

Congestión urbana en América Latina y el Caribe: características, costos y mitigación



DIVISIÓN DE
TRANSPORTE

Agustina Calatayud
Santiago Sánchez González
Felipe Bedoya Maya
Francisca Giraldez
José María Márquez

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Congestión urbana en América Latina y el Caribe: características, costos y mitigación / Agustina Calatayud, Santiago Sánchez González, Felipe Bedoya Maya, Francisca Giraldez, José María Márquez.
p. cm. — (Monografía del BID ; 902)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Traffic congestion-Costs-Latin America. 2. Traffic congestion-Costs-Caribbean Area. 3. Urban transportation policy-Latin America. 4. Urban transportation policy-Latin America-Caribbean Area. 5. Big data-Latin America. 6. Big data-Caribbean Area. I. Calatayud, Agustina. II. Sánchez González, Santiago. III. Bedoya Maya, Felipe. IV. Giraldez Zúñiga, Francisca. V. Márquez, José María. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. VII. Serie.
IDB-MG-902

Palabras clave: congestión, movilidad urbana, automóvil, transporte, big data, políticas públicas

Clasificaciones JEL: R41, R48.

Copyright © 2021 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Congestión urbana en América Latina y el Caribe: características, costos y mitigación

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Transporte

Agustina Calatayud
Santiago Sánchez González
Felipe Bedoya Maya
Francisca Giraldez
José María Márquez



Resumen ejecutivo | 8

Introducción | 12

Capítulo 1. La relevancia de la congestión | 15

1.1. ¿Qué es la congestión? | 16

1.2. ¿Por qué nos interesa la congestión? | 18

1.3. Determinantes de la congestión | 20

1.4. Patrones de movilidad en ALC | 21

Capítulo 2. ¿Cómo medir la congestión y sus costos en las ciudades de ALC? | 28

2.1. Modelo para la estimación de la demora agregada | 29

2.1.1. Datos y variables | 30

2.1.2. Estimación de la malla vial | 33

2.1.3. Estimación de la demora agregada | 37

2.2. Valor del tiempo (VoT) y costo monetario de la congestión | 39

2.3. Modelo de estimación de costos indirectos de la congestión | 41

Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC | 44

3.1. Magnitud de la congestión en ALC | 45

3.2. Costo de la congestión en las ciudades de ALC | 49

3.3. Análisis por ciudad | 53

Bogotá | 53

Buenos Aires | 57

Lima | 60

Ciudad de México | 63

Montevideo | 66

Río de Janeiro | 69

San Salvador | 72

Santiago | 74

Santo Domingo | 78

Sao Paulo | 81

3.4. Costos indirectos de la congestión | 84

Capítulo 4. Características y dinámica de la congestión: casos seleccionados | 91

4.1. Congestión urbana relacionada con actividades económicas | 92

4.2. Congestión urbana relacionada con actividades culturales y sociales | 97

4.3. Congestión urbana relacionada con áreas de primera importancia | 100

Capítulo 5. Políticas públicas reducir la congestión vial | 107

5.1. Instrumentos de gestión de tráfico | 109

5.1.1. Provisión de infraestructura | 109

5.1.2. Pacificación del tráfico y control de acceso a vías | 112

5.1.3. Carriles de alta ocupación | 113

5.1.4. Ciclos semafóricos optimizados y adaptativos | 113

5.1.5. Uso de tecnologías para el monitoreo del tráfico en tiempo real | 113

5.1.6. Aplicación de normas y leyes de tránsito | 114

5.1.7. Reducción de la demanda de viajes | 114

5.2. Políticas que restringen el uso del vehículo particular | 115

5.2.1. Restricciones a la circulación de vehículos | 115

5.2.2. Limitado estacionamiento en la vía pública | 116

5.2.3. Impuestos a los combustibles | 116

5.2.4. Impuestos al automóvil | 117

5.2.5. Cobro por estacionamiento en la vía pública | 117

5.2.6. Impuestos especiales a estacionamientos públicos | 118

5.2.7. Tarifación vial | 118

5.3. Políticas que promueven el uso del transporte público y el transporte activo | 120

5.3.1. Mejora de la disponibilidad y calidad de transporte público | 120

5.3.2. Carriles exclusivos para transporte público | 121

5.3.3. Estacionamiento "Park and Ride" | 122

5.3.4. Infraestructura para bicicletas y peatones | 122

5.3.5. Transporte escolar | 123

5.3.6. Transporte institucional | 123

5.3.7. Sistemas de vehículos compartidos | 123

5.3.8. Oferta de transporte para personas con discapacidades | 124

5.4. Planificación integrada de la movilidad y el uso del suelo | 124

5.5. Políticas para la gestión de la logística urbana | 125

5.5.1. Entrega de mercancías fuera de las horas punta | 125

5.5.2. Asignación de áreas especiales para carga y descarga | 125

5.5.3. Cobros por congestión y/o estacionamiento | 126

5.6. Consideraciones para la implementación en ALC | 126

Conclusiones | 127

Referencias | 132

Apéndice 1: Desarrollo algebraico del modelo de cálculo de la congestión | 146

Escenario 1: todos los vehículos en cola salen del embotellamiento | 146

Escenario 2: algunos vehículos en cola salen del embotellamiento | 147

Derivación algebraica del conteo vehicular | 148

Apéndice 2: Validación de los datos | 149

Apéndice 3: Aproximación econométrica cruceros y congestión portuaria | 152

Tablas

Tabla 1.1. Edad de los usuarios del vehículo particular | 25

Tabla 1.2. Características de los viajes diarios en vehículo privado (ciudades seleccionadas) | 26

Tabla 2.1. Estadísticas generales de los datos de Waze | 31

Tabla 2.2. Descripción de las variables de entrada del modelo | 34

Tabla 2.3. Número de calles etiquetadas por ciudad | 35

Tabla 2.4. Resultados del modelo de red neural | 36

Tabla 3.1. Descripción general (2019) | 45

Tabla 3.2. Resultados generales para Bogotá | 54

Tabla 3.3. Resultados generales para Buenos Aires | 57

Tabla 3.4. Resultados generales para Lima | 60

Tabla 3.5. Resultados generales para Ciudad de México | 63

Tabla 3.6. Resultados del análisis para Montevideo | 66

Tabla 3.7. Resultados del análisis para Río de Janeiro | 69

Tabla 3.8. Resultados del análisis para San Salvador | 72

Tabla 3.9. Resultados del análisis para Santiago | 75

Tabla 3.10. Resultados del análisis para Santo Domingo | 78

Tabla 3.11. Resultados del análisis para Sao Paulo | 81

Tabla 5.1. Políticas públicas para la reducción de la congestión | 109

Tabla 5.2. Impacto del Paseo del Bajo en el área de influencia | 111

Tabla 5.3. Secuenciación de políticas públicas para la reducción de la congestión | 128

Figuras

Figura 1.1. Representación gráfica de la congestión como externalidad | 17

Figura 1.2. Tasa de motorización por cada 1.000 habitantes y su crecimiento (2005-2015) | 22

Figura 1.3. Porcentaje de los viajes realizados por modo (ciudades seleccionadas) | 22

Figura 1.4. Distribución modal en un día típico en ciudades seleccionadas de ALC | 23

Figura 1.5. Porcentaje de usuarios de vehículo particular por rango o quintil de ingresos familiares | 23

Figura 1.6. Distribución modal en Bogotá según nivel de escolaridad | 24

Figura 1.7. Uso del vehículo particular según género | 24

Figura 1.8. Motivos de viaje en automóvil | 25

Figura 2.1. Áreas urbanas seleccionadas para el análisis | 30

Figura 2.2. Ilustración de la información reportada por Waze | 31

Figura 2.3. Relación triangular fundamental | 33

Figura 2.4. Indicadores de ajuste del modelo | 36

Figura 2.5. Embotellamiento | 37

Figura 2.6. Escenario 1 | 37

Figura 2.7. Escenario 2 | 38

Figura 2.8. Valor del tiempo en las ciudades seleccionadas | 41

Figura 3.1. Demora total en ciudades seleccionadas (millones de horas, 2019) | 46

