor y se determina el tipo de episodio crítico que se debe decretar, esto según la tabla 1.4 que señala la relación existente entre los valores de ICAP con el grado de criticidad del episodio.

## 1.4 Teoría del Flujo Vehicular

La implementación de una Restricción Vehicular provoca cambios en el comportamiento de los vehículos en las calles, la prohibición de circular libremente por determinado sector a un porcentaje del parque vehicular implica un cambio en el nivel de actividad habitual.

En esta sección se presenta una descripción de algunas de las características fundamentales del flujo vehicular, representadas en tres de sus variables principales: flujo, velocidad y densidad.

El flujo correspondiente a la cantidad de vehículos que circulan por un arco en un intervalo de tiempo. La velocidad es definida como una razón de movimiento en distancia por unidad de tiempo, generalmente se utiliza la velocidad media del bloque de vehículos. La densidad corresponde al número de vehículos que ocupa cierta longitud, dada una carretera o carril.

Estas tres variables se relacionan a partir de la ecuación fundamental del flujo vehicular de la siguiente forma:

$$q = v * k \qquad (1)$$

Donde:

$$q = flujo\ vehicular \left[\frac{veh}{hr}\right]$$

$$v = velocidad\ media \left[\frac{km}{hr}\right]$$

$$k = densidad \left[\frac{veh}{km}\right]$$

Los anteriores conceptos y relación fundamental establecen un principio para el estudio de las distintas características del flujo vehicular.

Estableciendo una relación entre cualquiera dos de las tres variables, la relación con la tercera la determina la ecuación (1). Diversos han sido los esfuerzos por establecer relaciones entre las distintas variables, a continuación, se presenta un modelo macroscópico que relaciona la velocidad con la densidad de manera lineal.

El modelo lineal de Greenshields estudia la relación entre la velocidad y la densidad, basado en distintos conjuntos de datos experimentales, llegando a la siguiente expresión:

$$\overline{v_e} = v_l - \left(\frac{v_l}{k_c}\right) k \qquad (2)$$

Donde:

$$\overline{v_e} = Velocidad\ media\ espacial\ \left[\frac{km}{hr}\right]$$

$$v_l = Velocidad\ media\ espacial\ a\ flujo\ libre\ \left[\frac{km}{hr}\right]$$

$$k = Densidad\ \left[\frac{veh}{km}\right]$$

$$k_c = Densidad\ de\ congestionamiento\ \left[\frac{veh}{km}\right]$$

En general la velocidad disminuye a medida que aumenta la densidad, desde un valor máximo hasta un valor mínimo (velocidad nula) donde la densidad alcanza su máximo valor, llamado densidad de congestionamiento.

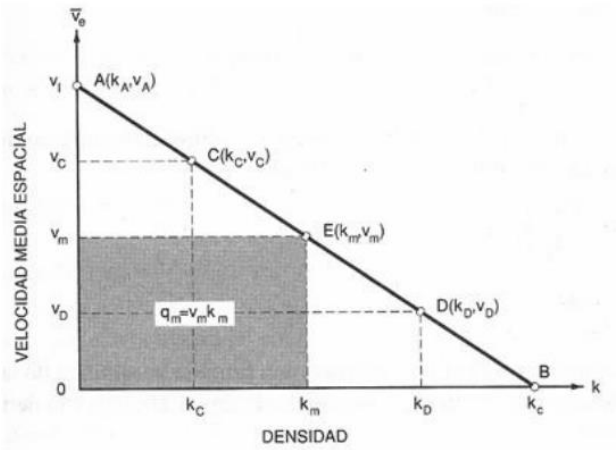


*Figura 1-1: Relación entre velocidad y densidad, teoría flujo vehicular.*

Fuente: [Reyes Espíndola y otros, 2007]

En la realidad, la densidad nunca toma el valor de cero, lo cual quiere decir que para que exista velocidad a flujo libre, debe presentarse al menos un vehículo circulando en la vía. En el otro extremo de la recta, se presenta la máxima congestión, en tal caso los vehículos se encuentran detenidos uno tras otro.

La relación entre el flujo y la densidad, se obtiene reemplazando (2) en (1), dando paso a la siguiente expresión:

$$q = v_l k - \left(\frac{v_l}{k_c}\right) k^2 \qquad (3)$$

Esta ecuación expresa al flujo como una función parabólica de la densidad. Cuando la densidad tiene a cero y se presenta una velocidad a flujo libre quiere decir que hay poca presencia de vehículos en la vía, por lo que el flujo también se aproxima a cero. En el caso en que la densidad tome valores cercanos a la densidad crítica, los vehículos se empiezan a detener uno tras de otro y el flujo también tiende a cero.

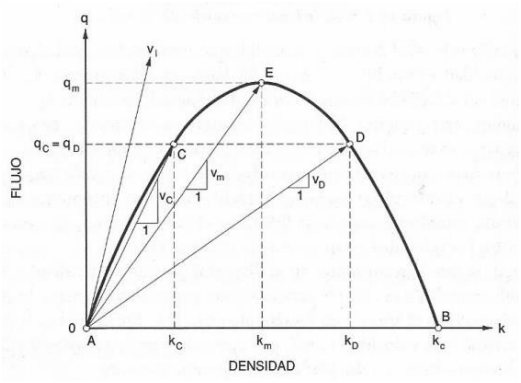


*Figura 1-2: Relación entre flujo y densidad, teoría del flujo vehicular.*

Fuente: [Reyes Espíndola y otros, 2007]

Por último, despejando la densidad de la ecuación (2) y reemplazándola en la ecuación (1) se obtiene la relación entre el flujo y la velocidad:

$$q = \overline{v_e} k_c - \left(\frac{k_c}{v_l}\right) \overline{v_e}^2 \qquad (4)$$

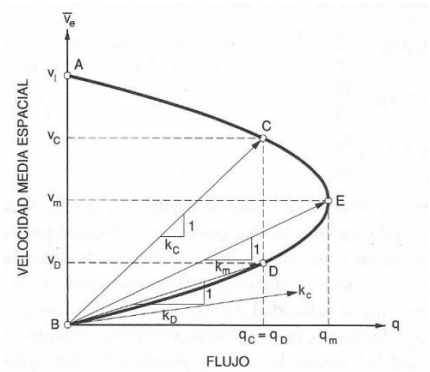


*Figura 1-3: Relación entre velocidad y flujo, teoría del flujo vehicular.*

Fuente: [Reyes Espíndola y otros, 2007]

Se obtiene una relación parabólica entre el flujo y la velocidad, donde para un valor determinado de flujo, existen dos valores de velocidad asociado, uno correspondiente al modo congestionado y el otro que corresponde a flujo sin congestión. En el sector de la curva correspondiente a flujo congestionado, un aumento en el flujo se traduce en un

aumento en la velocidad, mientras que en el sector donde no se presenta congestión un aumento en el flujo genera una disminución de la velocidad.

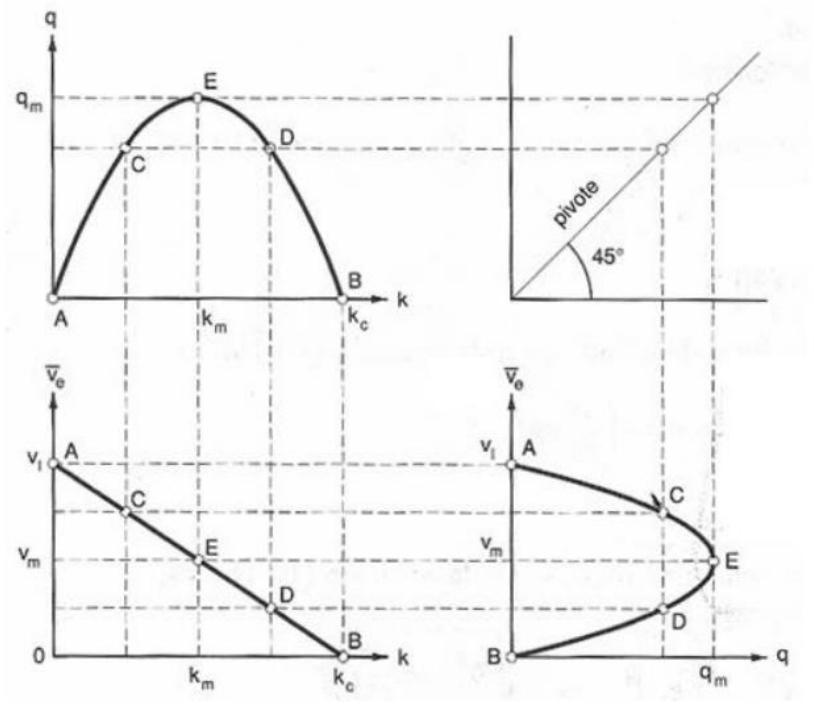


*Figura 1-4: Relación entre las tres variables principales de la teoría del flujo vehicular.*

Fuente: [Reyes Espíndola y otros, 2007]

En la figura 1.4 se muestran las relaciones existentes entre las distintas variables fundamentales involucradas en la teoría del flujo vehicular, el sector donde se presenta flujo vehicular no congestionado se encuentra acotado dentro de los siguientes parámetros:

$$0 \leq q \leq q_m$$

$$v_m \leq v \leq v_l$$

$$0 \leq k \leq k_m$$

# 2 Restricción vehicular y flujos vehiculares

La medida de restricción vehicular, discriminando por último digito de placa patente implementada en la Región Metropolitana de Santiago, se divide en dos: la restricción permanente para vehículos sin sello verde y la restricción a vehículos con sello verde los días en que se decreta episodios críticos de calidad del aire (Preemergencia y Emergencia Ambiental).

La restricción vehicular permanente aplicada a vehículos sin sello verde afecta a un pequeño porcentaje del parque automotriz, su impacto frente a la variabilidad de flujos fue estudiada por Troncoso y De Grange [De Grange, 2010], llegando a la conclusión de que no afecta en una medida considerable a los flujos diarios.

*Tabla 2.1: Catastro histórico de parque automotriz en RM para años 2010-2015*

| Año | Total Vehículos | Vehículos C/SV | Vehículos S/SV |
|---|---|---|---|
| 2015 | 1877667 (100%) | 1836859 (97.83%) | 40808 (2.17%) |
| 2014 | 1828033 (100%) | 1779361 (97.34%) | 48672 (2.66%) |
| 2013 | 1695442 (100%) | 1639539 (96.70%) | 55903 (3.30%) |
| 2012 | 1597762 (100%) | 1533885 (96.00%) | 63877 (4.00%) |
| 2011 | 1490951 (100%) | 1416735 (95.02%) | 74216 (4.98%) |
| 2010 | 1385466 (100%) | 1298693 (93.74%) | 86773 (6.26%) |

En base al estudio hecho por De Grange y Troncoso, y considerando que con el transcurrir de los años el porcentaje de vehículos sin sello verde es aún menor, este trabajo estudia el impacto de la restricción vehicular para los días donde se decretan episodios críticos de calidad del aire.

Durante el periodo de estudio se decretaron 28 preemergencias ambientales y solo 1 emergencia ambiental (22/06/2015).

A continuación, en la tabla 2.2, se presenta un detalle de los episodios decretados, indicando el tipo de episodio, el día que ocurrió, el tipo de día (día hábil, fin de semana, feriado) y los dígitos de placa patente afectados.

*Tabla 2.2: Catastro histórico de episodios críticos de calidad de aire decretados en RM para años 2010-2015*

| Año | Tipo de Episodio | Dia | Tipo de Dia | Dígitos |
|---|---|---|---|---|
| 2010 | PreEmergencia | Domingo 09/05 | Fin de Semana | 7-8 |
| 2010 | PreEmergencia | Lunes 10/05 | Dia Hábil | 9-0 |
| 2011 | PreEmergencia | Domingo 29/05 | Fin de Semana | 1-2 |
| 2011 | PreEmergencia | Miércoles 01/06 | Dia Hábil | 3-4 |
| 2011 | PreEmergencia | Sábado 04/06 | Fin de Semana | 5-6 |
| 2011 | PreEmergencia | Lunes 27/06 | Feriado | 7-8 |
| 2011 | PreEmergencia | Lunes 04/07 | Suspendida | 9-0 |
| 2011 | PreEmergencia | Viernes 08/07 | Dia Hábil | 1-2 |
| 2011 | PreEmergencia | Sábado 23-07 | Fin de Semana | 3-4 |
| 2012 | PreEmergencia | Viernes 08/06 | Dia Hábil | 5-6 |
| 2012 | PreEmergencia | Martes 17/07 | Dia Hábil | 7-8 |
| 2014 | PreEmergencia | Miércoles 18/06 | Dia Hábil | 9-0 |
| 2015 | PreEmergencia | Viernes 05/06 | Dia Hábil | 1-2 |
| 2015 | PreEmergencia | Martes 16/06 | Dia Hábil | 3-4 |
| 2015 | PreEmergencia | Viernes 19/06 | Dia Hábil | 5-6 |
| 2015 | PreEmergencia | Sábado 20/06 | Fin de Semana | 7-8 |
| 2015 | PreEmergencia | Domingo 21/06 | Fin de Semana | 9-0 |
| 2015 | Emergencia | Lunes 22/06 | Dia Hábil | 1-2-3-4 |
| 2015 | PreEmergencia | Martes 23/06 | Dia Hábil | 5-6 |
| 2015 | PreEmergencia | Sábado 27/06 | Fin de Semana | 7-8 |
| 2015 | PreEmergencia | Lunes 29/06 | Feriado | 9-0 |
| 2015 | PreEmergencia | Martes 30/06 | Dia Hábil | 1-2 |
| 2015 | PreEmergencia | Miércoles 01/07 | Dia Hábil | 3-4 |
| 2015 | PreEmergencia | Jueves 02/07 | Dia Hábil | 5-6 |
| 2015 | PreEmergencia | Viernes 03/07 | Dia Hábil | 7-8 |
| 2015 | PreEmergencia | Sábado 04/07 | Fin de Semana | 9-0 |
| 2015 | PreEmergencia | Miércoles 22/07 | Dia Hábil | 1-2 |
| 2015 | PreEmergencia | Viernes 24/07 | Dia Hábil | 3-4 |
| 2015 | PreEmergencia | Domingo 26/07 | Dia Hábil | 5-6 |

El día Lunes 04/07/2011 la Intendencia de Santiago suspende la operación de la medida a las 09:00 horas.

## 2.1 Metodología flujos vehiculares

### 2.1.1 Obtención de datos

Para el desarrollo del análisis de flujos vehiculares se utilizan datos de flujos otorgados por la Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT), específicamente a partir de la red de estaciones de conteo automático de tráfico (ECAT).

Durante el periodo de estudio 2010-2015 dentro de Santiago se encuentran activos 26 ejes.[3] Los ejes tienen distintos patrones de medición, algunos miden solo un sentido, otros dos sentidos y otros incluyen mediciones en vías reversibles, alcanzando un total de 50 mediciones posibles.

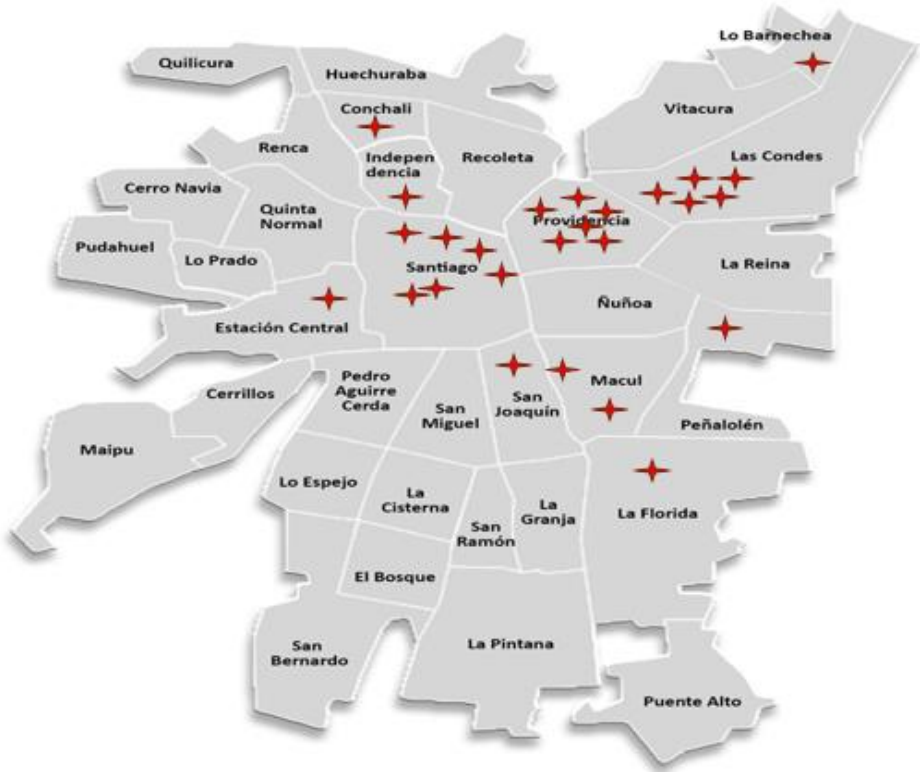


*Figura 2-1: Distribución geográfica de los ejes donde se cuenta con ECAT en la Región Metropolitana de Santiago de Chile.*

El detalle de las 50 ECAT se presentan en la tabla 2.3, señalando el código de la ECAT, el eje al que corresponde, comuna donde se encuentra, a qué tipo de pista corresponde, sentido en el que se mide, y entre que calles se realiza la medición.

[3] Más de una ECAT pertenecen al mismo eje cuando la medición se realiza en la misma arteria, entre las mismas calles, sin importar el sentido de medición.

*Tabla 2.3: Información referente a cada estación de conteo automático de tráfico.*

| Código | Eje | Calle1 | Calle2 | Sentido Medición | Tipo Pista | Comuna |
|---|---|---|---|---|---|---|
| E005P0 | Eliodoro Yañez | Marchant Pereira | Matilde Salamanca | O - P | Normal | Providencia |
| E007O0 | Cristobal Colon | La Capitania | Medina Celli | P - O | Normal | Las Condes |
| E007O1 | Cristobal Colon | La Capitania | Medina Celli | P - O | Reversible | Las Condes |
| E007P0 | Cristobal Colon | La Capitania | Medina Celli | O - P | Normal | Las Condes |
| E011O0 | Rancagua | Salvador | Italia | P - O | Normal | Providencia |
| E015S0 | Americo Vespucio | Cerro Colorado | Los Talaveras | N - S | Normal | Las Condes |
| E016N0 | Americo Vespucio | Cerro Colorado | Los Talaveras | S - N | Normal | Las Condes |
| E031N0 | Independencia | Manizales | Manaos | S - N | Normal | Conchali |
| E031S0 | Independencia | Manizales | Manaos | N - S | Normal | Conchali |
| E035P0 | Alameda | Jose Victorino Lastarria | Diagonal Paraguay | O - P | Normal | Santiago |
| E036O0 | Alameda | Jose Victorino Lastarria | Portugal | P - O | Normal | Santiago |
| E042O0 | Mapocho | Herrera | Chacabuco | P - O | Normal | Santiago |
| E045P0 | Providencia | Suecia | Santa Magdalena | O - P | Normal | Providencia |
| E057N0 | Santa Rosa | Piramide | Llico | S - N | Normal | San Joaquin |
| E057S0 | Santa Rosa | Piramide | Llico | N - S | Normal | San Joaquin |
| E061N0 | Vicuña Mackenna | Benito Rebolledo | Pablo Buchard | S - N | Normal | Macul |
| E061S0 | Vicuña Mackenna | Benito Rebolledo | Pablo Buchard | N - S | Normal | Macul |
| E064O0 | 5 De Abril | Asturias | Sevilla | P - O | Normal | E.central |
| E064P0 | 5 De Abril | Asturias | Sevilla | O - P | Normal | E.central |
| E068O0 | Andres Bello | Isidora Goyenechea | Tajamar | P - O | Normal | Las Condes |
| E068O1 | Andres Bello | Isidora Goyenechea | Tajamar | P - O | Reversible | Las Condes |
| E068P0 | Andres Bello | Isidora Goyenechea | Tajamar | O - P | Normal | Las Condes |
| E068P1 | Andres Bello | Isidora Goyenechea | Tajamar | O - P | Reversible | Las Condes |
| E073O0 | Cardenal Jose Maria Caro | Jose Miguel De La Barra | Purisima | P - O | Normal | Santiago |
| E073O1 | Cardenal Jose Maria Caro | Jose Miguel De La Barra | Purisima | P - O | Reversible | Santiago |
| E073P0 | Cardenal Jose Maria Caro | Jose Miguel De La Barra | Purisima | O - P | Normal | Santiago |
| E073P1 | Cardenal Jose Maria Caro | Jose Miguel De La Barra | Purisima | O - P | Reversible | Santiago |
| E078N0 | Fermin Vivaceta | Inglaterra | Francia | S - N | Normal | Independencia |
| E078S0 | Fermin Vivaceta | Inglaterra | Francia | N - S | Normal | Independencia |
| E080O0 | Francisco Bilbao | Hernando De Aguirre | Jorge Matte | P - O | Normal | Providencia |
| E080P0 | Francisco Bilbao | Hernando De Aguirre | Jorge Matte | O - P | Normal | Providencia |
| E082N0 | J. P. Alessandri (macul) | Las Jarcias | Dr. Amador Neghme | S - N | Normal | Macul |
| E082S0 | J. P. Alessandri (macul) | Las Jarcias | Dr. Amador Neghme | N - S | Normal | Macul |
| E083N0 | La Florida | El Recital | Geronimo De Alderete | S - N | Normal | La Florida |
| E083S0 | La Florida | El Recital | Geronimo De Alderete | N - S | Normal | La Florida |
| E089O0 | Pocuro | El Bosque Sur | Pdte. Alfaro | P - O | Normal | Providencia |
| E091O0 | Presidente Riesco | Rosario Norte | Pio Xi | P - O | Normal | Las Condes |
| E091O1 | Presidente Riesco | Rosario Norte | Pio Xi | P - O | Reversible | Las Condes |
| E091P0 | Presidente Riesco | Rosario Norte | Pio Xi | O - P | Normal | Las Condes |
| E091P1 | Presidente Riesco | Rosario Norte | Pio Xi | O - P | Reversible | Las Condes |
| E093O0 | Santa Maria | El Cerro | Carlos Casanueva | P - O | Normal | Providencia |
| E094N0 | Tobalaba | Camilo Mori | Quilin | S - N | Normal | Peñalolen |
| E094N1 | Tobalaba | Camilo Mori | Quilin | S - N | Reversible | Peñalolen |
| E094S0 | Tobalaba | Camilo Mori | Quilin | N - S | Normal | Peñalolen |
| E096O0 | General Mackenna | Morande | Teatinos | P - O | Normal | Santiago |
| E097N0/E116N0 | La Dehesa | Monseñor Escriva De Balaguer | Las Condes | S - N | Normal | Barnechea |
| E097S0/E116S0 | La Dehesa | Monseñor Escriva De Balaguer | Las Condes | N - S | Normal | Barnechea |
| E113O0 | Alameda | J. Toribio Medina | Brasil | P - O | Normal | Santiago |
| E114O0 | Lib. Bernardo Ohiggins | Portugal | Lira | P - O | Normal | Santiago |
| E115S0 | Americo Vespucio | Latadia | Carlos Alvarado | N - S | Normal | Las Condes |

Los datos proporcionados por la UOCT corresponden a flujos vehiculares horarios para el periodo de 01:00 – 24:00 horas. Los datos para el periodo 00:00-01:00 horas no se encuentran disponibles para ningún día ni eje a lo largo del periodo de estudio. La data viene expresada en flujos por hora según el código de estación de medición, la fecha y la hora, como se muestra a continuación:

*Tabla 2.4: Ejemplo de base de datos entregada por UOCT.*

| Estación/Canal | Fecha | Intervalo | Flujo |
|---|---|---|---|
| E005P0 | 01/07/2015 | 01:00:00 | 135 |
| E005P0 | 01/07/2015 | 02:00:00 | 65 |
| E005P0 | 01/07/2015 | 03:00:00 | 49 |
| E005P0 | 01/07/2015 | 04:00:00 | 78 |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |
| E005P0 | 01/07/2015 | 21:00:00 | 1329 |
| E005P0 | 01/07/2015 | 22:00:00 | 873 |
| E005P0 | 01/07/2015 | 23:00:00 | 537 |

Cabe señalar que la base de datos se encuentra con una gran cantidad de falta de información para las distintas estaciones, atribuibles a cortes de tránsito, trabajos en las arterias de medición o a fallas/mantenimiento en los dispositivos de medición de flujos. [4]

### 2.1.2 Procesamiento de datos

El análisis se basa en los episodios críticos de calidad de aire correspondientes a preemergencia ambiental decretados para un día hábil, en el periodo de estudio se decretan 16 episodios críticos que cumplen con tal característica.

La figura 2.2 muestra el comportamiento de los flujos para los días comprendidos entre el Lunes 04/05/2015 y el Viernes 08/05/2015, ésta semana no presenta ningún evento que pudiera alterar la normalidad del tráfico. Se utilizan datos para tres estaciones distintas, una ubicada en Lo Barnechea, otra en Providencia y la última en la comuna de Santiago.

[4] A lo largo del estudio, cuando se habla de la hora 01:00 corresponde al intervalo entre las 01:00 – 02:00 horas. Lo anterior es extensivo para las distintas horas del día.

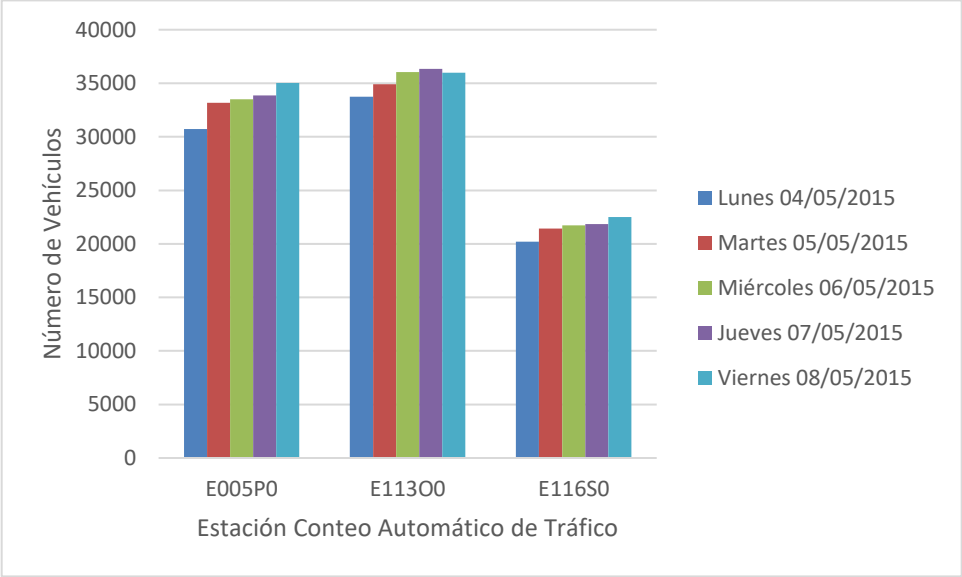


*Figura 2-2: Cantidad de vehículos que circulan por cada ECAT dependiendo el día de la semana.*

De acuerdo con lo expresado en la figura 2.2, los flujos diarios sufren cambios significativos dependiendo el día de semana, llegando incluso en las estaciones E005P0 y E116S0 a una variación superior a un 10% en el flujo diario al comparar el día Lunes con el Viernes.

Considerando que los patrones de flujos varían en cierta medida dependiendo de los días de la semana, en el presente estudio se compara el nivel de actividad del día en que se decreta el episodio crítico versus el nivel de actividad promedio que se tiene en días similares donde no rige la medida de restricción vehicular para vehículos con sello verde. Esto quiere decir que, si el episodio crítico corresponde a un día Martes, su nivel de actividad se comparara con el nivel de actividad que habitualmente se tiene un día Martes cuando no se aplica la medida.

El patrón de flujos para los días donde no se aplica la medida a vehículos C/SV se determina realizando una selección de 4 días cercanos temporalmente al episodio crítico, para así suponer que las características de la flota de vehículos presente en cada eje se mantienen constantes. Otro requerimiento para la selección de los días de comparación es que en tales días no se hayan presentado precipitaciones que puedan alterar los flujos normales que se presentan en cada ECAT[5]. En lo posible se busca que si el día del episodio cae Jueves los días de comparación sean los dos Jueves anteriores y los dos Jueves posteriores al evento, sin embargo, existen casos en los que alguno de los días más cercano al evento son feriados o también se decreta episodio crítico, en esos casos se busca otro día próximo que cumpla con los requerimientos

[5] De acuerdo a datos obtenidos de la Dirección Meteorológica de Chile, registrados en la estación de Tobalaba, comuna de Providencia.

*Tabla 2.5: Detalle de días de comparación para cada episodio crítico de contaminación atmosférica.*

| Episodio | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Tipo de Episodio |
|---|---|---|---|---|---|
| **Lu 10/05/2010** | Lu 03/05/2010 | Lu 17/05/2010 | Lu 24/05/2015 | Lu 31/05/2010 | PreEmergencia Ambiental |
| **Mi 01/06/2011** | Mi 18/05/2011 | Mi 25/05/2011 | Mi 08/06/2011 | Mi 15/06/2011 | PreEmergencia Ambiental |
| **Vi 08/07/2011** | Vi 17/06/2011 | Vi 24/06/2011 | Vi 01/07/2011 | Vi 15/07/2011 | PreEmergencia Ambiental |
| **Vi 08/06/2012** | Vi 178/05/2012 | Vi 01/06/2012 | Vi 15/06/2012 | Vi 22/06/2012 | PreEmergencia Ambiental |
| **Ma 17/07/2012** | Mi 03/07/2012 | Mi 10/07/2012 | Mi 24/07/2012 | Mi 31/07/2012 | PreEmergencia Ambiental |
| **Mi 18/06/2014** | Mi 04/06/2014 | Mi 11/06/2014 | Mi 25/06/2014 | Mi 02/07/2014 | PreEmergencia Ambiental |
| **Vi 05/06/2015** | Vi 15/05/2015 | Vi 29/05/2015 | Vi 12/06/2015 | Vi 26/06/2015 | PreEmergencia Ambiental |
| **Ma 16/06/2015** | Ma 02/06/2015 | Ma 09/06/2015 | Ma 07/07/2015 | Ma 14/07/2015 | PreEmergencia Ambiental |
| **Vi 19/06/2015** | Vi 29/05/2015 | Vi 12/06/2015 | Vi 26/06/2015 | Vi 10/07/2015 | PreEmergencia Ambiental |
| **Lu 22/06/2015** | Lu 08/06/2015 | Lu 15/06/2015 | Lu 06/07/2015 | Lu 13/07/2015 | Emergencia Ambiental |
| **Ma 23/06/2015** | Ma 02/06/2015 | Ma 09/06/2015 | Ma 07/07/2015 | Ma 14/07/2015 | PreEmergencia Ambiental |
| **Ma 30/06/2015** | Ma 02/06/2015 | Ma 09/06/2015 | Ma 07/07/2015 | Ma 14/07/2015 | PreEmergencia Ambiental |
| **Mi 01/07/2015** | Mi 17/06/2015 | Mi 24/06/2015 | Mi 08/07/2015 | Mi 15/07/2015 | PreEmergencia Ambiental |
| **Ju 02/07/2015** | Ju 11/06/2015 | Ju 18/06/2015 | Ju 25/06/2015 | Ju 09/07/2015 | PreEmergencia Ambiental |
| **Vi 03/07/2015** | Vi 12/06/2015 | Vi 26/06/2015 | Vi 10/07/2015 | Vi 31/07/2015 | PreEmergencia Ambiental |
| **Mi 22/07/2015** | Mi 08/07/2015 | Mi 15/07/2015 | Mi 29/07/2015 | Mi 05/08/2015 | PreEmergencia Ambiental |
| **Vi 24/07/2015** | Vi 10/07/2015 | Vi 31/07/2015 | Vi 07/08/2015 | Vi 14/08/2015 | PreEmergencia Ambiental |

Los flujos vehiculares tanto del día del episodio como de los días de comparación se encuentran en el Anexo digital de nombre *"Análisis Flujos Vehiculares"*, el cuál consta de una hoja para cada episodio (16 hojas en total), y a su vez cada hoja contiene una plantilla de análisis de datos correspondiente a cada una de las estaciones de conteo de tráfico (50 plantillas por cada hoja).

Estas plantillas entregan el promedio de los flujos para cada hora considerando los 4 días de comparación donde no rige la medida, y el porcentaje de variación de los flujos por hora al comparar los datos del episodio crítico versus el flujo promedio para días de normales. [6] [7]

[6] Debido a la falta de información presente en la data, existen ECAT que no cuentan con datos para algunos días de comparación. Se considera que una ECAT posee datos válidos para un episodio cuando a lo menos dos de los días de comparación cuentan con mediciones en todas las horas del día.

[7] Existen 22 casos (de un total de 7057) en los cuales, para un episodio, hora y ECAT en específico no se presentan mediciones en los días que interfieren en el análisis, sin embargo, presentan mediciones para las demás horas, por lo que se consideran ECAT válidas. Estas muestras quedan categorizadas como Outlier Tipo 4.

Con el fin de obtener resultados confiables se realizan algunos filtros a la data de los días de comparación:

- Para los ejes que cuenten con vías reversibles se eliminan todos los datos que no debiesen estar presentes, ya que el flujo debiese ir en sentido contrario durante esas horas.[8]
- Durante el año 2015 se realizó en nuestro país la Copa América, el flujo vehicular durante las horas de los partidos que disputó la Selección Chilena de Futbol decae considerablemente, por lo que se eliminan esos datos para evitar que interfieran en los resultados.[9]

Por otro lado, buscando eliminar mediciones anómalas producto de choques o trabajos puntuales en las vías, y así obtener datos promedios por hora a partir de datos consistentes, se define un criterio para eliminar los datos anómalos dentro de las muestras.

Debido a que las magnitudes de los flujos varían dependiendo la hora y la calle donde se realicen las mediciones, se busca un parámetro estadístico que sea útil para aplicar el criterio a las distintas muestras de datos, este parámetro es el coeficiente de variación de Pearson o también llamado dispersión relativa.

El Coeficiente de Variación (CV) es una medida relativa de la variabilidad, que entrega la proporción que representa la desviación estándar respecto a la media, se utiliza para comparar la variabilidad de muestras con distintas escalas o magnitudes. Este coeficiente pierde validez cuando su media se acerca a cero, ya que puede adoptar valores muy grandes sin necesariamente tener una gran variabilidad. Generalmente se expresa en porcentaje.[10] [Peña Sanchez de Rivera, 1992]

$$\mathrm{CV} = \frac{s}{\bar{X}} * 100 \quad (5)$$

Donde:

$$\mathrm{CV} = \text{coeficiente de variación } [\%]$$

$$s = desviación\ estandar\ típica\ \left[\frac{veh}{hr}\right]$$

$$\bar{X} = media\ \left[\frac{veh}{hr}\right]$$

[8] En anexo D –"Varios" se presenta el detalle de las vías reversibles, fuente UOCT.

[9] En anexo D – "Varios" se presenta el detalle de los partidos disputados por la Selección Chilena durante la Copa América Chile 2015.

[10] Basado en el libro "Estadística – Modelos y Métodos Vol 1" escrito por Daniel Peña Sánchez de Rivera, Segunda Edición Revisada.

El criterio se aplica a cada muestra de flujo vehicular horario (compuesta por los datos de flujo vehicular de los días de comparación) que su media sea mayor a 100 [veh], abarcando todas las estaciones de conteo automático de tráfico para todos los episodios constatados durante el periodo de estudio.

El criterio de eliminación de datos anómalos empieza discriminando si CV de la muestra es mayor, menor o igual a 15%, si el CV es menor o igual a 15% la muestra se considera válida. Si el CV es mayor a 15% se elimina el dato más alejado a la media, obteniendo una nueva muestra con una nueva media ($\bar{X}_{nueva}$) y un nuevo coeficiente de variación ($CV_{nuevo}$).

Luego, si el CV nuevo cumple con el criterio de ser menor o igual al 15%, la nueva muestra se considera válida[11], en caso contrario se elimina la muestra, argumentando una no-representatividad de la media.[12]

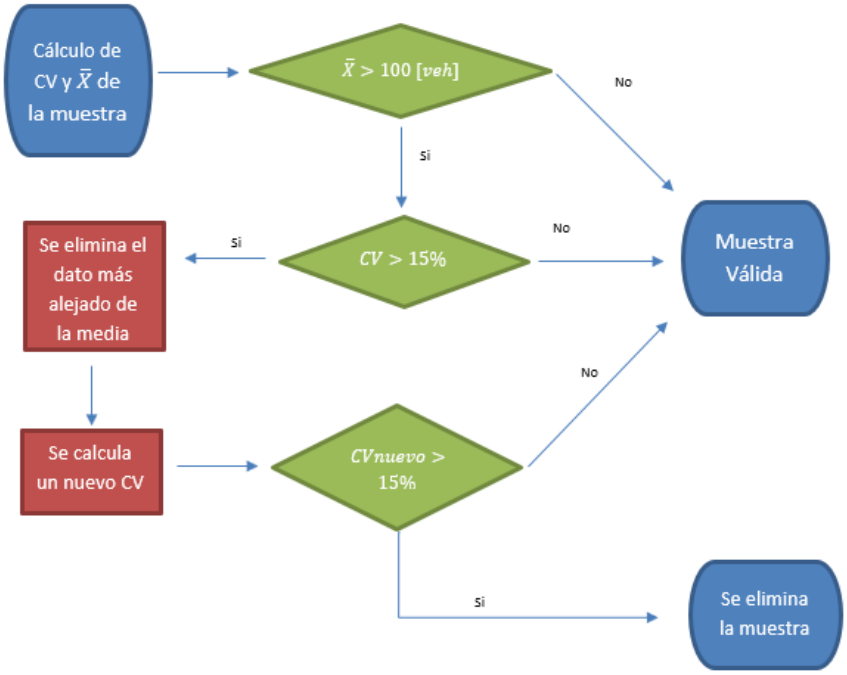


*Figura 2-3: Diagrama de bloque de criterio de eliminación de datos anómalos.*

[11] La muestra queda categorizada como Outlier Tipo 1
[12] La muestra queda categorizada como Outlier Tipo 2

El criterio anterior es válido para muestras con tres o cuatro datos. Para muestras con dos datos, si CV > 15% la muestra se elimina argumentando no-representatividad. [13]

El detalle de las muestras que en una primera instancia tienen un CV>15% se encuentra en el anexo digital *"Outliers"*.