Figura 3.2. Demoras por persona y por usuario de vehículo particular (horas, 2019) | 47

Figura 3.3. Demora semanal por persona en 2019 | 47

Figura 3.4. Horas semanales trabajadas por persona vs. demoras por usuario de vehículo particular en ciudades seleccionadas (2019) | 48

Figura 3.5. Distribución de la demora para usuarios de vehículo particular en días laborales ciudades seleccionadas (horas, 2019) | 49

Figura 3.6. Costo total de la congestión en ciudades seleccionadas (millones de US\$, 2019) | 50

Figura 3.7. Costo total de la congestión en ciudades seleccionadas | 50

Figura 3.8. Costo por persona vs. Costo por usuario de vehículo particular (US\$, 2019) | 51

Figura 3.9. Costo por persona vs. costo por usuario de vehículo particular (US\$, 2019) | 51

Figura 3.10. Costo de la congestión por usuario de vehículo particular en días laborales, ciudades seleccionadas (US\$, 2019) | 52

Figura 3.11. Distribución horaria de la congestión en ciudades seleccionadas (horas, 2019) | 53

Figura 3.12. Distribución espacial de la congestión en Bogotá (2019) | 54

Figura 3.13. Comparación de resultados entre ciudades de ALC | 55

Figura 3.14. Distribución de la congestión en el año (Bogotá, 2019) | 55

Figura 3.15. Distribución de la congestión por día de la semana (Bogotá, 2019) | 56

Figura 3.16. Distribución de la congestión por hora del día (Bogotá, 2019) | 56

Figura 3.17. Distribución espacial de la congestión (Buenos Aires, 2019) | 58

Figura 3.18. Comparación de resultados entre ciudades de ALC | 58

Figura 3.19. Distribución por mes del año (2019) | 59

Figura 3.20. Distribución por día de la semana (Buenos Aires, 2019) | 59

Figura 3.21. Distribución de la congestión por hora del día (Buenos Aires, 2019) | 60

Figura 3.22. Distribución espacial de la congestión (Lima, 2019) | 61

Figura 3.23. Comparación de resultados entre ciudades de ALC | 61

Figura 3.24. Distribución de la congestión por mes del año (2019) | 62

Figura 3.25. Distribución de la congestión por día de la semana (Lima, 2019) | 62

Figura 3.26. Distribución de la congestión por hora del día (Lima, 2019) | 63

Figura 3.27. Distribución espacial de la congestión (Ciudad de México, 2019) | 64

Figura 3.28. Comparación de resultados entre ciudades de ALC | 64

Figura 3.29. Distribución de la congestión por mes del año (2019) | 65

Figura 3.30. Distribución de la congestión por día de la semana (Ciudad de México, 2019) | 65

Figura 3.31. Distribución de la congestión por hora del día (Ciudad de México, 2019) | 66

Figura 3.32. Distribución espacial de la congestión (Montevideo, 2019) | 67

Figura 3.33. Comparación de resultados entre ciudades de ALC | 67

Figura 3.34. Distribución de la congestión por mes del año (2019) | 68

Figura 3.35. Distribución de la congestión por día de la semana (Montevideo, 2019) | 68

Figura 3.36. Distribución de la congestión por hora del día (Montevideo, 2019) | 69

Figura 3.37. Distribución espacial de la congestión (Río de Janeiro, 2019) | 70

Figura 3.38. Comparación de resultados entre ciudades de ALC | 70

Figura 3.39. Distribución de la congestión por mes del año (2019) | 71

Figura 3.40. Distribución de la congestión por día de la semana (Río de Janeiro, 2019) | 71

Figura 3.41. Distribución de la congestión por hora del día (Río de Janeiro, 2019) | 72

Figura 3.42. Distribución espacial de la congestión (San Salvador, 2019) | 73

Figura 3.43. Comparación de resultados entre ciudades de ALC | 73

Figura 3.44. Distribución de la congestión por mes del año (2019) | 74

Figura 3.45. Distribución de la congestión por día de la semana (San Salvador, 2019) | 74

Figura 3.46. Distribución de la congestión por hora del día (San Salvador, 2019) | 75

Figura 3.47. Distribución espacial de la congestión (Santiago, 2019) | 76

Figura 3.48. Comparación de resultados entre ciudades de ALC | 76

Figura 3.49. Distribución por de la demora por mes del año (2019) | 77

Figura 3.50. Distribución de la congestión por día de la semana (Santiago, 2019) | 77

Figura 3.51. Distribución de la congestión a lo largo del día (Santiago, 2019) | 78

Figura 3.52. Distribución espacial de la congestión (Santo Domingo, 2019) | 79

Figura 3.53. Comparación de resultados entre ciudades de ALC | 79

Figura 3.54. Distribución de la congestión por mes del año (2019) | 80

Figura 3.55. Distribución de la congestión por día de la semana (Santo Domingo, 2019) | 80

Figura 3.56. Distribución de la congestión por hora del día (Santo Domingo, 2019) | 81

Figura 3.57. Distribución espacial de la congestión (Sao Paulo, 2019) | 82

Figura 3.58. Comparación de los resultados para las ciudades analizadas | 82

Figura 3.59. Distribución de la congestión por mes del año (2019) | 83

Figura 3.60. Distribución de la congestión por día de la semana (Sao Paulo, 2019) | 83

Figura 3.61. Distribución de la congestión por hora del día (Sao Paulo, 2019) | 84

Figura 3.62. Distribución de los incidentes de tráfico por hora del día (2019) | 85

Figura 3.63. Distribución de los incidentes de tráfico por día de la semana (2019) | 86

Figura 3.64. Distribución espacial de los incidentes de tráfico (2019) | 87

Figura 3.65. Número de incidentes de tráfico vs horas en congestión por semana | 88

Figura 3.66. Relación incidentes de tráfico de tránsito y congestión (2019) | 89

Figura 3.67. Reducción porcentual del número de incidentes de tráfico ante una disminución del 10% de la congestión | 90

Figura 4.1. Puerto de Montevideo con y sin actividad de cruceros (promedio 2019) | 93

Figura 4.2. Dinámica de la congestión alrededor del Puerto de Montevideo (2019) | 93

Figura 4.3. Puerto de Buenos Aires con y sin actividad de cruceros (promedio 2019) | 94

Figura 4.4. Dinámica de la congestión alrededor del puerto de Buenos Aires (2019) | 94

Figura 4.5. Congestión urbana en Corabastos, Bogotá | 95

Figura 4.6. Descripción temporal de la congestión urbana en Corabastos, Bogotá | 96

Figura 4.7. Velocidad promedio de embotellamientos en Corabastos, Bogotá (2019) | 96

Figura 4.8. Semifinal de la Copa Libertadores y congestión urbana (Buenos Aires, 2019) | 97

Figura 4.9. Dinámica de la congestión durante la Semifinal copa Libertadores (Buenos Aires, 2019) | 98

Figura 4.10. Congestión urbana en parque O'Higgins, Santiago (2019) | 99

Figura 4.11. Congestión en Parque O'Higgins | 99

Figura 4.12. Congestión urbana e incidentes de tráfico en área hospitalaria, Río de Janeiro (2019) | 100

Figura 4.13. Descripción temporal de la congestión en área hospitalaria, Río de Janeiro (2019) | 101

Figura 4.14. Velocidad promedio de embotellamientos en área hospitalaria, Río de Janeiro (2019) | 101

Figura 4.15. Congestión urbana alrededor de Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo (2019) | 102

Figura 4.16. Descripción temporal de la congestión alrededor de la Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo (2019) | 103

Figura 4.17. Velocidad promedio de embotellamientos alrededor de la Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo (2019) | 103

Figura 4.18. Congestión urbana en área de escuelas, Ciudad de México (2019) | 104

Figura 4.19. Descripción temporal de la congestión urbana en áreas de escuelas, Ciudad de México (2019) | 105

Figura 4.20. Velocidad promedio de embotellamientos en áreas de escuelas, Ciudad de México (2019) | 105

Figura 4.21. Variación de la intensidad de congestión por país durante el 2020 | 106

Figura 5.1. Área de influencia directa del Paseo del Bajo | 110

Figura 5.2. Resultados | 111

Figura A.1. Flujo por carril - hora (puntos seleccionados, Buenos Aires) | 149

Figura A.2. Comparativo estimado por modelo vs. observado AUSA | 150

Figura A.3. Ajuste relativo | 151

An aerial, top-down view of a multi-lane road. The road is divided into several lanes by white lines. Various vehicles are visible, including cars in white, black, red, green, and silver, as well as several motorcycles. The text "RESUMEN EJECUTIVO" is overlaid in the center in a large, bold, white font.