Para realizar un correcto análisis precisa necesario el que todas las ECAT involucradas en el estudio contengan datos para todas las horas del día. En consecuencia, el flujo promedio S/RV para los casos en los cuales su media no se considera representativa, a partir del criterio expuesto anteriormente, se calcula como una interpolación lineal basada en los datos de las horas anterior y posterior. [14] [15] [16]

Luego se procede a exportar los valores de los flujos vehiculares para los días con restricción y los valores promedios para los días donde no se aplica la medida, cada grupo de datos segmentado por estación de monitoreo, fecha del episodio, día del episodio, comuna, hora de medición y tipo de episodio.

*Tabla 2.6: Extracto de Base de Datos de confección propia.*

| Año | Episodio | Día | Código | Comuna | Hora | Flujos C/RV | Flujo Prom S/RV | Tipo Episodio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2010 | Lu 10-05-2010 | Lunes | E005P0 | Providencia | 01:00:00 | 104 | 99 | PreEmergencia |
| 2010 | Lu 10-05-2010 | Lunes | E005P0 | Providencia | 02:00:00 | 49 | 60 | PreEmergencia |
| 2010 | Lu 10-05-2010 | Lunes | E005P0 | Providencia | 03:00:00 | 35 | 42 | PreEmergencia |
| 2010 | Lu 10-05-2010 | Lunes | E005P0 | Providencia | 04:00:00 | 65 | 63 | PreEmergencia |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 2012 | Ma 17-07-2012 | Martes | E064O0 | E.central | 15:00:00 | 698 | 774 | PreEmergencia |
| 2012 | Ma 17-07-2012 | Martes | E064O0 | E.central | 16:00:00 | 716 | 789 | PreEmergencia |
| 2012 | Ma 17-07-2012 | Martes | E064O0 | E.central | 17:00:00 | 766 | 880 | PreEmergencia |
| 2012 | Ma 17-07-2012 | Martes | E064O0 | E.central | 18:00:00 | 862 | 919 | PreEmergencia |
| 2012 | Ma 17-07-2012 | Martes | E064O0 | E.central | 19:00:00 | 699 | 794 | PreEmergencia |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 2015 | Vi 24-07-2015 | Viernes | E116S0 | Barnechea | 20:00:00 | 1004 | 1236 | PreEmergencia |
| 2015 | Vi 24-07-2015 | Viernes | E116S0 | Barnechea | 21:00:00 | 828 | 936 | PreEmergencia |
| 2015 | Vi 24-07-2015 | Viernes | E116S0 | Barnechea | 22:00:00 | 525 | 604 | PreEmergencia |
| 2015 | Vi 24-07-2015 | Viernes | E116S0 | Barnechea | 23:00:00 | 612 | 689 | PreEmergencia |

[13] La muestra queda categorizada como Outlier Tipo 3

[14] Para datos correspondientes a 01:00 horas y 23:00 horas, se realiza una proporción simple con los datos de 02:00 horas y 22:00 horas correspondientemente.

[15] Para los casos en que no se presentan mediciones tanto para los días de comparación como para el día del episodio, esos flujos se estiman mediante un promedio entre las mediciones en las horas anterior y posterior. (Outlier Tipo 4)

[16] El episodio del 23/06/2015 para la ECAT E116S0 a las 23:00 horas no presenta medición para el flujo C/RV, éste se estima a partir de una proporción simple con datos de 22:00 horas.

Producto de la falta de información presente en la data es que no se tiene el mismo número de ECAT con datos válidos para los distintos episodios, con el fin de tener una data homogénea para episodios producidos dentro de un mismo año se determinan criterios por año para decidir que ECAT serán parte del estudio para cada episodio.

Los años 2010 y 2014 se decreta solo un episodio en día hábil por año, por lo que el análisis de esos años se realiza utilizando los datos de todas las estaciones que cuentan con datos para tal episodio. Los años 2011 y 2012 se decretan dos episodios por año, por lo que el análisis de ese año se realiza con las estaciones que cuenten con datos para ambos episodios durante cada año.

El año 2015 se decretan 10 días de preemergencia ambiental, se tiene una gran variabilidad en cuanto a estaciones con datos válidos para cada episodio. Buscando darle homogeneidad y consecuencia al estudio que se realiza en particular para los distintos episodios del año 2015 se establece un criterio de incluir en el análisis solo a las estaciones que cuenten con datos validados para más del 80% de las preemergencias decretadas durante el año.[17]

Finalmente, y para todos los años, solo se consideran en el análisis los ejes en los cuales todas sus ECAT cumplan con los criterios antes señalados.

En relación con lo descrito en los párrafos anteriores, la tabla 2.7 señala que estaciones de conteo de tráfico forman parte del análisis para cada año:

*Tabla 2.7: Catastro de estaciones que inciden en el análisis para cada año.*

| Año | Códigos de ECAT | | | | | N° Estaciones | N° Ejes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | E005P0 | E042O0 | E061N0 | E061S0 | E064O0 | 15 | 9 |
| | E064P0 | E073O0 | E073O1 | E073P0 | E073P1 | | |
| | E089O0 | E097N0/E116N0 | E097S0/E116S0 | E113O0 | E114O0 | | |
| 2014 | E005P0 | E042O0 | E061N0 | E061S0 | E064O0 | 18 | 10 |
| | E064P0 | E073O0 | E073O1 | E073P0 | E073P1 | | |
| | E078N0 | E078S0 | E080O0 | E080P0 | E097N0/E116N0 | | |
| | E097S0/E116S0 | E113O0 | E114O0 | | | | |
| 2012 | E005P0 | E057N0 | E057S0 | E064O0 | E064P0 | 15 | 8 |
| | E073O0 | E073O1 | E073P0 | E073P1 | E078N0 | | |
| | E078S0 | E083N0 | E083S0 | E089O0 | E114O0 | | |
| 2011 | E005P0 | E007O0 | E007O1 | E007P0 | E015S0 | 24 | 14 |
| | E016N0 | E031N0 | E031S0 | E042O0 | E045P0 | | |
| | E057N0 | E057S0 | E064O0 | E064P0 | E078N0 | | |
| | E078S0 | E080O0 | E080P0 | E083N0 | E083S0 | | |
| | E089O0 | E097N0/E116N0 | E097S0/E116S0 | E113O0 | | | |
| 2010 | E005P0 | E007O0 | E007O1 | E007P0 | E011O0 | 32 | 17 |
| | E015S0 | E016N0 | E031N0 | E031S0 | E035P0 | | |
| | E036O0 | E045P0 | E061N0 | E061S0 | E064O0 | | |
| | E064P0 | E073O0 | E073O1 | E073P0 | E073P1 | | |
| | E083N0 | E083S0 | E089O0 | E091O0 | E091O1 | | |
| | E091P0 | E091P1 | E093O0 | E096O0 | E097N0/E116N0 | | |
| | E097S0/E116S0 | E113O0 | | | | | |

[17] En anexo D – "Varios" se encuentra el detalle de la cantidad de episodios que cuentan con datos válidos para cada ECAT para el año 2015.

La política de RV en la Región Metropolitana rige desde las 07:30 horas a las 21:00 horas y los datos de flujos vehiculares se encuentran cada una hora, por lo que se determina que para fines del estudio las horas donde rige la medida serán los datos comprendidos en el periodo 07:00 – 21:00 horas.

En una primera instancia se estudia el comportamiento de los flujos en las vías para los episodios de preemergencia ambiental decretado entre el año 2010 y el año 2015, buscando determinar la variabilidad del impacto de la medida en los distintos episodios, para eso se compara la cantidad de vehículos que circulan en promedio un día hábil normal y la cantidad de vehículos contabilizados los días que se prohíbe la libre circulación a un porcentaje de los vehículos con sello verde según su último dígito de placa patente (2 dígitos).

En una segunda parte, se estudia el comportamiento de los flujos dependiendo la zona geográfica. Las estaciones de monitoreo de control de tránsito se agrupan dependiendo la comuna donde se encuentren, se realiza esta segmentación para encontrar un patrón de nivel de actividad representativo de una comuna y no solo de algún eje en particular.

Luego de tener una segmentación por comuna, se buscan similitudes y diferencias entre las distintas comunas, considerando tanto los perfiles de flujo horario como el impacto que la aplicación de la medida genera en éstos.

Para llegar al perfil característico de cada comuna y zona se sigue la metodología expuesta en la figura 2.4.

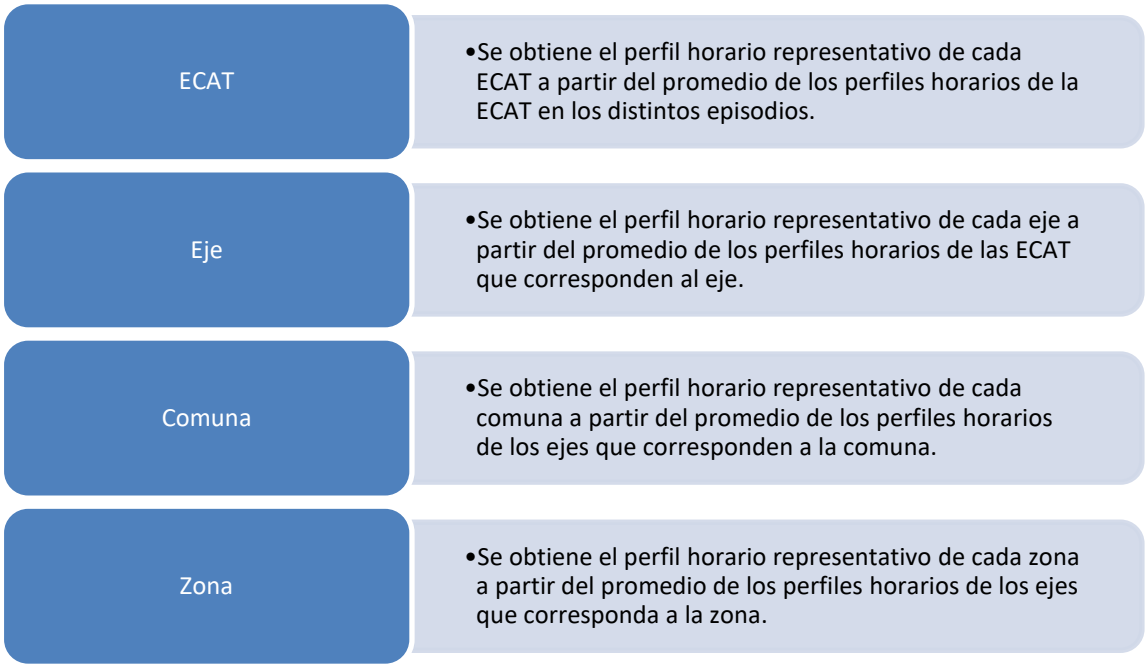


*Figura 2-4: Metodología para obtener perfil de flujos caracteristico para cada comuna y zona.*

Posteriormente, se determina el impacto de la medida en los flujos vehiculares para cada episodio, basado en el impacto en los flujos según zona y la distribución de viajes en la Región Metropolitana, según la Encuesta Origen-Destino del año 2012.[18] [SECTRA, 2015]

Se determinan 5 periodos de estudio, para así encontrar posibles cambios en la distribución horaria normal de los viajes producto de la aplicación de la medida:

- Todo el día: 01:00 – 24:00 horas.
- Antes de aplicación de la medida: 05:00 – 07:00 horas.
- Después de aplicación de la medida: 21:00 – 23:00 horas.
- Influencia de la medida: 05:00 – 23:00 horas.
- Aplicación de la medida: 07:00 – 21:00 horas.

Finalmente se estudia el resultado global de la política de Restricción Vehicular decretada en episodios críticos de calidad del aire para vehículos C/SV, discriminando según último dígito de placa patente.

[18] Encuesta Origen-Destino Santiago 2012, elaborado por el Observatorio Social de la Universidad Alberto Hurtado, a través de la Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA).

## 2.2 Resultados flujos vehiculares

En esta sección se exponen los distintos resultados obtenidos a partir del análisis, se encuentran los resultados según zona geográfica de las ECAT, resultados para cada episodio dentro del periodo de estudio y finalmente un resultado global del impacto producido por la Restricción Vehicular de vehículos C/SV en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago.

### 2.2.1 Variabilidad de impacto según episodios

A lo largo del periodo de estudio, comprendido entre los años 2010 – 2015, se desarrollan 16 episodios de preemergencia ambiental coincidentes con días hábiles, los episodios críticos de calidad de aire decretados durante estos años ocurren entre los meses de Mayo y Julio.

Se realiza la comparación entre cantidad de vehículos circulantes para días donde se aplica la medida y días donde no se aplica, considerando los vehículos medidos en todas las ECAT que inciden en el análisis de cada episodio durante las horas donde se aplica la medida. Esta comparación se realiza con el fin de encontrar incidencia en la variación de flujos vehiculares de variables externas que no se relacionen a la aplicación de la medida.

*Tabla 2.8: Comparación de vehículos en circulación días C/RV y días S/RV para cada episodio.*

| **Vehículos contabilizados durante periodo aplicación RV en total de ECAT (07:00-21:00 horas)** | | | |
|---|---|---|---|
| Episodio | Dia C/RV | Días S/RV | Variación |
| Lu 10-05-2010 | 475559 | 519016 | -8.37% |
| Mi 01-06-2011 | 371194 | 398283 | -6.80% |
| Vi 08-07-2011 | 355259 | 375306 | -5.34% |
| Vi 08-06-2012 | 220843 | 235941 | -6.40% |
| Ma 17-07-2012 | 197148 | 224845 | -12.32% |
| Mi 18-06-2014 | 263094 | 336010 | -21.70% |
| Vi 05-06-2015 | 214990 | 230280 | -6.64% |
| Ma 16-06-2015 | 232883 | 248604 | -6.32% |
| Vi 19-06-2015 | 243674 | 256664 | -5.06% |
| Ma 23-06-2015 | 216286 | 225486 | -4.08% |
| Ma 30-06-2015 | 233152 | 248736 | -6.27% |
| Mi 01-07-2015 | 236959 | 250178 | -5.28% |
| Ju 02-07-2015 | 240741 | 248620 | -3.17% |
| Vi 03-07-2015 | 238957 | 256087 | -6.69% |
| Mi 22-07-2015 | 190532 | 211334 | -9.84% |
| Vi 24-07-2015 | 220508 | 243589 | -9.48% |

En la tabla 2.8 se muestra la cantidad de vehículos constatados en los distintos episodios, cabe mencionar que el orden de magnitud de los valores varía en los distintos episodios debido a la cantidad de ECAT que inciden en su análisis. Se presentan con rojo cuatro episodios en los cuales la variación de vehículos se aleja de los resultados obtenidos por el grueso de los días donde se decreta RV a vehículos C/SV. [19][20][21]

Los episodios correspondientes a los días Martes 17/07/2012, Miércoles 22/07/2015 y Viernes 24/07/2015 se registran en la segunda quincena de Julio, semanas donde habitualmente se lleva a cabo las vacaciones de invierno para los colegios. Considerando que, según la Encuesta Origen Destino 2012, los viajes cuyo propósito es estudio corresponde a un 19.5% del total de viajes generados en la Región Metropolitana, la variación en la cantidad de vehículos para esos episodios no es atribuible solo a la implementación de Restricción Vehicular a vehículos C/SV, sino que responde también a una baja en los vehículos en circulación debido a las vacaciones de invierno de los colegios.

El otro episodio marcado con rojo en la tabla 2.8, Miércoles 18/06/2014, presenta una variación de un 21.70% en la cantidad de vehículos medidos en las ECAT, éste valor es atribuible principalmente a que ese día a las 15:30 horas la selección chilena de futbol se enfrentó a la selección española de futbol, en el marco del Mundial de Futbol de Brasil 2014. Los flujos durante gran parte del día se vieron afectados por este evento, la figura 2.5 muestra la comparación entre el perfil de flujos para el día Miércoles 18/06/2014 y el perfil de flujos para días S/RV.

[19] El día Mi 01/06/2011 se realiza una marcha estudiantil en la Alameda, que incluye cortes de tránsito, por lo que se elimina del análisis la ECAT E113O0

[20] El día Vi 08/07/2011 a las 18:30 horas la selección chilena de futbol enfrentó a la selección uruguaya de futbol en el marco de la Copa América Argentina 2011, por lo que los flujos disminuyen en gran medida en horas de la tarde, debido a esto se eliminan del análisis los datos de mediciones entre 19:00 – 21:00 horas.

[21] El día Vi 08/06/2012 se presentan trabajos en la calle Cardenal José María Caro, afectando en gran medida el tránsito normal por esa arteria, debido a esto se eliminan del análisis las ECAT relacionadas a este eje. (E073P0, E073P1, E073O0, E073O1)

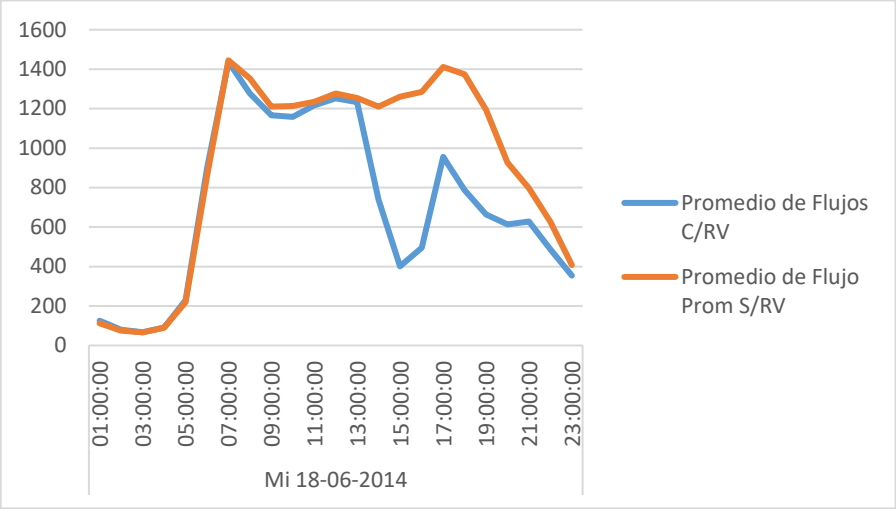


*Figura 2-5: Perfil de flujos promedio S/RV y C/RV, correspondiente al episodio de preemergencia ambiental declarado el día miércoles 18/06/2014.*

Debido a lo expuesto en los párrafos anteriores, en posteriores análisis no se consideran los episodios antes descritos, ya que no representan un día hábil normal.

Por lo tanto, del total de 16 episodios de Preemergencia Ambiental decretados en días hábiles durante los años de estudio, se mantienen en el análisis 12 episodios, 4 de ellos ocurridos en el periodo 2010-2014, y 8 decretados durante el año 2015.

### 2.2.2 Impacto según geolocalización

El patrón de flujos de un eje durante el día depende en gran medida al tipo de calle y al sector geográfico en donde se realiza la medición, el nivel de variación de los flujos también se relaciona de gran manera con la zona donde se realizan las mediciones. Para el año 2015 se tienen 10 episodios de preemergencia ambiental, de acuerdo con lo expresado en la tabla 2.9, el análisis del año 2015 se realiza en base a 15 estaciones, que equivalen a 9 ejes, abarcando cinco comunas de la Región Metropolitana.

Se establece como referencia el año 2015 para estudio del comportamiento de los flujos en relación con el sector de la ciudad, ya que, al tener mayor cantidad de episodios críticos constatados, los resultados obtenidos presentan una mayor representatividad.

*Tabla 2.9: Estaciones de conteo automático de tráfico que inciden en el análisis de los episodios constatados el año 2015.*

| Comuna | Eje | Código Estación |
|---|---|---|
| Providencia | Eliodoro Yáñez | E005P0 |
| | Pocuro | E089O0 |
| Lo Barnechea | La Dehesa | E116N0 |
| | | E116S0 |
| Macul | Vicuña Mackenna | E061N0 |
| | | E061S0 |
| Estación Central | 5 Abril | E064O0 |
| | | E064P0 |
| Santiago | Cardenal José María Caro | E073O0 |
| | | E073O1 |
| | | E073P0 |
| | | E073P1 |
| | Mapocho | E042O0 |
| | Alameda | E113O0 |
| | Libertador Bernardo O'Higgins | E114O0 |

De acuerdo con lo expuesto en el apartado 2.2.1, el análisis relacionado a la variación en los flujos vehiculares dependiendo la zona geográfica se realiza basado en los 8 episodios decretados durante el año 2015 representativos como un día hábil normal. (se excluyen 2 episodios decretados durante el periodo de vacaciones de invierno). [22]

[22] No se consideran en el cálculo los datos correspondientes al episodio Viernes 19/Junio/2015 entre 20:00 – 24:00 horas, ya que el flujo normal se ve alterado por el partido de la Selección Chilena de Fútbol en el marco de la Copa América Chile 2015

### 2.2.2.1 Resultados según comuna

La figura 2.6 presenta el perfil promedio diario de flujos vehiculares para la comuna de Lo Barnechea, correspondiente al eje Av. La Dehesa, cuyas mediciones se realizan entre las calles Av. Las Condes y Monseñor Escriba de Balaguer.

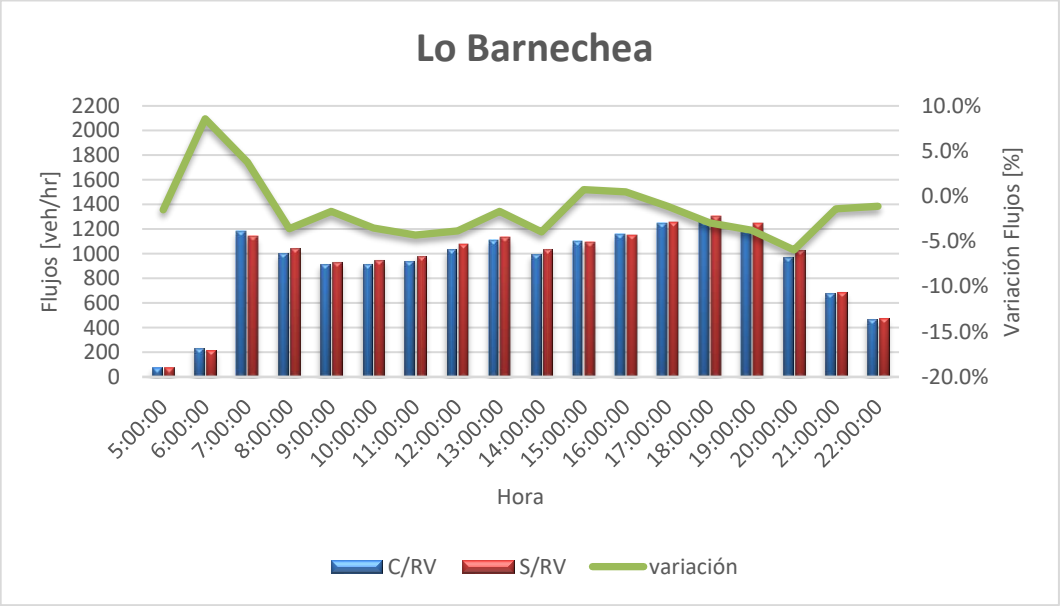


*Figura 2-6: Perfiles promedio de flujo C/RV y S/RV para comuna de Lo Barnechea.*

En el perfil de flujos de la comuna de Lo Barnechea se distinguen los dos horarios puntas característicos de la Región Metropolitana, por un lado, se presenta el horario punta mañana entre las 07:00 – 09:00 horas y por otro lado el horario punta tarde entre las 17:00 – 20:00 horas.

En la figura 2.6 se aprecia un aumento de un 8.6% en el flujo vehicular en la hora antes al inicio de la aplicación de la medida (06:00 – 07:00 horas), atribuible a un adelantamiento de los viajes con el fin de evitar circular por la ciudad durante las horas donde rige la medida. El periodo entre las 07:00 – 08:00 horas también presenta un aumento en el flujo vehicular, si bien para fines de nuestro análisis este periodo equivale a la primera hora de aplicación de RV, el aumento en el flujo vehicular también puede ser atribuible al adelantamiento de viaje, debido a que la medida empieza a regir a partir de las 07:30 horas, por lo que esos viajes pudieron haber sido efectuados durante la primera media hora de medición (07:00 – 07:30 horas).

El periodo entre 15:00 – 17:00 horas presenta aumentos en el flujo vehicular de un 0.6% promedio, este periodo coincide con el horario de salida de la mayoría de los colegios, de

lo que se puede inferir que los viajes realizados en vehículo particular por motivo estudios en esta comuna se siguen realizando los días donde se aplica la medida de RV, ya sea debido a la tenencia de un segundo vehículo o a la contratación de un servicio de transporte particular de pasajeros (taxi y sus variaciones).

El periodo en el que se registra la disminución en el flujo más considerable es entre las 20:00 – 21:00 horas, registrando un flujo vehicular en días con RV un 5.9% más bajo que el que se registra un día normal en el cuál no se aplica la medida.

En la tabla 2.10 se presentan las variaciones en la cantidad de vehículos promedio contabilizados considerando distintos periodos de tiempo.

*Tabla 2.10: Impacto de la RV en los flujos para distintos periodos, comuna de Lo Barnechea.*

| Lo Barnechea | | | |
|---|---|---|---|
| Periodo | C/RV [veh] | S/RV [veh] | Variación [%] |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 17111 | 17503 | -2.2% |
| Periodo (05:00-23:00) | 16499 | 16831 | -2.0% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 308 | 291 | 6.0% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1150 | 1164 | -1.3% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 15041 | 15375 | -2.2% |

Como se aprecia en la tabla 2.10, en el periodo antes del inicio de la aplicación de RV se presenta un aumento en el flujo vehicular de un 6.0%, por otro lado, durante la aplicación de la RV se presenta una disminución de los flujos de un 2.2%. Sin embargo, estos dos valores no admiten comparaciones, debido a que la cantidad de vehículos involucrados en ambos periodos son totalmente distintas.

La figura 2.7 presenta el perfil promedio diario de flujos vehiculares para la comuna de Macul, correspondiente al eje Av. Vicuña Mackenna, cuyas mediciones se realizan entre las calles Benito Rebolledo y Pablo Buchard.

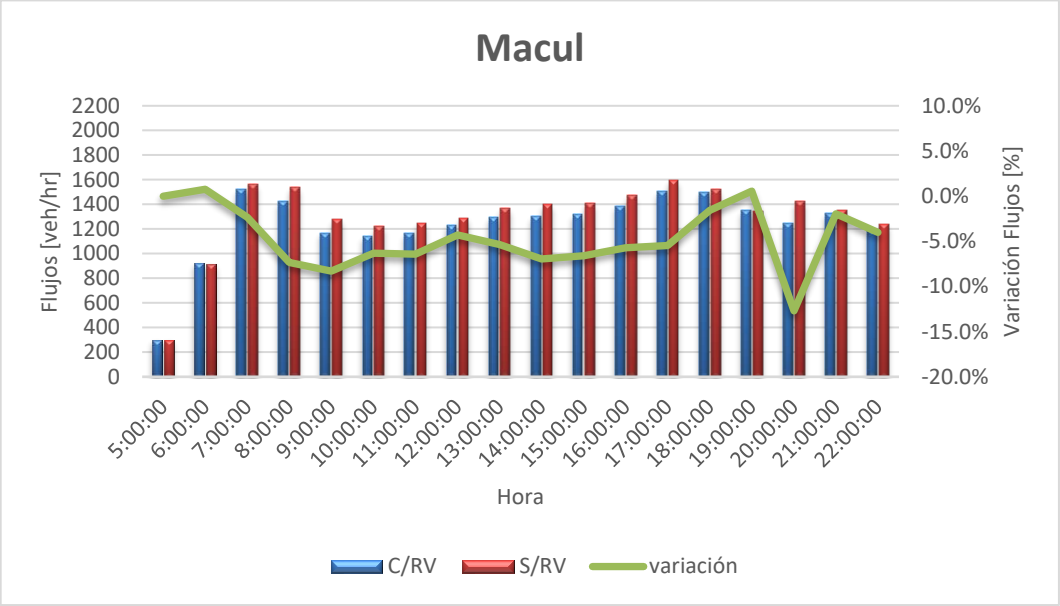


*Figura 2-7: Perfiles promedio de flujo C/RV y S/RV para comuna de Macul.*

En el perfil de flujos de la comuna de Macul se distinguen las horas punta de mañana y tarde. En la figura 2.7 se aprecia un aumento en el flujo vehicular solo en los periodos 06:00 – 07:00 horas y 19:00 – 20:00 horas, con valores de 0.8% y 0.5% respectivamente.

Durante las horas de aplicación de la medida se presentan en su mayoría (exceptuando los dos casos antes señalados) una disminución de los flujos vehiculares en los días donde se decreta RV para vehículos C/SV, el periodo en el que mayor impacto se genera es entre las 20:00 – 21:00 horas, alcanzando una disminución del 12.7%; también se puede apreciar que la magnitud de la disminución en los flujos durante gran parte del día se mantiene oscilando alrededor de un 5.5%.

En la tabla 2.11 se encuentran los resultados de impacto en los flujos, considerando distintos periodos de estudio, para un día promedio de restricción vehicular en la comuna de Macul.

*Tabla 2.11: : Impacto de la RV en los flujos para distintos periodos, comuna de Macul.*

| Macul | | | |
|---|---|---|---|
| Periodo | C/RV [veh] | S/RV [veh] | Variación [%] |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 24165 | 25329 | -4.6% |
| Periodo (05:00-23:00) | 22286 | 23456 | -5.0% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1222 | 1215 | 0.6% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 2512 | 2588 | -3.0% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 18553 | 19654 | -5.6% |

En la tabla 2.11 se aprecia que en la comuna de Macul mientras rige la medida la cantidad de vehículos que circulan durante un día de Preemergencia Ambiental disminuye un 5.6% en comparación a la cantidad de vehículos que circulan normalmente durante esas horas en un día hábil normal. El aumento de vehículos en días con RV durante el periodo antes de que inicie a regir la medida es de un 0.6%, mientras que para el periodo posterior al término de la restricción los flujos para días con RV siguen siendo menores que para días hábiles normales, pero la magnitud del impacto es menor.

La figura 2.8 presenta los perfiles diarios de flujos vehiculares para un día promedio en que se decreta RV a vehículos C/SV y para un día hábil normal en la comuna de Estación Central, específicamente al eje Av. 5 de Abril, cuyas mediciones se realizan entre la calle Asturias y la calle Sevilla.

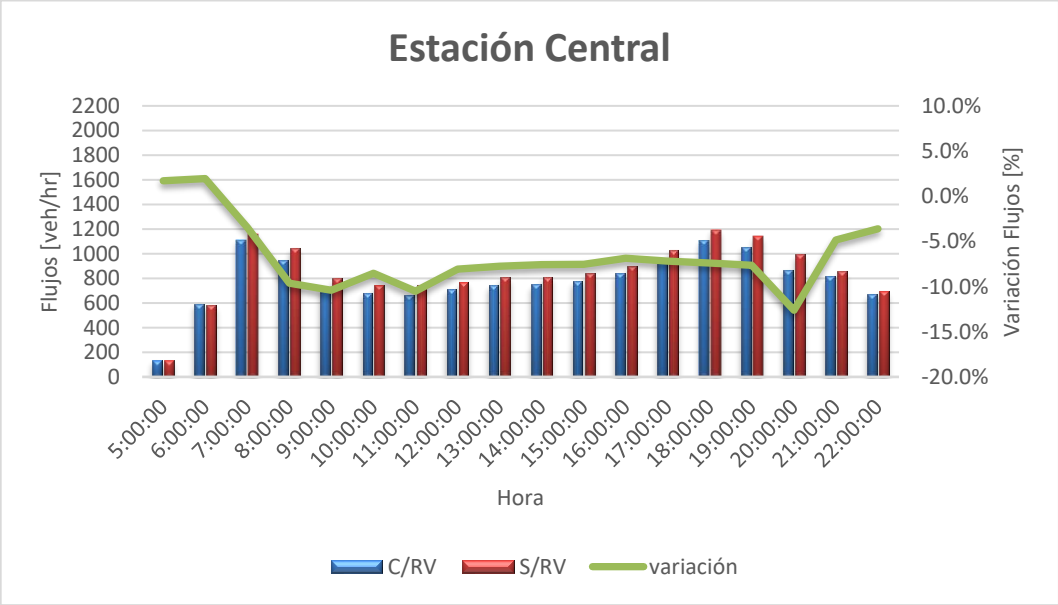


*Figura 2-8: Perfiles promedio de flujo C/RV y S/RV para comuna de Estación Central.*

En los perfiles de flujos expuestos en la figura 2.8 se distinguen claramente las horas punta de mañana y las horas punta de tarde, el perfil de flujos para días C/RV es similar en forma al perfil que se obtiene para días S/RV, presentando los máximos flujos en los mismos intervalos de tiempo: 07:00 – 08:00 horas para la mañana y 18:00 – 19:00 horas para la tarde.

Solo en horas anteriores a la aplicación de la medida se generan aumentos en los flujos vehiculares respecto a días sin aplicación de RV, durante las demás horas se presenta una disminución cuasi constante, presentándose entre 20:00 – 21:00 horas la magnitud de impacto más significativa, equivalente a una reducción en el flujo vehicular de un 12.6% respecto al habitual.

*Tabla 2.12: : Impacto de la RV en los flujos para distintos periodos, comuna de Estación Central.*

| Estación Central | | | |
|---|---|---|---|
| Periodo | C/RV [veh] | S/RV [veh] | Variación [%] |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 14923 | 16016 | -6.8% |
| Periodo (05:00-23:00) | 14119 | 15222 | -7.2% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 726 | 712 | 1.9% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1484 | 1551 | -4.3% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 11909 | 12959 | -8.1% |

Los días donde se aplica RV a vehículos S/SV en la Región Metropolitana, producen en la comuna de Estación Central un incremento en la cantidad de viajes desarrollados entre las 05:00 – 07:00 horas (antes de aplicación de RV), atribuible principalmente al adelantamiento de los viajes, con el fin de no estar afectos a la medida que prohíbe la libre circulación de algunos vehículos. Durante el periodo de aplicación de la medida se presenta una disminución de un 8.1% de la cantidad de vehículos circulantes en comparación a un día hábil normal. En horas posteriores al término de aplicación de la medida se sigue presentando una disminución en los flujos, sin embargo, de una magnitud menor a la disminución presentada durante horas donde rige la RV.

La figura 2.9 muestra el comportamiento promedio de los flujos vehiculares al transcurrir las horas para la comuna de Providencia, considerando en el análisis los ejes de Pocuro y Eleodoro Yañez, realizando las mediciones entre las calles Pdte. Alfaro/El Bosque Sur y Marchant Pereira/Matilde Salamanca respectivamente. Ambos ejes solo tienen tránsito en

un solo sentido, las vías de Pocuro van en dirección al Oriente, mientras que sobre Eleodoro Yañez solo transitan vehículos en dirección al Poniente.

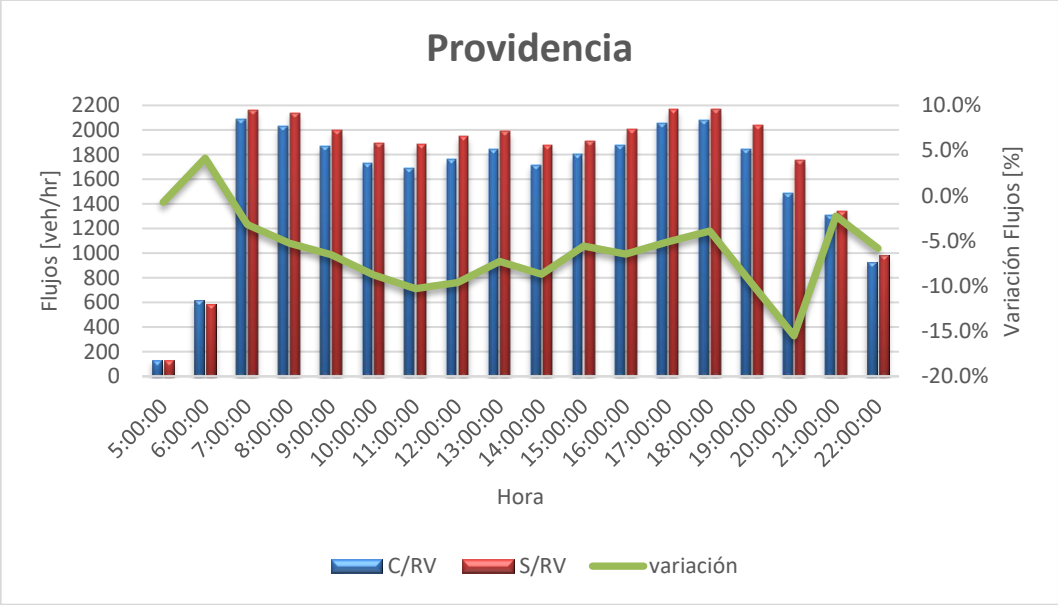


*Figura 2-9: Perfiles promedio de flujo C/RV y S/RV para comuna de Providencia.*

En relación con el perfil de flujos, en ambos escenarios (C/RV y S/RV) se aprecian claramente los *peaks* de mañana y tarde. Mientras rige la medida, en todas las horas se presenta una disminución de los flujos en días donde se decreta RV, registrándose la mayor disminución entre las 20:00 – 21:00 horas con una variación de un -15.5%, y presentándose las menores disminuciones en los periodos de 07:00 -08:00 horas con una reducción de un 3.2% y 18:00 – 19:00 horas con una reducción de un 3.9%, ambos periodos coinciden con los mayores flujos vehiculares del día.

Solo en la hora antes de la puesta en marcha de la medida de RV se registra un aumento en el flujo vehicular respecto al flujo habitual, este aumento es de un 4.2%.

*Tabla 2.13: : Impacto de la RV en los flujos para distintos periodos, comuna de Providencia.*

| Providencia | | | |
|---|---|---|---|
| Periodo | C/RV [veh] | S/RV [veh] | Variación [%] |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 30055 | 32243 | -6.8% |
| Periodo (05:00-23:00) | 28847 | 30979 | -6.9% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 744 | 720 | 3.3% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 2240 | 2328 | -3.8% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 25864 | 27931 | -7.4% |

De acuerdo con lo señalado en la tabla 2.13, en la comuna de Providencia los días de RV la cantidad de vehículos que circulan durante las horas donde rige la medida presentan una baja de un 7.4% respecto a los que circulan en días normales. Tal como en las comunas mencionadas anteriormente, en Providencia también se produce el fenómeno de adelantamiento de viajes los días donde se decreta Preemergencia Ambiental, lo que conlleva un aumento del 3.3% en la cantidad de vehículos que circulan durante las horas previas a la puesta en marcha de la medida; con relación a las horas posteriores a la aplicación de la medida, se sigue presentando una disminución en el flujo respecto a días normales, pero en menor magnitud.

La figura 2.10 muestra los perfiles promedio de flujo vehicular para un día hábil normal y para un día donde se decreta RV a vehículos C/SV para la comuna de Santiago Centro, basados en los ejes Alameda, Libertador Bdo OHiggins, Mapocho y Cardenal José María Caro con mediciones realizadas entre las calles J.Toribio Medina/Brasil , Portugal/Lira, Herrera/Chacabuco y José Miguel De La Barra/Purísima respectivamente.

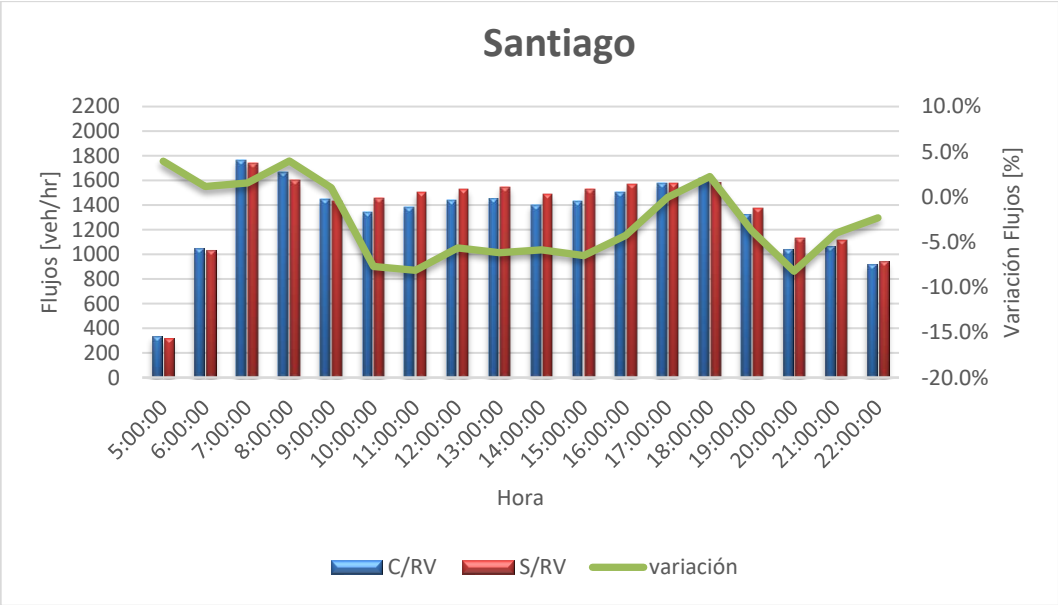


*Figura 2-10: Perfiles promedio de flujo C/RV y S/RV para comuna de Santiago.*

El perfil de flujos de la comuna de Santiago tiene como principal característica el tener un flujo cuasi constante durante gran parte del día, si bien presenta un *peak* en el flujo en horas de la mañana, en horas posteriores el flujo vehicular tiende a volverse constante. En cuanto al impacto que tiene la medida de RV a vehículos C/SV, se presentan disminución en los flujos durante las horas asociadas a horario valle (10:00 -16:00 horas), pero se presentan aumentos de los flujos en horas asociadas a horas punta de mañana y tarde

(08:00 – 09:00 horas; 18:00 – 19:00 horas), teniendo en consideración el comportamiento del flujo vehicular expuesto en el apartado 1.4, éste aumento en los flujos vehiculares evidenciaría que durante dichas horas el flujo se encuentra en modo congestionado, ya que pese a existir una menor demanda, las ECAT registran una mayor cantidad de vehículos.

Por último, y similar a lo que pasa en las demás comunas, la mayor disminución en el flujo vehicular se registra entre 20:00 - 21:00 horas, con una reducción de un 8.2%.

*Tabla 2.14: : Impacto de la RV en los flujos para distintos periodos, comuna de Santiago.*

| Santiago | | | |
|---|---|---|---|
| Periodo | C/RV [veh] | S/RV [veh] | Variación [%] |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 25570 | 26261 | -2.6% |
| Periodo (05:00-23:00) | 23732 | 24448 | -2.9% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1378 | 1354 | 1.8% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1989 | 2056 | -3.2% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 20364 | 21038 | -3.2% |

La tabla 2.14 muestra el impacto de la medida de RV a vehículos C/SV en la comuna de Santiago dependiendo el periodo de estudio que se estime, en las horas donde rige la medida, los días donde se aplica RV se presenta un 3.2% menos de vehículos que un día hábil normal. Al igual que en las demás comunas, si se considera el periodo que abarca las horas antes a la puesta en marcha de la medida, se encuentra un aumento en la cantidad de vehículos producto de un adelantamiento de los viajes buscando evadir la medida.

En resumen, considerando el periodo donde rige la medida de RV, la comuna de Lo Barnechea es la que presenta una menor diminución de flujo vehicular con una reducción de un 2.2%, lo sigue la comuna de Santiago con una reducción de un 3.2%, luego la comuna de Macul con una disminución de un 5.6%, finalizando con las comunas de Providencia y Estación Central con una reducción de un 7.8% y 8.1% respectivamente.

El menor impacto en los flujos producido en la comuna de Lo Barnechea se asocia al poder adquisitivo que tiene dicha comuna[23], por consecuencia posee una alta probabilidad de tener un segundo vehículo que no se encuentre afecto a la medida, o la posibilidad de contratar un servicio de transporte de pasajeros particular.

La disminución de 3.3% en el flujo vehicular en la comuna de Santiago se puede explicar debido a que la composición de la flota que circula por las calles principales de la comuna

[23]Según EOD 2012, Lo Barnechea es la segunda comuna con mayor tasa de motorización de la Región Metropolitana, con 1.57 vehículos/hogar, solo superada por la comuna de Vitacura con una tasa de motorización de 1.70 vehículos/hogar.

es distinta a las demás comunas, ya que existe un mayor porcentaje de transporte público (no afecto a restricción) circulando que en otras comunas.

El impacto en los flujos producido en las comunas de Macul, Providencia y Estación Central es considerablemente mayor a los obtenidos en Lo Barnechea y Santiago, sin embargo, se encuentran muy distantes a valores cercanos al 20% teórico de reducción de flujo que se aspira llegar al imposibilitar circular al 20% de los vehículos C/SV. (RV de dos dígitos)

La diferencia entre los resultados obtenidos y la reducción potencial teórica del flujo que tiene la medida de RV a vehículos C/SV puede ser producida por diversas causas: la tenencia de un segundo vehículo; el no cumplimiento conscientemente de la medida por parte de los conductores; el no cumplimiento de la medida por los conductores debido a no estar al tanto de que se decreta un episodio de preemergencia ambiental; el traspaso de esos viajes en trasporte particular a viajes en trasporte de pasajeros privado (taxi, radio taxi, colectivos) o por el aumento de los viajes diarios realizados por un vehículo particular para suplir los viajes que no realizan los vehículos afectos a la RV.

#### *2.2.2.2 Segmentación por zona*

Si bien, a partir del apartado anterior, se sabe el impacto que tiene la medida de RV a vehículos C/SV en algunos ejes y comunas en particular, es necesario extrapolar estos resultados para obtener el impacto de la medida en la Región Metropolitana de Santiago.

A partir de lo expuesto en los resultados del apartado 2.2.2.1 se encuentran similitudes y diferencias entre los patrones de flujos y comportamiento frente a la medida para las distintas comunas, estableciendo tres zonas con distinto comportamiento.

- Zona I: zona donde se mantiene un flujo cuasi constante durante gran parte del día y el impacto en la variación de flujos producto de la implementación de una RV a vehículos C/SV es intermedia. La comuna de Santiago pertenece a esta zona.

- Zona II: zona en la cual se presenta *peaks* de flujos vehiculares bien marcados en la mañana y en la tarde, y además la variación de flujo en días con RV v/s días S/RV permanece relativamente constante durante el periodo de aplicación de la medida. Son parte de esta zona las comunas de Estación Central, Macul y Providencia.

- Zona III: sector en el que se presentan *peaks* de flujo en la mañana y en la tarde, en esta zona el impacto en los flujos vehiculares producto de la aplicación de una RV a vehículos C/SV es baja. Lo Barnechea corresponde a esta zona.

Las comunas afectas a la Restricción Vehicular para episodios críticos de calidad de aire son las 32 comunas de Santiago más las comunas de San Bernardo y Puente Alto. De estas 34 comunas, las cinco estudiadas en el apartado anterior ya se encuentran categorizadas en alguna zona.

La zona I corresponde a un sector donde los flujos vehiculares durante el día no varían de gran forma, debido a ser un área comercial donde a lo largo del día se mantiene el nivel de actividad sin grandes fluctuaciones. Dentro de la Región Metropolitana solo la comuna de Santiago Centro cumple a cabalidad con tal característica.

La zona II al presentar dos horas punta bien definidas (mañana y tarde), se asemeja al comportamiento promedio que se presenta en la mayoría de las comunas de la RM, donde por la mañana se genera un aumento de flujo producto de la ida al trabajo/estudio y en la tarde se presenta otro aumento en el flujo producto de la vuelta del trabajo/estudio. Por lo

que dentro de la zona II se incluyen las comunas que no se incluyen en las otras dos zonas.[24]

La zona III tiene como característica representar a un sector con alto poder adquisitivo, por lo que las comunas con mayor índice de motorización por hogar se categorizan en esta zona.[25] Según la EOD 2012, las tres comunas de la Región Metropolitana con mayor índice de motorización por hogar, en orden descendente, son: Vitacura, Lo Barnechea, Las Condes.

En la tabla 2.15 se presenta un resumen de la información referente a cada zona.

*Tabla 2.15: Descripción de cada zona de estudio.*

| Zona | Características | Descripción del perfil de flujos | Impacto frente a RV | Comunas estudiadas | Comunas de la RM de Santiago |
|---|---|---|---|---|---|
| Zona I | Sector Comercial | Flujo cuasi constante durante gran parte del día | Medio | Santiago Centro | Santiago Centro |
| Zona II | Comuna promedio | Horario punta mañana y punta tarde bien definidos | Alto | Providencia<br>Macul<br>Estación Central | Demás comunas de RM de Santiago más Puente Alto y San Bernardo |
| Zona III | Sector con ingresos altos | Horario punta mañana y punta tarde bien definidos, con un incremento en los flujos durante horario de almuerzo | Bajo | Lo Barnechea | Lo Barnechea<br>Vitacura<br>Las Condes |

[24] Las comunas incluidas en la zona II son: Cerrillos, Cerro Navia, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Florida, La Granja, La Pintana, La Reina, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Pedro Aguirre Cerda, Peñalolén, Providencia, Pudahuel, Puente Alto, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Bernardo, San Joaquín, San Miguel y San Ramón.

[25] En anexos se presenta el detalle del índice de motorización para cada comuna.

*Tabla 2.16: Impacto en los flujos vehiculares para cada hora del día, según zona de estudio.*

| Escenario / Hora | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 296 | 276 | 7.3% | 194 | 186 | 4.0% | 95 | 100 | -5.3% |
| 1:00:00 | 296 | 276 | 7.3% | 194 | 186 | 4.0% | 95 | 100 | -5.3% |
| 2:00:00 | 186 | 180 | 3.3% | 107 | 110 | -2.8% | 47 | 62 | -23.5% |
| 3:00:00 | 148 | 153 | -3.4% | 82 | 83 | -0.8% | 35 | 49 | -27.2% |
| 4:00:00 | 167 | 169 | -1.2% | 97 | 96 | 1.4% | 33 | 44 | -25.7% |
| 5:00:00 | 332 | 320 | 4.0% | 187 | 186 | 0.2% | 74 | 75 | -1.5% |
| 6:00:00 | 1046 | 1034 | 1.1% | 710 | 696 | 2.1% | 235 | 216 | 8.6% |
| 7:00:00 | 1764 | 1737 | 1.6% | 1576 | 1625 | -3.0% | 1183 | 1140 | 3.8% |
| 8:00:00 | 1665 | 1601 | 4.0% | 1464 | 1573 | -6.9% | 1004 | 1041 | -3.6% |
| 9:00:00 | 1446 | 1431 | 1.0% | 1250 | 1357 | -7.9% | 917 | 933 | -1.7% |
| 10:00:00 | 1344 | 1456 | -7.7% | 1184 | 1287 | -8.0% | 917 | 951 | -3.5% |
| 11:00:00 | 1378 | 1499 | -8.1% | 1172 | 1289 | -9.1% | 940 | 982 | -4.3% |
| 12:00:00 | 1439 | 1526 | -5.7% | 1234 | 1335 | -7.6% | 1038 | 1080 | -3.8% |
| 13:00:00 | 1451 | 1547 | -6.2% | 1294 | 1387 | -6.7% | 1111 | 1130 | -1.7% |
| 14:00:00 | 1401 | 1488 | -5.9% | 1256 | 1363 | -7.9% | 997 | 1038 | -4.0% |
| 15:00:00 | 1428 | 1528 | -6.5% | 1298 | 1386 | -6.3% | 1098 | 1091 | 0.7% |
| 16:00:00 | 1500 | 1567 | -4.3% | 1367 | 1459 | -6.3% | 1157 | 1151 | 0.5% |
| 17:00:00 | 1573 | 1574 | -0.1% | 1505 | 1595 | -5.7% | 1244 | 1258 | -1.1% |
| 18:00:00 | 1618 | 1582 | 2.3% | 1561 | 1627 | -4.0% | 1267 | 1306 | -3.0% |
| 19:00:00 | 1321 | 1372 | -3.8% | 1415 | 1508 | -6.1% | 1199 | 1246 | -3.8% |
| 20:00:00 | 1037 | 1130 | -8.2% | 1198 | 1391 | -13.9% | 968 | 1030 | -5.9% |
| 21:00:00 | 1068 | 1112 | -4.0% | 1150 | 1183 | -2.8% | 680 | 689 | -1.4% |
| 22:00:00 | 921 | 943 | -2.3% | 928 | 973 | -4.5% | 470 | 475 | -1.1% |
| 23:00:00 | 745 | 760 | -1.9% | 622 | 648 | -4.0% | 307 | 317 | -3.4% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 25570 | 26261 | -2.6% | 23048 | 24529 | -6.0% | 17111 | 17503 | -2.2% |
| Periodo (05:00-23:00) | 23732 | 24448 | -2.9% | 21751 | 23219 | -6.3% | 16499 | 16831 | -2.0% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1378 | 1354 | 1.8% | 897 | 882 | 1.7% | 308 | 291 | 6.0% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1989 | 2056 | -3.2% | 2078 | 2155 | -3.6% | 1150 | 1164 | -1.3% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 20364 | 21038 | -3.2% | 18775 | 20181 | -7.0% | 15041 | 15375 | -2.2% |

En la tabla 2.16 se presentan los resultados de impacto en las tres zonas. La zona II presenta una disminución de flujo vehicular durante el periodo de aplicación de la medida de un 7.0%, mientras que la magnitud de la disminución de los flujos mientras rige la RV en la zona I y zona III es de 3.2% y 2.2% respectivamente.

Durante las horas anteriores al inicio de la medida, la zona III presenta la mayor variación en sus flujos con un aumento del 6.0%, los flujos en las zonas I y II varían en forma similar, presentando aumentos de 1.8% y 1.7% respectivamente.

### 2.2.3 Resultados por episodio

Como se expuso en la sección 2.2.2, el impacto de la medida de RV para vehículos C/SV sobre el flujo vehicular depende en gran medida de la zona geográfica donde se realizan las mediciones, es por esto que, al buscar un resultado para cada episodio, se debe tener en consideración esto.

En el apartado 2.2.1 se realiza un análisis comparando la cantidad de vehículos que se registran el día que se aplica la RV versus la cantidad de vehículos que se registran los días S/RV, este análisis se realiza con el objetivo de encontrar episodios anómalos que no representen un día normal.

En este apartado, se obtienen los resultados de la variación de flujos vehiculares para cada episodio de preemergencia ambiental, considerando la variabilidad del impacto dependiendo la zona en que se realicen las mediciones y la distribución de viajes por zona obtenida de la EOD 2012.

De esta manera se obtienen los resultados representativos para la RM, del impacto de la RV de vehículos C/SV para cada uno de los episodios de Preemergencia Ambiental durante el periodo de estudio.[26]

*Tabla 2.17: Distribución de viajes según zona de estudio.*

| Zona de estudio | Proporción de viajes de RM |
|---|---|
| Zona I | 10.9% |
| Zona II | 76.6% |
| Zona III | 12.5% |

En la tabla 2.17 se presenta la distribución de viajes de la Región Metropolitana de Santiago para cada zona, calculados en base a la metodología detallada en el anexo A - "Distribución de viajes en la RM".

La tabla 2.18 muestra los resultados obtenidos para el episodio de preemergencia ambiental decretado el día Viernes 05/Junio/2015. Se presenta el comportamiento de los flujos vehiculares según la zona y el impacto que genera en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana la aplicación de la medida, incluyendo resultados para distintos periodos del día.

[26] Los episodios de preemergencias analizados son los declarados como día hábil normal en el apartado 2.2.1

*Tabla 2.18: Resultados de impacto en los flujos vehículares correspondiente al episodio del Viernes 05/06/2015.*

| Viernes 05-06-2015 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 333 | 310 | 7.2% | 253 | 237 | 6.8% | 134 | 135 | -0.8% |
| 1:00:00 | 333 | 310 | 7.2% | 253 | 237 | 6.8% | 134 | 135 | -0.8% |
| 2:00:00 | 216 | 211 | 2.6% | 150 | 139 | 8.1% | 68 | 85 | -19.8% |
| 3:00:00 | 182 | 175 | 3.9% | 117 | 100 | 16.5% | 53 | 66 | -19.1% |
| 4:00:00 | 186 | 184 | 1.1% | 115 | 113 | 1.5% | 45 | 52 | -12.8% |
| 5:00:00 | 342 | 324 | 5.7% | 198 | 194 | 2.3% | 80 | 74 | 6.9% |
| 6:00:00 | 1022 | 1044 | -2.1% | 728 | 709 | 2.7% | 231 | 221 | 4.7% |
| 7:00:00 | 1721 | 1751 | -1.7% | 1580 | 1655 | -4.5% | 1209 | 1127 | 7.3% |
| 8:00:00 | 1635 | 1610 | 1.6% | 1468 | 1601 | -8.3% | 1067 | 1058 | 0.8% |
| 9:00:00 | 1410 | 1415 | -0.3% | 1246 | 1376 | -9.4% | 910 | 948 | -4.1% |
| 10:00:00 | 1426 | 1477 | -3.4% | 1180 | 1294 | -8.8% | 923 | 996 | -7.3% |
| 11:00:00 | 1381 | 1553 | -11.1% | 1203 | 1315 | -8.5% | 965 | 1046 | -7.8% |
| 12:00:00 | 1499 | 1533 | -2.2% | 1283 | 1366 | -6.0% | 1112 | 1152 | -3.4% |
| 13:00:00 | 1431 | 1581 | -9.5% | 1305 | 1435 | -9.0% | 1143 | 1158 | -1.3% |
| 14:00:00 | 1433 | 1526 | -6.1% | 1318 | 1450 | -9.1% | 1101 | 1139 | -3.4% |
| 15:00:00 | 1459 | 1567 | -6.9% | 1358 | 1468 | -7.5% | 1160 | 1157 | 0.2% |
| 16:00:00 | 1543 | 1621 | -4.8% | 1465 | 1560 | -6.1% | 1206 | 1172 | 2.9% |
| 17:00:00 | 1509 | 1596 | -5.5% | 1580 | 1630 | -3.1% | 1264 | 1258 | 0.5% |
| 18:00:00 | 1463 | 1530 | -4.4% | 1568 | 1598 | -1.9% | 1242 | 1318 | -5.8% |
| 19:00:00 | 1206 | 1333 | -9.5% | 1382 | 1476 | -6.3% | 1204 | 1257 | -4.2% |
| 20:00:00 | 1026 | 1145 | -10.4% | 1179 | 1447 | -18.6% | 982 | 1122 | -12.5% |
| 21:00:00 | 1141 | 1206 | -5.4% | 1333 | 1288 | 3.5% | 887 | 877 | 1.1% |
| 22:00:00 | 1026 | 1054 | -2.7% | 1092 | 1094 | -0.2% | 588 | 632 | -7.0% |
| 23:00:00 | 894 | 899 | -0.6% | 818 | 850 | -3.8% | 370 | 404 | -8.3% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 25817 | 26953 | -4.2% | 24170 | 25630 | -5.7% | 18073 | 18586 | -2.8% |
| Periodo (05:00-23:00) | 21507 | 22603 | -4.9% | 20041 | 21573 | -7.1% | 15795 | 16202 | -2.5% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1364 | 1368 | -0.3% | 926 | 902 | 2.6% | 311 | 295 | 5.3% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 2167 | 2260 | -4.1% | 2424 | 2382 | 1.8% | 1475 | 1509 | -2.3% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 20143 | 21236 | -5.1% | 19116 | 20671 | -7.5% | 15484 | 15907 | -2.7% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -5.17% |
| Periodo (05:00-23:00) | -6.28% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 2.61% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 0.61% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -6.66% |

En el anexo C – “Impacto en los flujos según episodio” se encuentran las tablas de resultados correspondiente a cada uno de los episodios, mientras que en el anexo digital “Resultados según episodio” se encuentra el detalle para cada episodio del comportamiento según ECAT y comuna.

### 2.2.3.1 Episodios constatados año 2015

La figura 2.11, muestra la variación de los flujos vehiculares que se registran en cada zona para los distintos episodios, considerando las horas donde rige la medida. La zona II es la que presenta un mayor impacto en los flujos vehiculares[27]. La zona I, correspondiente a la comuna de Santiago Centro, presenta una mayor variabilidad en cuanto al impacto producido por la medida, incluso registrando incrementos en el flujo vehicular para el episodio registrado el Jueves 02/07/2015. En la zona III se registran disminución de los flujos en todos los episodios, pero en magnitudes bajas comparadas a las que se registran en la zona II.

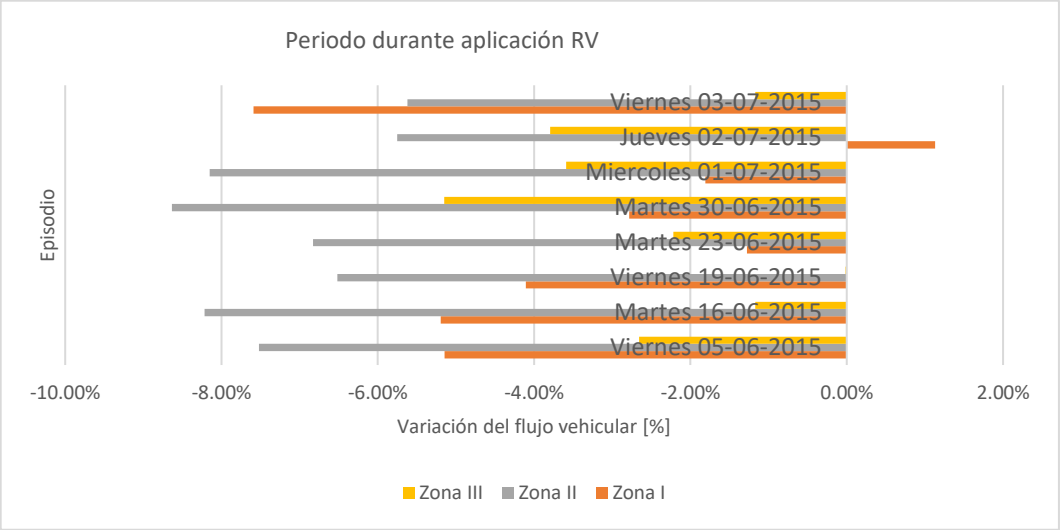


*Figura 2-11: Impacto en los flujos durante aplicación de RV según zona de estudio, para los distintos episodios constatados el año 2015.*

La figura 2.12 muestra la variación de los flujos considerando las horas anteriores a la puesta en marcha de la medida, de los resultados se infiere que existe una tendencia al adelantamiento de los viajes en días donde se decreta RV a vehículos S/SV, siendo la zona III donde, en la mayoría de los episodios, se presenta mayor incremento en los viajes realizados durante esas horas. [28]

[27] El día Viernes 03/Julio/2015 se realizó una marcha por las calles de la comuna de Santiago convocada por el Colegio de Profesores de Chile, alterando la normalidad del tránsito durante algunas horas. Esto explicaría la magnitud de la disminución del flujo durante ese episodio.

[28] El día Martes 30/Junio/2015 se presentan valores por sobre los presentados en los demás episodios, pueden ser atribuibles a que la noche anterior, se exhibe por televisión abierta el partido de la Selección Chilena de Futbol en el marco de la Copa América Chile 2015, y producto de estar viendo la televisión una mayor cantidad de personas tienen conocimiento de que se decreta Restricción Vehicular para vehículos C/SV.

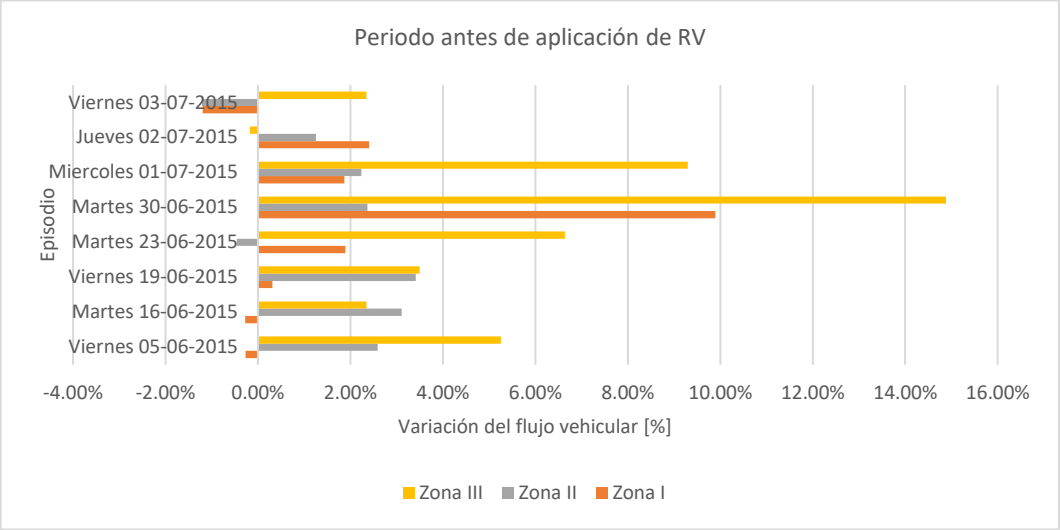


*Figura 2-12: Impacto en los flujos en horas anteriores a la aplicación de RV según zona de estudio, para los distintos episodios constatados el año 2015.*

La figura 2.13, muestra la variación en el flujo vehicular en la Región Metropolitana durante las horas en que rige la medida para los distintos episodios. El episodio correspondiente al Jueves 02/07/2015 es el que presenta una menor variación en los flujos, el episodio en el cual se presenta un mayor éxito de la medida es el Martes 30/junio/2015, episodio que coincide con el de mayor incremento de flujo en horas previas al inicio de la RV.

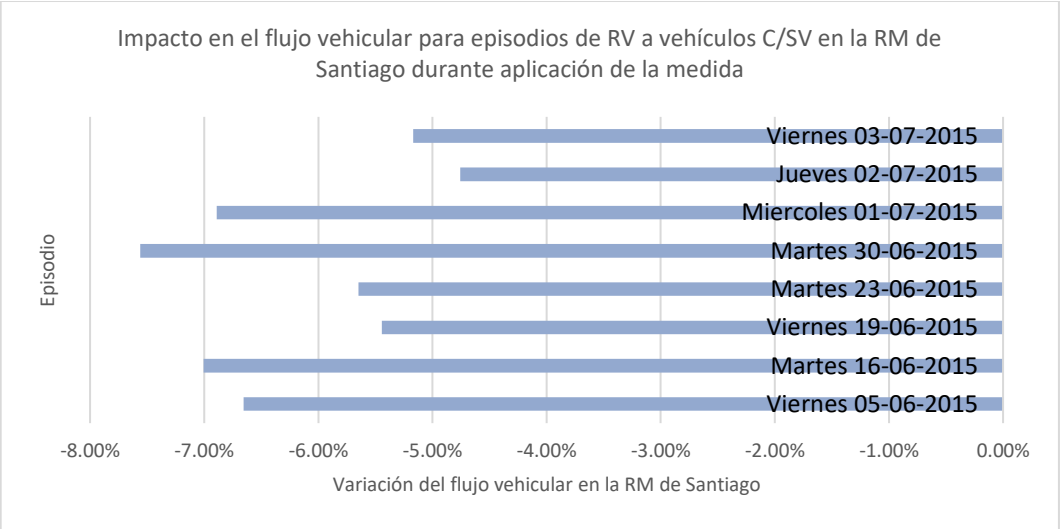


*Figura 2.13: Impacto en los flujos vehículares en la RM según episodio, durante horas donde rige la medida.*

Dentro de los episodios estudiados, algunos se presentan en la misma semana. El Viernes 05/06/2015 corresponde a la primera preemergencia ambiental decretada el año 2015, esa semana no se presentan más episodios. El episodio del Martes 16/06/2015 y el episodio del Viernes 19/06/2015 ocurren la misma semana. El episodio del Martes 23/06/2015 si bien es el único episodio de Preemergencia Ambiental decretado esa semana, coincide en la misma semana con el único episodio de Emergencia Ambiental registrado el año 2015 (Lunes 22/06/2015)[29]. Los cuatro episodios restantes se llevan a cabo durante la misma semana: Martes 30/06/2015, Miércoles 01/07/2015, Jueves 02/07/2015 y Viernes 03/07/2015.

Existen cuatro episodios en los cuales la disminución en los flujos es mayor al 6% y otros cuatro donde se presentan disminuciones de magnitud menor al 6%. Los cuatro episodios donde el impacto en los flujos tiene una magnitud menor al 6% coinciden en que no fueron el primer episodio crítico de calidad del aire decretado durante su semana, por otro lado, de los cuatro episodios que presentan una diminución en los flujos mayor a un 6%, solo el decretado el día Miércoles 01/07/2015 no fue el primer episodio crítico decretado en la semana.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, puede haber una implicancia entre la cercanía de los episodios decretados con la respuesta de los conductores frente a la medida de RV a vehículos C/SV.

#### *2.2.3.2 Episodios constatados años 2010-2014*

Cuatro son los eventos constatados entre el año 2010 y 2014 que ocurrieron en un día hábil normal (no se analiza el episodio del 17-07-2012 por coincidir con vacaciones de invierno y el episodio del 18-06-2014 porque los flujos de ese día distan en gran medida de ser normales, debido al partido de la Selección Chilena de Fútbol en el Mundial de Fútbol 2014).

La figura 2.14 muestra el impacto en los flujos para cada episodio según zona de estudio durante las horas donde rige la medida. Se mantiene la tendencia de que la zona II sea en la que se presenta una mayor variación en los flujos durante este periodo, también se mantiene que la zona III es la que presenta una menor variación. La zona I y la zona III presentan variaciones de magnitud mayor en estos episodios que en los registrados el año 2015.

[29] El episodio de Emergencia Ambiental no es estudiado en el presente documento, debido a que solo se registra un episodio de ésta índole.

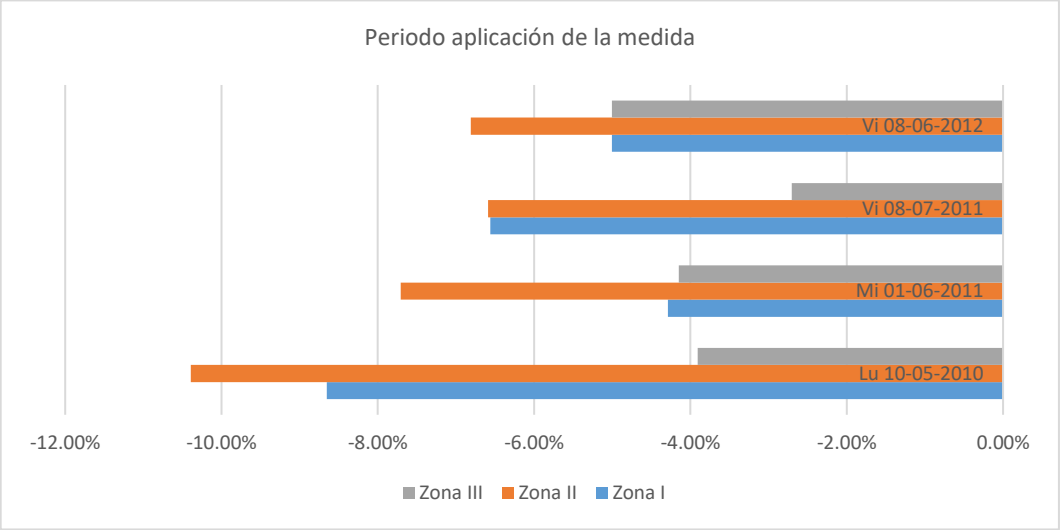


*Figura 2-13: Impacto en los flujos durante aplicación de RV según zona de estudio, para los distintos episodios constatados el periodo 2010-2014..*

La figura 2.15 muestra las variaciones en el flujo vehicular durante las horas anteriores a la puesta en marcha de la medida, se presenta aumento de éste en todas las zonas y en todos los episodios.

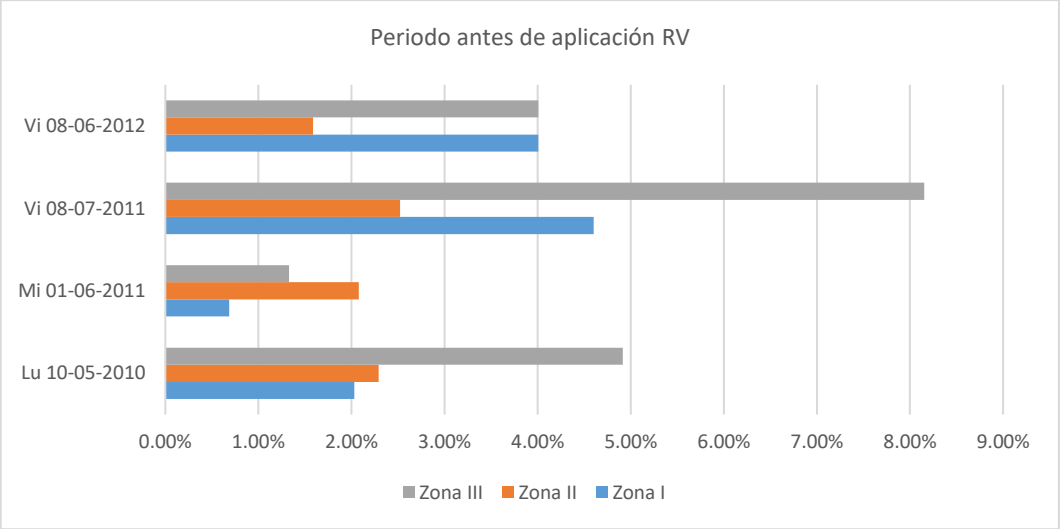


*Figura 2-14: Impacto en los flujos en horas anteriores a la aplicación de RV según zona de estudio, para los distintos episodios constatados el periodo 2010-2014.*

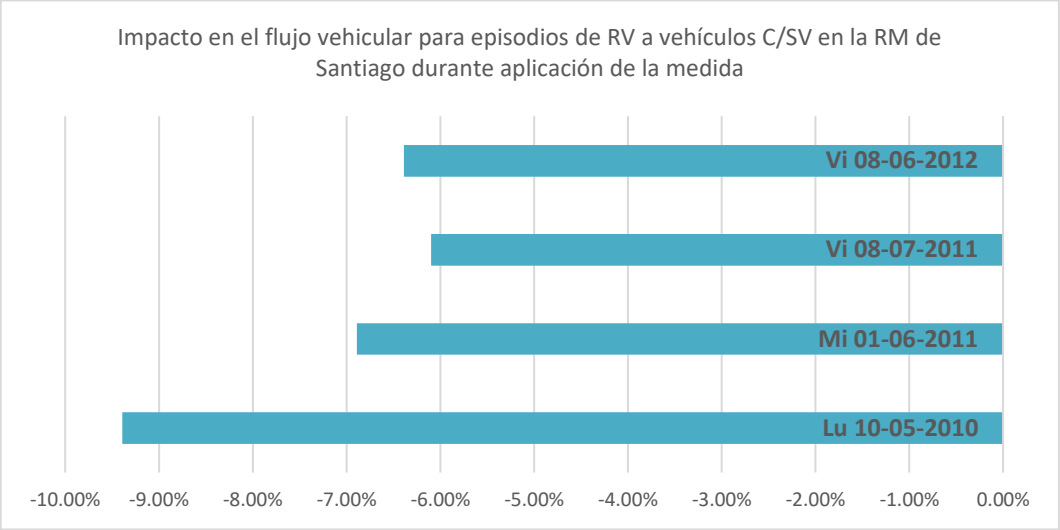


*Figura 2-15 Impacto en los flujos vehículares en la RM según episodio, durante horas anteriores al inicio de la RV.*

Finalmente, la figura 2.16 indica el impacto de la medida en la RM, los valores en magnitud son similares a los que se presentan en los episodios del año 2015, excepto el episodio constatado el año 2010. El episodio correspondiente al Lunes 10/05/2010 presenta una disminución en el flujo superior al 9%, distante a los valores presentados en los demás episodios, éste episodio es el único decretado un día Lunes.

La variación entre los resultados obtenidos para el periodo 2010-2014 y los obtenidos durante episodios del año 2015, puede radicar en la utilización de distintas ECAT en el análisis, por ejemplo en la zona III se presentan mayores variaciones en el flujo en los episodios del periodo 2010-2014 producto de que durante esos episodios intervienen en el análisis ECAT en la comuna de Las Condes, algunas muy cercanas en distancia a la comuna de Providencia, que presentan variaciones de magnitud mayor a las registradas en otras ECAT de las Condes y Lo Barnechea.

### 2.2.4 Resultado global

Obtener un resultado global del impacto de la medida de RV a vehículos C/SV en episodios de Preemergencia Ambiental para la Región Metropolitana de Santiago no es una tarea fácil, considerando que en su cálculo inciden distintas variables.

Dos son las variables que podrían influir de manera considerable en el cálculo del resultado global, por un lado, la distribución de viajes presentes en cada zona, y, por otro lado, las ECAT que interfieren en el análisis.

Por consiguiente, se establecen tres escenarios para obtener un resultado global, modificando las variables descritas anteriormente.