RESUMEN EJECUTIVO

La congestión es un fenómeno presente en la mayoría de las ciudades de tamaño mediano, grande y en las megaciudades alrededor del mundo. Cada año genera enormes **pérdidas económicas, sociales y medioambientales** a nivel mundial. En la Unión Europea, el costo por el tiempo perdido en el tráfico en 2016 fue estimado en €200 mil millones, equivalente al 1,4% del PIB de la región (European Commission, 2020). Por su parte, estimaciones para Estados Unidos que consideran el tiempo y el combustible total consumido en congestión, sugieren pérdidas por US\$ 151 mil millones en 2020, equivalente al 0,7% del PIB nacional. Se espera que hacia 2030, estos costos alcancen los US\$ 186 mil millones (Cebr, 2014). La congestión también se asocia con mayores niveles de fatiga, ansiedad y depresión, con variaciones en las tasas de siniestralidad vial y con barreras a los efectos positivos de la aglomeración urbana —i.e. en términos de productividad y mercado laboral—, obstaculizando, en última instancia, el desarrollo sostenible de las sociedades.

La información disponible para América Latina y el Caribe (en adelante, ALC) indica que ciudades como: Bogotá, Lima, Ciudad de México y Río de Janeiro se encuentran entre las **más congestionadas del mundo**, compitiendo con ciudades como Mumbai y Bangkok en Asia, y muy por delante de las ciudades más congestionadas en Estados Unidos (Los Ángeles) y en la Unión Europea (Dublín) (TomTom, 2019). Las tendencias generales de la movilidad en ALC, junto con el aumento de la tasa de motorización y la reducción en el uso del transporte público, unido al incremento de la población en las áreas urbanas, nos hace entrever que los niveles de congestión hoy presentes en nuestras ciudades se reviertan en el futuro cercano (Calatayud y Muñoz, 2020). Es más, la desconfianza hacia el transporte público provocada por la pandemia de COVID-19 **podría incrementar el uso del vehículo particular**. Existen ya algunos indicios de este cambio en ciudades como Shanghái y Madrid. En este último caso, el transporte público pasó de ser el modo más utilizado en la época prepandemia, a ser el tercero (25% de los viajes), después del vehículo particular (44%) y el transporte activo (32%) (El País, 2020).

A pesar de la relevancia de esta problemática en ALC, **los estudios acerca de la congestión urbana y sus costos en las ciudades son escasos**. La falta de evidencia reciente sobre las características y el impacto económico de la congestión en las ciudades de la región, que incluya la perspectiva local y regional, limita la comprensión de la magnitud del fenómeno y de sus consecuencias, así como el diseño de medidas eficaces para su mitigación. Si bien los índices internacionales como TomTom e INRIX constituyen un primer intento para brindar una orientación útil sobre la situación actual de algunas ciudades de ALC, en comparación con el resto del mundo, los resultados carecen de la granularidad temporal y geográfica necesaria para el análisis y la toma de decisiones en cuanto a la gestión de la congestión. En efecto, la congestión es un fenómeno dinámico. Los responsables de la formulación de políticas necesitan una **comprensión integral de sus características espaciales y temporales**, a fin de poder diseñar políticas de mitigación efectivas.

En este contexto, el siguiente documento presenta el **primer análisis exhaustivo para la región acerca las características y costos de la congestión urbana**, con resultados para las ciudades de Bogotá (Colombia), Buenos Aires (Argentina), Ciudad de México (México), Lima (Perú), Montevideo (Uruguay), Río de Janeiro (Brasil), San Salvador (El Salvador), Santiago (Chile), Santo Domingo (República Dominicana) y Sao Paulo (Brasil). Utilizamos **big data y ciencia de datos** para elucidar la dinámica de la congestión en cada ciudad y su impacto en los **costos directos e indirectos para la sociedad**. Esto es, con el objetivo de brindar mayor y mejor información para el diseño de políticas públicas. Este análisis también abre la oportunidad a otras agendas de investigación que exploren, por ejemplo, las pérdidas de eficiencia urbana debido a la congestión y las consecuencias de regulaciones al respecto.

En este estudio, utilizamos el **enfoque de Ingeniería de Transporte** para estimar el nivel de congestión en un conjunto de vías urbanas y los costos directos e indirectos de la misma. Con base en la definición de congestión de Goodwin (2004), estimamos la congestión según el **tiempo extra de circulación debido al exceso de tráfico en una parte de la vía en un momento determinado**, ya sea debido a causas recurrentes, no recurrentes o precongestión. Esto resulta en velocidades por debajo de las que se verificarían en condiciones de flujo libre. Para el cálculo de la demora, empleamos la información provista por Waze para las diez ciudades de ALC mencionadas, que incluye localización y velocidad de los embotellamientos, y velocidad de flujo libre para cada segmento embotellado para el año 2019. La base de datos cuenta con más de **10 mil millones de registros**. Para la estimación de la malla vial, utilizamos un **modelo**

de redes neuronales entrenado con más de 7.000 imágenes de vías, el cual reporta una precisión superior al 80%. Para el cálculo del costo monetario de la congestión, seguimos a la literatura que define al **valor del tiempo como aproximadamente igual al 50% del salario de mercado para los viajes en automóvil**. Para el cálculo del costo de la congestión en la siniestralidad vial, utilizamos un **modelo de Poisson en panel de datos con efectos fijos por ciudad**.

Los **resultados** muestran que, en términos absolutos, las ciudades con mayores demoras entre las diez analizadas son las que poseen la mayor **cantidad de habitantes**: Sao Paulo (21,8 millones de habitantes y 700 millones de horas perdidas en 2019) y Ciudad de México (21,6 millones de habitantes y 650 millones de horas perdidas). Por su parte, San Salvador, la ciudad con menor número de habitantes entre las consideradas (1,1 millones), fue la que registró el menor número de horas perdidas en congestión, alcanzando 37 millones de horas en 2019. Ahora bien, al estimar la **demora por habitante y viajero**, el posicionamiento de las ciudades cambia significativamente. Así, en 2019, los habitantes de Montevideo, por ejemplo, perdieron un 51% más de tiempo en congestión que los habitantes de Ciudad de México, aún cuando la población de la capital mexicana es 12 veces mayor que la de Montevideo. Lo mismo ocurre con San Salvador, donde sus habitantes perdieron 33 horas parados en el tráfico en 2019, por encima de megaciudades como Bogotá (31 horas), Río de Janeiro (25 horas) y Buenos Aires (20 horas). De igual manera, si tomamos en cuenta solamente a los usuarios de vehículos privados —en lugar del número de habitantes—, Bogotá fue la ciudad con mayores pérdidas por congestión, ascendiendo a 186 horas por usuario. Esta cifra es casi tres veces mayor que las pérdidas de los usuarios de vehículos privados en Sao Paulo y Ciudad de México.