- Escenario Base: corresponde a las variables utilizadas durante todo el presente estudio. Considera la distribución de viajes por zona expuesta en la tabla 2.17 e incluye en el análisis las ECAT presentes en la tabla 2.9.
- Escenario Pesimista: supone un aumento en el porcentaje de viajes en las zonas que tienen un menor impacto en los flujos debido a la implementación de la medida, manteniendo constantes las ECAT que inciden en el análisis.
- Escenario Optimista: supone un mayor impacto en los flujos en la zona que presenta el mayor porcentaje de viajes de la ciudad, este aumento en el impacto es producido por la variación de las ECAT que inciden en el análisis. Se mantiene constante la distribución de viajes.

La tabla 2.19 muestra el detalle de las variables críticas para cada escenario. En el escenario pesimista se atribuye a la zona III la proporción de viajes correspondiente a la macrozona Oriente de la EOD 2012[30]. En el escenario Optimista se elimina del análisis el eje Vicuña Mackenna, debido a que es el eje de la zona II que presenta un menor impacto en los flujos vehiculares, atribuible principalmente a ser una avenida principal en donde la proporción de transporte público (no afecto a RV) es mayor en comparación a los demás ejes de la zona.

Por otro lado, se tienen dos formas de realizar el cálculo del impacto global, la primera es aplicar los escenarios a los flujos promedios por zona para un día normal de RV obtenidos en el apartado 2.2.3, y la segunda forma es aplicar los escenarios a cada episodio y luego promediar los resultados de cada episodio. [31]

[30] El detalle se encuentra en anexo A – "Distribución de viajes en la RM"

[31] Ambos casos difieren en cierta medida, debido a que existen algunos episodios en los cuales no se tienen mediciones para todas las ECAT involucradas en el estudio (si bien esos valores son reemplazados por el promedio para esas ECAT, obtenido a partir de los datos de los demás episodios, se generan variaciones en el cálculo de ambos casos).

*Tabla 2.19: Escenarios para la determinación de un resultado global de impacto en los flujos vehiculares.*

| Escenario | Descripción | Zona | Proporción de viajes | ECAT incluidas en análisis |
|---|---|---|---|---|
| Pesimista | Distribución de viajes basada en Macrozonas EOD | Zona I | 10.9% | Santiago |
| | | Zona II | 66.4% | Macul, Providencia, Est.Central |
| | | Zona III | 22.7% | Lo Barnechea |
| Base | Utilizado en todo el estudio | Zona I | 10.9% | Santiago |
| | | Zona II | 76.6% | Macul, Providencia, Est.Central |
| | | Zona III | 12.5% | Lo Barnechea |
| Optimista | No se considera eje Vicuña Mackenna | Zona I | 10.9% | Santiago |
| | | Zona II | 76.6% | Providencia, Est.Central |
| | | Zona III | 12.5% | Lo Barnechea |

*Tabla 2.20: Impacto en los flujos vehiculares para los distintos escenarios.*

| Método de Cálculo | Escenario | | |
|---|---|---|---|
| | Pesimista | Base | Optimista |
| Flujo Promedio | -5.47% | -5.96% | -6.46% |
| Promedio Episodios | -5.65% | -6.14% | -6.63% |
| Media | -5.56% | -6.05% | -6.54% |

Finalmente, como resultado global se tiene que la Restricción Vehicular para los episodios de Preemergencia Ambiental decretados en días hábiles, durante el año 2015, genera una variación en los flujos durante el periodo donde rige la medida de un $-6.05\% \pm 0.49\%$.[32]

Se analiza el impacto de la medida solo en las horas en que se restringe la libre circulación y no durante día completo, debido a que los flujos durante las horas de la noche y la madrugada tienden a presentar mayores variaciones producto de factores externos y, por otro lado, al presentar en muchos casos mediciones menores a 100 [veh/hr], no pasan por el criterio de eliminación de datos anómalos expuesto en el apartado 2.1.2.

[32] Para la obtención de un resultado global se utilizan los episodios para días hábiles normales constatados durante el año 2015, no se incluyen los ocurridos durante el periodo 2010-2014 ya que son episodios aislados en los que pueden influir otros factores en la reacción de los conductores frente a la medida.

# 3 Restricción vehicular y emisiones

La medida de Restricción Vehicular para vehículos C/SV se realiza exclusivamente en episodios críticos de calidad del aire que correspondan a Preemergencia Ambiental o Emergencia Ambiental. [33]

Esta medida es parte del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago, buscando disminuir los niveles de concentración de contaminantes a partir de la disminución de las emisiones de fuentes móviles. En el presente estudio se analiza el impacto que la medida tiene sobre las emisiones de distintos contaminantes.

## 3.1 Metodología emisiones

En esta sección se expone de manera general el comportamiento matemático utilizado para el cálculo de la variación de emisiones que se genera en días donde se decreta un episodio crítico de contaminación. Se explican los supuestos y parámetros de entrada que se tienen para la estimación de las emisiones.

El estudio de las emisiones reducidas producto de la aplicación de la Restricción Vehicular a vehículos con sello verde se realiza basado en el impacto que tiene la medida en los episodios de preemergencia ambiental decretados durante el año 2015.

Se considera que los vehículos que dejan de circular en las calles de la ciudad durante los días donde se aplica la medida, corresponden en su totalidad a vehículos livianos, ya sea de pasajeros o comerciales.[34]

### 3.1.1 Modelo de emisión

Existen varias metodologías para la estimación de emisiones vehiculares, tradicionalmente se utilizan dos tipos: Top-Down y Bottom-up.

La metodología Top-Down consiste en obtener las emisiones vehiculares que componen una región para un periodo determinado, normalmente extenso, sin detallar específicamente los tipos de fuentes. Por otro lado, la metodología Bottom-up incorpora

[33] Válido hasta el año 2017, el año 2018 empieza a regir una RV permanente para vehículos C/SV inscritos antes del 01 de Septiembre de 2010.

[34] Si bien los taxis se encuentran afectos a la medida entre 10:00 – 16:00 horas, se considera como supuesto que en días de RV aumentan la cantidad de kilómetros recorridos al día, contrarrestando el efecto que podría tener la medida en esa categoría vehicular. Bajo el mismo supuesto anterior, se eliminan del análisis los camiones, quienes se encuentran afectos entre 10:00 – 18:00 horas, y solo dentro del anillo Américo Vespucio.

una mayor cantidad de información, segregando las emisiones por tipo de fuente e incluyendo parámetros asociados a componentes individuales.

En este trabajo se utiliza una metodología de tipo Bottom-up, en este tipo de metodología las emisiones se calculan en base al nivel de actividad y de factores de emisión para los distintos contaminantes para distintas categorías de vehículos.

$$Emisiones\ \left[\frac{g}{periodo*veh}\right] = NA\ \left[\frac{km}{veh*periodo}\right] * FE\ \left[\frac{g}{km}\right] \quad (6)$$

### 3.1.2 Factores de Emisión

Los factores de emisión utilizados para la estimación de las emisiones se obtienen a partir de la cuarta versión del sistema de modelación de emisiones Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport (COPERT IV).

COPERT IV es una herramienta de software, de origen europeo y financiada por la Agencia Europea de Medioambiente (EEA), ampliamente utilizada para el cálculo de las emisiones de contaminantes atmosféricos y gases efecto invernaderos producidos por el transporte en carretera, considera emisiones en caliente y en frío así también las evaporativas y material particulado proveniente del desgaste de neumático.

Los factores de emisión en COPERT IV se calculan en base a las características de la fuente y a su respectiva velocidad promedio de desplazamiento.

A partir de COPERT IV se obtienen los factores de emisión para los siguientes contaminantes:

- Monóxido de Carbono ($CO$)
- Hidrocarburos ($HC$)
- Compuestos Nitrogenados ($NO_x$)
- Material Particulado ($MP$)
- Dióxido de Carbono ($CO_2$)
- Óxido Nitroso ($N_2O$)
- Metano ($CH_4$)
- Óxidos de Azufre ($SO_x$)

### 3.1.3 Patrones de conducción.

La Región Metropolitana posee gran cantidad de comunas, las cuales tienen distintos niveles de actividad y también distintos patrones de conducción.

En el análisis del impacto que tiene la restricción vehicular sobre los flujos vehiculares se distinguen tres zonas en el que la reacción frente a la aplicación de la medida y el perfil de flujos se comportan de manera distinta. (De acuerdo a lo expuesto en el apartado 2.2.2)

Por otro lado, Pablo Würth realiza un procesamiento de información basado en metodología Bottom-up, específicamente utilizando metodología IVE (International Vehicle Emissions), realizando la distinción de 3 sectores en la ciudad de Santiago que presentan patrones de conducción distintos. [Würth. 2017]

Obtiene el perfil de velocidades horario correspondiente a un día hábil entre 07:00 - 20:00 horas para cada sector, transitando por un circuito compuesto por avenida/calle residencial representativo de cada comuna.

Se utilizan como valores de referencia los obtenidos por Wurth para los tres sectores de su estudio, estableciendo una relación con las zonas determinadas en el apartado 2.2.2.

Como los valores de velocidad obtenidos en el trabajo de Wurth no se obtienen a partir de mediciones realizadas en los puntos exactos donde se presentan mediciones para las zonas correspondientes al presente estudio, se realiza una calibración de estos datos para llegar a valores representativos de perfil de velocidades para la zona I, zona II y zona III.

Esta calibración se realiza en base a la teoría del flujo vehicular, expuesta en la sección 1.4, utilizando el perfil de flujos vehiculares promedio obtenido para un día hábil normal donde no rige la medida de RV para vehículos C/SV, según zona de estudio.

A partir de esta calibración se obtiene una expresión de la velocidad en función del flujo vehicular para cada zona de estudio, las cuáles son utilizadas para determinar los perfiles de velocidad para la zona I, zona II y zona III para día S/RV y C/RV.[35]

### 3.1.4 Composición de parque automotriz a inventariar

La medida de Restricción Vehicular para vehículos C/SV el año 2015 rige en las 32 comunas de la Provincia de Santiago más las comunas de Puente Alto y San Bernardo, la cantidad de vehículos a inventariar y la composición según tipo de vehículo se determinan a partir del Inventario Anual de Parque Automotriz publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE). La tabla 3.1 presenta el detalle de la cantidad de vehículos a inventariar.

La categorización de la flota vehicular según tecnología y combustible de la Región Metropolitana de Santiago para el año 2015 es extraída de las proyecciones realizadas en

[35] En el anexo “Detalle cálculo perfiles de velocidad” se encuentra detallada la metodología utilizada para obtener los perfiles de velocidad representativos de cada zona.

el Informe “Escenario línea base de emisiones GEI del sector Transporte y Urbanismo” parte del proyecto MAPS Chile. Finalmente, en la tabla 3.2 se presenta un resumen con la información referente a la composición de los vehículos a inventariar. [MAPS Chile, 2013]

*Tabla 3.1: Vehículos a inventariar.*

| Vehículos Particulares | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Automóvil y station wagon [veh] | Todo Terreno [veh] | Furgón [veh] | Minibús [veh] | Camioneta [veh] | TOTAL |
| 1127569 | 30531 | 79861 | 5291 | 184246 | 1427498 |

*Tabla 3.2: Resumen características de vehículos a inventariar.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Vehículos Livianos | Gasolina | Pasajeros | No Cat | 0.71% |
| | | | E1 | 8.55% |
| | | | E3 | 16.45% |
| | | | E4 | 23.41% |
| | | | E5 | 5.12% |
| | | | E6 | 0.00% |
| | | | Híbrido | 0.01% |
| | | | Híbrido Plug-in | 0.01% |
| | | | Eléctrico | 0.01% |
| | | | Biocombustible | 0.00% |
| | | Comerciales | No Cat | 0.22% |
| | | | E1 | 2.64% |
| | | | E3 | 5.08% |
| | | | E4 | 7.23% |
| | | | E5 | 1.58% |
| | | | E6 | 0.00% |
| | | | Híbrido | 0.00% |
| | | | Híbrido Plug-in | 0.00% |
| | | | Eléctrico | 0.00% |
| | | | Biocombustible | 0.00% |
| | Diesel | Pasajeros | Conv. | 0.00% |
| | | | E1 | 0.38% |
| | | | E3 | 6.79% |
| | | | E4 | 5.71% |
| | | | E5 | 6.85% |
| | | | E6 | 2.41% |
| | | | Híbrido | 0.00% |
| | | | Híbrido Plug-in | 0.00% |
| | | | Eléctrico | 0.00% |
| | | | Biocombustible | 0.00% |
| | | Comerciales | Conv. | 0.00% |
| | | | E1 | 2.38% |
| | | | E3 | 0.32% |
| | | | E4 | 3.03% |
| | | | E5 | 1.09% |
| | | | E6 | 0.00% |
| | | | Híbrido | 0.00% |
| | | | Híbrido Plug-in | 0.00% |
| | | | Eléctrico | 0.00% |
| | | | Biocombustible | 0.00% |

### 3.1.5 Nivel de actividad

Para estimar el impacto que tiene la RV a vehículos C/SV en la RM se consideran los perfiles de flujo vehicular para un día promedio de RV y para un día hábil normal sin RV correspondiente a cada zona de estudio. Estos perfiles son los obtenidos en los resultados del impacto de RV en los flujos vehiculares según geolocalización, que se encuentran en el apartado 2.2.2.2.

Otro aspecto importante en el cálculo de las emisiones es la cantidad de kilómetros recorridos por los vehículos. Se utiliza los datos obtenidos en el estudio del sector transporte, parte de MAPS Chile 2012 para vehículos livianos de pasajeros y vehículos livianos comerciales. (18000 km/año y 25000 km/año respectivamente) [MAPS Chile, 2013]

Para obtener el nivel de actividad diario para cada categoría se considera:

- 11 meses de actividad, asumiendo que en Enero y Febrero se presenta la mitad del nivel de actividad de un mes cualquiera entre Marzo y Diciembre.
- 4 semanas por mes.
- 6.3 días a la semana, considerando que los días Sábados y Domingos se presentan niveles menores a los de días hábiles (80% y 50% respectivamente).

Considerando los supuestos anteriores, los parámetros referidos a lapsos temporales de un año, se dividen por 277.2 para obtener los valores diarios.

### 3.1.6 Estimación de variación de emisiones para episodios críticos

La reducción de las emisiones en días donde se decreta restricción vehicular para vehículos C/SV se debe principalmente a la disminución de vehículos particulares en las calles, por lo que los resultados obtenidos en este capítulo son relacionados a las emisiones atribuibles a vehículos livianos de pasajeros y vehículos livianos comerciales.

Se calculan las emisiones por hora producidas un para un día promedio de RV a vehículos C/SV y las emisiones producidas por hora un día hábil normal donde no rige la medida, esto se realiza para cada contaminante en estudio y teniendo en cuenta que existen tres tipos de patrones de conducción presentes en la ciudad (Zona I, Zona II, Zona III).

El cálculo se realiza en base a las siguientes ecuaciones:

$$E_{h,j} = \frac{1}{\gamma} * N * KMR \sum_{z=1}^{3} \left( FE_{h,j,z} * \Delta flujo_{h,z} * \alpha_h * \beta_{h,z} \right) \quad (7)$$

Donde:

$$E = emisiones\ [\frac{ton}{hora}]$$

$$N = número\ de\ vehiculos\ a\ inventariar\ [veh]$$

$$KMR = kilometros\ recorridos\ por\ vehiculo\ al\ día\ [\frac{km}{día}]$$

$$h = indice\ hora\ del\ día$$

$$j = indice\ tipo\ de\ contaminante$$

$$z = indice\ zona\ de\ estudio\ (I, II, III)$$

$$FE = factor\ de\ emisión\ vehiculos\ particulares\ \left[\frac{g}{km}\right]$$

$$\Delta flujo = variación\ del\ flujo = \frac{flujo\ Dia\ C/RV}{flujo\ Dias\ S/RV} - 1\ [-]$$

$$\alpha_h = \frac{flujo\ hora\ h}{flujo\ total\ diario}\ [\frac{día}{hora}]$$

$$\beta_{h,z} = \frac{viajes\ desarrollados\ durante\ hora\ h\ en\ la\ zona\ z}{viajes\ totales\ en\ la\ ciudad\ durante\ hora\ h}\ [-]$$

$$\gamma = factor\ de\ cambio\ de\ unidades = \frac{1}{1000000}\ [\frac{ton}{g}]$$

El factor $\beta_{h,z}$ se obtiene a partir de datos presentes en la Encuesta Origen-Destino correspondiente al año 2012, en anexo A - "Distribución de viajes en la RM" se encuentra un detalle de la metodología utilizada para obtener este parámetro. [SECTRA, 2014]

Por otro lado, el factor de emisión por hora para cada contaminante correspondiente a cada zona se calcula en base a la proporción de cada tipo de vehículo según su tecnología y a la velocidad media de operación.

$$FE_{h,j,z} = \sum FE_{h,j,z,i}(v_{h,z}) * \mu_i \quad (8)$$

Donde:

$$i = indice\ para\ tipo\ de\ vehiculo\ según\ tecnología$$

$$\mu_i = proporción\ de\ vehiculos\ del\ tipo\ i$$

$$v_{h,z} = velocidad\ media\ en\ la\ hora\ h\ para\ patron\ de\ conducción\ zona\ z$$

## 3.2 Resultados Emisiones

Se presentan los resultados relacionados a la variación de emisiones diarias producidas por los vehículos livianos (particulares y comerciales) en la RM de Santiago, debido a la aplicación de una medida de Restricción Vehicular según placa patente para vehículos C/SV.

### 3.2.1 Resultados velocidad y distribución de viajes por zona

Factores importantes en el cálculo de las emisiones son los perfiles de velocidad y la distribución de viajes atribuibles a cada zona de estudio. La tabla 3.3 muestra la distribución de viajes por zona para cada hora del día, basada en datos de la EOD 2012. [SECTRA, 2014]

*Tabla 3.3:Composición de viajes según hora para RM.*

| Hora | Porcentaje de Viajes por zona según hora | | |
|---|---|---|---|
| | Zona I | Zona II | Zona III |
| 0:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 1:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 2:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 3:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 4:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 5:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 6:00:00 | 10.31% | 78.49% | 11.20% |
| 7:00:00 | 9.69% | 78.19% | 12.12% |
| 8:00:00 | 9.69% | 78.19% | 12.12% |
| 9:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 10:00:00 | 11.80% | 76.87% | 11.32% |
| 11:00:00 | 11.80% | 76.87% | 11.32% |
| 12:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 13:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 14:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 15:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 16:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 17:00:00 | 10.45% | 76.95% | 12.60% |
| 18:00:00 | 10.45% | 76.95% | 12.60% |
| 19:00:00 | 10.45% | 76.95% | 12.60% |
| 20:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 21:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 22:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 23:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |

A partir de la metodología expuesta en el anexo -B “Detalle cálculo de velocidades”, basada en la teoría del flujo vehicular, se obtienen los perfiles de velocidad para un día hábil normal promedio y para un día promedio de RV a vehículos C/SV (2 dígitos).

Las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 muestran los resultados de velocidad para las distintas zonas de estudio.

En la zona I, en ambos perfiles, se aprecia una disminución considerable en las velocidades durante las horas punta de mañana y tarde, esto debido a la alta congestión vehicular durante esos periodos en esta zona. En días donde se presenta RV a vehículos C/SV se presentan aumentos de velocidad durante todo el periodo de aplicación, alcanzando un aumento en la velocidad promedio de un 2.3%.

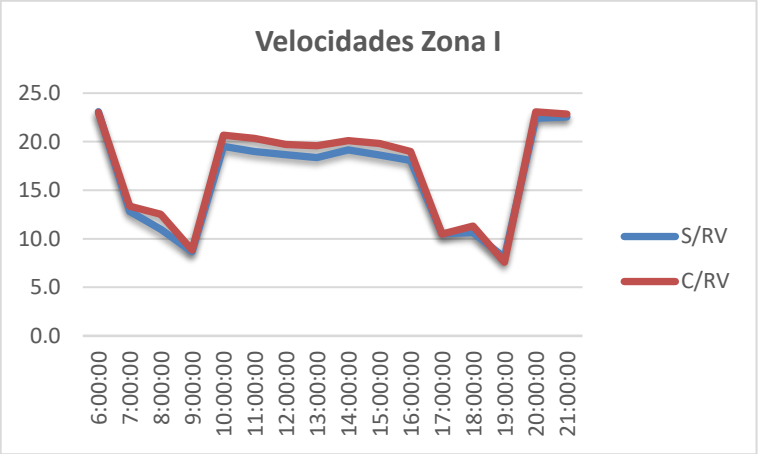


*Figura 3-1: Perfil de velocidad C/RV y S/RV representativo zona I.*

La zona II presenta, para ambos perfiles, una disminución en la velocidad para los horarios punta de mañana y tarde, se presenta un aumento en la velocidad cuasi constante durante toda la aplicación de la medida (coincidente con la reducción de flujo cuasi constante durante toda la medida). La velocidad promedio diaria aumenta un 3.1% en días C/RV en comparación a un día hábil normal S/RV.

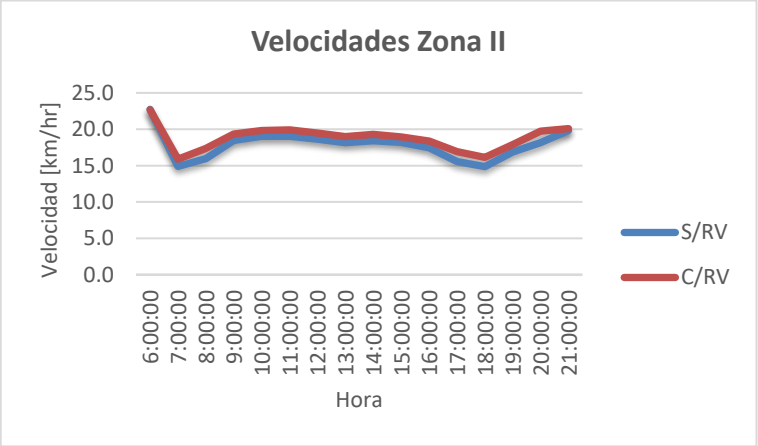


*Figura 3-2: Perfil de velocidad C/RV y S/RV representativo zona II.*

Los perfiles de velocidad correspondientes a la zona III presentan disminuciones en la velocidad en ambos horarios punta y una pequeña disminución durante el horario de almuerzo. La variación de velocidad entre días C/RV y S/RV presenta niveles más bajos en comparación a las demás zonas, concordante a que las variaciones de flujo también son las más bajas. Los días C/RV se presenta un aumento en la velocidad promedio diaria de un 0.7%.

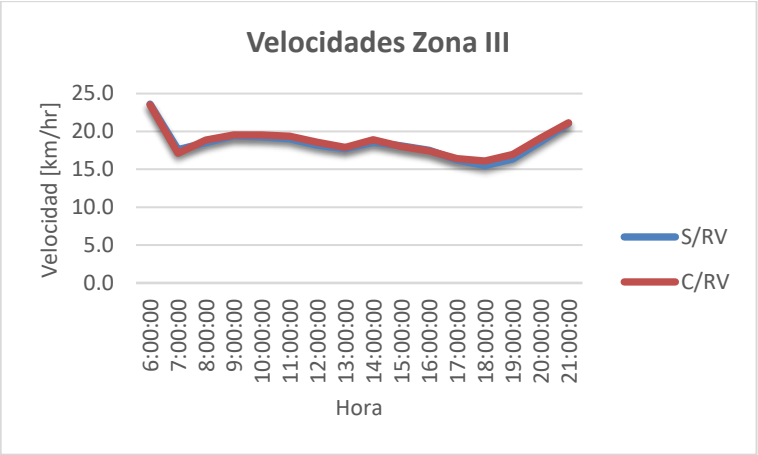


*Figura 3-3: Perfil de velocidad C/RV y S/RV representativo zona III.*

Los resultados para la variación en la velocidad tienen concordancia con los resultados obtenidos para la variación de flujos vehiculares en las distintas zonas, para ambos análisis se presenta una mayor variación en la zona II, seguido de la zona I y finalmente la zona III.

Si bien la magnitud del impacto en los flujos vehiculares en las zonas I y III no es tan significativo (3.2% y 2.2% respectivamente), las magnitudes de las variaciones de velocidad si se encuentran más alejadas, la magnitud de variación de velocidad se encuentra más cercana a la que presenta la zona II que a la presentada en la zona III.

Lo anterior se atribuye a que la zona I presenta un aumento de velocidad significativo en las horas punta, si bien en esas horas el flujo vehicular aumenta (ver apartado 2.2.2) la velocidad también aumenta, debido a que se encuentra en una zona de congestión vehicular, todo esto basado en la teoría de flujo vehicular expuesta en el apartado 1.4.

### 3.2.2 Resultado Emisiones por contaminante

Para determinar el impacto en las emisiones de contaminantes producto de la implementación de la medida de RV a vehículos C/SV es necesario obtener las emisiones para un día hábil normal para vehículos particulares considerando los parámetros y suposiciones expuestos en la metodología.

La figura 3.4 muestra la comparación entre las emisiones de vehículos livianos calculadas para un día hábil normal en las comunas de la RM afectas a RV y las emisiones de vehículos livianos en la RM obtenidas en el estudio de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) en Chile. [36] [MMA, 2017]

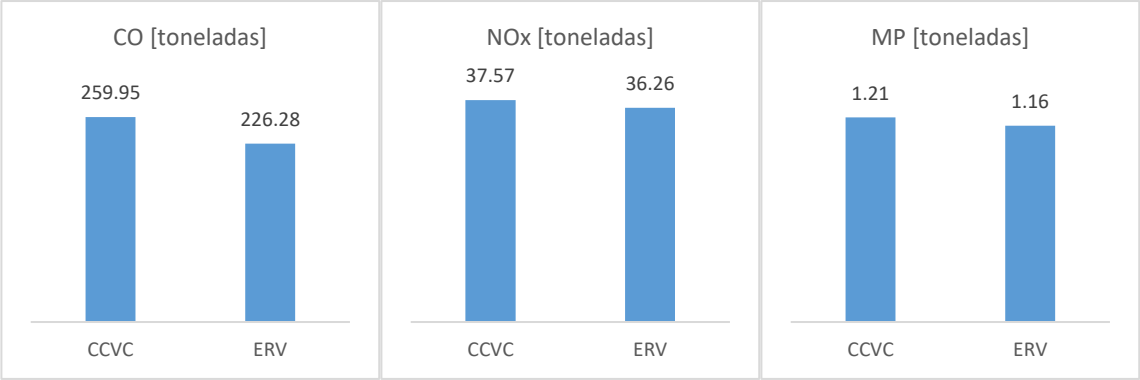


*Figura 3-4: Comparación de emisiones día S/RV entre CCVC y ERV.*

Si bien los resultados no son idénticos, se presenta una concordancia entre ellos. La diferencia en los resultados se debe en parte a que en el presente estudio (ERV) se calculan solo las emisiones en las 34 comunas donde rige la medida, mientras las emisiones obtenidas en el CCVC abarcan la totalidad de las comunas de la Región Metropolitana. [37]

[36] El estudio CCVC, solicitado por el Ministerio del Medio Ambiente, entrega valores de emisiones anuales para el año 2013, la transformación a emisiones diarias se realiza en base a lo referido en el apartado 3.1.5

[37] En el ERV se excluyen del análisis las comunas no afectas a RV, cabe destacar que estas comunas presentan un nivel de actividad menor a las del Gran Santiago, Puente Alto y San Bernardo.

La tabla 3.4 presenta la variación de emisiones diarias atribuibles a la declaración de RV a vehículos C/SV, considerando solo la disminución de vehículos producto de la aplicación de la medida, manteniendo constante los perfiles de velocidad de un día normal S/RV.

*Tabla 3.4: Variación de las emisiones para cada contaminante, considerando solo variación en flujo.*

| Emisiones C/RV solo variando flujo - Emisiones S/RV | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hora | $CO$ | $HC$ | $NO_x$ | $MP$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CH_4$ | $SO_x$ |
| 0:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.9 | 1.2 | 0.2 | 0.0 |
| 1:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.9 | 1.2 | 0.2 | 0.0 |
| 2:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -4.9 | -0.8 | -0.1 | 0.0 |
| 3:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -3.6 | -0.6 | -0.1 | 0.0 |
| 4:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.3 | -0.2 | 0.0 | 0.0 |
| 5:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 |
| 6:00:00 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.1 | 2.8 | 0.4 | 0.0 |
| 7:00:00 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -37.9 | -5.2 | -0.7 | 0.0 |
| 8:00:00 | -0.8 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -109.2 | -15.9 | -2.1 | 0.0 |
| 9:00:00 | -0.7 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -99.7 | -15.2 | -2.0 | 0.0 |
| 10:00:00 | -0.9 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -116.3 | -17.9 | -2.4 | 0.0 |
| 11:00:00 | -1.0 | 0.0 | -0.2 | 0.0 | -133.2 | -20.4 | -2.7 | 0.0 |
| 12:00:00 | -0.8 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -114.1 | -17.4 | -2.3 | 0.0 |
| 13:00:00 | -0.8 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -103.9 | -15.7 | -2.1 | 0.0 |
| 14:00:00 | -0.9 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -119.9 | -18.2 | -2.4 | 0.0 |
| 15:00:00 | -0.7 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -92.8 | -14.0 | -1.9 | 0.0 |
| 16:00:00 | -0.7 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -94.7 | -14.1 | -1.9 | 0.0 |
| 17:00:00 | -0.7 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -94.5 | -13.4 | -1.8 | 0.0 |
| 18:00:00 | -0.5 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -70.9 | -10.0 | -1.3 | 0.0 |
| 19:00:00 | -0.8 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -109.1 | -15.7 | -2.1 | 0.0 |
| 20:00:00 | -1.5 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -204.7 | -31.0 | -4.1 | 0.0 |
| 21:00:00 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -36.9 | -5.8 | -0.8 | 0.0 |
| 22:00:00 | -0.3 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -42.2 | -6.8 | -0.9 | 0.0 |
| 23:00:00 | -0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -25.9 | -4.3 | -0.6 | 0.0 |
| Emisiones según periodo | | | | | | | | |
| Periodo | $CO$ | $HC$ | $NO_x$ | $MP$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CH_4$ | $SO_x$ |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -11.77 | -0.48 | -1.89 | -0.06 | -1583.61 | -237.13 | -31.42 | -0.05 |
| Periodo (05:00-23:00) | -11.62 | -0.48 | -1.86 | -0.06 | -1561.69 | -233.55 | -30.94 | -0.05 |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 0.13 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 18.29 | 3.05 | 0.40 | 0.00 |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | -0.57 | -0.02 | -0.10 | 0.00 | -79.11 | -12.62 | -1.67 | 0.00 |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -11.18 | -0.46 | -1.79 | -0.06 | -1500.87 | -223.98 | -29.68 | -0.05 |

La tabla 3.5 presenta la variación de emisiones diarias atribuibles a la declaración de RV a vehículos C/SV, considerando solo la modificación en los perfiles de velocidad de la ciudad, suponiendo que no existen variaciones en el flujo vehicular.

*Tabla 3.5: Variación de las emisiones para cada contaminante, considerando solo variación perfil de velocidad.*

| Emisiones C/RV solo variando velocidad - Emisiones S/RV | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hora | $CO$ | $HC$ | $NO_x$ | $MP$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CH_4$ | $SO_x$ |
| 0:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7:00:00 | -0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -40.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8:00:00 | -0.7 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -63.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 9:00:00 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -25.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 10:00:00 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -25.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 11:00:00 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -29.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 12:00:00 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -27.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 13:00:00 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -29.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 14:00:00 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -29.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 15:00:00 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -26.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 16:00:00 | -0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -31.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 17:00:00 | -0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -51.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 18:00:00 | -0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -59.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 19:00:00 | -0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -34.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 20:00:00 | -0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -47.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 21:00:00 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -6.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 22:00:00 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -4.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 23:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Emisiones según periodo | | | | | | | | |
| Periodo | $CO$ | $HC$ | $NO_x$ | $MP$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CH_4$ | $SO_x$ |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -5.98 | -0.24 | -0.45 | -0.02 | -530.91 | 0.00 | 0.00 | -0.02 |
| Periodo (05:00-23:00) | -5.97 | -0.24 | -0.45 | -0.02 | -529.57 | 0.00 | 0.00 | -0.02 |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | -0.13 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | -10.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -5.85 | -0.23 | -0.44 | -0.02 | -519.88 | 0.00 | 0.00 | -0.02 |

La tabla 3.6 presenta la variación de emisiones diarias atribuibles a la declaración de RV a vehículos C/SV, tomando en cuenta la reducción en los flujos y la modificación en los perfiles de velocidad que conlleva la disminución de vehículos en las calles de la ciudad.

*Tabla 3.6: Variación de las emisiones para cada contaminante, considerando variación tanto en el flujo como en los perfiles de velocidad.*

| Emisiones C/RV variando flujo y velocidad- Emisiones S/RV | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hora | $CO$ | $HC$ | $NO_x$ | $MP$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CH_4$ | $SO_x$ |
| 0:00:00 | 0.05 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 7.04 | 1.21 | 0.16 | 0.00 |
| 1:00:00 | 0.05 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 7.04 | 1.21 | 0.16 | 0.00 |
| 2:00:00 | -0.03 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | -4.96 | -0.84 | -0.11 | 0.00 |
| 3:00:00 | -0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -3.59 | -0.62 | -0.08 | 0.00 |
| 4:00:00 | -0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -1.30 | -0.22 | -0.03 | 0.00 |
| 5:00:00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.24 | 0.22 | 0.03 | 0.00 |
| 6:00:00 | 0.13 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 18.19 | 2.84 | 0.38 | 0.00 |
| 7:00:00 | -0.71 | -0.03 | -0.08 | 0.00 | -76.63 | -5.23 | -0.69 | 0.00 |
| 8:00:00 | -1.48 | -0.06 | -0.18 | -0.01 | -168.95 | -15.85 | -2.10 | -0.01 |
| 9:00:00 | -1.01 | -0.04 | -0.14 | 0.00 | -123.35 | -15.21 | -2.02 | 0.00 |
| 10:00:00 | -1.12 | -0.05 | -0.16 | -0.01 | -139.45 | -17.90 | -2.37 | 0.00 |
| 11:00:00 | -1.29 | -0.05 | -0.18 | -0.01 | -159.74 | -20.44 | -2.71 | -0.01 |
| 12:00:00 | -1.14 | -0.05 | -0.16 | -0.01 | -139.86 | -17.35 | -2.30 | 0.00 |
| 13:00:00 | -1.08 | -0.04 | -0.15 | 0.00 | -131.04 | -15.65 | -2.07 | 0.00 |
| 14:00:00 | -1.20 | -0.05 | -0.17 | -0.01 | -147.52 | -18.19 | -2.41 | 0.00 |
| 15:00:00 | -0.97 | -0.04 | -0.13 | 0.00 | -117.10 | -14.00 | -1.86 | 0.00 |
| 16:00:00 | -1.05 | -0.04 | -0.14 | 0.00 | -124.50 | -14.06 | -1.86 | 0.00 |
| 17:00:00 | -1.26 | -0.05 | -0.15 | -0.01 | -143.58 | -13.41 | -1.78 | 0.00 |
| 18:00:00 | -1.16 | -0.05 | -0.13 | 0.00 | -127.94 | -9.99 | -1.32 | 0.00 |
| 19:00:00 | -1.19 | -0.05 | -0.16 | -0.01 | -141.05 | -15.69 | -2.08 | 0.00 |
| 20:00:00 | -1.99 | -0.08 | -0.28 | -0.01 | -246.17 | -30.99 | -4.11 | -0.01 |
| 21:00:00 | -0.34 | -0.01 | -0.05 | 0.00 | -42.77 | -5.81 | -0.77 | 0.00 |
| 22:00:00 | -0.36 | -0.01 | -0.06 | 0.00 | -46.77 | -6.81 | -0.90 | 0.00 |
| 23:00:00 | -0.20 | -0.01 | -0.03 | 0.00 | -27.41 | -4.32 | -0.57 | 0.00 |
| Emisiones según periodo | | | | | | | | |
| Periodo | $CO$ | $HC$ | $NO_x$ | $MP$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CH_4$ | $SO_x$ |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -17.37 | -0.71 | -2.31 | -0.08 | -2080.15 | -237.13 | -31.42 | -0.07 |
| Periodo (05:00-23:00) | -17.20 | -0.70 | -2.28 | -0.08 | -2056.98 | -233.55 | -30.94 | -0.06 |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 0.14 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 19.43 | 3.05 | 0.40 | 0.00 |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | -0.69 | -0.03 | -0.11 | 0.00 | -89.54 | -12.62 | -1.67 | 0.00 |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -16.65 | -0.68 | -2.20 | -0.07 | -1986.87 | -223.98 | -29.68 | -0.06 |

La figura 3.5 indica la variación en las emisiones diarias de cada contaminante estudiado, para el caso en el que se considera tanto la reducción del flujo vehicular, como la modificación de los perfiles de velocidad.

El mayor impacto se presenta en el Monóxido de Carbono y los Hidrocarburos con un 7.67% y 7.59% respectivamente. Mientras que los que menores reducciones porcentuales presentan son los Óxidos de Nitrógeno y el Metano, ambos con una disminución del 5.21%.

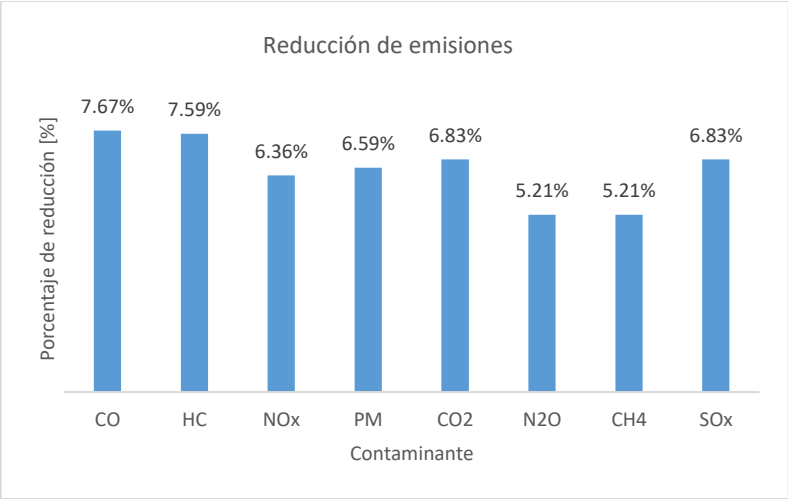


*Figura 3-5: Reducción porcentual de emisiones según contaminante.*

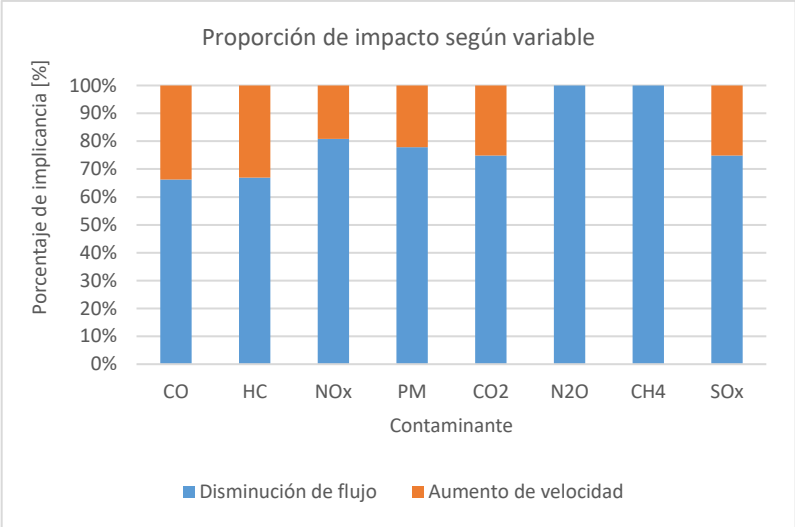


*Figura 3-6: Composición de la reducción de emisiones para cada contaminante.*

La figura 3.6 indica que proporción de la disminución de emisiones es atribuible a la variación en la cantidad de vehículos circulantes en la ciudad, y que proporción de la

disminución es producto del cambio en el perfil de velocidades producido por la implementación de la medida de RV a vehículos C/SV.