El **valor del tiempo en cada ciudad posee un importante impacto en cuanto a las pérdidas** generadas por la congestión. Por ejemplo, si bien en 2019 Ciudad de México perdió en congestión más del doble de horas que Buenos Aires (650 millones y 305 millones de horas, respectivamente), el valor de cada hora perdida en Buenos Aires es mayor. En consecuencia, mientras que la demora costó un monto equivalente al 0,5% del PIB en Ciudad de México, el costo para Buenos Aires ascendió al 1,1% de su PIB. Lo mismo puede señalarse en el caso de Santiago (1% de su PIB) respecto a Río de Janeiro (0,9%) y Bogotá (0,9%). Para tener una **proporción** de lo que implican estas pérdidas, a modo de ejemplo, a Buenos Aires y la Ciudad de México la congestión les cuesta 1,9 y 2,3 veces lo que los gobiernos locales invierten en educación. El costo directo de la congestión en Sao Paulo equivale a lo que la ciudad gasta en salud.

A nivel individual, el **costo de la congestión por persona** en 2019 fue mayor en las ciudades de Montevideo (US\$ 177), Santiago (US\$ 156) y Buenos Aires (US\$ 112). Si se considera el **costo por usuario de vehículo particular** —las personas que se trasladan en automóvil recurrentemente—, las mayores pérdidas se dieron en Montevideo (US\$ 474), Santiago (US\$ 409) y Bogotá (US\$ 341). Nuevamente, la diferencia en el valor del tiempo explica los menores costos para ciudades como San Salvador y Lima, a pesar de que la demora sea mayor en tales ciudades; y si miramos cuánto cuesta la congestión al día, Montevideo y Santiago son las ciudades que presentan las cifras más desalentadoras: en un día laboral, los conductores pierden en congestión US\$ 1,2 y US\$ 1,3 respectivamente. Esta cifra es preocupante si se considera que el salario mediano¹ por día es de US\$ 31 y US\$ 25, respectivamente, lo que representa el 4% y 5% del ingreso laboral mediano para cada ciudad. Finalmente, si se compara el tiempo perdido en congestión con el número de horas semanales trabajadas por persona, puede observarse que un automovilista en Bogotá pierde en congestión el equivalente al 9% de las horas trabajadas. En Lima y Montevideo, esas cifras corresponden al 8% y 6%, respectivamente.

Con relación a los **costos indirectos de la congestión**, analizamos aquí la relación con el **nivel de siniestralidad** en las ciudades seleccionadas. Nuestros hallazgos sugieren que, si la demora agregada en un día laboral promedio se redujera un 10%, entonces los incidentes de tráfico disminuirían 5% en Sao Paulo y en Ciudad de México; 3% en Lima; 2% en Río de Janeiro, Bogotá, Buenos Aires y Santiago; 1% en Santo Domingo; 0,4% en Montevideo; y 0,3% en San Salvador. Particularmente, esto significa que si la congestión en 2019 hubiera sido un 10% menor, la cantidad de incidentes de tráfico reportados se habría reducido en un 3,5% promedio para la región. Esto equivale a una reducción de más de 73 mil incidentes de tráfico. La mayor proporción de esta reducción habría ocurrido en Ciudad de México

1. El salario mediano se ha calculado como el ingreso laboral mediano de las personas empleadas —según la definición de la OIT— con datos provenientes del INE-Uruguay, INE-Chile y OIT.

y Sao Paulo, con 26.627 y 23.247 incidentes de tráfico menos respectivamente; seguidos por Bogotá (11 mil); Lima (4 mil); Río de Janeiro (3 mil); Santiago y Buenos Aires (2 mil); San Salvador (194); Montevideo (143); Santo Domingo (117).

Una vez estimados los costos directos e indirectos de la congestión, en el último capítulo de la publicación incluimos una batería de **instrumentos utilizados** a nivel internacional para lograr una mejor gestión de la misma. Estas soluciones pueden agruparse en **cinco categorías**: (i) instrumentos de gestión de tráfico; (ii) políticas que restringen el uso del vehículo particular; (iii) políticas que promueven el uso del transporte público, el transporte activo y el transporte compartido; (iv) planificación integrada de la movilidad y el uso del suelo; y (v) políticas para la gestión de la logística urbana.

Es importante resaltar que, para que las iniciativas de reducción de la congestión sean exitosas, deben estar contenidas dentro de un **marco integral** que, por un lado, promueva la mejora de los modos de transporte alternativos al vehículo particular y, por otro, desincentiven el uso del automóvil. Sobre todo, las medidas deben estar contenidas en un plan integrado de uso del suelo y del transporte, que fomente ciudades más sostenibles y resilientes, focalizadas en mover personas y no vehículos. Para ello, es importante planear la ciudad desde un enfoque sistémico, que genere una mayor accesibilidad a oportunidades de trabajo, salud y educación, a partir de usos de suelo mixto y una red de transporte integrada y eficiente.

Asimismo, el nivel de aceptación y de efectividad de las medidas dependerá de su **adecuada secuenciación**. La experiencia internacional demuestra que la mejora de la calidad, accesibilidad y flexibilidad del sistema de transporte público y activo es clave para proporcionar un servicio eficiente y confiable, que atraiga viajes otrora realizados en automóvil. Así, la mejora de la calidad debería comenzar previo a la implementación de medidas como la tarificación vial, y continuar paralelamente a ella. Esta medida es apalancada en los recursos provenientes de la tarificación vial y en las mejoras operativas para el transporte público, facilitada por el menor número de vehículos en circulación por las calles. En general, debe cambiarse el paradigma de que el uso de la infraestructura vial –incluyendo los espacios de estacionamiento, bahías de carga y descarga, cordones de las aceras y las calles mismas– es gratuito. En cambio, la infraestructura es un servicio que debe pagarse mediante tarifas que cubran los costos para proporcionarla y que reflejen su valor para los usuarios (Calatayud y Muñoz, 2020). Al asignarse los ingresos por tarifas a la mejora de los sistemas de transporte público, se mejoraría también la equidad en la asignación de recursos: se eliminan los subsidios para los usuarios de automóviles privados que tienen ingresos más altos y los recursos se utilizan para mejorar la calidad del transporte público más utilizado por la población de menores ingresos. Otro aspecto para considerar es **pilotear las soluciones** antes de su implementación a gran escala. Esto puede contribuir a aumentar el conocimiento de los ciudadanos acerca de los beneficios proporcionados por las medidas y ayudar a los responsables de las políticas públicas a realizar los ajustes necesarios para incrementar la efectividad de las mismas.

Finalmente, dado que el espacio urbano –especialmente en el caso de las ciudades grandes y megaciudades– suele incluir a más de un nivel de gobierno, la **coordinación entre las agencias** de planificación y movilidad de todos los niveles es crítica para desarrollar e implementar planes integrales de uso del suelo y transporte que sean efectivos en incrementar la sostenibilidad y reducir los niveles de congestión vial. Este objetivo también requiere coordinar con agencias por fuera del sector transporte. Las políticas de subsidio a los combustibles y a la compra de automóviles son ejemplos de algunas de las medidas externas al sector que incentivan la motorización y generan una competencia desleal para el transporte público y activo, redundando en detrimento de una movilidad más eficiente globalmente y sostenible para el medioambiente.



INTRODUCCIÓN

La congestión es un fenómeno presente en la mayoría de las ciudades de tamaño mediano, grande y en las megaciudades alrededor del mundo. Cada año, genera enormes pérdidas económicas, sociales y medioambientales a nivel mundial. En la Unión Europea, el costo del tiempo perdido en tráfico en 2016 fue estimado en €200 mil millones, equivalente al 1,4% del PIB de la región (European Commission, 2020). Por su parte, las estimaciones de costos directos de la congestión en Estados Unidos para 2020, considerando el tiempo y combustible total perdido, ascienden a US\$ 151 mil millones, aproximadamente 0,7% del PIB de este país. Se pronostica que, hacia 2030, estos costos alcancen los US\$ 186 mil millones (Cebr, 2014). La congestión también se asocia con mayores niveles de fatiga, ansiedad y depresión, con variaciones en las tasas de siniestralidad vial y con barreras a los efectos positivos de la aglomeración urbana —i.e. en términos de productividad y mercado laboral—, obstaculizando, en última instancia, el desarrollo sostenible de las sociedades.