El cambio en los perfiles de velocidad de la ciudad influye en mayor medida en las emisiones de Monóxido de Carbono e Hidrocarburos, siendo atribuible a este factor el 34% de las emisiones reducidas. Para el Dióxido de Carbono y los Óxidos de Azufre, el 26% de las emisiones reducidas son atribuibles al cambio en las velocidades medias de desplazamiento en la ciudad, la influencia del aumento de velocidad en las reducciones de emisiones de Material Particulado y los Compuestos Nitrogenados son del 23% y 20% respectivamente. Mientras que para el Metano y los Óxidos de Nitrógeno el cambio en la velocidad no influye en la disminución de las emisiones.

En resumen, la medida de restricción vehicular a vehículos C/SV durante episodios críticos de calidad del aire, genera una reducción de emisiones para la categoría de vehículos livianos entre un 5.21% y 7.67% dependiendo el contaminante.

Si bien la medida disminuye principalmente la presencia de vehículos livianos en las calles, y por consiguiente disminuye las emisiones asociadas a tal categoría, el hecho de variar el flujo vehicular implica modificar los perfiles de velocidad presentes en la ciudad. Este cambio en los patrones de conducción de la ciudad genera una variación en las emisiones de todas las categorías de vehículos, sin necesariamente disminuir su nivel de actividad habitual.

# 4 Restricción vehicular y calidad del aire

El hecho de restringir la libre circulación de vehículos en una zona determinada es común en varios países del mundo. La medida de Restricción Vehicular es utilizada con distinto propósito, en algunos casos busca apalear en parte la congestión presente en las ciudades, y en otros casos es utilizada como herramienta para combatir la contaminación atmosférica.

El caso de Santiago de Chile corresponde a una Restricción Vehicular de carácter ambiental, incluida entre las medidas del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago.

En el presente estudio se analiza el impacto que tiene esta medida en la concentración de distintos contaminantes.

## 4.1 Metodología calidad del aire

En la atmósfera se encuentran dos tipos de contaminantes, los primarios producidos directamente por actividad humana, y asociados a una fuente (ya sea móvil o fija) y los secundarios, provenientes de reacciones químicas o condensación de vapores en la atmósfera (de productos llamados precursores).

En el estudio se analiza el impacto de la medida en cinco contaminantes:

- Monóxido de Carbono ($CO$)
- Material Particulado Grueso ($MP_{10}$)
- Material Particulado Fino ($MP_{2.5}$)
- Ozono ($O_3$)
- Óxidos de Nitrógeno ($NO_x$)

El Monóxido de Carbono corresponde a un contaminante primario, producido por la combustión incompleta del carbono en combustibles fósiles, la oxidación en la atmosfera da lugar a Dióxido de Carbono ($CO_2$).

El Ozono corresponde a un contaminante secundario y es producido por complejas reacciones fotoquímicas en la atmósfera.

Una parte de los Óxidos de Nitrógeno corresponde a contaminante primario ($NO$) producto de la combustión de combustibles fósiles, la oxidación en la atmósfera de este contaminante primario genera Dióxido de Nitrógeno ($NO_2$) y posteriormente Ácido Nítrico ($HNO_3$) como contaminantes secundarios.

El Material Particulado ($MP_{10}\ y\ MP_{2.5}$) puede presentarse como un contaminante primario (procesos de combustión, motores Diesel, procesos industriales, levantamiento de polvo en las calles, incendios forestales, entre otros) o como un contaminante

secundario (reacción química de precursores o condensación de productos de combustión).

Las mediciones referidas a calidad del aire en la Región Metropolitana se realizan en las Estaciones de Monitoreo pertenecientes a la red MACAM 2, de responsabilidad del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA).

Para el análisis se utilizan los datos horarios registrados en cuatro de estas estaciones de monitoreo: Las Condes, Pudahuel, La Florida, Parque O´Higgins. [38]

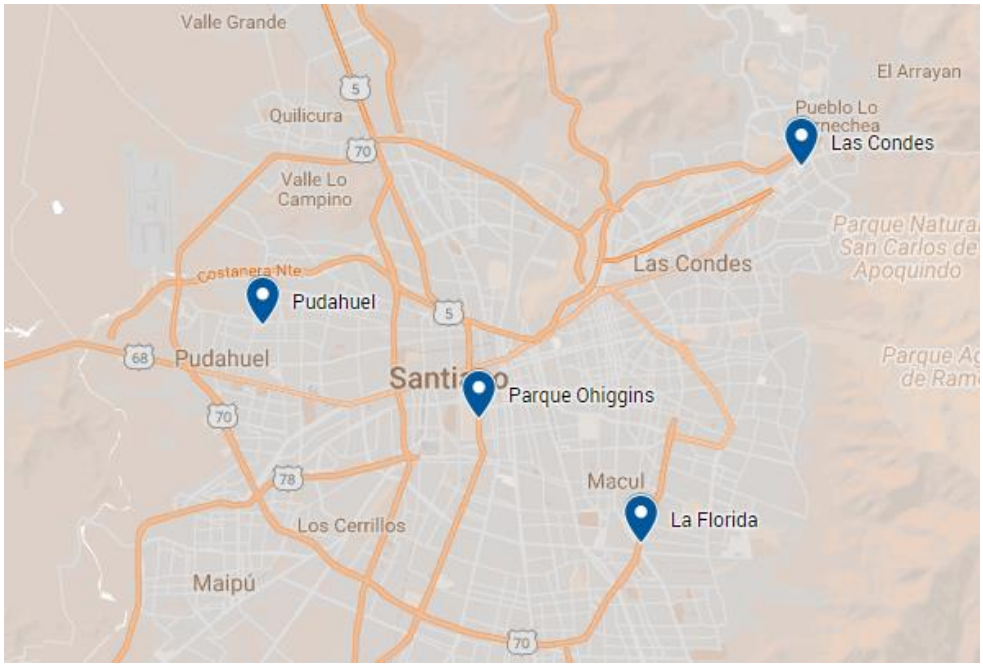


*Figura 4-1: Ubicación de estaciones de monitoreo de calidad del aire utilizadas en el estudio.*

Se estudia el comportamiento de los niveles promedios y máximos de concentración para distintos contaminantes, comparando los niveles registrados durante los episodios de Preemergencia Ambiental con valores presentados el día anterior a la implementación de la medida de Restricción Vehicular para vehículos C/SV. [39]

[38] Se eligen estas cuatro estaciones ya que se encuentran cercana a sectores donde se concentran los flujos vehiculares de la ciudad.

[39] Se deja fuera del estudio a episodios en los cuales el día anterior o posterior también se implementa la medida de restricción vehicular para vehículos C/SV.

## 4.2 Resultados calidad del aire

La tabla 4.1presenta las variaciones de los promedios diarios al comparar el día del evento con los valores registrados el día anterior. Se denota con cuadrado rojo los valores correspondientes a disminuciones en las concentraciones.

*Tabla 4.1: Variación en los promedios diarios de los distintos contaminantes, según episodio.*

| Promedio Diario | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Episodio | La Florida | | | | | Las Condes | | | | | Parque Ohiggins | | | | | Pudahuel | | | | |
| | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 |
| Mi 01/06/2011 | -9% | | 12% | -13% | 4% | 9% | 0% | 40% | -1% | 12% | -66% | -64% | -21% | -94% | -13% | -66% | -82% | -49% | -88% | -44% |
| Vi 08/07/2011 | -10% | | 20% | -22% | 35% | -6% | 37% | 43% | 3% | 27% | -77% | -61% | -50% | 5% | 55% | -11% | -22% | 0% | 16% | -23% |
| Vi 08/06/2012 | -8% | | 3% | -8% | 20% | 14% | 23% | 31% | 7% | 23% | -64% | -38% | -33% | -58% | 23% | -11% | -23% | -17% | -32% | -22% |
| Ma 17/07/2012 | 6% | | -17% | 32% | -59% | 25% | 51% | 59% | 54% | -54% | 5% | 31% | 4% | 41% | -100% | -83% | -24% | -77% | -7% | -56% |
| Mi 18/006/2014 | 12% | | 10% | 6% | 8% | 1% | -5% | 10% | -1% | 15% | -60% | -42% | -31% | -40% | 6% | 30% | -50% | -25% | 11% | -28% |
| Vi 05/06/2015 | -30% | | -54% | | 36% | -153% | -28% | 10% | -40% | 62% | -39% | -73% | -69% | -36% | 80% | -65% | -53% | -25% | -99% | 76% |
| Ma 16/06/2015 | -31% | | -8% | | 0% | -26% | 23% | 24% | 1% | -11% | -17% | -1% | 7% | -25% | 15% | -124% | -37% | -42% | -28% | -21% |
| Vi 19/06/2015 | 12% | | 11% | | 12% | -20% | 1% | -11% | 2% | 26% | -7% | 5% | -14% | 15% | 15% | -20% | -12% | 2% | 9% | -17% |
| Mi 22/07/2015 | -6% | | -8% | -4% | 33% | 1% | 12% | 23% | 2% | | 8% | -8% | -12% | 0% | 44% | -5% | -1% | 2% | -44% | 39% |
| Vi 24/07/2015 | 14% | | -4% | 11% | -40% | -13% | -13% | -103% | -11% | | 10% | 7% | 4% | 35% | -32% | -8% | -19% | -18% | -9% | -50% |
| | La Florida | | | | | Las Condes | | | | | Parque Ohiggins | | | | | Pudahuel | | | | |
| | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 |
| Aumenta | 40% | | 50% | 43% | 70% | 50% | 60% | 80% | 60% | 75% | 30% | 30% | 30% | 40% | 70% | 10% | 0% | 30% | 30% | 20% |
| Disminuye | 60% | | 50% | 57% | 30% | 50% | 40% | 20% | 40% | 25% | 70% | 70% | 70% | 60% | 30% | 90% | 100% | 70% | 70% | 80% |

La estación de Pudahuel es en la que se presenta una mayor tendencia a la baja de la concentración de contaminantes estudiados, obteniendo para el Material Particulado Grueso una disminución en promedio diario para todos los episodios incluidos en el análisis.

La estación Parque O´Higgins presenta una tendencia a la baja en los promedios diarios para cuatro de los cinco contaminantes estudiados. Las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Las Condes y La Florida no presentan una tendencia clara de comportamiento para ninguno de los contaminantes.

*Tabla 4.2: Variación en los máximos diarios de los distintos contaminantes, según episodio.*

| Episodio | Máximo Diario | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | La Florida | | | | | Las Condes | | | | | Parque Ohiggins | | | | | Pudahuel | | | | |
| | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 |
| Mi 01/06/2011 | -11% | | 8% | -9% | -13% | -5% | -59% | 24% | -25% | 28% | -42% | -120% | -40% | -50% | -28% | 7% | -15% | 2% | 6% | -58% |
| Vi 08/07/2011 | 5% | | 41% | -38% | 36% | -20% | 9% | 29% | -27% | 19% | -98% | -89% | -50% | -10% | 57% | -3% | -33% | -12% | 19% | 17% |
| Vi 08/06/2012 | -10% | | -10% | -16% | 27% | 18% | -21% | 21% | -8% | 11% | -92% | -83% | -68% | -75% | 56% | 2% | -11% | 0% | -18% | 15% |
| Ma 17/07/2012 | -6% | | -8% | 28% | -38% | 31% | 57% | 55% | 59% | -27% | 7% | 41% | -12% | 46% | -160% | -130% | -46% | -171% | -37% | -69% |
| Mi 18/006/2014 | 20% | | 27% | 12% | 8% | 0% | -9% | 9% | -3% | -10% | -43% | -28% | -34% | -19% | 6% | 0% | -16% | 4% | 5% | 22% |
| Vi 05/06/2015 | -20% | | -93% | | 72% | -169% | -75% | 20% | -42% | 71% | -11% | -33% | -27% | -4% | 94% | 15% | -27% | 5% | -26% | 95% |
| Ma 16/06/2015 | 9% | | -77% | | -4% | 18% | 33% | 15% | -3% | -2% | -3% | -20% | -16% | -19% | -5% | -10% | -107% | -64% | -25% | -49% |
| Vi 19/06/2015 | 16% | | 55% | | 15% | -55% | -54% | -4% | -3% | 28% | 19% | 12% | 29% | 11% | 27% | -5% | -43% | 20% | -6% | -15% |
| Mi 22/07/2015 | -27% | | -51% | -21% | 56% | 4% | 15% | 40% | -6% | | 5% | 0% | -19% | 3% | 71% | 9% | -3% | 17% | 5% | 50% |
| Vi 24/07/2015 | 9% | | 15% | 20% | -65% | 16% | 2% | -43% | -7% | | -12% | -11% | 3% | 20% | -48% | 2% | -25% | 0% | 0% | -99% |
| | La Florida | | | | | Las Condes | | | | | Parque Ohiggins | | | | | Pudahuel | | | | |
| | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 | CO | MP10 | MP2,5 | Nox | O3 |
| Aumenta | 50% | | 50% | 43% | 60% | 50% | 50% | 80% | 10% | 63% | 30% | 30% | 20% | 40% | 60% | 50% | 0% | 60% | 50% | 50% |
| Disminuye | 50% | | 50% | 57% | 40% | 50% | 50% | 20% | 90% | 38% | 70% | 70% | 80% | 60% | 40% | 50% | 100% | 40% | 50% | 50% |

La tabla 4.2 presenta la variación en el máximo diario registrado en las distintas estaciones respecto a los registros del día anterior. Los niveles máximos diarios de concentración de Material Particulado Grueso registrados en la estación de Pudahuel disminuyen su magnitud en todos los episodios estudiados.

La estación de Parque O´Higgins presenta disminución en los niveles máximos de Monóxido de Carbono y Material Particulado en la mayoría de los episodios.

Por otro lado, considerando que los episodios críticos de calidad del aire se decretan en base a los niveles de concentración de Material Particulado, se encuentra un solo episodio en el cual el promedio diario supera los niveles que determinan la declaración de un episodio de Preemergencia Ambiental, tal medición fue registrada en la estación de Pudahuel. [40]

En conclusión, si bien se presentan disminuciones en los niveles promedio y máximo para algunos contaminantes y estaciones, no se evidencian resultados consistentes relacionados al impacto que tiene la medida de Restricción Vehicular para vehículos C/SV.

Esta no-relación entre la aplicación de la medida y la mejora en la concentración de contaminantes es atribuible a que en los niveles de concentración de los distintos contaminantes interfieren distintas variables, no solo la variable que se busca controlar con la medida de RV a vehículos C/SV (emisión de fuentes móviles).

El párrafo anterior sigue la misma línea de lo que expone el SINCA en relación con la calidad del aire: "Los datos monitoreados mostrados en SINCA corresponden fundamentalmente a monitoreo de la calidad del aire. Sobre esta variable inciden variados factores, como la presencia de contaminantes in situ, el transporte de contaminantes desde otras zonas, las condiciones de estabilidad atmosférica, la presencia de radiación solar, los procesos de formación y destrucción de dichas sustancias en la atmosfera, etc. Por lo tanto,

[40] Los ICAP más altos generalmente se encuentran en la estación de Quilicura, alejada de grandes flujos vehiculares y cercana a zonas industriales.

el valor de la medición representa el aporte de diversos componentes sobre el volumen de aire monitoreado en ese instante en ese lugar, y es por ello deducible que muchas de las estaciones de monitoreo, especialmente las ubicadas en zonas urbanas, estén midiendo no solo el impacto de una fuente en particular, sino que de varias otras actividades, tales como tránsito vehicular, quema de combustibles en el ámbito comercial o doméstico, uso de solventes o compuestos volátiles, etc..”[41]

[41] Expuesto en el sitio web del Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire.

# 5 Escenarios con distinto grado de penetración

El análisis desarrollado en los capítulos anteriores corresponde al impacto en el flujo vehicular, las emisiones y la calidad del aire que se produce al implementar un episodio de preemergencia ambiental, en el cual se restringe la circulación a vehículos cuya placa patente termine en dos dígitos determinados.

En este capítulo se realiza una simulación del impacto en las variables para dos escenarios de Restricción Vehicular con distintos grados de penetración al escenario estudiado en capítulos anteriores.

## 5.1 Restricción a vehículos C/SV en episodios críticos, caso ideal.

Este escenario se refiere al mismo tipo de Restricción Vehicular que el estudiado en capítulos anteriores, pero suponiendo el caso ideal, en el que el impacto en los flujos vehiculares sea equivalente a una disminución de un 20%, debido a que se restringe la libre circulación de vehículos que terminen su patente en 2 dígitos determinados. [42]

En el modelo, se establece como supuesto que durante las horas donde rige la medida la cantidad de vehículos que circulan por la ciudad disminuyen en un 20%. Luego las variaciones en emisiones se determinan siguiendo la misma metodología establecida en el apartado 3.1.

Producto de la disminución de flujo vehicular, se obtiene un aumento en la velocidad promedio en cada zona, la tabla 5.1 presenta el porcentaje de variación de la velocidad media diaria.

*Tabla 5.1: Variación de velocidad media diaria según zona para escenario ideal de RV 2015.*

| Sector | Variación Velocidad |
|---|---|
| Zona I | 6.7% |
| Zona II | 7.6% |
| Zona III | 5.4% |

[42] El considerar una reducción en los flujos de un 20% es una aproximación, ya que no la totalidad del parque vehicular se encuentra afecto a la medida.

La tabla 5.2 muestra la variación en las emisiones para cada contaminante para cada hora.

*Tabla 5.2:Variación en las emisiones para cada hora según contaminante, escenario ideal de RV2015.*

| Emisiones C/RV variando velocidad y % de flujo - Emisiones S/RV | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hora | $CO$ | $HC$ | $NO_x$ | $MP$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CH_4$ | $SO_x$ |
| 0:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7:00:00 | -4.7 | -0.2 | -0.6 | 0.0 | -545.8 | -57.3 | -7.6 | 0.0 |
| 8:00:00 | -4.1 | -0.2 | -0.5 | 0.0 | -490.3 | -54.9 | -7.3 | 0.0 |
| 9:00:00 | -3.0 | -0.1 | -0.4 | 0.0 | -372.2 | -47.2 | -6.3 | 0.0 |
| 10:00:00 | -2.9 | -0.1 | -0.4 | 0.0 | -361.4 | -48.3 | -6.4 | 0.0 |
| 11:00:00 | -2.9 | -0.1 | -0.4 | 0.0 | -366.8 | -48.7 | -6.5 | 0.0 |
| 12:00:00 | -3.1 | -0.1 | -0.4 | 0.0 | -391.0 | -50.8 | -6.7 | 0.0 |
| 13:00:00 | -3.4 | -0.1 | -0.5 | 0.0 | -415.7 | -52.7 | -7.0 | 0.0 |
| 14:00:00 | -3.2 | -0.1 | -0.5 | 0.0 | -395.3 | -51.2 | -6.8 | 0.0 |
| 15:00:00 | -3.3 | -0.1 | -0.5 | 0.0 | -410.4 | -52.3 | -6.9 | 0.0 |
| 16:00:00 | -3.7 | -0.1 | -0.5 | 0.0 | -448.7 | -54.9 | -7.3 | 0.0 |
| 17:00:00 | -4.4 | -0.2 | -0.6 | 0.0 | -524.6 | -56.7 | -7.5 | 0.0 |
| 18:00:00 | -4.8 | -0.2 | -0.6 | 0.0 | -561.9 | -57.9 | -7.7 | 0.0 |
| 19:00:00 | -3.8 | -0.2 | -0.5 | 0.0 | -463.1 | -53.7 | -7.1 | 0.0 |
| 20:00:00 | -3.1 | -0.1 | -0.4 | 0.0 | -388.7 | -50.5 | -6.7 | 0.0 |
| 21:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 22:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 23:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Emisiones según periodo | | | | | | | | |
| Periodo | $CO$ | $HC$ | $NO_x$ | $MP$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CH_4$ | $SO_x$ |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -50.35 | -2.05 | -6.90 | -0.23 | -6135.81 | -737.33 | -97.70 | -0.19 |
| Periodo (05:00-23:00) | -50.35 | -2.05 | -6.90 | -0.23 | -6135.81 | -737.33 | -97.70 | -0.19 |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -50.35 | -2.05 | -6.90 | -0.23 | -6135.81 | -737.33 | -97.70 | -0.19 |

La figura 5.1 indica la disminución en las emisiones diarias por contaminante, y la figura 5.2 muestra la influencia en esta reducción de emisiones del factor cantidad de vehículos y el factor variación de velocidad.

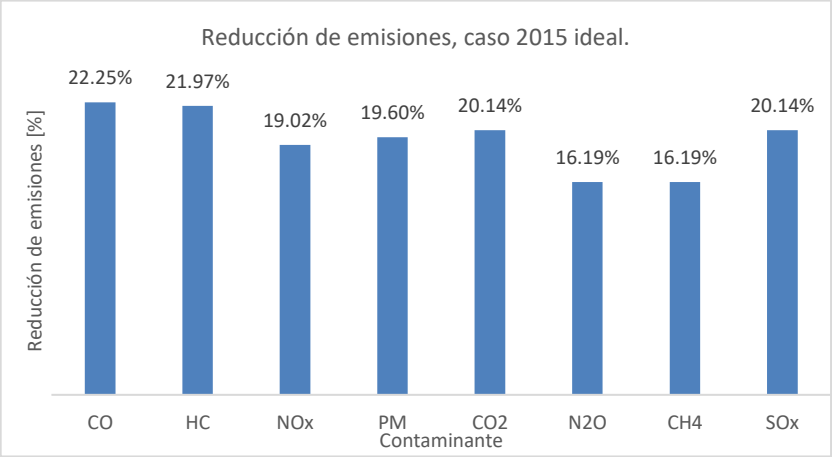


*Figura 5-1: Reducción porcentual de emisiones según contaminante, escenario ideal RV2015.*

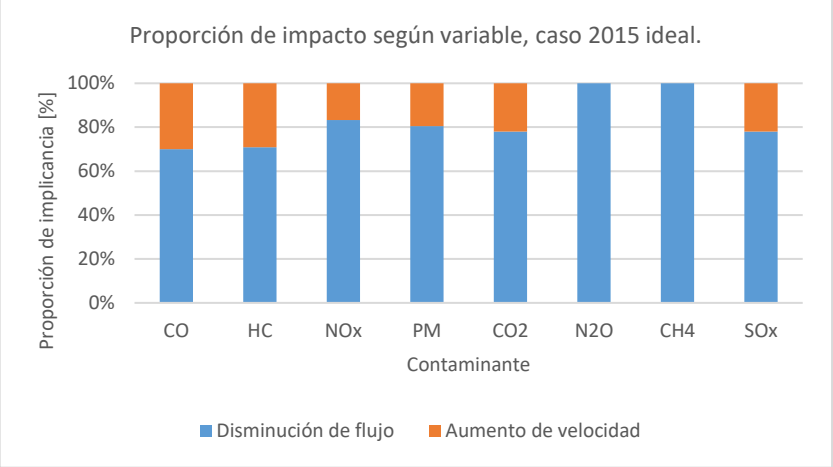


*Figura 5-2: Composición de la reducción de emisiones para cada contaminante, escenario ideal RV2015.*

La alta reducción de flujo vehicular, sumado al considerable aumento en las velocidades, inciden en que se obtengan reducciones de emisiones de magnitudes bastante superiores a las presentadas en el capítulo 3.

En lo referido a la calidad del aire, no se puede determinar el impacto que tendría, ya que no se establece una relación concluyente entre el hecho de aplicar una medida de RV a vehículos C/SV y obtener mejores niveles de calidad del aire.

## 5.2 Restricción permanente a vehículos C/SV, caso 2018

El año 2018 en la Región Metropolitana de Chile se instaura un nuevo modelo de Restricción Vehicular para vehículos con Sello Verde, este modelo contempla una RV permanente entre los meses de Mayo y Agosto, y se encuentran afectos los vehículos inscritos antes del 01 de Septiembre del 2010. Por día se restringe la libre circulación dentro del anillo Américo Vespucio al 10% de los vehículos afectos (1 dígito de placa patente por día).

Si bien esta medida rige dentro del anillo Américo Vespucio, para fines del estudio se considera que la medida afecta a las comunas de la Región Metropolitana de Santiago mas la comuna de Puente Alto y San Bernardo. [43]

Según estadísticas del INE el año 2010 se encuentran registrados 1038341 vehículos particulares en las comunas estudiadas, mientras que el año 2017 los vehículos registrados en dichas comunas son 1516472. [44]

Considerando que cada día se restringe un 10% de los vehículos afectos a la medida, se obtiene un impacto en los flujos vehiculares hipotético de un 6.85%.

$$Impacto\ en\ flujos = \frac{vehículos\ afectos\ RV * (\frac{dígitos\ por\ día}{total\ de\ dígitos})}{vehículos\ totales} \quad (9)$$

$$Impacto\ en\ flujos = \frac{1038341 * (\frac{1}{10})}{1516472}$$

$$Impacto\ en\ flujos = 6.85\%$$

[43] Con el fin de poder comparar las distintas modalidades de RV presentadas en el estudio.

[44] Para la RV 2018 se utilizan datos de parque automotriz publicados por el INE para el año 2017, ya que son los registros más actualizados.

Se considera que la medida es completamente eficaz, y en horas donde rige la RV se registra una disminución de un 6.85% en los flujos vehiculares. Por otra parte, ese porcentaje de disminución en la cantidad de vehículos circulando en las calles, corresponde en su totalidad a vehículos inscritos antes del 01/09/2010.

*Tabla 5.3: Variación de velocidad media diaria según zona para escenario RV 2018.*

| Sector | Variación Velocidad |
|---|---|
| Zona I | 2.6% |
| Zona II | 3.1% |
| Zona III | 2.1% |

La tabla 5.3 presenta las variaciones de velocidad media diaria en las distintas zonas de estudio, producida por la implementación de la medida.

En el año 2011 empieza a regir la norma de emisiones Euro IV para vehículos particulares y comerciales a gasolina, por lo que se define como supuesto que los vehículos que se encuentran afectos a la medida poseen una tecnología menor al Euro IV.[45]

Teniendo en consideración lo expuesto anteriormente, y utilizando como base para la estimación de emisiones la metodología expuesta en la sección 3.1, se estiman la variación en las emisiones para distintos contaminantes, las cuales se muestran en la tabla 5.4.

[45] Si bien para vehículos Diesel la norma Euro IV empezó a regir en el año 2006, y también existen vehículos a gasolina antes del 2010 con tecnología Euro IV, se determina establecer este parámetro debido a la baja cantidad de estos vehículos.

*Tabla 5.4: Variación de emisiones por hora según contaminante, RV2018.*

| Emisiones C/RV variando velocidad y % de flujo - Emisiones S/RV | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hora | $CO$ | $HC$ | $NO_x$ | $MP$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CH_4$ | $SO_x$ |
| 0:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6:00:00 | -0.6 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -56.3 | -9.6 | -2.2 | 0.0 |
| 7:00:00 | -2.5 | -0.1 | -0.3 | 0.0 | -239.8 | -22.8 | -5.3 | 0.0 |
| 8:00:00 | -2.2 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -207.2 | -21.8 | -5.1 | 0.0 |
| 9:00:00 | -1.6 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -152.1 | -19.0 | -4.4 | 0.0 |
| 10:00:00 | -1.4 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -138.6 | -18.3 | -4.3 | 0.0 |
| 11:00:00 | -1.5 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -140.9 | -18.5 | -4.3 | 0.0 |
| 12:00:00 | -1.6 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -151.1 | -19.3 | -4.5 | 0.0 |
| 13:00:00 | -1.7 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -161.7 | -20.0 | -4.7 | 0.0 |
| 14:00:00 | -1.6 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -152.8 | -19.4 | -4.5 | 0.0 |
| 15:00:00 | -1.7 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -159.4 | -19.8 | -4.6 | 0.0 |
| 16:00:00 | -1.8 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -176.7 | -20.8 | -4.9 | 0.0 |
| 17:00:00 | -2.3 | -0.1 | -0.3 | 0.0 | -225.3 | -22.6 | -5.3 | 0.0 |
| 18:00:00 | -2.6 | -0.1 | -0.3 | 0.0 | -248.4 | -23.0 | -5.4 | 0.0 |
| 19:00:00 | -2.0 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -192.1 | -21.3 | -5.0 | 0.0 |
| 20:00:00 | -1.6 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -150.1 | -19.1 | -4.5 | 0.0 |
| 21:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 22:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 23:00:00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Emisiones según periodo | | | | | | | | |
| Periodo | $CO$ | $HC$ | $NO_x$ | $MP$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CH_4$ | $SO_x$ |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -26.47 | -1.13 | -3.00 | -0.10 | -2552.51 | -295.39 | -69.21 | -0.08 |
| Periodo (05:00-23:00) | -26.47 | -1.13 | -3.00 | -0.10 | -2552.51 | -295.39 | -69.21 | -0.08 |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | -0.56 | -0.03 | -0.08 | 0.00 | -56.29 | -9.57 | -2.24 | 0.00 |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -25.90 | -1.11 | -2.93 | -0.10 | -2496.22 | -285.82 | -66.96 | -0.08 |

En la figura 5.3 se presentan las disminuciones diarias porcentuales para cada contaminante estudiado.

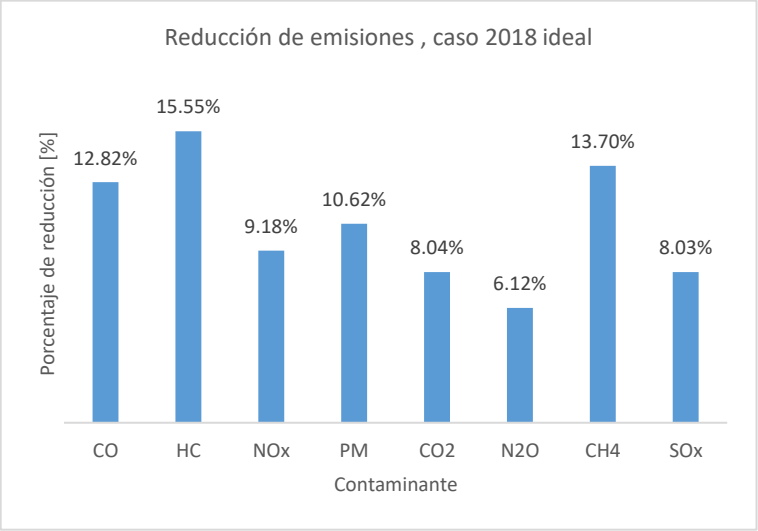


*Figura 5-3: Reducción porcentual de emisiones según contaminante, RV2018.*

Finalmente, la figura 5.4 muestra que proporción de la reducción de emisiones es atribuible a los vehículos restringidos de circular y que proporción es atribuible al aumento de velocidad producto de la disminución del flujo vehicular.

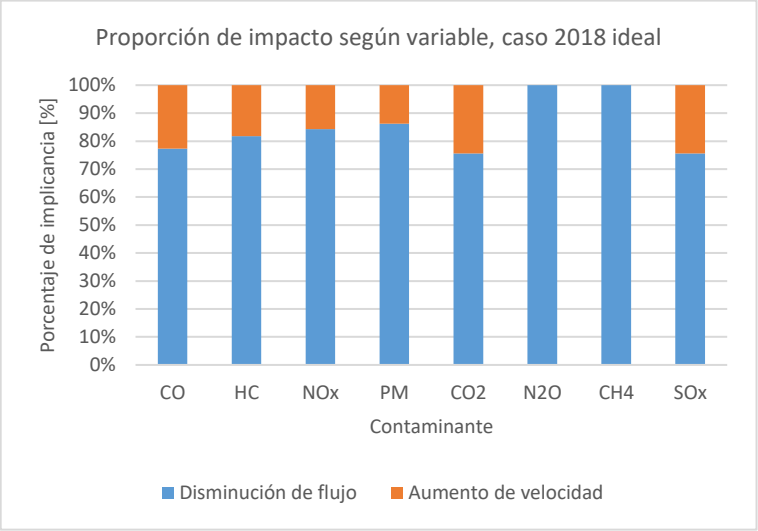


*Figura 5-4: Composición de la reducción de emisiones para cada contaminante, RV2018.*

La medida de restricción vehicular permanente a vehículos C/SV implementada en 2018, en el caso ideal, tendría un impacto en los flujos vehiculares de un 6.85%, generando reducciones porcentuales en las emisiones mayores a las estimadas para el caso de RV en episodios críticos de calidad del aire. Esto debido principalmente a que en la RV 2018 se encuentran afectos los vehículos más viejos del parque automotriz de la ciudad, los cuales presentan, por lo general, motores con tecnologías de emisión más antiguas, y por ende más contaminantes.

# 6 Conclusiones

En el presente trabajo se analiza el impacto que tiene la medida de Restricción Vehicular para vehículos Con Sello Verde en la Región Metropolitana de Santiago, en el flujo vehicular, las emisiones y la calidad del aire.

## 6.1 Conclusiones Generales

En lo que respecta al flujo vehicular, los análisis entregan que, para un día normal de RV a vehículos C/SV restringiendo la circulación de dos dígitos de placa patente, durante las horas donde se aplica la medida se presenta una disminución en el flujo vehicular de un $6.05\% \pm 0.45\%$. Durante las horas anteriores a la puesta en marcha de la RV, se registra un aumento en el flujo vehicular de un 2.22%, atribuible a un adelantamiento de los viajes buscando evadir la medida.

La diferencia entre los resultados obtenidos y la reducción potencial teórica del flujo que tiene la medida de RV a vehículos C/SV puede ser producida por diversas causas: la tenencia de un segundo vehículo; el no cumplimiento conscientemente de la medida por parte de los conductores; el no cumplimiento de la medida por los conductores debido a no estar al tanto de que se decreta un episodio de Preemergencia Ambiental; el traspaso de esos viajes en trasporte particular a viajes en trasporte de pasajeros privado (taxi, radio taxi, colectivos) o por el aumento de los viajes diarios realizados por un vehículo particular para suplir los viajes que no realizan los vehículos afectos a la RV.

La reducción del flujo vehicular producido por la implementación de la RV conlleva una disminución de las emisiones diarias producidas por los vehículos livianos en la ciudad desde un 5.21% hasta un 7.57%, dependiendo el contaminante. Esta disminución en las emisiones es producida en parte por la menor cantidad de fuentes móviles contaminantes, y por otro lado por el cambio en los perfiles de velocidad (producto del cambio en los flujos) que se presentan durante el día, los cuales inciden en los factores de emisión de los distintos vehículos.

En cuanto a la calidad del aire, no se presenta una relación clara entre la implementación de la medida y la mejora en los niveles de concentración de contaminantes. Lo anterior, atribuible a los distintos factores que intervienen en los niveles de calidad del aire presentes en una ciudad como Santiago.

Al estudiar el impacto de la medida, considerando un caso ideal en el cuál la reducción de flujo alcance un 20%, se presentan reducción porcentuales superiores a 15% en las emisiones de todos los contaminantes estudiados. Por otro lado, al estudiar el régimen de RV permanente implementado el año 2018, también considerando un caso ideal, se estima una reducción en los flujos vehiculares de un 6.85%, y reducciones porcentuales de emisiones desde un 6.12% hasta un 15.55%, dependiendo el contaminante.

En conclusión, las medidas de RV a vehículos C/SV para episodios críticos como medida ambiental, en la Región Metropolitana de Santiago, no presenta evidencias de ser efectiva en el mejoramiento de los índices de calidad del aire, a pesar de generarse reducciones en las emisiones de los vehículos particulares. Sin embargo, este tipo de RV si evidencian disminución en los flujos vehiculares, y por consiguiente un aumento en la velocidad media de circulación, por lo que como medida para combatir la congestión de la ciudad si pudiese considerarse efectiva.

A modo personal, la implementación de restricción permanente a vehículos C/SV instaurada desde el año 2018, es una medida con alto potencial de generar mejoras en cuanto a las emisiones producidas por el sector transporte en la ciudad. Tal modelo de restricción incluso puede tener mejores resultados, si, en vez de considerar el año de inscripción del vehículo como parámetro discriminador de estar o no afecto a la medida, se discrimina por tecnología de emisión del vehículo.

Sin embargo, la implementación de una política de restricción vehicular debe ser acompañado con algunas otras medidas que contribuyan a aumentar el grado de eficacia de tal política, y la satisfacción de los conductores frente a ella.

Algunas de estas medidas complementarias sería el incentivo del uso de la bicicleta mediante la masificación de estacionamientos en lugares cercanos a la red Metro y la reprogramación constante de los días en los cuales determinados dígitos de placa patente se encuentran imposibilitados de circular por las calles de la ciudad, para así desincentivar la compra de un segundo vehículo y así lograr que la medida de restricción vehicular tenga efectos positivos a largo plazo, tanto en niveles de congestión como en aspectos ambientales.

## 6.2 Conclusiones específicas

- Estado del Arte

Los resultados del impacto de la medida de RV en la calidad del aire coincide con el resultado obtenido para la medida implementada en Ciudad de México (Davis, 2008), si bien en Ciudad de México la RV es en régimen permanente, y la estudiada en Santiago es para episodios críticos, en ninguna se encuentra una fuerte relación entre la implementación de una Restricción Vehicular y la mejora en los índices de Calidad del Aire.

La variación en los flujos obtenidos en el presente estudio presenta valores distantes a los obtenidos por De Grange y Troncoso [Troncoso, 2017] para episodios del año 2015. Mientras que el impacto estimado en este análisis es de un 6.05% en las horas donde rige

la medida, el estimado por De Grange y Troncoso es de un 13.3%. [46] Esta diferencia en los resultados se debe tanto a la metodología utilizada en el cálculo, como a la inclusión en el análisis de los episodios decretados durante vacaciones de invierno por parte de De Grange y Troncoso.

- Flujos Vehiculares

Del estudio relacionado a los flujos vehiculares se desestiman los episodios coincidentes con vacaciones de invierno, debido a que presenta una distribución de flujos distinta a las de días normales, hecho que podría incidir en la obtención de un resultado no representativo de un día normal.

A modo de ejemplo y de validación de la hipótesis establecida en el párrafo anterior, se muestra los perfiles de flujo en la zona III para días hábiles normales y para episodios coincidentes con vacaciones de invierno.

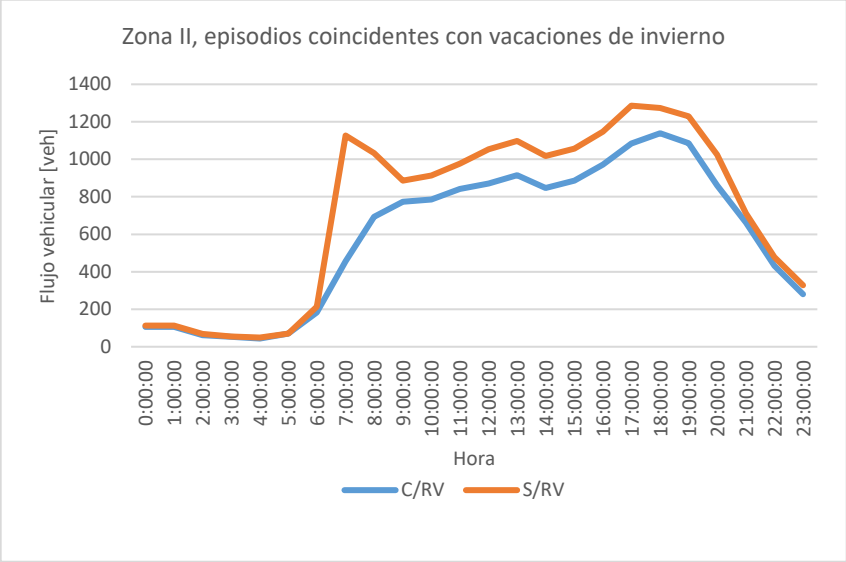


*Figura 6-1: Perfil de flujos para episodios coincidentes con vacaciones de invierno.*

Los episodios coincidentes con vacaciones de invierno presentan disminuciones de magnitudes muy superiores a las presentadas en días hábiles normales, llegando incluso entre las 07:00 – 08:00 horas a presentar una disminución en los flujos de un 59.6%, siendo

[46] El 13.3% corresponde al obtenido durante las horas que rige la medida, para datos de la UOCT.

que, en días hábiles normales, el flujo vehicular entre esas horas aumenta un 3.8%. Durante las horas donde rige la medida, en episodios coincidentes con vacaciones de invierno los flujos vehiculares disminuyen un 19.3%, mientras que en episodios decretados en días hábiles normales se presentan disminuciones del flujo de un 2.2%.

Otro aspecto a considerar de la metodología es que, a pesar de considerar distintas ECAT en el análisis de cada año, el impacto en los flujos vehiculares obtenido para episodios de 2011 y 2012 son cercanos al global obtenido para el año 2015, lo anterior solidifica la metodología de categorizar por zonas el comportamiento frente a la medida de RV.

En relación con los resultados obtenidos a partir de la segmentación según comuna, en la comuna de Santiago se presentan aumentos de flujo considerables en horas de alta demanda, este aumento en los flujos vehiculares puede ser explicado a partir de la teoría del flujo vehicular, expuesta en el apartado 1.4. En estos periodos el flujo vehicular se encuentra en modo congestionado, por lo que una disminución en la demanda (producida por la RV) genera un aumento en los flujos vehiculares.

La comuna de Lo Barnechea también presenta un aumento significativo de un 3.8% en el periodo entre 07:00 – 08:00 horas, este aumento en el flujo vehicular no necesariamente es atribuible a que el flujo se encuentre en modo congestionado, ya que la RV parte a las 07:30 horas, y teniendo en cuenta el alto porcentaje de aumento de adelantamiento de viajes en horas previas al inicio de la medida en esa zona (8.6% entre 06:00 – 07:00 horas), el aumento del 3.8% puede obedecer a un fenómeno de adelantamiento de viajes producido entre 07:00 - 07:30 horas.

En resumen, considerando el periodo donde rige la medida de RV la comuna de Lo Barnechea es la que presenta una menor diminución de flujo vehicular con una reducción de un 2.2%, lo sigue la comuna de Santiago con una reducción de un 3.2%, luego la comuna de Macul con una disminución de un 5.6%, finalizando con las comunas de Providencia y Estación Central con una reducción de un 7.8% y 8.1% respectivamente.

El menor impacto en los flujos producido en la comuna de Lo Barnechea se asocia al poder adquisitivo que tiene dicha comuna, lo que se traduce en una alta probabilidad de tener acceso a un vehículo alternativo que no se encuentre afecto a la medida, o, por otro lado, tener la posibilidad de contratar un servicio de transporte de pasajeros particular.

La disminución de 3.3% en el flujo vehicular en la comuna de Santiago se puede explicar debido a que la composición de la flota que circula por las calles principales de la comuna es distinta a las demás comunas, ya que existe un mayor porcentaje de transporte público (no afecto a restricción) circulando que en otras zonas de la RM.

El impacto en los flujos producido en las comunas de Macul, Providencia y Estación Central es considerablemente mayor a los obtenidos en Lo Barnechea y Santiago, sin embargo, se encuentran muy distantes a valores teóricos de reducción de flujo que se aspira llegar al imposibilitar circular al 20% de los vehículos C/SV. (RV de dos dígitos)

Considerando las similitudes y diferencias de los perfiles de flujos y la respuesta frente a la medida que se tiene en las distintas comunas, se establecen tres zonas dentro de la Región Metropolitana.

*Tabla 6.1: Resumen de caracteristicas y resultados de cada zona de estudio.*

| Zona | Características | Descripción del perfil de flujos | Impacto flujos vehiculares | Comunas estudiadas | Comunas de la RM de Santiago | Proporción de viajes realizados |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona I | Sector Comercial | Flujo cuasi constante durante gran parte del día | -3.2% | Santiago Centro | Santiago Centro | 10.9% |
| Zona II | Comuna promedio | Horario punta mañana y punta tarde bien definidos | -2.2% | Providencia Macul Estación Central | Demás comunas de RM de Santiago más Puente Alto y San Bernardo | 76.6% |
| Zona III | Sector con ingresos altos | Horario punta mañana y punta tarde bien definidos, con un incremento en los flujos durante horario de almuerzo | -7.0% | Lo Barnechea | Lo Barnechea Vitacura Las Condes | 12.5% |

En cuanto a los resultados obtenidos para cada episodio en particular, se presenta una tendencia en la cual los episodios que coinciden con ser el primer episodio decretado durante la semana tienen mayor impacto en los flujos vehiculares que los decretados en lo que resta de semana.

Otra variable que se infiere puede tener relevancia en la respuesta de los conductores a la medida es el grado de conocimiento que se tiene de la declaración de episodios críticos de calidad del aire. El evento con mayor impacto en los flujos durante el 2015 fue el Martes 30/06/2015, el día anterior la Selección Chilena de Futbol disputó un partido en el marco de la copa América Chile 2015, de lo anterior se puede suponer que hubo una mayor cantidad de personas pendiente al televisor, enterándose de la declaración de Preemergencia Ambiental para el día próximo. Por otro lado, el episodio que tuvo el mayor impacto en los flujos durante el periodo 2010-2014 fue el Lunes 10/05/2010, coincide con que los días Domingo hay mayor cantidad de gente pendiente de los medios de comunicación para enterarse que se declara Preemergencia Ambiental el día posterior.

- Emisiones

El cálculo de reducción de emisiones se realiza en base a los perfiles de flujo promedio C/RV y S/RV de las distintas zonas y es en base a las emisiones producidas por vehículos livianos comerciales y vehículos livianos particulares.

La mayor reducción de emisiones se presenta en el Monóxido de Carbono, seguido por los Hidrocarburos, los Óxidos de Azufre, Dióxido de Carbono, Material Particulado, Compuestos Nitrogenados, Óxidos de Nitrógeno y Metano.

Si bien gran parte de la reducción de emisiones es directamente atribuible a la disminución de los vehículos en circulación, existe un porcentaje de estas reducciones atribuibles al aumento de velocidad (consecuencia de la disminución de vehículos en las calles), y por consiguiente disminución de los factores de emisión de algunos contaminantes.

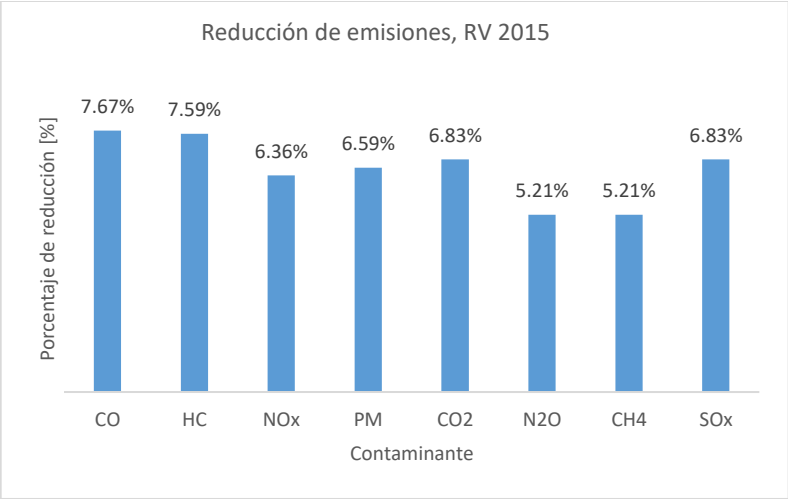


*Figura 6-2: Reducción porcentual de emisiones según contaminante para RV 2015*

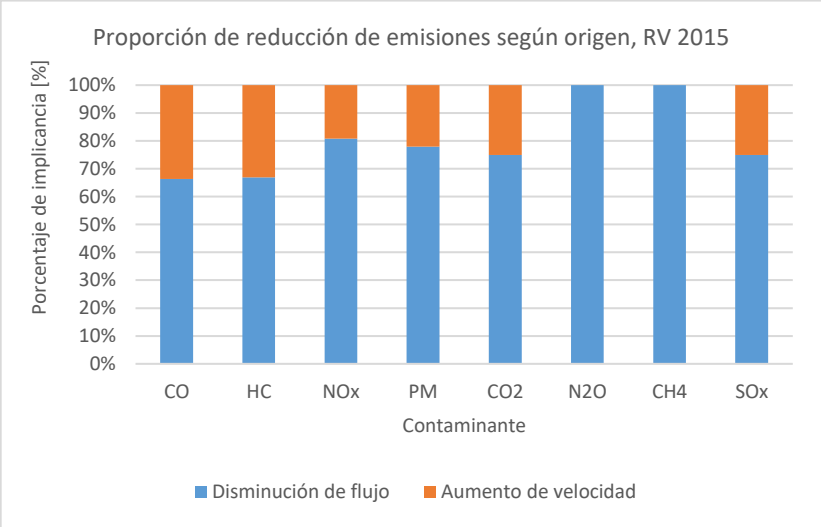


*Figura 6-3: Composición de la reducción de emisiones para cada contaminante, RV2015.*

En contaminantes como CO y HC la variación en los patrones de conducción de la ciudad es responsable de un tercio de la reducción total de emisiones. Para contaminantes como el $N_2O$ y el $CH_4$ la totalidad de la reducción es atribuible de manera directa a la disminución de fuentes móviles.

Si bien esta reducción es solo referente a las emisiones de vehículos livianos particulares de pasajero y comerciales, también se genera una reducción en las emisiones de las demás categorías, debido a que, si bien no disminuyen la cantidad de vehículos circulantes, si presentan un aumento en la velocidad media de desplazamiento, y en su defecto, disminuyen los factores de emisión de algunos contaminantes.

- Calidad del aire

De acuerdo a los resultados obtenidos, no se presenta una fuerte correlación entre la aplicación de una RV a vehículos C/SV y la mejora de la concentración de contaminantes, principalmente debido a que en la calidad del aire inciden distintos factores, no todos necesariamente relacionados a las emisiones de fuentes móviles.

- Escenarios

El grueso del trabajo estudia el impacto de la RV a vehículos C/SV en episodios de Preemergencia Ambiental basado en datos de flujos vehiculares obtenidos de la UOCT, pero también se desarrollan simulaciones referidas a otros dos escenarios: RV a vehículos C/SV en episodios de Preemergencia Ambiental considerando una reducción del flujo de un 20% (caso ideal) y la RV permanente a vehículos C/SV inscritos antes del año 2011 (también se considera una efectividad de un 100% de la medida) correspondiente al año 2018.

Las reducciones de emisión para el escenario ideal de la RV 2015 son superiores a los otros dos escenarios, debido a que se considera un alto impacto en los flujos vehiculares durante la aplicación de la medida.

*Tabla 6.2: Impacto en los flujos vehículares para los distintos modos de RV estudiados.*

| Escenario | Impacto en Flujos |
|---|---|
| RV 2015 | -6.05% |
| RV 2015_ideal | -20.00% |
| RV2018 | -6.85% |

Si bien las magnitudes de los impactos en los flujos vehiculares son similares en la RV2015 y RV2018, la reducción porcentual de las emisiones para cada contaminante varía en distintas medidas.

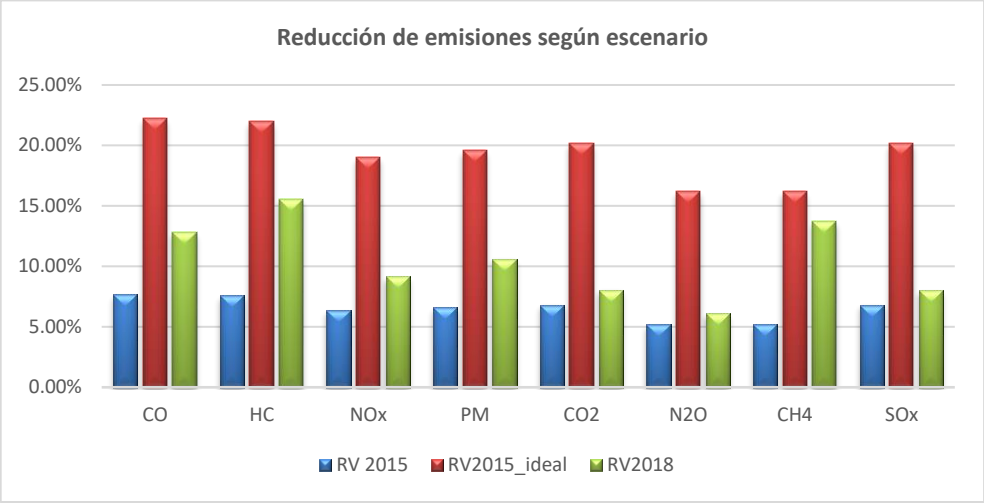


*Figura 6-4: Reducción de emisiones según contaminante para los distintos modos de RV estudiados.*

Los contaminantes $CH_4, HC, CO, PM, NO_x$ presentan diferencias considerables entre la reducción de emisiones entre RV2015 y RV2018, debido a que los factores de emisión de estos contaminantes varían en forma acentuada dependiendo la tecnología de emisión, y en la RV2018 los vehículos afectos a la medida son los con tecnologías de emisión más contaminantes.

Los contaminantes $CO_2, N_2O, SO_x$ presentan mayores niveles porcentuales de disminución de emisiones en RV2018 que en RV2015, pero solo relacionado a la diferencia en los flujos vehiculares entre ambos escenarios.

Cabe destacar que el -6.85% de variación en el flujo vehicular para la RV2018, corresponde al caso ideal, donde la medida tenga el 100% de efectividad y no exista ni evasión ni realización del viaje en un medio alternativo. Aplicando el grado de efectividad de la RV 2015 al caso de la medida en 2018, la variación del flujo vehicular correspondería a un -2.07%, lo que implicaría que las reducciones en las emisiones también presentarían magnitudes menores.

## 6.3 Recomendaciones para trabajos futuros

En cuanto al análisis referente a los flujos vehiculares, se debería tener mediciones en, a lo menos, una arteria representativa de cada comuna, con el fin de obtener una sectorización representativa de la RM. Estas mismas mediciones servirían para determinar la distribución de viajes en la RM para las distintas horas del día.

Obtener parámetros de capacidad vial en las distintas arterias donde se realiza la medición de flujos, para determinar si el flujo vehicular se encuentra en modo congestionado o no congestionado.

Para el posterior cálculo de las emisiones reducidas, se recomienda obtener el perfil de velocidad característico para cada estación donde se realicen mediciones de flujo vehicular.

Analizar las reducciones de emisiones considerando todas las categorías vehiculares, ya que, si bien no todas se encuentran afectas a la medida, todas modifican sus patrones de conducción, variando también sus factores de emisión.

# 7 Referencias


Davis, Lucas W. (2008). *The effect of driving restrictions on air quality in Mexico City.*

De Grange, Louis de; Troncoso, Ricardo. (2010). *Impacto de restricción vehicular en los flujos del transporte urbano en Santiago.*

Instituto Nacional de Estadísticas. INE. *Anuario parque automotriz año 2015.*

Instituto Nacional de Estadísticas. INE. *Anuario parque automotriz año 2017.*

Lin, C.-Y.Cynthia; Zhang, Wei; Umanskaya, Victoria I. (2011). *The effects of driving restrictions on air quality: Sao Paulo, Bogotá, Beijing, and Tianjin.*

MAPS Chile. (2013). *Escenario línea base de emisiones GEI del sector de transporte y urbanismo, Sistemas Sustentables.*

Ministerio del Medio Ambiente. MMA (2016). *Plan de prevención y descontaminación atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago.*

Ministerio del Medio Ambiente. MMA. (2017). *Apoyo a la iniciativa para el plan de mitigación de los Contaminantes Climáticos de Vida Corta en Chile.*

Ornusal, Bekir; Gautum, Surhid P. (1997). *Vehicular air pollution: experiences from seven Latin American urban centers.*

Peña Sánchez de Rivera, Daniel. (1992). *Estadística, Modelos y métodos, Fundamentos.*

Reyes Espíndola y otros. (2007). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones.*

Secretaría de Planificación de Transporte. SECTRA. (2014). *Actualización y recolección de información del sistema de transporte urbano, etapa IX. Encuesta Origen Destino Santiago 2012. Observatorio Social UAH.*

Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. SINCA. *Data concentración de contaminantes registrados en Red de Vigilancia del Aire MACAM.*

Superintendencia del Medio Ambiente. SMA. (2016). *Programa integrado de fiscalización año 2015. Periodo gestión de episodios críticos de contaminación plan de prevención y descontaminación atmosférica de la Región Metropolitana.*

Tobón, David; Vasco, Carlos; Gómez, Blanca. (2010). *Restricción vehicular y regulación ambiental: el programa "Pico y Placa" en Medellin.*

Troncoso, Rodrigo; De Grange, Louis. (2017). *Restricción vehicular y variaciones en los flujos: Un análisis multimodal para Santiago.*

Unidad Operativa de Control de Tránsito. UOCT. *Data flujos vehiculares horarios en Estaciones de Conteo Automático de Tráfico.*

Viard, V. Brian; Fu, Shihe. (2015). *The effect of Beijing´s driving restrictions on pollution and economic activity.*

Würth Ortiz, Pablo José. (2017). *Determinar el nivel de actividad vehicular para la estimación de emisiones contaminantes en la ciudad de Santiago de Chile.*

Yang, Jun; Lu, Fangwen; Qin, Ping. (2016). *How does a driving restriction affect transportation patterns? – The médium-run evidence from Beijing.*

# 8 Anexos

## A | Distribución de viajes en la RM

La encuesta Origen-Destino (EOD) entrega información sobre los patrones de viaje en la ciudad, el área de estudio es constituido por 45 comunas de la Región Metropolitana: las 32 comunas de la provincia de Santiago, las 5 comunas de la provincia de Talagante y las comunas de San Bernardo, Calera de Tango, Puente Alto, Pirque, Colina, Lampa, Buin y Melipilla.

La medida de restricción vehicular afecta a las 32 comunas de la provincia de Santiago y a las comunas de San Bernardo y Puente Alto.

En la EOD se utiliza una segregación espacial, en la cual se agrupan comunas, conformando 7 macrozonas de estudio, la figura A.1 muestra tal distribución.

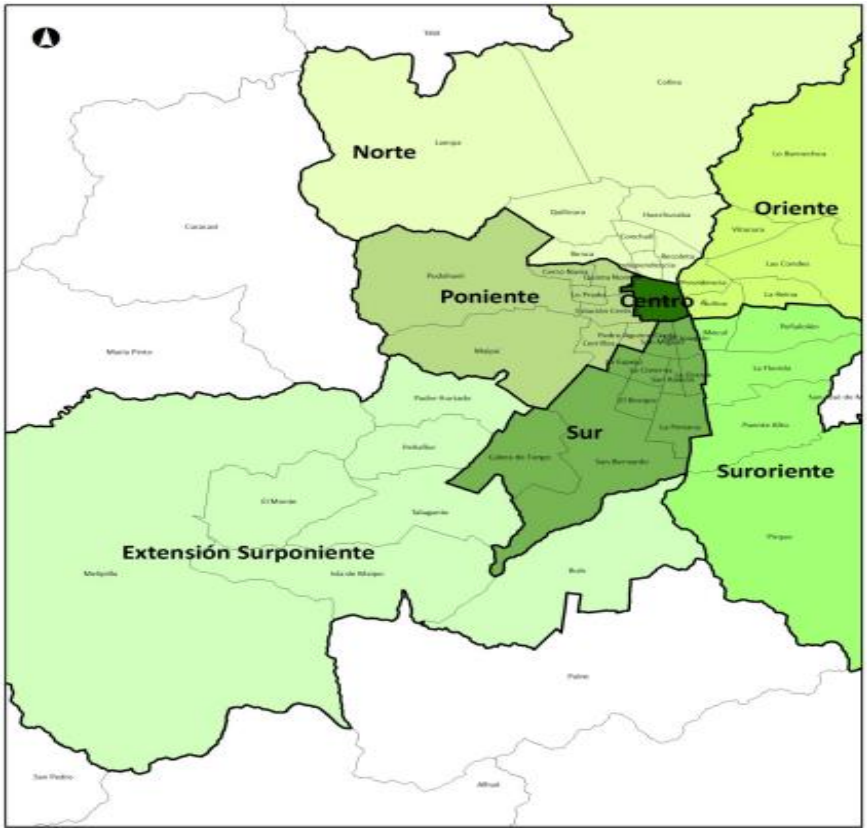


*Figura A.8-1: Sectores área de estudio EOD 2012.*

Fuente: [SECTRA, 2014]

En el informe final de EOD 2012, se presentan los resultados referentes al total de viajes generados y atraídos por cada una de las macrozonas para un día hábil, la suma de viajes atraídos y generados se utiliza como referencia para obtener la composición de viajes en la ciudad para las zonas de estudio del presente trabajo. [47]

No se consideran los registros en la macrozona "Extensión Sur-Poniente", debido a que ninguna de las comunas correspondientes a tal macrozona se encuentra afecta a la medida de restricción vehicular.

En el presente estudio se distingues tres zonas dentro de la ciudad:

- Zona I: Santiago Centro.
- Zona II: Demás comunas de la provincia de Santiago más Puente Alto y San Bernardo.
- Zona III: Lo Barnechea, Las Condes, Vitacura.

La zona I coincide con la macrozona "Centro" de la EOD; la zona II correspondería a las macrozonas "Norte", "Poniente", "Sur", Suroriente" y a una fracción de la zona "Oriente"; mientras que la zona III es representada por fracción faltante de la zona "Oriente". [48]

La macrozona "Oriente" considera las comunas de Lo Barnechea, Las Condes, Vitacura, Ñuñoa, Providencia y La Reina. La proporción correspondiente a la zona II y a la zona III se obtiene a partir de resultados de viajes particulares generados por cada comuna, obteniendo un 45.04% atribuible a la zona II y un 54.96% atribuible a la zona III. [49]

De esta manera, se obtiene para un día hábil el 10.9% de los viajes totales se realizan en la zona I, un 76.6% se realizan en la zona II y un 12.5% corresponden a la zona III.

Escenario Pesimista: En el apartado 2.2.4 se presenta como escenario pesimista el que se genere una mayor cantidad de viajes en la zona III, debido a que presenta un impacto en los flujos menor al presentado en las demás zonas. Para esto, en vez de fraccionar macrozona "Oriente" como en el escenario base, se atribuye el total de viajes de la zona "Oriente" de EOD a la zona III del ERV.

En consecuencia, el 10.9% de los viajes totales se realizan en la zona I, el 66.4% se realizan en la zona II y un 22.7% corresponden a la zona III.

[47] Los valores de viajes generados y atraídos se encuentran en el anexo digital "Viajes por zona EOD".

[48] Si bien algunas macrozonas incluidas en la zona II consideran comunas que no se encuentran afectas a RV, se supone que tienen un nivel de actividad bajo en comparación al total de viajes desarrollados en la ciudad. ("Norte" incluye a las comunas de Lampa y Colina; "Sur" incluye la comuna de Calera de Tango; "Suroriente" incluye la comuna de Pirque)

[49] Los valores utilizados para determinar la proporción se encuentran en el anexo digital "Viajes por zona EOD".

Distribución de viajes horaria: Para cálculos relacionados a emisiones, se utiliza la misma metodología que para el caso base, pero utilizando datos relacionados a periodo del día.

*Tabla A.1: Relación periodos de estudio EOD y ERV.*

| Periodo | Descripción | Horas Consideradas EOD | Horas Consideradas ERV |
|---|---|---|---|
| PM1 | Punta Mañana 1 | 06:00 - 07:30 | 06:00-06:59 |
| PM2 | Punta Mañana 2 | 07:30 - 08:59 | 07:00 - 08:59 |
| FP | Fuera Punta | 10:00 - 11:59 | 10:00 - 11:59 |
| PT | Punta Tarde | 17:30 - 20:29 | 17:00 - 19:59 |
| FPR | Fuera Punta Resto | 09:00 - 09:59 ; 12:00 - 17:29; 20:30 - 22:59 | 09:00 - 09:59 ; 12:00 - 16:59; 20:00 - 22:59 |
| NOC | Nocturno | 23:00 - 05:59 | 23:00 - 05:59 |

En base a lo anterior, se presenta la siguiente distribución de viajes según hora, para las tres zonas de estudio.

*Tabla A.2: Distribución de viajes según hora y zona de estudio.*

| Hora | Porcentaje de Viajes por zona según hora | | |
|---|---|---|---|
| | Zona I | Zona II | Zona III |
| 0:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 1:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 2:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 3:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 4:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 5:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |
| 6:00:00 | 10.31% | 78.49% | 11.20% |
| 7:00:00 | 9.69% | 78.19% | 12.12% |
| 8:00:00 | 9.69% | 78.19% | 12.12% |
| 9:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 10:00:00 | 11.80% | 76.87% | 11.32% |
| 11:00:00 | 11.80% | 76.87% | 11.32% |
| 12:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 13:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 14:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 15:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 16:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 17:00:00 | 10.45% | 76.95% | 12.60% |
| 18:00:00 | 10.45% | 76.95% | 12.60% |
| 19:00:00 | 10.45% | 76.95% | 12.60% |
| 20:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 21:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 22:00:00 | 11.42% | 75.64% | 12.94% |
| 23:00:00 | 8.89% | 78.25% | 12.86% |

# B | Detalle de cálculo de velocidades

La medida de restricción vehicular lo que busca es disminuir la cantidad de vehículos en circulación por las calles de la ciudad, tal reducción desemboca en un cambio en los patrones de conducción que se presentan en las vías. Según la teoría del flujo vehicular, la relación entre el flujo y la velocidad responde a una parábola, con un tramo representativo de flujos congestionados y otro tramo correspondiente a flujos sin congestión. (Revisar apartado 1.4)

Los datos de entrada en el presente estudio son de flujos vehiculares horarios en distintos puntos de medición, para determinar las velocidades en dichos puntos se realiza un modelo para cada zona, basado en las mediciones de flujo y velocidades de referencia obtenidas de la memoria que determina el nivel de actividad en la ciudad de Santiago desarrollada por Pablo Würth. [Würth, 2017]

Würth realiza mediciones de velocidad en circuitos mixtos (avenidas y calles residenciales) para tres sectores de la Región Metropolitana:

- Sector altos ingresos: mediciones en la comuna de Vitacura.
- Sector comercial: mediciones en la comuna de Santiago Centro.
- Sector bajos ingresos: mediciones en la comuna de Maipú.

*Tabla B.1: Velocidades media en Vitacura, Maipú y Santiago Centro, memoria de Pablo Würth.*

| Hora | Velocidad [km/h] | | |
|---|---|---|---|
| | Vitacura | Maipú | Centro |
| 0:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 1:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 2:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 3:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 4:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 5:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 6:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 7:00:00 | 24.33 | 14.82 | 19.2 |
| 8:00:00 | 16.7 | 7.57 | 16.16 |
| 9:00:00 | 9.73 | 17.97 | 21.75 |
| 10:00:00 | 18.74 | 9.42 | 18.36 |
| 11:00:00 | 19.84 | 18.47 | 18.89 |
| 12:00:00 | 19.24 | 17.72 | 13.43 |
| 13:00:00 | 18.85 | 17.18 | 13.5 |
| 14:00:00 | 17.11 | 18.86 | 23.84 |
| 15:00:00 | 20.07 | 19.41 | 22.31 |
| 16:00:00 | 20.28 | 21.77 | 17.98 |
| 17:00:00 | 10.12 | 14.79 | 11.29 |
| 18:00:00 | 14.6 | 15.13 | 9.61 |
| 19:00:00 | 18.71 | 18.25 | 6.17 |
| 20:00:00 | 26.08 | 21.17 | 14.08 |
| 21:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 22:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 23:00:00 | s/i | s/i | s/i |

Fuente: [Würth, 2015]

A los datos descritos anteriormente se realizan algunas modificaciones buscando asemejar en mayor medida el perfil de velocidad a los presentes en las ECAT utilizadas en el estudio.

La velocidad obtenida para Vitacura entre las 07:00 – 08:00 horas es un 45.7% mayor que la velocidad obtenida entre las 08:00 – 09:00 horas, esta velocidad tan alta (24.33 [km/hr]) contrasta con el alto flujo vehicular registrado durante esas horas en el eje Av. La Dehesa, lo mismo sucede con la velocidad obtenida para Vitacura entre las 20:00 – 21:00 horas. Esta relación se realiza considerando que el nivel de actividad y los patrones de conducción son similares para la comuna de Vitacura y Lo Barnechea. Finalmente se determina una estimación de que la velocidad entre 07:00-08:00 horas es un 10% más alta que la registrada entre las 08:00 – 09:00 horas; de forma similar, la velocidad entre las 20:00 – 21:00 horas es estima equivalente a un 10% más alta que la registrada entre las 19:00 – 20:00 horas.

La velocidad obtenida para Santiago Centro entre las 07:00 – 08:00 horas es de 19.2 [km/hr], un 20% más alta que la velocidad registrada entre 08:00 – 09:00 horas, y considerando que el flujo vehicular en Santiago Centro empieza a incrementarse desde las 06:00 horas, se presume una velocidad similar entre las 07:00 – 08:00 horas y las 08:00 – 09:00 horas. Se estima que la velocidad entre 07:00 – 08:00 horas es un 10% más alta a la registrada entre las 08:00 – 09:00 horas.

*Tabla B.2: Velocidades media Vitacura, Maipú y Santiago Centro, modificadas.*

| Hora | Velocidad [km/h] | | |
|---|---|---|---|
| | Vitacura | Maipú | Centro |
| 0:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 1:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 2:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 3:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 4:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 5:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 6:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 7:00:00 | 18.37 | 14.82 | 17.78 |
| 8:00:00 | 16.70 | 7.57 | 16.16 |
| 9:00:00 | 9.73 | 17.97 | 21.75 |
| 10:00:00 | 18.74 | 9.42 | 18.36 |
| 11:00:00 | 19.84 | 18.47 | 18.89 |
| 12:00:00 | 19.24 | 17.72 | 13.43 |
| 13:00:00 | 18.85 | 17.18 | 13.50 |
| 14:00:00 | 17.11 | 18.86 | 23.84 |
| 15:00:00 | 20.07 | 19.41 | 22.31 |
| 16:00:00 | 20.28 | 21.77 | 17.98 |
| 17:00:00 | 10.12 | 14.79 | 11.29 |
| 18:00:00 | 14.60 | 15.13 | 9.61 |
| 19:00:00 | 18.71 | 18.25 | 6.17 |
| 20:00:00 | 20.58 | 21.17 | 14.08 |
| 21:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 22:00:00 | s/i | s/i | s/i |
| 23:00:00 | s/i | s/i | s/i |

Luego de realizadas estas modificaciones, se estima una relación entre la categorización de las zonas expuesto en el apartado 2.2.2 y las zonas descritas en la memoria de Pablo Würth, para así tener el perfil de velocidades para cada hora en cada zona de estudio

A continuación, se detalla la relación existente entre las velocidades por hora para zonas I, II, III expuestas en el apartado 5.1.2 y los sectores señalados en Würth,2017:

- Perfil de velocidades Zona I es equivalente al perfil de velocidades que se presenta en el sector comercial.
- Perfil de velocidades Zona II es equivalente al promedio de velocidades del sector con alto ingreso y del sector con bajo ingreso.
- Perfil de velocidades Zona III es equivalente al perfil de velocidades que se presenta en el sector con alto ingreso.

A partir de estas relaciones se tienen las velocidades de referencia entre las 07:00 – 21:00 horas para las tres zonas de estudio (Zona I, Zona II, Zona III), sin embargo, para el cálculo de emisiones se necesita el perfil de velocidades para todas las horas del día. La tabla B.3 muestra las velocidades preliminares para cada zona entre las 07:00 – 21:00 horas, y la matriz de velocidades para las horas donde no se presentan mediciones.

*Tabla B.3: Velocidades preliminares para cada zona de estudio.*

| Hora | Velocidad [km/h] | | |
|---|---|---|---|
| | Zona I | Zona II | Zona III |
| 0:00:00 | 1.1 * v_max | 1.15* v_max | 1.15* v_max |
| 1:00:00 | 1.1 * v_max | 1.15* v_max | 1.15* v_max |
| 2:00:00 | 1.1 * v_max | 1.15* v_max | 1.15* v_max |
| 3:00:00 | 1.1 * v_max | 1.15* v_max | 1.15* v_max |
| 4:00:00 | 1.1 * v_max | 1.15* v_max | 1.15* v_max |
| 5:00:00 | 1.1 * v_max | 1.15* v_max | 1.15* v_max |
| 6:00:00 | 1.05* v_max | 1.1* v_max | 1.1* v_max |
| 7:00:00 | 17.78 | 16.60 | 18.37 |
| 8:00:00 | 16.16 | 12.14 | 16.70 |
| 9:00:00 | 21.75 | 13.85 | 9.73 |
| 10:00:00 | 18.36 | 14.08 | 18.74 |
| 11:00:00 | 18.89 | 19.16 | 19.84 |
| 12:00:00 | 13.43 | 18.48 | 19.24 |
| 13:00:00 | 13.50 | 18.02 | 18.85 |
| 14:00:00 | 23.84 | 17.99 | 17.11 |
| 15:00:00 | 22.31 | 19.74 | 20.07 |
| 16:00:00 | 17.98 | 21.03 | 20.28 |
| 17:00:00 | 11.29 | 12.46 | 10.12 |
| 18:00:00 | 9.61 | 14.87 | 14.60 |
| 19:00:00 | 6.17 | 18.48 | 18.71 |
| 20:00:00 | 14.08 | 20.88 | 20.58 |
| 21:00:00 | 1.05* v_max | 1.1* v_max | 1.1* v_max |
| 22:00:00 | 1.05* v_max | 1.1* v_max | 1.1* v_max |
| 23:00:00 | 1.05* v_max | 1.1* v_max | 1.1* v_max |

Con estas velocidades preliminares y los flujos promedios, se determina una expresión característica para cada zona, en la cual se la velocidad y el flujo, basada en la relación teórica de la velocidad media y el flujo vehicular presentada en el apartado 1.4.