La información disponible para América Latina y el Caribe (en adelante, ALC) indica que ciudades como Bogotá, Lima, Ciudad de México y Río de Janeiro se encuentran entre las más congestionadas del mundo, con niveles semejantes a los de Mumbai y Bangkok en Asia, y muy superiores a los de las ciudades más congestionadas de Estados Unidos (Los Ángeles) y de la Unión Europea (Dublín) (TomTom, 2019). Las tendencias generales de la movilidad en ALC, con el aumento de la tasa de motorización y la reducción en el uso del transporte público, unido al incremento de la población en las áreas urbanas, nos hace entrever que los niveles de congestión hoy presentes en nuestras ciudades se reviertan en el futuro cercano (Calatayud y Muñoz, 2020). Es más, la desconfianza hacia el transporte público provocada por la pandemia de COVID-19 podría incrementar el uso del vehículo particular. Existen ya algunos indicios de este cambio en ciudades como Shanghái y Madrid. En este último caso, el transporte público pasó de ser el modo más utilizado en la época prepandemia, a ser el tercero (25% de los viajes), después del vehículo particular (44%) y el transporte activo (32%) (El País, 2020).

A pesar de la relevancia de esta problemática en ALC, los estudios acerca de la congestión urbana y sus costos en las ciudades son escasos. La falta de evidencia reciente sobre las características y el impacto económico de la congestión en las ciudades de la región, que incluya la perspectiva local y regional, limita la comprensión de la magnitud del fenómeno y de sus consecuencias, así como el diseño de medidas eficaces para su mitigación. Si bien los índices internacionales como TomTom e INRIX constituyen un primer intento para brindar una orientación útil sobre la situación actual de algunas ciudades de ALC, en comparación con el resto del mundo, los resultados carecen de la granularidad temporal y geográfica necesaria para el análisis y la toma de decisiones en cuanto a la gestión de la congestión. En efecto, la congestión es un fenómeno dinámico y los responsables de la formulación de políticas necesitan una comprensión integral de sus características espaciales y temporales, a fin de diseñar políticas de mitigación efectivas.

En este contexto, el siguiente documento presenta el primer análisis exhaustivo para la región acerca las características y costos de la congestión urbana, con resultados para las ciudades de Bogotá (Colombia), Buenos Aires (Argentina), Ciudad de México (México), Lima (Perú), Montevideo (Uruguay), Río de Janeiro (Brasil), San Salvador (El Salvador), Santiago (Chile), Santo Domingo (República Dominicana) y Sao Paulo (Brasil). Se utiliza *big data* y ciencia de datos para elucidar la dinámica de la congestión en cada ciudad y estimar costos directos e indirectos para la sociedad. Ello con el objetivo de brindar mayor y mejor información para el diseño de políticas públicas. Este análisis también abre la oportunidad a otras agendas de investigación que exploren, por ejemplo, las pérdidas de eficiencia urbana debido a la congestión y el impacto de las regulaciones al respecto.

El documento está organizado en cinco capítulos. El Capítulo 1 responde a las siguientes preguntas: ¿Qué es la congestión y cuáles son sus causas? ¿Por qué nos interesa desde el punto de vista de política pública? ¿Qué tan difundido es el uso del vehículo particular en la región y cuáles son las tendencias futuras? En el Capítulo 2, se detalla la metodología empleada para calcular las demoras en las ciudades analizadas y los costos directos e indirectos de la congestión. El Capítulo 3 presenta los resultados sobre las características espaciales y temporales de la congestión en las diez ciudades, los costos monetarios de la misma y los costos en materia de siniestralidad vial. En el Capítulo 4, se incluyen casos específicos de congestión urbana, relacionados con actividades económicas, sociales, culturales y de primera necesidad. En el Capítulo 5 se presentan soluciones y mejores prácticas a nivel internacional, las cuales

constituyen una batería de instrumentos que los formuladores de políticas de ALC pueden utilizar para mejorar la gestión de la congestión vial y reducir los costos asociados a ella.

Este estudio utilizó datos provistos por Waze a través de su programa *Waze for Cities* (<https://www.waze.com/ccp>). Los autores agradecen a Waze por proveer y permitir el análisis de esta información. Asimismo, agradecen los insumos provistos al desarrollo de la metodología por parte de Ignacio Cerrato y Xioayu Wang del Departamento de Tecnología del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), los insumos provistos al Capítulo 5 por Amado Crotte de la División de Transporte del BID, y los valiosos comentarios a versiones previas de este documento y artículos derivados recibidos de Tomás Serebrisky, Alex Riobo, Oscar Mitnik, Joao Carabetta, Cristian Navas, Manuel Rodríguez, Rodrigo Rendón y Rafael Capristán (BID), Andrés Gómez-Lobo (Universidad de Chile), Alan Thomas (Universidad Católica de Chile), Florencia Visciglia y Andrés Meiss (Secretaría de Movilidad de la Ciudad de Buenos Aires) y revisores anónimos y participantes de la 100ª Reunión Anual de *Transportation Research Board* de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos. La edición gráfica estuvo a cargo de Valmore Castillo.

Capítulo 1.

LA RELEVANCIA DE LA CONGESTIÓN



01

16 - Capítulo 1. La relevancia de la congestión

¿Qué es la congestión y cuáles son sus causas? ¿Por qué nos interesa desde el punto de vista de política pública? ¿Qué tan difundido es el uso del vehículo particular en la región y cuáles son las tendencias futuras? Estas son las preguntas que responderemos en este primer capítulo, el cual constituye el punto de partida para un estudio detallado de la congestión en las ciudades de ALC.

1.1. ¿Qué es la congestión?

A pesar de que el término **congestión** es frecuentemente utilizado en el ámbito del transporte, tanto por las publicaciones de carácter general como por la literatura especializada, no existe una única definición del mismo. Esto es porque este término puede ser empleado en diferentes contextos, como la congestión portuaria, urbana, e interurbana. En este documento, nos referiremos exclusivamente a la congestión vial en el ámbito urbano, adoptando la definición estipulada por Goodwin (2004):

“La congestión se define como el impedimento que los vehículos imponen unos sobre otros, debido a la relación velocidad-flujo, en condiciones donde el uso del sistema de transporte se aproxima a su límite de capacidad”

Las disciplinas de Ingeniería y Economía del Transporte han desarrollado diferentes enfoques para estimar la magnitud de la congestión urbana. Según la **Ingeniería de Transporte**, la congestión podría considerarse como la situación en la que “la demanda de tráfico supera el rendimiento máximo sostenible de la vía” (DMRB, 1997). Como consecuencia de este fenómeno, se produce una interrupción en el flujo de tráfico; la velocidad promedio cae, aumenta su variabilidad y, al superarse el límite sostenible del uso de la infraestructura, comienzan a crearse colas sobre la vía. De acuerdo con su previsibilidad y duración, la congestión puede adoptar tres formas, sintetizadas por Brownfield et al. (2003) y Grant-Muller & Laird (2007) de la siguiente manera:

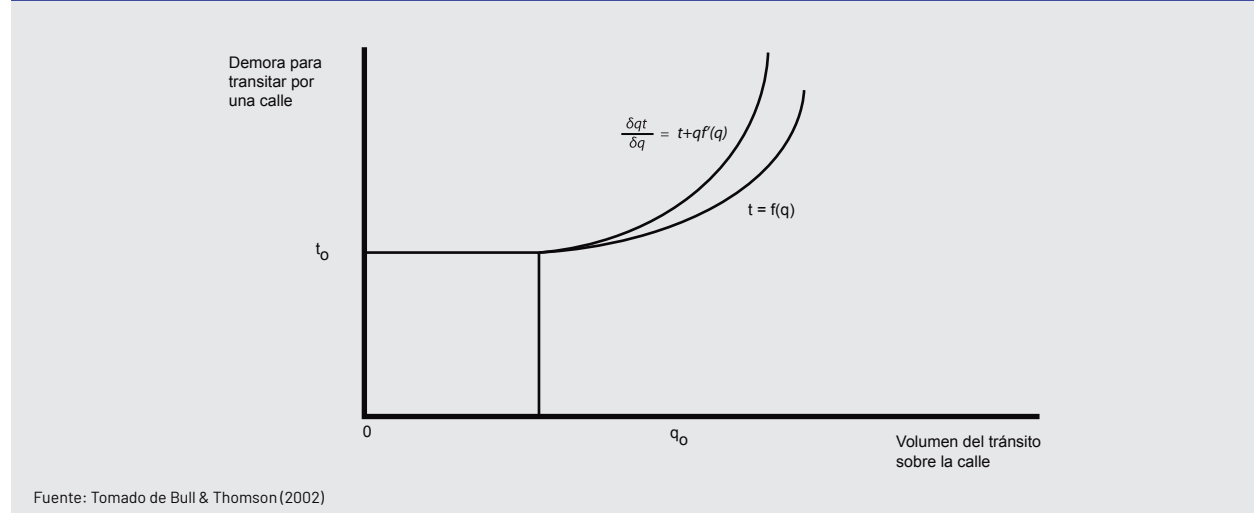
- Congestión recurrente: es aquella que suele aparecer en horarios y lugares de manera periódica, como la asociada con “las horas pico”. Esta puede ser fácilmente anticipada por los usuarios que hacen uso de la infraestructura urbana.
- Congestión no recurrente: es aquella que aparece en horarios y de manera atípica y, por tanto, es impredecible para los usuarios de la infraestructura urbana. Ejemplo de ello es la congestión originada en incidentes de tráfico.
- Estado de precongestión: es el estado de transición entre el flujo libre y el embotellamiento de vehículos en un segmento de la vía. Puede presentarse tanto al inicio como al final de un período de congestión. También puede presentarse entre períodos de saturación vial debido a las fluctuaciones en el movimiento y velocidad de los vehículos según el tipo de embotellamiento.

En el enfoque de Ingeniería de Transporte —el más extendido en la literatura—, la congestión se calcula a partir de las **características observables del desempeño de la carretera**, siendo estas: la velocidad, el flujo, la densidad, la longitud y duración de la cola. Con base en estas características, se determina un rendimiento técnicamente “óptimo” de la carretera en cuestión (World Bank, 2013). A continuación, se compara la información real recabada con el nivel óptimo de rendimiento, a fin de establecer y monitorear el grado de servicio proporcionado a los usuarios. Este modo de estimar la congestión es utilizado por numerosas agencias de transporte, incluyendo la Administración Federal de Autopistas del Departamento de Transporte de los Estados Unidos, la Comisión Europea y la OCDE, entre otros².

Un aspecto que ha sido abordado de manera especial por la literatura es la **definición del flujo óptimo**. Si bien la tendencia ha sido utilizar la velocidad máxima permitida en la vía, recientemente esta ha comenzado a ser cuestionada, especialmente en el ámbito urbano. En efecto, en las grandes ciudades y áreas de aglomeración de actividades, es poco razonable pensar que pueda lograrse una velocidad consistente con la velocidad máxima (véase la discusión presentada por Goodwin, 2004, y Wallis & Lupton, 2013). En este contexto, utilizar esta velocidad como punto de referencia podría llevar a sesgar involuntariamente las políticas de gestión de la congestión, con objetivos que serían imposibles de alcanzar en la práctica. Trabajos recientes han buscado eludir el problema utilizando como referencia velocidades obtenidas en horarios valle. Otra opción señalada en la literatura es emplear velocidades socialmente consideradas como “normales” o “esperadas”, según el tipo particular de vía, aunque ello puede dificultar la comparación del nivel de servicio entre diferentes ciudades o regiones (Kriger et al., 2007).

La **Economía del Transporte** entiende a la congestión como una externalidad asociada con la demanda de tráfico y argumenta que sus implicaciones deben ser abordadas bajo el concepto fundamental de *costo marginal*. Pigou (1920) fue el primero en aproximar teóricamente la congestión desde este punto de vista. Para ello, utilizó un ejemplo en el que se consideran dos vías, que contienen un número diferente de vehículos en tránsito. Allí, la presencia de un vehículo adicional tendría un efecto diferenciado en el tiempo que le toma a todos los vehículos incumbentes completar un segmento específico de las vías. Numerosos artículos académicos buscaron aproximar de forma cuantitativa los primeros planteamientos de Pigou, con el propósito de demostrar la necesidad de utilizar impuestos para internalizar los costos de la congestión. Entre ellos, cabe resaltar el de Bull & Thomson (2002), quienes utilizan la siguiente figura para representar gráficamente el concepto de **congestión como externalidad**.

Figura 1.1 Representación gráfica de la congestión como externalidad



La función $t=f(q)$ se refiere al tiempo promedio requerido para transitar una calle y depende de la cantidad de vehículos (q). La segunda función, $\frac{\delta qt}{\delta q} = t + qf'(q)$, se deriva de la primera. En otros términos, la primera función representa el

2. A partir del trabajo seminal de Vickrey han surgido diferentes modos de estimar la congestión, utilizando modelos estáticos o dinámicos y refiriéndose a diferentes situaciones de tráfico (para mayor detalle, véase Vickrey, 2019)

18 - Capítulo 1. La relevancia de la congestión

costo medio en tiempo y, la segunda, el costo marginal. La diferencia de ambas funciones equivale, para cualquier nivel vehicular (q), al incremento en tiempo de tránsito para todos los vehículos ante la presencia de un vehículo adicional. Es clave resaltar que ambas curvas coinciden en el tramo Oq_0 , lo que implica que la adición de un nuevo vehículo en el flujo de tráfico no entorpece la circulación de los demás vehículos que ya se encuentran en la vía; sin embargo, de ahí en adelante ambas curvas divergen, con $\frac{\delta qt}{\delta q}$ por encima de t . Esto implica que un vehículo adicional no sólo genera un retraso adicional para sí mismo, sino que afecta la circulación del resto de vehículos. Así, el nuevo vehículo solo asume una parte de la congestión vehicular que causa y el resto es asumida por los demás vehículos incumbentes. Ante este escenario, la literatura económica sugiere la aplicación de impuestos que permitan internalizar el costo marginal para la sociedad generado por dicho vehículo. En el Capítulo 5 de este documento abordaremos este aspecto en mayor detalle.

A pesar del amplio desarrollo teórico existente, en la práctica el cálculo de la congestión desde este punto de vista se ha visto restringido al requerir información de difícil captura por parte de las agencias públicas. En efecto, para identificar ese punto de eficiencia —o el nivel económicamente “óptimo” de congestión— es necesario obtener la función de demanda de viaje a partir de información propia de los usuarios, normalmente recabada a través de encuestas. El costo y esfuerzo para la captura de la información convierten en poco viable —al menos en la actualidad— la adopción de esta perspectiva para la medición y monitoreo frecuente de la congestión, especialmente a nivel urbano, donde deben considerarse múltiples vías y en diferentes condiciones. Otra objeción a este enfoque se refiere a que las estimaciones econométricas fácilmente pueden sufrir de parámetros sesgados, debido a la doble causalidad que existe entre la velocidad y el flujo vehicular, pudiendo arrojar así estimaciones erróneas para el diseño de políticas públicas (Yang et al., 2020). En consecuencia, y dadas las ventajas de disponibilidad de información, simplicidad en la estimación y facilitación del monitoreo brindada por el enfoque de Ingeniería de Transporte, no sorprende que las agencias del sector opten por utilizar métricas que se derivan de este enfoque.