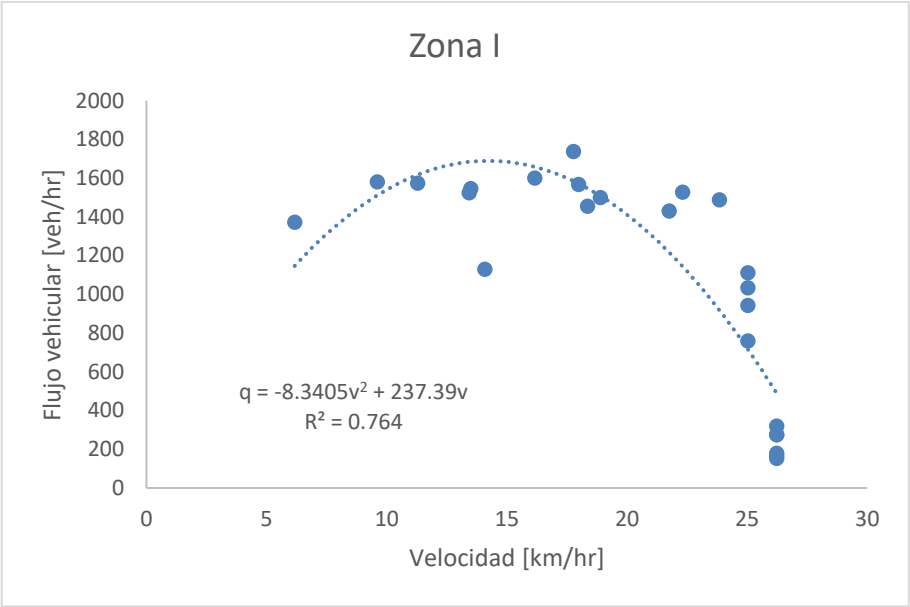


*Figura B.1: Relación velocidad-flujo para zona I.*

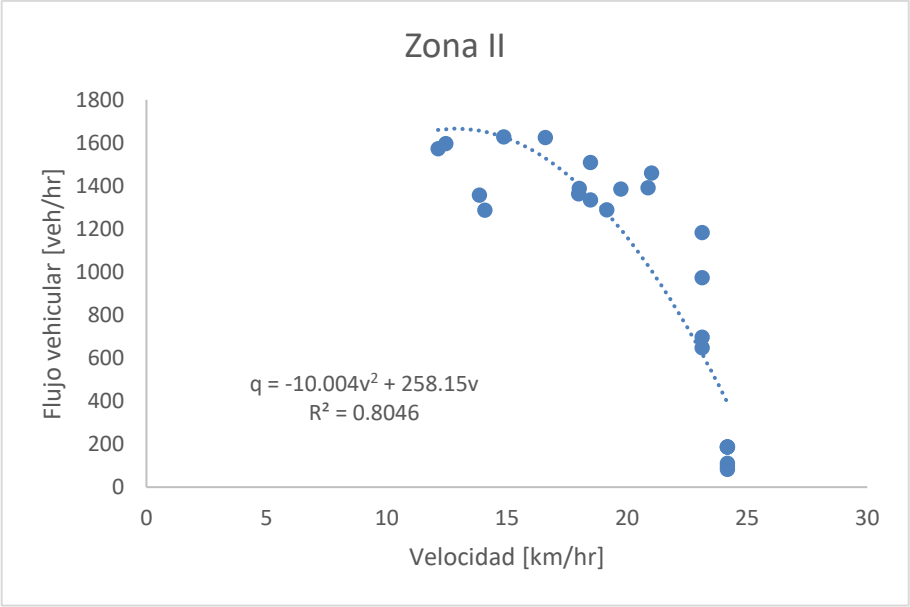


*Figura B.8-2: Relación velocidad-flujo para zona II.*

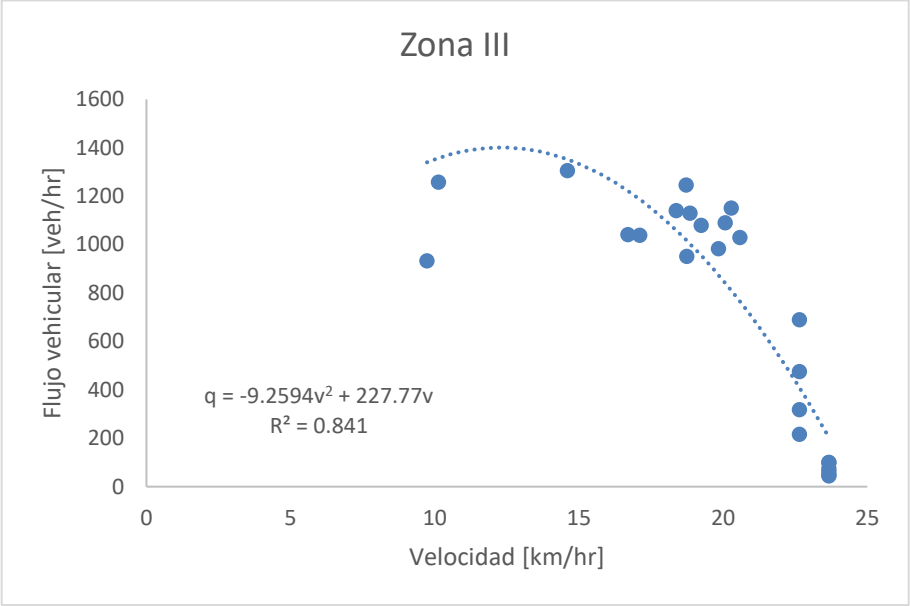


*Figura B.8-3: Relación velocidad-flujo para zona III.*

En base a las relaciones obtenidas luego de la calibración de los datos de referencia, y despejando la variable velocidad en función del flujo, se determina el perfil de velocidades para días C/RV y S/RV para los tres casos de restricción vehicular estudiados:[50]

- Restricción vehicular a vehículos C/SV en episodios de preemergencia ambiental el año 2015.[51]
- Restricción vehicular a vehículos C/SV en episodios de preemergencia ambiental el año 2015, considerando un caso ideal. [52]
- Restricción vehicular permanente a vehículos C/SV para el año 2018, considerando un caso ideal.[53]

[50] Al despejar la velocidad se obtiene dos valores para cada valor de flujo vehicular, uno correspondiente a flujo congestionado y otro a flujo sin congestión. Para el cálculo de las velocidades se considera que solo la zona I presenta flujos congestionados durante horas punta. Esta hipótesis basada en que la zona I durante días C/RV presenta mayores flujos que días S/RV (durante horas punta), característica que obedece a un comportamiento del tipo congestionado (al disminuir demanda, aumenta el flujo).

[51] El cálculo de variación de velocidad según flujo para el periodo 07:00 – 08:00 de la zona I, se realiza utilizando una interpolación lineal con los valores obtenidos para periodos 08:00 – 09:00 y 09:00 -10:00 horas (también considerados como flujos congestionados). Se realiza esto debido a que el valor de flujo vehicular promedio se encuentra sobre la curva flujo-velocidad.

[52] En la zona I, las horas punta en las cuales se considera un flujo congestionados, se estima una disminución en el flujo de un 10.0%, y un aumento de velocidad de un 15.0%.

[53] En la zona I, las horas punta en las cuales se considera un flujo congestionado, se estima una disminución en el flujo de un 3.4% y un aumento en la velocidad de un 5.0%.

*Tabla B.4: Velocidades para cada zona de estudio, día hábil normal S/RV y día C/RV para RV 2015.*

| Hora | Velocidad S/RV | | |
|---|---|---|---|
| | Zona I | Zona II | Zona III |
| 0:00:00 | 27.2 | 25.1 | 24.1 |
| 1:00:00 | 27.2 | 25.1 | 24.1 |
| 2:00:00 | 27.7 | 25.4 | 24.3 |
| 3:00:00 | 27.8 | 25.5 | 24.4 |
| 4:00:00 | 27.7 | 25.4 | 24.4 |
| 5:00:00 | 27.0 | 25.1 | 24.3 |
| 6:00:00 | 23.1 | 22.7 | 23.6 |
| 7:00:00 | 12.8 | 14.9 | 17.6 |
| 8:00:00 | 11.0 | 15.9 | 18.5 |
| 9:00:00 | 8.7 | 18.5 | 19.4 |
| 10:00:00 | 19.5 | 19.1 | 19.3 |
| 11:00:00 | 19.0 | 19.0 | 19.0 |
| 12:00:00 | 18.7 | 18.6 | 18.2 |
| 13:00:00 | 18.4 | 18.2 | 17.7 |
| 14:00:00 | 19.1 | 18.4 | 18.6 |
| 15:00:00 | 18.6 | 18.2 | 18.1 |
| 16:00:00 | 18.1 | 17.4 | 17.5 |
| 17:00:00 | 10.5 | 15.5 | 16.2 |
| 18:00:00 | 10.6 | 14.9 | 15.5 |
| 19:00:00 | 8.1 | 16.9 | 16.4 |
| 20:00:00 | 22.4 | 18.1 | 18.6 |
| 21:00:00 | 22.5 | 19.8 | 21.1 |
| 22:00:00 | 23.7 | 21.2 | 22.3 |
| 23:00:00 | 24.8 | 23.0 | 23.1 |

| Hora | Velocidad C/RV (2015) | | |
|---|---|---|---|
| | Zona I | Zona II | Zona III |
| 0:00:00 | 27.2 | 25.0 | 24.2 |
| 1:00:00 | 27.2 | 25.0 | 24.2 |
| 2:00:00 | 27.7 | 25.4 | 24.4 |
| 3:00:00 | 27.8 | 25.5 | 24.4 |
| 4:00:00 | 27.7 | 25.4 | 24.5 |
| 5:00:00 | 27.0 | 25.1 | 24.3 |
| 6:00:00 | 23.0 | 22.7 | 23.5 |
| 7:00:00 | 13.4 | 15.9 | 17.1 |
| 8:00:00 | 12.5 | 17.4 | 18.8 |
| 9:00:00 | 8.8 | 19.3 | 19.5 |
| 10:00:00 | 20.7 | 19.8 | 19.5 |
| 11:00:00 | 20.3 | 19.9 | 19.4 |
| 12:00:00 | 19.7 | 19.5 | 18.6 |
| 13:00:00 | 19.6 | 19.0 | 17.9 |
| 14:00:00 | 20.1 | 19.3 | 18.9 |
| 15:00:00 | 19.8 | 19.0 | 18.0 |
| 16:00:00 | 19.0 | 18.4 | 17.4 |
| 17:00:00 | 10.5 | 16.9 | 16.4 |
| 18:00:00 | 11.3 | 16.1 | 16.1 |
| 19:00:00 | 7.6 | 17.9 | 17.0 |
| 20:00:00 | 23.1 | 19.7 | 19.1 |
| 21:00:00 | 22.9 | 20.1 | 21.1 |
| 22:00:00 | 23.8 | 21.5 | 22.3 |
| 23:00:00 | 24.9 | 23.1 | 23.2 |

*Tabla B.5: Velocidades para cada zona de estudio días C/RV, para RV 2015 caso ideal y RV 2018 caso ideal.*

| Hora | Velocidad C/RV (2015_ideal) | | |
|---|---|---|---|
| | Zona I | Zona II | Zona III |
| 0:00:00 | 27.2 | 25.1 | 24.1 |
| 1:00:00 | 27.2 | 25.1 | 24.1 |
| 2:00:00 | 27.7 | 25.4 | 24.3 |
| 3:00:00 | 27.8 | 25.5 | 24.4 |
| 4:00:00 | 27.7 | 25.4 | 24.4 |
| 5:00:00 | 27.0 | 25.1 | 24.3 |
| 6:00:00 | 23.1 | 22.7 | 23.6 |
| 7:00:00 | 14.8 | 18.9 | 19.6 |
| 8:00:00 | 12.6 | 19.3 | 20.1 |
| 9:00:00 | 10.0 | 20.5 | 20.7 |
| 10:00:00 | 22.2 | 20.9 | 20.6 |
| 11:00:00 | 21.9 | 20.9 | 20.4 |
| 12:00:00 | 21.7 | 20.6 | 19.9 |
| 13:00:00 | 21.6 | 20.4 | 19.6 |
| 14:00:00 | 22.0 | 20.5 | 20.1 |
| 15:00:00 | 21.7 | 20.4 | 19.9 |
| 16:00:00 | 21.5 | 20.0 | 19.5 |
| 17:00:00 | 12.1 | 19.1 | 18.8 |
| 18:00:00 | 12.2 | 18.9 | 18.5 |
| 19:00:00 | 9.3 | 19.7 | 18.9 |
| 20:00:00 | 23.9 | 20.3 | 20.2 |
| 21:00:00 | 22.5 | 19.8 | 21.1 |
| 22:00:00 | 23.7 | 21.2 | 22.3 |
| 23:00:00 | 24.8 | 23.0 | 23.1 |

| Hora | Velocidad C/RV (2018_ideal) | | |
|---|---|---|---|
| | Zona I | Zona II | Zona III |
| 0:00:00 | 27.2 | 25.1 | 24.1 |
| 1:00:00 | 27.2 | 25.1 | 24.1 |
| 2:00:00 | 27.7 | 25.4 | 24.3 |
| 3:00:00 | 27.8 | 25.5 | 24.4 |
| 4:00:00 | 27.7 | 25.4 | 24.4 |
| 5:00:00 | 27.0 | 25.1 | 24.3 |
| 6:00:00 | 23.1 | 22.7 | 23.6 |
| 7:00:00 | 13.5 | 16.8 | 18.3 |
| 8:00:00 | 11.5 | 17.4 | 19.1 |
| 9:00:00 | 9.1 | 19.2 | 19.9 |
| 10:00:00 | 20.5 | 19.7 | 19.8 |
| 11:00:00 | 20.2 | 19.7 | 19.5 |
| 12:00:00 | 19.9 | 19.4 | 18.8 |
| 13:00:00 | 19.7 | 19.0 | 18.4 |
| 14:00:00 | 20.3 | 19.2 | 19.1 |
| 15:00:00 | 19.9 | 19.0 | 18.7 |
| 16:00:00 | 19.5 | 18.4 | 18.3 |
| 17:00:00 | 11.0 | 17.1 | 17.3 |
| 18:00:00 | 11.2 | 16.8 | 16.8 |
| 19:00:00 | 8.5 | 18.0 | 17.4 |
| 20:00:00 | 23.0 | 19.0 | 19.2 |
| 21:00:00 | 22.5 | 19.8 | 21.1 |
| 22:00:00 | 23.7 | 21.2 | 22.3 |
| 23:00:00 | 24.8 | 23.0 | 23.1 |

# C | Impacto en los flujos según episodio

*Tabla C.1: Impacto de RV en los flujos vehiculares para episodio del viernes 05-06-2015.*

| Viernes 05-06-2015 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 333 | 310 | 7.2% | 253 | 237 | 6.8% | 134 | 135 | -0.8% |
| 1:00:00 | 333 | 310 | 7.2% | 253 | 237 | 6.8% | 134 | 135 | -0.8% |
| 2:00:00 | 216 | 211 | 2.6% | 150 | 139 | 8.1% | 68 | 85 | -19.8% |
| 3:00:00 | 182 | 175 | 3.9% | 117 | 100 | 16.5% | 53 | 66 | -19.1% |
| 4:00:00 | 186 | 184 | 1.1% | 115 | 113 | 1.5% | 45 | 52 | -12.8% |
| 5:00:00 | 342 | 324 | 5.7% | 198 | 194 | 2.3% | 80 | 74 | 6.9% |
| 6:00:00 | 1022 | 1044 | -2.1% | 728 | 709 | 2.7% | 231 | 221 | 4.7% |
| 7:00:00 | 1721 | 1751 | -1.7% | 1580 | 1655 | -4.5% | 1209 | 1127 | 7.3% |
| 8:00:00 | 1635 | 1610 | 1.6% | 1468 | 1601 | -8.3% | 1067 | 1058 | 0.8% |
| 9:00:00 | 1410 | 1415 | -0.3% | 1246 | 1376 | -9.4% | 910 | 948 | -4.1% |
| 10:00:00 | 1426 | 1477 | -3.4% | 1180 | 1294 | -8.8% | 923 | 996 | -7.3% |
| 11:00:00 | 1381 | 1553 | -11.1% | 1203 | 1315 | -8.5% | 965 | 1046 | -7.8% |
| 12:00:00 | 1499 | 1533 | -2.2% | 1283 | 1366 | -6.0% | 1112 | 1152 | -3.4% |
| 13:00:00 | 1431 | 1581 | -9.5% | 1305 | 1435 | -9.0% | 1143 | 1158 | -1.3% |
| 14:00:00 | 1433 | 1526 | -6.1% | 1318 | 1450 | -9.1% | 1101 | 1139 | -3.4% |
| 15:00:00 | 1459 | 1567 | -6.9% | 1358 | 1468 | -7.5% | 1160 | 1157 | 0.2% |
| 16:00:00 | 1543 | 1621 | -4.8% | 1465 | 1560 | -6.1% | 1206 | 1172 | 2.9% |
| 17:00:00 | 1509 | 1596 | -5.5% | 1580 | 1630 | -3.1% | 1264 | 1258 | 0.5% |
| 18:00:00 | 1463 | 1530 | -4.4% | 1568 | 1598 | -1.9% | 1242 | 1318 | -5.8% |
| 19:00:00 | 1206 | 1333 | -9.5% | 1382 | 1476 | -6.3% | 1204 | 1257 | -4.2% |
| 20:00:00 | 1026 | 1145 | -10.4% | 1179 | 1447 | -18.6% | 982 | 1122 | -12.5% |
| 21:00:00 | 1141 | 1206 | -5.4% | 1333 | 1288 | 3.5% | 887 | 877 | 1.1% |
| 22:00:00 | 1026 | 1054 | -2.7% | 1092 | 1094 | -0.2% | 588 | 632 | -7.0% |
| 23:00:00 | 894 | 899 | -0.6% | 818 | 850 | -3.8% | 370 | 404 | -8.3% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 25817 | 26953 | -4.2% | 24170 | 25630 | -5.7% | 18073 | 18586 | -2.8% |
| Periodo (05:00-23:00) | 21507 | 22603 | -4.9% | 20041 | 21573 | -7.1% | 15795 | 16202 | -2.5% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1364 | 1368 | -0.3% | 926 | 902 | 2.6% | 311 | 295 | 5.3% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 2167 | 2260 | -4.1% | 2424 | 2382 | 1.8% | 1475 | 1509 | -2.3% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 20143 | 21236 | -5.1% | 19116 | 20671 | -7.5% | 15484 | 15907 | -2.7% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -5.17% |
| Periodo (05:00-23:00) | -6.28% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 2.61% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 0.61% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -6.66% |

*Tabla C.2: Impacto de RV en los flujos vehiculares para episodio del martes 16-06-2015.*

| Martes 16-06-2015 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 256 | 217 | 18.1% | 159 | 137 | 15.9% | 74 | 62 | 18.6% |
| 1:00:00 | 256 | 217 | 18.1% | 159 | 137 | 15.9% | 74 | 62 | 18.6% |
| 2:00:00 | 159 | 137 | 16.2% | 94 | 81 | 16.6% | 34 | 39 | -14.1% |
| 3:00:00 | 122 | 118 | 3.7% | 71 | 62 | 14.2% | 19 | 29 | -34.2% |
| 4:00:00 | 154 | 149 | 3.2% | 88 | 81 | 7.9% | 18 | 30 | -41.4% |
| 5:00:00 | 299 | 322 | -7.0% | 177 | 182 | -2.6% | 66 | 70 | -6.9% |
| 6:00:00 | 1036 | 1017 | 1.8% | 729 | 697 | 4.6% | 233 | 221 | 5.3% |
| 7:00:00 | 1714 | 1735 | -1.3% | 1605 | 1633 | -1.8% | 1203 | 1166 | 3.2% |
| 8:00:00 | 1592 | 1596 | -0.3% | 1446 | 1579 | -8.4% | 994 | 1045 | -4.9% |
| 9:00:00 | 1321 | 1432 | -7.7% | 1224 | 1353 | -9.5% | 957 | 920 | 3.9% |
| 10:00:00 | 1343 | 1426 | -5.8% | 1161 | 1290 | -10.0% | 914 | 928 | -1.5% |
| 11:00:00 | 1375 | 1455 | -5.5% | 1128 | 1274 | -11.5% | 924 | 946 | -2.3% |
| 12:00:00 | 1384 | 1508 | -8.3% | 1222 | 1325 | -7.8% | 997 | 1043 | -4.5% |
| 13:00:00 | 1404 | 1512 | -7.1% | 1253 | 1363 | -8.1% | 1059 | 1122 | -5.6% |
| 14:00:00 | 1352 | 1445 | -6.4% | 1220 | 1306 | -6.6% | 908 | 968 | -6.2% |
| 15:00:00 | 1402 | 1504 | -6.7% | 1252 | 1346 | -7.0% | 1112 | 1057 | 5.2% |
| 16:00:00 | 1402 | 1512 | -7.3% | 1300 | 1381 | -5.8% | 1170 | 1136 | 3.0% |
| 17:00:00 | 1478 | 1515 | -2.5% | 1467 | 1574 | -6.8% | 1252 | 1228 | 2.0% |
| 18:00:00 | 1643 | 1571 | 4.6% | 1554 | 1654 | -6.1% | 1252 | 1286 | -2.7% |
| 19:00:00 | 1288 | 1385 | -7.1% | 1342 | 1536 | -12.6% | 1250 | 1258 | -0.6% |
| 20:00:00 | 935 | 1112 | -15.9% | 1167 | 1367 | -14.7% | 936 | 999 | -6.4% |
| 21:00:00 | 966 | 1068 | -9.6% | 1040 | 1152 | -9.7% | 576 | 630 | -8.6% |
| 22:00:00 | 822 | 868 | -5.3% | 828 | 911 | -9.2% | 385 | 434 | -11.4% |
| 23:00:00 | 618 | 645 | -4.2% | 513 | 540 | -5.0% | 266 | 281 | -5.3% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 24321 | 25466 | -4.5% | 22197 | 23963 | -7.4% | 16666 | 16959 | -1.7% |
| Periodo (05:00-23:00) | 20968 | 22047 | -4.9% | 19246 | 20860 | -7.7% | 15222 | 15391 | -1.1% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1335 | 1339 | -0.3% | 906 | 879 | 3.1% | 298 | 291 | 2.3% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1788 | 1936 | -7.7% | 1868 | 2064 | -9.5% | 961 | 1064 | -9.7% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 19633 | 20708 | -5.2% | 18340 | 19981 | -8.2% | 14924 | 15100 | -1.2% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -6.35% |
| Periodo (05:00-23:00) | -6.60% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 2.64% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | -9.33% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -7.01% |

*Tabla C.3: Impacto de RV en flujos vehiculares para episodio del viernes 19-06-2015.*

| Viernes 19-06-2015 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 392 | 318 | 23.3% | 233 | 223 | 4.5% | 137 | 165 | -17.2% |
| 1:00:00 | 392 | 318 | 23.3% | 233 | 223 | 4.5% | 137 | 165 | -17.2% |
| 2:00:00 | 261 | 203 | 28.4% | 133 | 137 | -3.0% | 53 | 90 | -41.4% |
| 3:00:00 | 186 | 185 | 0.1% | 107 | 109 | -2.2% | 54 | 78 | -31.6% |
| 4:00:00 | 191 | 192 | -0.8% | 109 | 109 | 0.3% | 58 | 64 | -9.2% |
| 5:00:00 | 325 | 325 | -0.2% | 188 | 191 | -1.3% | 71 | 77 | -8.7% |
| 6:00:00 | 1050 | 1045 | 0.5% | 727 | 694 | 4.7% | 226 | 209 | 8.0% |
| 7:00:00 | 1822 | 1746 | 4.4% | 1572 | 1621 | -3.0% | 1180 | 1111 | 6.2% |
| 8:00:00 | 1724 | 1634 | 5.5% | 1459 | 1573 | -7.2% | 1015 | 1005 | 1.0% |
| 9:00:00 | 1476 | 1440 | 2.5% | 1287 | 1375 | -6.4% | 910 | 921 | -1.2% |
| 10:00:00 | 1388 | 1523 | -8.8% | 1214 | 1298 | -6.5% | 929 | 978 | -5.0% |
| 11:00:00 | 1479 | 1550 | -4.6% | 1221 | 1314 | -7.0% | 1019 | 1027 | -0.9% |
| 12:00:00 | 1517 | 1569 | -3.3% | 1286 | 1365 | -5.8% | 1163 | 1126 | 3.3% |
| 13:00:00 | 1587 | 1623 | -2.2% | 1362 | 1424 | -4.4% | 1209 | 1140 | 6.1% |
| 14:00:00 | 1512 | 1549 | -2.4% | 1343 | 1438 | -6.7% | 1114 | 1122 | -0.8% |
| 15:00:00 | 1557 | 1615 | -3.6% | 1383 | 1444 | -4.3% | 1207 | 1135 | 6.3% |
| 16:00:00 | 1604 | 1641 | -2.3% | 1511 | 1558 | -3.1% | 1155 | 1147 | 0.7% |
| 17:00:00 | 1635 | 1612 | 1.4% | 1590 | 1620 | -1.9% | 1354 | 1246 | 8.6% |
| 18:00:00 | 1547 | 1553 | -0.4% | 1591 | 1587 | 0.2% | 1307 | 1308 | -0.1% |
| 19:00:00 | 1086 | 1373 | -20.9% | 1421 | 1465 | -3.0% | 1226 | 1236 | -0.8% |
| 20:00:00 | 790 | 1183 | -33.2% | 929 | 1422 | -34.6% | 808 | 1094 | -26.2% |
| 21:00:00 | 690 | 1232 | -44.0% | 595 | 1264 | -52.9% | 334 | 632 | -47.2% |
| 22:00:00 | 547 | 1112 | -50.8% | 718 | 1058 | -32.2% | 449 | 622 | -27.9% |
| 23:00:00 | 549 | 1015 | -45.9% | 972 | 825 | 17.8% | 457 | 410 | 11.6% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 25306 | 27557 | -8.2% | 23183 | 25339 | -8.5% | 17565 | 18107 | -3.0% |
| Periodo (05:00-23:00) | 22098 | 22981 | -3.8% | 20083 | 21390 | -6.1% | 15888 | 15881 | 0.0% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1374 | 1370 | 0.3% | 915 | 885 | 3.4% | 296 | 286 | 3.5% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1238 | 2344 | -47.2% | 1313 | 2322 | -43.5% | 782 | 1254 | -37.6% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 20724 | 21611 | -4.1% | 19169 | 20505 | -6.5% | 15592 | 15595 | 0.0% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -7.78% |
| Periodo (05:00-23:00) | -5.09% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 3.09% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | -43.15% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -5.44% |

*Tabla C.4: Impacto de RV en flujos vehiculares para episodio del martes 23-06-2015.*

| Martes 23-06-2015 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 247 | 247 | 0.1% | 133 | 137 | -3.1% | 59 | 62 | -6.2% |
| 1:00:00 | 247 | 247 | 0.1% | 133 | 137 | -3.1% | 59 | 62 | -6.2% |
| 2:00:00 | 158 | 160 | -1.3% | 72 | 81 | -11.2% | 27 | 39 | -30.8% |
| 3:00:00 | 133 | 139 | -4.4% | 62 | 62 | -0.2% | 20 | 29 | -32.5% |
| 4:00:00 | 158 | 163 | -3.3% | 84 | 81 | 2.8% | 19 | 30 | -36.4% |
| 5:00:00 | 328 | 321 | 2.2% | 180 | 182 | -1.2% | 69 | 70 | -2.0% |
| 6:00:00 | 1044 | 1026 | 1.8% | 695 | 697 | -0.3% | 242 | 221 | 9.4% |
| 7:00:00 | 1804 | 1748 | 3.2% | 1559 | 1633 | -4.6% | 1156 | 1166 | -0.8% |
| 8:00:00 | 1670 | 1596 | 4.6% | 1467 | 1579 | -7.1% | 1011 | 1045 | -3.3% |
| 9:00:00 | 1479 | 1425 | 3.8% | 1260 | 1353 | -6.9% | 941 | 920 | 2.2% |
| 10:00:00 | 1371 | 1432 | -4.3% | 1204 | 1290 | -6.7% | 903 | 928 | -2.7% |
| 11:00:00 | 1409 | 1485 | -5.1% | 1172 | 1274 | -8.0% | 922 | 946 | -2.5% |
| 12:00:00 | 1440 | 1514 | -4.9% | 1215 | 1325 | -8.3% | 1035 | 1043 | -0.8% |
| 13:00:00 | 1437 | 1530 | -6.1% | 1283 | 1363 | -5.9% | 1052 | 1122 | -6.2% |
| 14:00:00 | 1368 | 1460 | -6.3% | 1198 | 1306 | -8.2% | 952 | 968 | -1.6% |
| 15:00:00 | 1414 | 1506 | -6.1% | 1272 | 1346 | -5.5% | 1025 | 1057 | -3.1% |
| 16:00:00 | 1454 | 1534 | -5.2% | 1302 | 1381 | -5.7% | 1140 | 1136 | 0.4% |
| 17:00:00 | 1621 | 1543 | 5.1% | 1473 | 1574 | -6.4% | 1185 | 1228 | -3.5% |
| 18:00:00 | 1689 | 1568 | 7.7% | 1593 | 1654 | -3.7% | 1262 | 1286 | -1.9% |
| 19:00:00 | 1359 | 1372 | -1.0% | 1449 | 1536 | -5.7% | 1189 | 1258 | -5.5% |
| 20:00:00 | 1042 | 1112 | -6.3% | 1171 | 1367 | -14.4% | 995 | 999 | -0.5% |
| 21:00:00 | 1002 | 1094 | -8.4% | 1092 | 1152 | -5.2% | 656 | 630 | 4.1% |
| 22:00:00 | 857 | 895 | -4.2% | 861 | 911 | -5.5% | 431 | 434 | -0.8% |
| 23:00:00 | 669 | 687 | -2.5% | 517 | 540 | -4.4% | 278 | 281 | -1.0% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 25402 | 25802 | -1.6% | 22445 | 23964 | -6.3% | 16623 | 16959 | -2.0% |
| Periodo (05:00-23:00) | 21931 | 22171 | -1.1% | 19492 | 20860 | -6.6% | 15076 | 15391 | -2.1% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1372 | 1347 | 1.9% | 875 | 879 | -0.5% | 311 | 291 | 6.6% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1859 | 1988 | -6.5% | 1953 | 2064 | -5.4% | 1087 | 1064 | 2.1% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 20559 | 20825 | -1.3% | 18617 | 19981 | -6.8% | 14765 | 15100 | -2.2% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -5.27% |
| Periodo (05:00-23:00) | -5.40% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 0.69% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | -4.54% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -5.65% |

*Tabla C.5: Impacto de RV en flujos vehiculares para episodio del martes 30-06-2015.*

| Martes 30-06-2015 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 308 | 217 | 42.1% | 201 | 145 | 38.6% | 86 | 62 | 37.1% |
| 1:00:00 | 308 | 217 | 42.1% | 201 | 145 | 38.6% | 86 | 62 | 37.1% |
| 2:00:00 | 165 | 137 | 20.0% | 95 | 81 | 17.3% | 45 | 39 | 14.1% |
| 3:00:00 | 121 | 118 | 2.4% | 67 | 62 | 7.3% | 32 | 29 | 9.1% |
| 4:00:00 | 158 | 149 | 5.9% | 87 | 81 | 6.7% | 27 | 30 | -9.6% |
| 5:00:00 | 386 | 322 | 20.1% | 185 | 182 | 1.9% | 87 | 70 | 22.9% |
| 6:00:00 | 1085 | 1017 | 6.7% | 714 | 697 | 2.5% | 248 | 221 | 12.3% |
| 7:00:00 | 1742 | 1735 | 0.4% | 1605 | 1633 | -1.7% | 1191 | 1166 | 2.2% |
| 8:00:00 | 1682 | 1596 | 5.3% | 1446 | 1579 | -8.4% | 976 | 1045 | -6.6% |
| 9:00:00 | 1468 | 1432 | 2.5% | 1176 | 1353 | -13.1% | 928 | 986 | -5.9% |
| 10:00:00 | 1329 | 1426 | -6.8% | 1136 | 1290 | -12.0% | 881 | 928 | -5.1% |
| 11:00:00 | 1381 | 1455 | -5.0% | 1120 | 1274 | -12.1% | 860 | 946 | -9.0% |
| 12:00:00 | 1420 | 1508 | -5.9% | 1181 | 1325 | -10.8% | 961 | 1043 | -7.9% |
| 13:00:00 | 1371 | 1512 | -9.3% | 1261 | 1363 | -7.5% | 1057 | 1122 | -5.8% |
| 14:00:00 | 1344 | 1445 | -7.0% | 1228 | 1306 | -6.0% | 890 | 968 | -8.0% |
| 15:00:00 | 1390 | 1504 | -7.5% | 1260 | 1346 | -6.4% | 1096 | 1057 | 3.7% |
| 16:00:00 | 1420 | 1512 | -6.1% | 1286 | 1381 | -6.9% | 1101 | 1136 | -3.1% |
| 17:00:00 | 1573 | 1515 | 3.8% | 1467 | 1574 | -6.8% | 1211 | 1228 | -1.4% |
| 18:00:00 | 1712 | 1571 | 9.0% | 1546 | 1654 | -6.5% | 1231 | 1286 | -4.3% |
| 19:00:00 | 1315 | 1385 | -5.1% | 1426 | 1536 | -7.2% | 1144 | 1258 | -9.0% |
| 20:00:00 | 986 | 1112 | -11.3% | 1121 | 1367 | -18.0% | 859 | 999 | -14.0% |
| 21:00:00 | 948 | 1068 | -11.3% | 977 | 1152 | -15.3% | 483 | 630 | -23.4% |
| 22:00:00 | 807 | 868 | -7.1% | 793 | 911 | -13.0% | 408 | 434 | -6.0% |
| 23:00:00 | 620 | 645 | -3.9% | 506 | 540 | -6.4% | 278 | 281 | -1.2% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 25036 | 25466 | -1.7% | 22081 | 23979 | -7.9% | 16161 | 17025 | -5.1% |
| Periodo (05:00-23:00) | 21603 | 22047 | -2.0% | 19156 | 20860 | -8.2% | 14719 | 15457 | -4.8% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1471 | 1339 | 9.9% | 900 | 879 | 2.4% | 335 | 291 | 14.9% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1754 | 1936 | -9.4% | 1770 | 2064 | -14.2% | 891 | 1064 | -16.3% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 20132 | 20708 | -2.8% | 18256 | 19981 | -8.6% | 14385 | 15166 | -5.2% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -6.88% |
| Periodo (05:00-23:00) | -7.08% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 4.75% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | -13.97% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -7.56% |

*Tabla C.6: Impacto de RV a flujos vehiculares para episodio del miércoles 01-07-2015.*

| Miércoles 01-07-2015 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 213 | 249 | -14.7% | 152 | 159 | -4.2% | 67 | 86 | -21.6% |
| 1:00:00 | 213 | 249 | -14.7% | 152 | 159 | -4.2% | 67 | 86 | -21.6% |
| 2:00:00 | 136 | 161 | -15.7% | 81 | 94 | -13.5% | 34 | 51 | -33.8% |
| 3:00:00 | 119 | 134 | -11.3% | 63 | 70 | -9.1% | 30 | 40 | -26.5% |
| 4:00:00 | 131 | 148 | -11.6% | 85 | 93 | -8.7% | 28 | 36 | -22.8% |
| 5:00:00 | 329 | 311 | 5.6% | 184 | 185 | -0.4% | 73 | 75 | -3.5% |
| 6:00:00 | 1041 | 1033 | 0.8% | 708 | 688 | 2.9% | 241 | 211 | 13.8% |
| 7:00:00 | 1783 | 1783 | 0.0% | 1568 | 1606 | -2.4% | 1179 | 1187 | -0.7% |
| 8:00:00 | 1635 | 1618 | 1.1% | 1459 | 1553 | -6.1% | 1018 | 1056 | -3.6% |
| 9:00:00 | 1412 | 1428 | -1.1% | 1258 | 1339 | -6.1% | 866 | 918 | -5.7% |
| 10:00:00 | 1453 | 1449 | 0.2% | 1178 | 1272 | -7.4% | 918 | 940 | -2.4% |
| 11:00:00 | 1493 | 1477 | 1.1% | 1180 | 1282 | -8.0% | 923 | 966 | -4.5% |
| 12:00:00 | 1525 | 1497 | 1.9% | 1206 | 1324 | -8.9% | 970 | 1068 | -9.2% |
| 13:00:00 | 1467 | 1501 | -2.3% | 1256 | 1372 | -8.5% | 1190 | 1106 | 7.6% |
| 14:00:00 | 1383 | 1457 | -5.1% | 1201 | 1335 | -10.0% | 1010 | 1016 | -0.5% |
| 15:00:00 | 1402 | 1446 | -3.0% | 1247 | 1347 | -7.4% | 978 | 1060 | -7.7% |
| 16:00:00 | 1459 | 1526 | -4.4% | 1263 | 1415 | -10.8% | 1154 | 1131 | 2.0% |
| 17:00:00 | 1564 | 1627 | -3.9% | 1422 | 1574 | -9.6% | 1207 | 1276 | -5.4% |
| 18:00:00 | 1609 | 1668 | -3.5% | 1526 | 1629 | -6.3% | 1237 | 1304 | -5.2% |
| 19:00:00 | 1432 | 1421 | 0.8% | 1385 | 1511 | -8.4% | 1140 | 1219 | -6.5% |
| 20:00:00 | 1036 | 1134 | -8.6% | 1207 | 1424 | -15.3% | 941 | 1031 | -8.7% |
| 21:00:00 | 1067 | 1067 | -0.1% | 1138 | 1159 | -1.8% | 643 | 651 | -1.3% |
| 22:00:00 | 872 | 896 | -2.7% | 877 | 994 | -11.8% | 431 | 432 | -0.2% |
| 23:00:00 | 678 | 695 | -2.5% | 546 | 633 | -13.7% | 254 | 292 | -13.1% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 25449 | 25977 | -2.0% | 22341 | 24215 | -7.7% | 16593 | 17236 | -3.7% |
| Periodo (05:00-23:00) | 22022 | 22376 | -1.6% | 19245 | 20854 | -7.7% | 15041 | 15563 | -3.4% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1370 | 1345 | 1.9% | 892 | 873 | 2.2% | 313 | 286 | 9.3% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1938 | 1963 | -1.3% | 2015 | 2153 | -6.4% | 1073 | 1083 | -0.9% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 20652 | 21032 | -1.8% | 18353 | 19981 | -8.2% | 14728 | 15276 | -3.6% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -6.62% |
| Periodo (05:00-23:00) | -6.50% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 3.08% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | -5.15% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -6.89% |

*Tabla C.7: Impacto de RV en flujos vehiculares para episodio del jueves 02-07-2015.*

| Jueves 02-07-2015 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 286 | 322 | -11.2% | 189 | 222 | -14.8% | 90 | 99 | -9.4% |
| 1:00:00 | 286 | 322 | -11.2% | 189 | 222 | -14.8% | 90 | 99 | -9.4% |
| 2:00:00 | 171 | 224 | -23.7% | 103 | 129 | -20.5% | 50 | 62 | -19.0% |
| 3:00:00 | 142 | 171 | -16.7% | 75 | 88 | -15.4% | 29 | 45 | -37.2% |
| 4:00:00 | 161 | 172 | -6.4% | 99 | 101 | -2.4% | 29 | 45 | -37.2% |
| 5:00:00 | 325 | 311 | 4.4% | 191 | 188 | 1.7% | 72 | 79 | -9.2% |
| 6:00:00 | 1060 | 1042 | 1.8% | 703 | 695 | 1.1% | 224 | 217 | 3.1% |
| 7:00:00 | 1793 | 1651 | 8.6% | 1563 | 1600 | -2.3% | 1188 | 1109 | 7.1% |
| 8:00:00 | 1742 | 1508 | 15.5% | 1472 | 1547 | -4.9% | 1001 | 1071 | -6.5% |
| 9:00:00 | 1487 | 1409 | 5.5% | 1267 | 1341 | -5.6% | 911 | 955 | -4.7% |
| 10:00:00 | 1360 | 1421 | -4.3% | 1229 | 1273 | -3.5% | 961 | 973 | -1.3% |
| 11:00:00 | 1373 | 1462 | -6.1% | 1186 | 1268 | -6.5% | 964 | 987 | -2.3% |
| 12:00:00 | 1462 | 1509 | -3.1% | 1232 | 1294 | -4.8% | 992 | 1067 | -7.1% |
| 13:00:00 | 1446 | 1499 | -3.5% | 1276 | 1354 | -5.7% | 1099 | 1136 | -3.3% |
| 14:00:00 | 1375 | 1452 | -5.3% | 1193 | 1326 | -10.0% | 954 | 1033 | -7.7% |
| 15:00:00 | 1434 | 1463 | -2.0% | 1265 | 1354 | -6.6% | 1049 | 1082 | -3.1% |
| 16:00:00 | 1490 | 1537 | -3.1% | 1328 | 1410 | -5.9% | 1138 | 1173 | -3.0% |
| 17:00:00 | 1610 | 1557 | 3.4% | 1471 | 1590 | -7.5% | 1219 | 1309 | -6.8% |
| 18:00:00 | 1697 | 1627 | 4.3% | 1593 | 1655 | -3.8% | 1273 | 1356 | -6.1% |
| 19:00:00 | 1447 | 1338 | 8.2% | 1469 | 1559 | -5.7% | 1192 | 1248 | -4.5% |
| 20:00:00 | 1066 | 1116 | -4.5% | 1235 | 1354 | -8.8% | 1015 | 1044 | -2.8% |
| 21:00:00 | 1074 | 1073 | 0.0% | 1188 | 1134 | 4.7% | 710 | 688 | 3.2% |
| 22:00:00 | 915 | 909 | 0.7% | 967 | 959 | 0.8% | 455 | 476 | -4.5% |
| 23:00:00 | 708 | 733 | -3.4% | 589 | 606 | -2.9% | 310 | 316 | -2.2% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 25910 | 25829 | 0.3% | 23071 | 24270 | -4.9% | 17008 | 17669 | -3.7% |
| Periodo (05:00-23:00) | 22167 | 21902 | 1.2% | 19673 | 20808 | -5.5% | 15247 | 15837 | -3.7% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1385 | 1353 | 2.4% | 895 | 883 | 1.3% | 295 | 296 | -0.2% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1989 | 1983 | 0.3% | 2155 | 2093 | 3.0% | 1165 | 1164 | 0.1% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 20782 | 20549 | 1.1% | 18778 | 19924 | -5.8% | 14952 | 15542 | -3.8% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -4.22% |
| Periodo (05:00-23:00) | -4.51% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1.20% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 2.30% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -4.76% |

*Tabla C.8: Impacto de RV en flujos vehiculares para episodio del viernes 03-07-2015.*

| Viernes 03-07-2015 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 333 | 326 | 2.0% | 231 | 232 | -0.4% | 116 | 132 | -12.2% |
| 1:00:00 | 333 | 326 | 2.0% | 231 | 232 | -0.4% | 116 | 132 | -12.2% |
| 2:00:00 | 225 | 210 | 7.1% | 130 | 141 | -7.9% | 67 | 87 | -23.3% |
| 3:00:00 | 182 | 188 | -3.3% | 97 | 109 | -11.5% | 48 | 72 | -33.4% |
| 4:00:00 | 195 | 192 | 1.4% | 114 | 109 | 4.5% | 38 | 65 | -41.1% |
| 5:00:00 | 325 | 322 | 0.9% | 190 | 188 | 1.2% | 73 | 80 | -9.0% |
| 6:00:00 | 1029 | 1048 | -1.8% | 679 | 692 | -1.9% | 234 | 209 | 12.2% |
| 7:00:00 | 1735 | 1750 | -0.8% | 1559 | 1616 | -3.5% | 1159 | 1089 | 6.4% |
| 8:00:00 | 1640 | 1652 | -0.7% | 1498 | 1571 | -4.6% | 953 | 1007 | -5.4% |
| 9:00:00 | 1514 | 1472 | 2.8% | 1285 | 1364 | -5.8% | 916 | 893 | 2.6% |
| 10:00:00 | 1081 | 1497 | -27.8% | 1174 | 1287 | -8.8% | 910 | 937 | -2.9% |
| 11:00:00 | 1129 | 1558 | -27.5% | 1167 | 1311 | -11.0% | 945 | 995 | -5.1% |
| 12:00:00 | 1268 | 1565 | -19.0% | 1244 | 1358 | -8.4% | 1076 | 1095 | -1.7% |
| 13:00:00 | 1464 | 1613 | -9.3% | 1356 | 1424 | -4.8% | 1080 | 1133 | -4.7% |
| 14:00:00 | 1438 | 1569 | -8.3% | 1345 | 1438 | -6.5% | 1049 | 1092 | -4.0% |
| 15:00:00 | 1368 | 1618 | -15.5% | 1350 | 1436 | -6.0% | 1163 | 1120 | 3.8% |
| 16:00:00 | 1631 | 1656 | -1.5% | 1480 | 1583 | -6.5% | 1192 | 1180 | 1.0% |
| 17:00:00 | 1594 | 1624 | -1.9% | 1570 | 1628 | -3.6% | 1258 | 1289 | -2.5% |
| 18:00:00 | 1581 | 1566 | 1.0% | 1522 | 1586 | -4.1% | 1336 | 1303 | 2.5% |
| 19:00:00 | 1434 | 1370 | 4.6% | 1447 | 1443 | 0.2% | 1252 | 1236 | 1.3% |
| 20:00:00 | 1167 | 1180 | -1.1% | 1310 | 1410 | -7.1% | 1052 | 1013 | 3.8% |
| 21:00:00 | 1278 | 1210 | 5.6% | 1283 | 1242 | 3.3% | 804 | 719 | 11.8% |
| 22:00:00 | 1151 | 1114 | 3.3% | 1082 | 1026 | 5.4% | 594 | 485 | 22.5% |
| 23:00:00 | 1030 | 1013 | 1.7% | 840 | 799 | 5.1% | 393 | 368 | 6.8% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 26122 | 27638 | -5.5% | 24180 | 25224 | -4.1% | 17821 | 17731 | 0.5% |
| Periodo (05:00-23:00) | 21397 | 23060 | -7.2% | 20174 | 21335 | -5.4% | 15645 | 15671 | -0.2% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1354 | 1370 | -1.2% | 869 | 879 | -1.2% | 307 | 289 | 6.3% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 2429 | 2323 | 4.5% | 2364 | 2268 | 4.2% | 1398 | 1204 | 16.1% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 20043 | 21690 | -7.6% | 19305 | 20455 | -5.6% | 15338 | 15382 | -0.3% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -3.71% |
| Periodo (05:00-23:00) | -4.97% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | -0.27% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 5.76% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -5.17% |

*Tabla C.9: Impacto de RV en flujos vehiculares para episodio del lunes 10-05-2010.*

| Lunes 10-05-2010 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 140 | 147 | -4.7% | 113 | 111 | 1.7% | 57 | 65 | -12.0% |
| 1:00:00 | 140 | 147 | -4.7% | 113 | 111 | 1.7% | 57 | 65 | -12.0% |
| 2:00:00 | 81 | 94 | -14.5% | 61 | 64 | -4.5% | 29 | 35 | -18.6% |
| 3:00:00 | 78 | 79 | -1.0% | 49 | 49 | -0.9% | 20 | 23 | -13.0% |
| 4:00:00 | 113 | 119 | -5.2% | 71 | 69 | 1.8% | 26 | 30 | -15.4% |
| 5:00:00 | 279 | 257 | 8.6% | 146 | 146 | 0.6% | 60 | 59 | 1.4% |
| 6:00:00 | 710 | 712 | -0.3% | 577 | 562 | 2.7% | 239 | 226 | 5.8% |
| 7:00:00 | 1527 | 1530 | -0.2% | 1398 | 1450 | -3.6% | 1348 | 1339 | 0.6% |
| 8:00:00 | 1566 | 1605 | -2.4% | 1373 | 1502 | -8.6% | 1596 | 1603 | -0.5% |
| 9:00:00 | 1233 | 1445 | -14.7% | 1107 | 1234 | -10.3% | 1232 | 1183 | 4.1% |
| 10:00:00 | 1320 | 1417 | -6.8% | 1013 | 1129 | -10.3% | 1050 | 1015 | 3.4% |
| 11:00:00 | 1352 | 1442 | -6.2% | 1007 | 1126 | -10.6% | 1006 | 1053 | -4.5% |
| 12:00:00 | 1389 | 1486 | -6.5% | 1051 | 1165 | -9.8% | 1114 | 1174 | -5.1% |
| 13:00:00 | 1371 | 1518 | -9.6% | 1090 | 1218 | -10.5% | 1153 | 1273 | -9.4% |
| 14:00:00 | 1245 | 1405 | -11.4% | 1006 | 1182 | -14.8% | 1022 | 1132 | -9.7% |
| 15:00:00 | 1250 | 1451 | -13.9% | 1044 | 1218 | -14.3% | 1162 | 1216 | -4.4% |
| 16:00:00 | 1318 | 1502 | -12.2% | 1117 | 1284 | -13.0% | 1231 | 1330 | -7.4% |
| 17:00:00 | 1383 | 1532 | -9.7% | 1289 | 1441 | -10.5% | 1280 | 1343 | -4.7% |
| 18:00:00 | 1517 | 1544 | -1.7% | 1471 | 1579 | -6.8% | 1337 | 1384 | -3.4% |
| 19:00:00 | 1224 | 1444 | -15.3% | 1349 | 1474 | -8.5% | 1283 | 1355 | -5.3% |
| 20:00:00 | 923 | 1062 | -13.1% | 1066 | 1280 | -16.7% | 1000 | 1096 | -8.8% |
| 21:00:00 | 856 | 925 | -7.5% | 1019 | 1026 | -0.6% | 756 | 771 | -1.9% |
| 22:00:00 | 725 | 771 | -5.9% | 765 | 794 | -3.7% | 480 | 474 | 1.4% |
| 23:00:00 | 503 | 541 | -7.0% | 501 | 506 | -1.0% | 318 | 309 | 2.8% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 22243 | 24174 | -8.0% | 19797 | 21720 | -8.9% | 18854 | 19553 | -3.6% |
| Periodo (05:00-23:00) | 19607 | 21350 | -8.2% | 17105 | 18988 | -9.9% | 17112 | 17782 | -3.8% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 989 | 969 | 2.0% | 724 | 707 | 2.3% | 299 | 285 | 4.9% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1581 | 1696 | -6.8% | 1784 | 1820 | -2.0% | 1236 | 1245 | -0.7% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 18618 | 20382 | -8.7% | 16381 | 18281 | -10.4% | 16814 | 17497 | -3.9% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -8.10% |
| Periodo (05:00-23:00) | -8.96% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 2.59% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | -2.33% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -9.39% |

*Tabla C.10: Impacto de RV en flujos vehiculares para episodio del miércoles 01-06-2011.*

| Miércoles 01-06-2011 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 487 | 408 | 19.3% | 145 | 123 | 18.6% | 145 | 127 | 13.9% |
| 1:00:00 | 487 | 408 | 19.3% | 145 | 123 | 18.6% | 145 | 127 | 13.9% |
| 2:00:00 | 328 | 284 | 15.4% | 86 | 71 | 21.9% | 79 | 72 | 10.6% |
| 3:00:00 | 253 | 220 | 14.9% | 61 | 53 | 16.3% | 54 | 56 | -3.6% |
| 4:00:00 | 245 | 238 | 2.9% | 64 | 64 | -1.2% | 57 | 59 | -4.4% |
| 5:00:00 | 380 | 362 | 4.9% | 125 | 119 | 5.0% | 80 | 87 | -8.0% |
| 6:00:00 | 882 | 891 | -1.0% | 495 | 488 | 1.4% | 363 | 351 | 3.7% |
| 7:00:00 | 1756 | 1796 | -2.3% | 1236 | 1314 | -5.9% | 1675 | 1745 | -4.0% |
| 8:00:00 | 1863 | 1857 | 0.3% | 1176 | 1292 | -8.9% | 1643 | 1768 | -7.1% |
| 9:00:00 | 1632 | 1698 | -3.9% | 965 | 1061 | -9.1% | 1412 | 1488 | -5.1% |
| 10:00:00 | 1703 | 1805 | -5.6% | 911 | 984 | -7.4% | 1228 | 1304 | -5.8% |
| 11:00:00 | 1707 | 1826 | -6.5% | 900 | 980 | -8.2% | 1246 | 1328 | -6.1% |
| 12:00:00 | 1670 | 1776 | -6.0% | 919 | 1001 | -8.1% | 1411 | 1459 | -3.3% |
| 13:00:00 | 1740 | 1830 | -4.9% | 958 | 1035 | -7.4% | 1474 | 1565 | -5.8% |
| 14:00:00 | 1624 | 1727 | -6.0% | 902 | 977 | -7.7% | 1291 | 1416 | -8.8% |
| 15:00:00 | 1770 | 1870 | -5.4% | 960 | 1010 | -5.0% | 1404 | 1484 | -5.4% |
| 16:00:00 | 1805 | 1902 | -5.1% | 1000 | 1069 | -6.5% | 1471 | 1566 | -6.1% |
| 17:00:00 | 1955 | 2013 | -2.9% | 1150 | 1217 | -5.5% | 1560 | 1608 | -3.0% |
| 18:00:00 | 1862 | 1796 | 3.7% | 1254 | 1355 | -7.5% | 1590 | 1597 | -0.5% |
| 19:00:00 | 1678 | 1788 | -6.2% | 1088 | 1226 | -11.3% | 1483 | 1553 | -4.5% |
| 20:00:00 | 1545 | 1715 | -9.9% | 951 | 1050 | -9.4% | 1257 | 1324 | -5.1% |
| 21:00:00 | 1509 | 1565 | -3.6% | 882 | 857 | 3.0% | 976 | 953 | 2.3% |
| 22:00:00 | 1219 | 1261 | -3.3% | 645 | 645 | -0.1% | 640 | 647 | -1.0% |
| 23:00:00 | 1017 | 1043 | -2.5% | 408 | 411 | -0.9% | 480 | 481 | -0.4% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 31114 | 32078 | -3.0% | 17427 | 18524 | -5.9% | 23162 | 24165 | -4.1% |
| Periodo (05:00-23:00) | 25571 | 26652 | -4.1% | 14990 | 16178 | -7.3% | 20588 | 21643 | -4.9% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1262 | 1253 | 0.7% | 620 | 607 | 2.1% | 443 | 438 | 1.3% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 2728 | 2826 | -3.5% | 1527 | 1502 | 1.6% | 1616 | 1600 | 1.0% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 24310 | 25399 | -4.3% | 14371 | 15570 | -7.7% | 20145 | 21205 | -5.0% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -5.38% |
| Periodo (05:00-23:00) | -6.67% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1.83% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1.00% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -7.00% |

*Tabla C.11: Impacto de RV en flujos vehiculares para episodio del viernes 08-07-2011.*

| Viernes 08-07-2011 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 338 | 318 | 6.2% | 188 | 171 | 10.0% | 244 | 215 | 13.3% |
| 1:00:00 | 338 | 318 | 6.2% | 188 | 171 | 10.0% | 244 | 215 | 13.3% |
| 2:00:00 | 238 | 226 | 5.1% | 118 | 111 | 6.2% | 162 | 138 | 17.3% |
| 3:00:00 | 213 | 176 | 21.1% | 88 | 87 | 1.3% | 153 | 108 | 40.8% |
| 4:00:00 | 217 | 199 | 9.0% | 106 | 92 | 15.5% | 126 | 104 | 20.8% |
| 5:00:00 | 408 | 365 | 11.5% | 134 | 131 | 2.2% | 105 | 94 | 11.3% |
| 6:00:00 | 1079 | 1056 | 2.2% | 476 | 464 | 2.6% | 349 | 325 | 7.2% |
| 7:00:00 | 1760 | 2046 | -14.0% | 1112 | 1210 | -8.1% | 1398 | 1651 | -15.3% |
| 8:00:00 | 1781 | 1745 | 2.1% | 1158 | 1264 | -8.4% | 1602 | 1730 | -7.4% |
| 9:00:00 | 1567 | 1646 | -4.8% | 1005 | 1059 | -5.1% | 1435 | 1476 | -2.8% |
| 10:00:00 | 1597 | 1659 | -3.8% | 941 | 1000 | -6.0% | 1292 | 1309 | -1.3% |
| 11:00:00 | 1669 | 1747 | -4.5% | 971 | 1019 | -4.7% | 1349 | 1381 | -2.4% |
| 12:00:00 | 1717 | 1809 | -5.1% | 989 | 1057 | -6.5% | 1475 | 1498 | -1.5% |
| 13:00:00 | 1665 | 1779 | -6.4% | 1017 | 1105 | -8.0% | 1582 | 1530 | 3.4% |
| 14:00:00 | 1574 | 1665 | -5.5% | 967 | 1079 | -10.4% | 1454 | 1476 | -1.5% |
| 15:00:00 | 1632 | 1736 | -6.0% | 1050 | 1107 | -5.1% | 1490 | 1544 | -3.5% |
| 16:00:00 | 1784 | 1799 | -0.8% | 1205 | 1197 | 0.7% | 1597 | 1567 | 1.9% |
| 17:00:00 | 1734 | 1712 | 1.3% | 1413 | 1314 | 7.6% | 1666 | 1555 | 7.1% |
| 18:00:00 | 1196 | 1712 | -30.1% | 1020 | 1342 | -24.0% | 1441 | 1558 | -7.6% |
| 19:00:00 | 0 | 0 | #¡DIV/0! | 0 | 0 | #¡DIV/0! | 0 | 0 | #¡DIV/0! |
| 20:00:00 | 0 | 0 | #¡DIV/0! | 0 | 0 | #¡DIV/0! | 0 | 0 | #¡DIV/0! |
| 21:00:00 | 1242 | 1461 | -15.0% | 876 | 998 | -12.2% | 1084 | 1151 | -5.8% |
| 22:00:00 | 1172 | 1312 | -10.7% | 720 | 801 | -10.2% | 788 | 844 | -6.6% |
| 23:00:00 | 1028 | 1172 | -12.3% | 575 | 620 | -7.1% | 633 | 667 | -5.1% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 25945 | 27658 | -6.2% | 16316 | 17398 | -6.2% | 21667 | 22137 | -2.1% |
| Periodo (05:00-23:00) | 21160 | 22476 | -5.9% | 13457 | 14347 | -6.2% | 18234 | 18694 | -2.5% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1487 | 1421 | 4.6% | 610 | 595 | 2.5% | 454 | 419 | 8.2% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 2414 | 2773 | -13.0% | 1596 | 1799 | -11.3% | 1872 | 1995 | -6.1% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 19674 | 21055 | -6.6% | 12846 | 13752 | -6.6% | 17780 | 18275 | -2.7% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -5.70% |
| Periodo (05:00-23:00) | -5.70% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 3.45% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | -10.83% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -6.10% |

*Tabla C.12: Impacto RV en flujos vehiculares para episodio del viernes 08-06-2012.*

| Viernes 08-06-2012 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zona | Zona I | | | Zona II | | | Zona III | | |
| Hora | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta | C/RV | S/RV | delta |
| 0:00:00 | 477 | 423 | 12.8% | 164 | 172 | -4.6% | 477 | 423 | 12.8% |
| 1:00:00 | 477 | 423 | 12.8% | 164 | 172 | -4.6% | 477 | 423 | 12.8% |
| 2:00:00 | 347 | 305 | 13.7% | 92 | 96 | -4.2% | 347 | 305 | 13.7% |
| 3:00:00 | 244 | 270 | -9.5% | 71 | 71 | 0.6% | 244 | 270 | -9.5% |
| 4:00:00 | 267 | 264 | 1.3% | 76 | 79 | -4.1% | 267 | 264 | 1.3% |
| 5:00:00 | 289 | 295 | -2.1% | 108 | 114 | -5.3% | 289 | 295 | -2.1% |
| 6:00:00 | 827 | 778 | 6.3% | 503 | 488 | 3.2% | 827 | 778 | 6.3% |
| 7:00:00 | 1714 | 1817 | -5.7% | 1356 | 1371 | -1.0% | 1714 | 1817 | -5.7% |
| 8:00:00 | 1850 | 1805 | 2.5% | 1368 | 1464 | -6.5% | 1850 | 1805 | 2.5% |
| 9:00:00 | 1532 | 1560 | -1.8% | 1102 | 1219 | -9.6% | 1532 | 1560 | -1.8% |
| 10:00:00 | 1463 | 1435 | 2.0% | 1033 | 1117 | -7.6% | 1463 | 1435 | 2.0% |
| 11:00:00 | 1321 | 1436 | -8.0% | 1018 | 1096 | -7.1% | 1321 | 1436 | -8.0% |
| 12:00:00 | 1338 | 1436 | -6.8% | 1057 | 1145 | -7.8% | 1338 | 1436 | -6.8% |
| 13:00:00 | 1346 | 1521 | -11.5% | 1103 | 1200 | -8.1% | 1346 | 1521 | -11.5% |
| 14:00:00 | 1390 | 1525 | -8.8% | 1054 | 1178 | -10.6% | 1390 | 1525 | -8.8% |
| 15:00:00 | 1402 | 1489 | -5.8% | 1125 | 1217 | -7.5% | 1402 | 1489 | -5.8% |
| 16:00:00 | 1552 | 1755 | -11.6% | 1245 | 1323 | -5.9% | 1552 | 1755 | -11.6% |
| 17:00:00 | 1987 | 2063 | -3.7% | 1359 | 1422 | -4.5% | 1987 | 2063 | -3.7% |
| 18:00:00 | 1861 | 1957 | -4.9% | 1442 | 1462 | -1.4% | 1861 | 1957 | -4.9% |
| 19:00:00 | 1577 | 1569 | 0.5% | 1303 | 1429 | -8.8% | 1577 | 1569 | 0.5% |
| 20:00:00 | 1232 | 1335 | -7.7% | 1110 | 1249 | -11.2% | 1232 | 1335 | -7.7% |
| 21:00:00 | 1248 | 1168 | 6.9% | 1105 | 1084 | 2.0% | 1248 | 1168 | 6.9% |
| 22:00:00 | 1185 | 1157 | 2.4% | 871 | 893 | -2.5% | 1185 | 1157 | 2.4% |
| 23:00:00 | 1228 | 1181 | 4.0% | 608 | 664 | -8.4% | 1228 | 1181 | 4.0% |
| Todo el Dia (00:00-24:00) | 28154 | 28964 | -2.8% | 20438 | 21727 | -5.9% | 28154 | 28964 | -2.8% |
| Periodo (05:00-23:00) | 22681 | 23774 | -4.6% | 17286 | 18495 | -6.5% | 22681 | 23774 | -4.6% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 1116 | 1073 | 4.0% | 611 | 602 | 1.6% | 1116 | 1073 | 4.0% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 2433 | 2324 | 4.7% | 1976 | 1977 | -0.1% | 2433 | 2324 | 4.7% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | 21565 | 22701 | -5.0% | 16675 | 17894 | -6.8% | 21565 | 22701 | -5.0% |

| Periodo | Impacto en los flujos vehiculares de la Región Metropolitana de Santiago |
|---|---|
| Todo el Dia (00:00-24:00) | -5.20% |
| Periodo (05:00-23:00) | -6.08% |
| Antes aplicación RV (05:00-07:00) | 2.15% |
| Después aplicación RV (21:00-23:00) | 1.04% |
| Durante aplicación (07:00-21:00) | -6.39% |

## D | Varios

**<u>Vías Reversibles</u> (Fuente UOCT)**

- Av. Colón: 07:00 – 10:00 horas tránsito solo al poniente.

- Av. Andrés Bello: 07:30 – 10:00 horas tránsito solo al poniente, 17:00 – 21:00 horas tránsito solo al oriente.

- Av. José María Caro: 07:30 – 10:00 horas tránsito solo al poniente, 17:00 – 21:00 horas tránsito solo al oriente.

- Av. Presidente Riesco: 07:30 – 12:00 horas tránsito solo al poniente, 12:01 – 21:00 horas tránsito solo al oriente.

- Av. Tobalaba: 06:30 – 10:00 dos pistas al norte y una al sur, 17:00 – 21:00 horas tránsito solo al sur.

- Av. José Pedro Alessandri: 07:30 – 10:00 horas tránsito solo al norte.

**<u>Partidos disputados por selección chilena de fútbol en la Copa América Chile 2015</u>**

- Jueves 11 de Junio del 2015 a las 20:30 horas.
- Lunes 15 de Junio del 2015 a las 20:30 horas.
- Viernes 19 de Junio del 2015 a las 20:30 horas.
- Miércoles 24 de Junio del 2015 a las 20:30 horas.
- Lunes 29 de Junio del 2015 a las 20:30 horas.
- Sábado 04 de Julio del 2015 a las 17:00 horas.

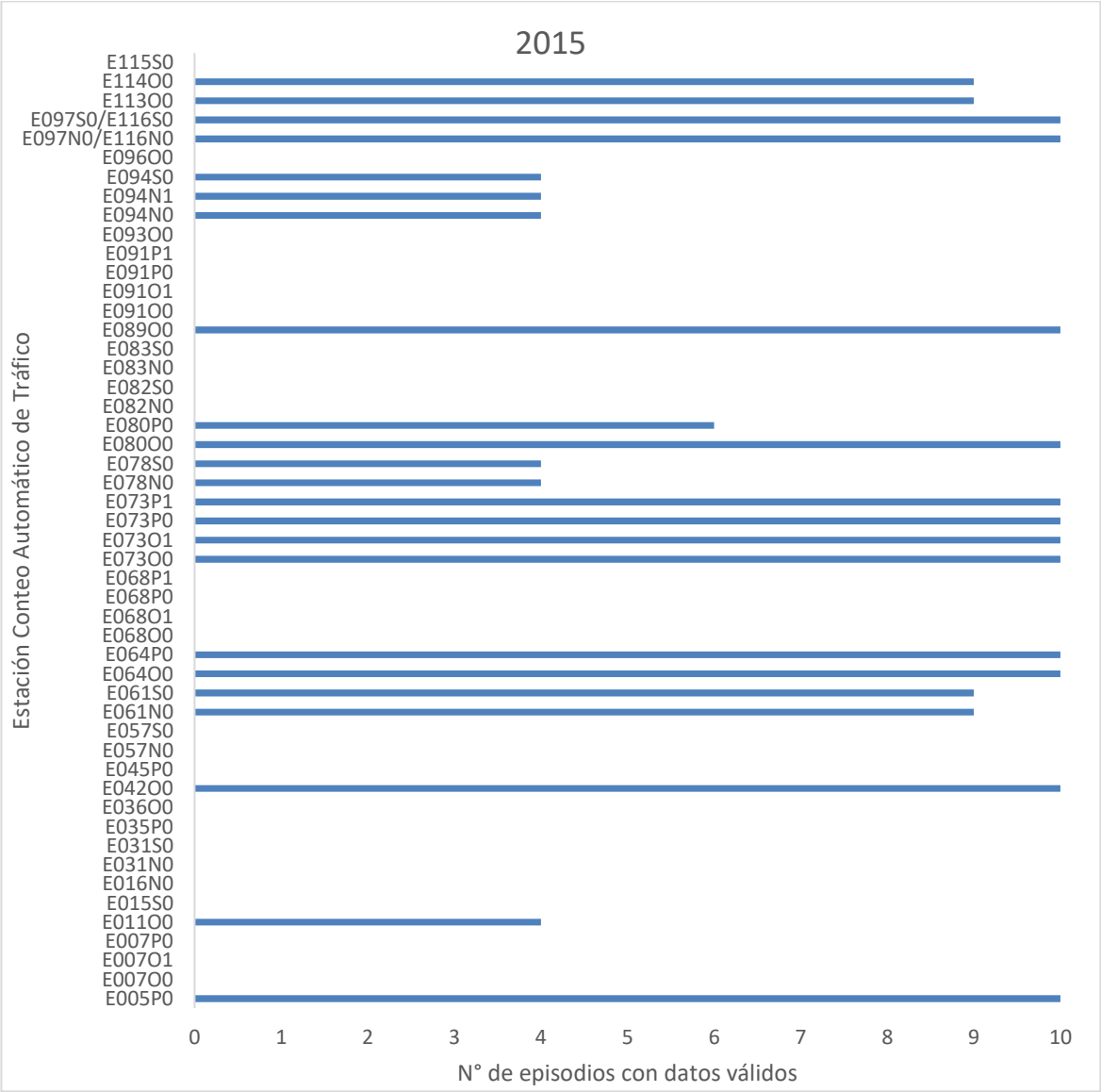


*Figura D.1: Cantidad de episodios constatados el año 2015 con datos válidos, según ECAT.*

*Figura D.2: Zonificación de Región Metropolitana (Azul: Zona I; Gris: Zona II; Verde: Zona III).*

| Código | Eje | Calle1 | Calle2 | Sentido M | Tipo Pista | Comuna |
|---|---|---|---|---|---|---|
| E089O0 | Pocuro | El Bosque Sur | Pdte. Alfar | P - O | Normal | Providencia |

| Viernes 08/06 | | | | Viernes 18/05 | | | | Viernes 01/06 | | | | Viernes 15/06 | | | | Viernes 22/06 | | | | PROMEDIO SIN/RV | | CV | ONES (DIA CON RV/PROM DIA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | HORA | VARIACIÓN |
| E089O0 | 08/06/2012 | 01:00:00 | 267 | E089O0 | 18/05/2012 | 01:00:00 | 256 | E089O0 | 01/06/2012 | 01:00:00 | 318 | E089O0 | 15/06/2012 | 01:00:00 | 268 | E089O0 | 22/06/2012 | 01:00:00 | 266 | 01:00:00 | 277 | 10% | 01:00:00 | -3.61% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 02:00:00 | 142 | E089O0 | 18/05/2012 | 02:00:00 | 132 | E089O0 | 01/06/2012 | 02:00:00 | 165 | E089O0 | 15/06/2012 | 02:00:00 | 122 | E089O0 | 22/06/2012 | 02:00:00 | 137 | 02:00:00 | 139 | 13% | 02:00:00 | 2.16% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 03:00:00 | 102 | E089O0 | 18/05/2012 | 03:00:00 | 109 | E089O0 | 01/06/2012 | 03:00:00 | 100 | E089O0 | 15/06/2012 | 03:00:00 | 82 | E089O0 | 22/06/2012 | 03:00:00 | 94 | 03:00:00 | 96.25 | 12% | 03:00:00 | 5.97% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 04:00:00 | 91 | E089O0 | 18/05/2012 | 04:00:00 | 94 | E089O0 | 01/06/2012 | 04:00:00 | 92 | E089O0 | 15/06/2012 | 04:00:00 | 94 | E089O0 | 22/06/2012 | 04:00:00 | 74 | 04:00:00 | 88.5 | 11% | 04:00:00 | 2.82% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 05:00:00 | 73 | E089O0 | 18/05/2012 | 05:00:00 | 77 | E089O0 | 01/06/2012 | 05:00:00 | 86 | E089O0 | 15/06/2012 | 05:00:00 | 72 | E089O0 | 22/06/2012 | 05:00:00 | 77 | 05:00:00 | 78 | 7% | 05:00:00 | -6.41% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 06:00:00 | 389 | E089O0 | 18/05/2012 | 06:00:00 | 330 | E089O0 | 01/06/2012 | 06:00:00 | 364 | E089O0 | 15/06/2012 | 06:00:00 | 327 | E089O0 | 22/06/2012 | 06:00:00 | 342 | 06:00:00 | 340.75 | 5% | 06:00:00 | 14.16% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 07:00:00 | 1702 | E089O0 | 18/05/2012 | 07:00:00 | 1670 | E089O0 | 01/06/2012 | 07:00:00 | 1569 | E089O0 | 15/06/2012 | 07:00:00 | 1710 | E089O0 | 22/06/2012 | 07:00:00 | 1685 | 07:00:00 | 1658.5 | 4% | 07:00:00 | 2.62% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 08:00:00 | 1912 | E089O0 | 18/05/2012 | 08:00:00 | 1970 | E089O0 | 01/06/2012 | 08:00:00 | 2007 | E089O0 | 15/06/2012 | 08:00:00 | 2026 | E089O0 | 22/06/2012 | 08:00:00 | 2007 | 08:00:00 | 2002.5 | 1% | 08:00:00 | -4.52% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 09:00:00 | 1517 | E089O0 | 18/05/2012 | 09:00:00 | 1867 | E089O0 | 01/06/2012 | 09:00:00 | 1768 | E089O0 | 15/06/2012 | 09:00:00 | 1828 | E089O0 | 22/06/2012 | 09:00:00 | 1849 | 09:00:00 | 1828 | 2% | 09:00:00 | -17.01% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 10:00:00 | 1461 | E089O0 | 18/05/2012 | 10:00:00 | 1560 | E089O0 | 01/06/2012 | 10:00:00 | 1597 | E089O0 | 15/06/2012 | 10:00:00 | 1664 | E089O0 | 22/06/2012 | 10:00:00 | 1604 | 10:00:00 | 1606.25 | 3% | 10:00:00 | -9.04% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 11:00:00 | 1558 | E089O0 | 18/05/2012 | 11:00:00 | 1701 | E089O0 | 01/06/2012 | 11:00:00 | 1692 | E089O0 | 15/06/2012 | 11:00:00 | 1635 | E089O0 | 22/06/2012 | 11:00:00 | 1631 | 11:00:00 | 1664.75 | 2% | 11:00:00 | -6.41% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 12:00:00 | 1759 | E089O0 | 18/05/2012 | 12:00:00 | 1942 | E089O0 | 01/06/2012 | 12:00:00 | 1852 | E089O0 | 15/06/2012 | 12:00:00 | 1903 | E089O0 | 22/06/2012 | 12:00:00 | 1871 | 12:00:00 | 1892 | 2% | 12:00:00 | -7.03% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 13:00:00 | 1948 | E089O0 | 18/05/2012 | 13:00:00 | 2201 | E089O0 | 01/06/2012 | 13:00:00 | 2183 | E089O0 | 15/06/2012 | 13:00:00 | 2046 | E089O0 | 22/06/2012 | 13:00:00 | 2160 | 13:00:00 | 2147.5 | 3% | 13:00:00 | -9.29% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 14:00:00 | 1783 | E089O0 | 18/05/2012 | 14:00:00 | 2052 | E089O0 | 01/06/2012 | 14:00:00 | 1893 | E089O0 | 15/06/2012 | 14:00:00 | 1985 | E089O0 | 22/06/2012 | 14:00:00 | 1967 | 14:00:00 | 1974.25 | 3% | 14:00:00 | -9.69% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 15:00:00 | 1888 | E089O0 | 18/05/2012 | 15:00:00 | 2049 | E089O0 | 01/06/2012 | 15:00:00 | 1892 | E089O0 | 15/06/2012 | 15:00:00 | 2048 | E089O0 | 22/06/2012 | 15:00:00 | 1995 | 15:00:00 | 1996 | 4% | 15:00:00 | -5.41% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 16:00:00 | 2127 | E089O0 | 18/05/2012 | 16:00:00 | 2229 | E089O0 | 01/06/2012 | 16:00:00 | 2223 | E089O0 | 15/06/2012 | 16:00:00 | 2294 | E089O0 | 22/06/2012 | 16:00:00 | 2194 | 16:00:00 | 2235 | 2% | 16:00:00 | -4.83% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 17:00:00 | 2261 | E089O0 | 18/05/2012 | 17:00:00 | 2348 | E089O0 | 01/06/2012 | 17:00:00 | 2366 | E089O0 | 15/06/2012 | 17:00:00 | 2374 | E089O0 | 22/06/2012 | 17:00:00 | 2500 | 17:00:00 | 2397 | 3% | 17:00:00 | -5.67% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 18:00:00 | 2454 | E089O0 | 18/05/2012 | 18:00:00 | 2275 | E089O0 | 01/06/2012 | 18:00:00 | 2611 | E089O0 | 15/06/2012 | 18:00:00 | 2511 | E089O0 | 22/06/2012 | 18:00:00 | 2513 | 18:00:00 | 2477.5 | 6% | 18:00:00 | -0.95% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 19:00:00 | 2087 | E089O0 | 18/05/2012 | 19:00:00 | 2475 | E089O0 | 01/06/2012 | 19:00:00 | 2403 | E089O0 | 15/06/2012 | 19:00:00 | 2373 | E089O0 | 22/06/2012 | 19:00:00 | 2435 | 19:00:00 | 2421.5 | 2% | 19:00:00 | -13.81% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 20:00:00 | 1740 | E089O0 | 18/05/2012 | 20:00:00 | 1812 | E089O0 | 01/06/2012 | 20:00:00 | 1957 | E089O0 | 15/06/2012 | 20:00:00 | 1943 | E089O0 | 22/06/2012 | 20:00:00 | 1902 | 20:00:00 | 1903.5 | 3% | 20:00:00 | -8.59% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 21:00:00 | 1572 | E089O0 | 18/05/2012 | 21:00:00 | 1634 | E089O0 | 01/06/2012 | 21:00:00 | 1643 | E089O0 | 15/06/2012 | 21:00:00 | 1608 | E089O0 | 22/06/2012 | 21:00:00 | 1678 | 21:00:00 | 1640.75 | 2% | 21:00:00 | -4.19% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 22:00:00 | 1155 | E089O0 | 18/05/2012 | 22:00:00 | 1082 | E089O0 | 01/06/2012 | 22:00:00 | 1161 | E089O0 | 15/06/2012 | 22:00:00 | 1115 | E089O0 | 22/06/2012 | 22:00:00 | 1106 | 22:00:00 | 1116 | 3% | 22:00:00 | 3.49% |
| E089O0 | 08/06/2012 | 23:00:00 | 741 | E089O0 | 18/05/2012 | 23:00:00 | 788 | E089O0 | 01/06/2012 | 23:00:00 | 925 | E089O0 | 15/06/2012 | 23:00:00 | 871 | E089O0 | 22/06/2012 | 23:00:00 | 899 | 23:00:00 | 870.75 | 7% | 23:00:00 | -14.90% |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FLUJO TOTAL DIARIO | 30729 | FLUJO TOTAL DIARIO | 32653 | FLUJO TOTAL DIARIO | 32867 | FLUJO TOTAL DIARIO | 32899 | FLUJO TOTAL DIARIO | 32986 | FLUJO TOTA | 32851.25 | FLUJO TOTA | -6.46% |
| FLUJO 5:00-7:00 | 462 | FLUJO 5:00-7:00 | 407 | FLUJO 5:00-7:00 | 450 | FLUJO 5:00-7:00 | 399 | FLUJO 5:00-7:00 | 419 | FLUJO 5:00- | 418.75 | FLUJO 5:00- | 10.33% |
| FLUJO 7:00-21:00 | 26197 | FLUJO 7:00-21:00 | 28151 | FLUJO 7:00-21:00 | 28013 | FLUJO 7:00-21:00 | 28340 | FLUJO 7:00-21:00 | 28313 | FLUJO 7:00- | 28204.25 | FLUJO 7:00- | -7.12% |
| FLUJO 21:00-23:00 | 2727 | FLUJO 21:00-23:00 | 2716 | FLUJO 21:00-23:00 | 2804 | FLUJO 21:00-23:00 | 2723 | FLUJO 21:00-23:00 | 2784 | FLUJO 21:0 | 2756.75 | FLUJO 21:0 | -1.08% |
| FLUJO 5:00-23:00 | 29386 | FLUJO 5:00-23:00 | 31274 | FLUJO 5:00-23:00 | 31267 | FLUJO 5:00-23:00 | 31462 | FLUJO 5:00-23:00 | 31516 | FLUJO 5:00- | 31379.75 | FLUJO 5:00- | -6.35% |