Entre ellas, la más generalizada es el **índice de retraso agregado**, calculado a partir de la suma del tiempo perdido en un segmento de la vía por parte de todos los vehículos afectados por el exceso de tráfico. Además de su facilidad de cálculo y monitoreo, esta medida tiene la ventaja de poder utilizarse para mostrar los efectos de una intervención en un segmento particular de la vía, informar el análisis costo-beneficio de una intervención y permitir la comparación de la situación entre diferentes segmentos o vías. En la siguiente sección abordaremos la importancia de hacer uso de este tipo de indicadores para lograr un monitoreo y evaluación de la congestión en zonas urbanas, permitiendo así diseñar las acciones oportunas para mitigarla.

1.2. ¿Por qué nos interesa la congestión?

La congestión urbana genera **costos directos e indirectos** para los individuos y las ciudades. En el caso de las ciudades de Estados Unidos, por ejemplo, el costo directo total ha sido estimado en US\$ 151,2 mil millones para 2020 y se espera que alcance los US\$ 186,2 mil millones en 2030. Por su parte, en la Unión Europea, la estimación para Alemania alcanza los US\$ 37,3 mil millones en 2020, seguido por Francia y Reino Unido (US\$ 25,4 mil millones cada uno), y el pronóstico hacia 2030 asciende a los US\$ 43,8 mil millones en Alemania, US\$ 33,4 mil millones en Reino Unido y US\$ 29,6 mil millones en Francia (Cebr, 2014). Entre los factores que explican la congestión en estos países se encuentran: la concentración territorial y, en zonas urbanas de la actividad económica, el alto número de viajes que se realiza en vehículo privado y la alta densidad poblacional (Cebr, 2014). Con respecto al primer factor, la mitad del PIB de Estados Unidos se genera en un reducido número de ciudades, que abarca tan solo el 1,5% del territorio nacional. De la misma manera, las principales áreas urbanas del Reino Unido, que ocupan apenas el 7% del territorio, producen el 39% del PIB de dicho país (Kirk, 2014; UKNEA, 2011; USCM, 2014). Por su parte, la participación del automóvil en el número de viajes urbanos diarios asciende al 73% en Francia, 69% en Estados Unidos, 68% en el Reino Unido y 67% en Alemania. Finalmente, cabe resaltar la alta densidad poblacional de las principales ciudades en estos países, por ejemplo: París cuenta con 53.000 habitantes por milla cuadrada, Nueva York con 27.000 y Londres con 13.200.

El costo directo de la congestión es el **tiempo perdido en transitar una vía congestionada**, tiempo que podría ser invertido en otras actividades. Desde la perspectiva de las ciudades, este tiempo implica una pérdida de producción y productividad y, normalmente, es aproximado estimando el tiempo total perdido en el tráfico, multiplicado por una aproximación a la valoración subjetiva de los individuos acerca del tiempo (VoT, por sus siglas en inglés) en dicha ciudad (Parry & Small, 2009; Small et al., 2007; Yang et al., 2020).

La congestión urbana también se asocia con un conjunto de externalidades negativas o costos indirectos, que afectan a individuos y ciudades de diferentes formas y, en última instancia, impiden el desarrollo sostenible de las sociedades. Por un lado, la congestión es un **obstáculo para los Efectos Económicos Más Amplios (WEI, por sus siglas en inglés)** que la movilidad ocasiona, a través de las llamadas “economías de aglomeración”. Como muestran los trabajos de Duranton & Puga (2004) y Venables (2007), estas economías de aglomeración tienen impactos positivos sobre la productividad, aumentando el tamaño de los mercados laborales, las interacciones de conocimiento, la especialización y el intercambio de insumos productivos. El modelo de Venables (2007), que se enfoca en el movilidad intraurbana, concluye que la mayor productividad, ocasionada por menores costos de viaje al centro de la ciudad, genera ganancias salariales para todos los trabajadores y otros ‘impactos más amplios’ usualmente no contabilizados en los análisis de costo-beneficio. La congestión, por el contrario, incrementa los costos diarios de viaje a las principales zonas productivas de la ciudad y, por lo tanto, va en detrimento de estos de beneficios. Por otro lado, la congestión urbana trae consigo **impactos nocivos en la salud** de los individuos (Crotte et al., 2018). Según el estudio de Wang et al. (2019), realizado en 11 ciudades de América Latina durante el 2016, diez minutos adicionales en el tiempo de desplazamiento al trabajo por causa de la congestión se asocia con una probabilidad 0,8% mayor de presentar un cuadro positivo de depresión. Esta probabilidad es mayor que la derivada de retrasos en el desplazamiento por otras causas (0,5%). Por su parte, el estudio encuentra que los conductores de vehículo particular tienen una probabilidad 4,8% mayor de presentar un cuadro depresivo positivo en comparación con los usuarios del transporte público masivo. Otros efectos en la salud se relacionan con mayores niveles de fatiga, alteraciones en el comportamiento social (por ejemplo: mayor agresividad), dificultades en la comunicación y distorsión del sueño, con efectos tanto en el corto como en el largo plazo (Organización Mundial de la Salud, 2007).

La congestión también se asocia con variaciones en la **tasa de siniestralidad** y la gravedad de los casos registrados. Estudios previos han reportado resultados mixtos sobre estos efectos de acuerdo con el tipo de vía bajo análisis. El trabajo de Brownfield et al. (2003) analiza el caso del Reino Unido y reporta que la tasa de siniestralidad en las autopistas es casi el doble en condiciones de congestión respecto a las condiciones de flujo libre, siendo esta tasa siete veces mayor para los usuarios de motocicletas. La evidencia reciente sugiere, no obstante, que esta relación adquiere una forma de U, según la cual las velocidades muy bajas y muy altas generan más incidentes de tráfico que las velocidades medias (Retallack & Ostendorf, 2019). Finalmente, la congestión trae consigo **efectos en la contaminación** por emisiones debido al consumo adicional de combustibles fósiles. Por ejemplo, el estudio de Barth & Boriboonsomsin (2008) realizado para California sugiere que, si la velocidad promedio en las carreteras del sur de dicho estado se incrementara en 20mph, se obtendría una reducción de 21 toneladas métricas (12%) de CO₂³.

Debido a los impactos negativos de la congestión en la calidad de vida en las ciudades, su monitoreo oportuno a través de métricas de desempeño es clave, permitiendo tomar decisiones de políticas más eficientes, a fin de mejorar el funcionamiento del sistema de transporte y, como resultado de ello, incrementar el bienestar de sus usuarios. Con particular referencia al sistema de transporte, la Administración Federal de Autopistas de Estados Unidos señala los siguientes **beneficios del monitoreo de la congestión** por parte de las agencias de gobierno (U.S Department of Transportation, 2012):

- Mejora la comunicación con los usuarios: las medidas de desempeño que incluyen tiempo de viaje, demoras u otros conceptos fáciles de entender pueden proporcionar mejores formas de comunicar las condiciones del sistema y facilitar la implementación de políticas públicas para mitigar la congestión.

3. Otros estudios también han mostrado que velocidades muy altas aumentan el consumo de combustible y las emisiones (véase Asensio et al., 2014), por ello, el efecto de la velocidad en las emisiones normalmente toma la forma de una U: las velocidades muy bajas y muy altas generan más emisiones que las velocidades medias.

20 - Capítulo 1. La relevancia de la congestión

- Mejora el desempeño del sistema de transporte: los operadores de transporte pueden utilizar las métricas de congestión para modificar las horas o las características de sus operaciones y mejorar así la calidad del servicio ofrecido.
- Informa el diseño de políticas públicas: las medidas de desempeño y un programa de recolección de datos antes y después de la implementación de acciones para reducir la congestión, pueden ser muy efectivos para monitorear el avance en la implementación, corregir cursos ante potenciales desviaciones del objetivo de política e identificar el impacto de tales acciones.
- Mejora la financiación del sistema de transporte: el monitoreo de la congestión puede utilizarse para mostrar condiciones que permitan la implementación de políticas tales como cargos por congestión, cuyo doble objetivo es reducir los niveles de congestión en una zona urbana determinada, a la vez que obtener recursos para la mejora del sistema de transporte (véase Capítulo 5).

1.3. Determinantes de la congestión

Diferentes factores dan origen a la congestión urbana, que la literatura suele agrupar en dos categorías: **determinantes a nivel micro y a nivel macro** (OCDE, 2007). En el primer grupo se encuentran los factores relacionados estrictamente con la circulación en la vía, como la presencia de señales semafóricas, rotondas, intersecciones, incidentes de tráfico y eventos climatológicos, entre otros. Por su parte, los factores macro se refieren a las razones que determinan un uso más intenso de ciertas vías y que dependen de patrones de uso del suelo, localización de actividades económicas, tasas de motorización y dinámicas territoriales en general. En efecto, como se mencionó anteriormente para los casos de Estados Unidos y Europa, la aglomeración de actividades en ciertas zonas urbanas —intrínseco a la razón de ser de las ciudades— conlleva a la afluencia de personas y bienes a las mismas y, por tanto, algún grado de sobreutilización de la infraestructura vial allí instalada. En estas zonas, sería poco realista obtener velocidades similares a las de flujo libre. Ahora bien, la literatura coincide en señalar que, cuando el uso del sistema de transporte se aproxima a su límite de capacidad y los vehículos se impiden el flujo los unos a los otros, los efectos positivos de la aglomeración de actividades económicas y sociales suelen ser cancelados, requiriendo así acciones para gestionar la demanda de tráfico en las zonas afectadas (OCDE/ITF, 2007; VTPI, 2020).

Con especial referencia a ALC, las razones del incremento de la congestión urbana pueden encontrarse en factores macro relacionados con **aspectos estructurales** —ajenos al sector transporte— presentes en las ciudades de la región, así como **aspectos infraestructurales, operativos e institucionales**, que redundan en detrimento de la provisión de un servicio de transporte colectivo de calidad e incentivan el uso del vehículo particular.

En primer lugar, cabe mencionar el rápido **aumento de la tasa de urbanización** que, unido a la ausencia de una planificación eficiente del uso del suelo, ha generado desafíos importantes para la movilidad urbana. Entre 1950 y 2015, la población urbana en ALC pasó del 41,3% al 80% de la población total y se espera que ascienda al 90% hacia 2050 (BID, 2020b). En paralelo, las ciudades de la región han experimentado un **proceso de expansión territorial** caracterizado por la baja densidad poblacional, producto de la búsqueda de menores precios en vivienda y la conformación y/o expansión de los asentamientos informales en la periferia urbana⁴. En general, este proceso no ha sido acompañado por una planificación integrada de uso del suelo y provisión de transporte. Como resultado de ello, las zonas periféricas están inadecuadamente conectadas por las redes de transporte público, al tiempo que la baja densidad de estas hace poco rentable la operación de tales servicios. Todo ello ha repercutido en una mayor utilización del vehículo particular.

En segundo lugar, la dotación de **infraestructura vial** en las ciudades de ALC y la asignación de prioridades en su uso ha favorecido al transporte individual frente al transporte público y activo. De acuerdo con los últimos datos disponibles, el sistema vial de las 29 mayores áreas metropolitanas de ALC posee 277.000 km de extensión, de los cuales menos del 1% es de dedicación exclusiva para el transporte público y 1,2% para ciclistas (Estupiñan et al., 2018)⁵. El desequilibrio en la

4. La tasa anual de expansión territorial de las ciudades (4%) duplica el crecimiento de la población (1,9%) (BID, 2016b). Cerca del 25% de la población de ALC vive en barrios periféricos, con limitado acceso a servicios básicos (AfDB et al., 2019).

5. Por ejemplo, Nueva York posee más de 600 kilómetros de carriles para bicicletas, lo que la ubica en el primer lugar del ranking mundial en este aspecto (McKinsey, 2018).

asignación del espacio vial es aún más evidente si se considera que el transporte público y activo representa cerca del 70% de los viajes diarios (Vasconcellos & Mendonça, 2016).

En tercer lugar, datos recientes evidencian que la **calidad de los servicios** de transporte público en la región es significativamente menor si se compara con otras regiones, lo que repercute en un menor uso del sistema. Existen deficiencias en materia de flota de transporte, accesibilidad, interoperabilidad, confiabilidad, disponibilidad de servicios y seguridad de los pasajeros (Rodríguez et al., 2020). La edad promedio de la flota del transporte público de superficie supera los 15 años, llegando incluso en algunos países a una antigüedad superior a los 20 años (frente a los 11,4 años de Europa), lo que afecta el nivel percibido de confort y de seguridad de los usuarios, al tiempo que reduce la eficiencia operativa de las unidades (p. ej., por mayor consumo de combustible, emisiones y mantenimiento)(BID, 2016a). La **accesibilidad al transporte**⁶, provista por el sistema también es reducida, producto del fenómeno de expansión territorial mencionado anteriormente, la baja densidad poblacional y la alta presencia de asentamientos informales. Por su parte, la **interoperabilidad** de los servicios de transporte de pasajeros es limitada, lo cual afecta no solo la conveniencia de los usuarios, sino también la posibilidad de mejorar la eficiencia global del sistema de transporte urbano. A su vez, la baja disponibilidad y confiabilidad de los servicios redundan en mayores tiempos de viaje⁷. La región posee un promedio de tiempo de espera de 18,7 minutos (mayor que en Europa y Estados Unidos, con 14,3 y 13,3 minutos respectivamente), lo que repercute en la baja confiabilidad de los usuarios en el sistema (Deloitte, 2019). Igualmente, el tiempo de viajes es afectado por el aumento en la cantidad de transferencias: en promedio, el 52,9% de los usuarios del transporte público en ALC realiza dos transferencias durante un viaje (superior a Europa y Estados Unidos, con 47,4% y 42,6% respectivamente)(Moovit, 2019). En materia de seguridad, resulta preocupante el alto nivel de violencia física o verbal hacia las mujeres en el transporte público, que alcanza al 59% de las usuarias en Santiago de Chile, 65% en Ciudad de México, 67% en Quito y 80% en Buenos Aires (BID, 2018).

En cuarto lugar, mejorar la calidad de los servicios requeriría de inversiones cuantiosas, incluso por encima del 1% del PIB que ya invierten los países más grandes (México, Brasil y Argentina) y del 2-3% que invierten países más pequeños (por ej., Bolivia y Nicaragua)(BID, 2020b). Sin embargo, actualmente las inversiones se encuentran limitadas por **desafíos en materia de fondeo y financiamiento** del transporte público. Entre las causas de dichos desafíos están: (i) la acelerada dinámica de crecimiento y urbanización que demanda más recursos para el fondeo de la infraestructura; (ii) deficiencias en el marco de planeación financiera y falta de visión de sostenibilidad en el largo plazo; (iii) barreras jurídicas y restricciones legales en cuanto al monto y tipo de participación de las entidades públicas dentro de las fuentes de fondeo y financiación; (iv) menores ingresos⁸ y dependencia de fuentes tradicionales de recursos que son insuficientes para cubrir costos operacionales; y (v) la ineficiencia en la tarificación por modo y en la internalización de los costos de las externalidades del transporte, como la congestión, la contaminación o la siniestralidad vial (Ariza et al., 2018b).

En este contexto, no resulta sorprendente que los niveles de motorización hayan incrementado, al tiempo que la participación del transporte público en la movilidad urbana haya caído drásticamente. Esto será abordado en la siguiente sección, donde analizaremos los patrones de movilidad en ALC.

1.4. Patrones de movilidad en ALC

Como consecuencia de las tendencias señaladas en la sección 1.3 y unido al incremento del ingreso promedio en los países de ALC, la región ha experimentado un **aumento en su tasa de motorización** (Figura 1.2). Si bien el número de vehículos en la región (201 vehículos por cada 1.000 habitantes) se encuentra por debajo de los valores reportados por las economías

6. La accesibilidad se refiere a la capacidad general de las personas para alcanzar los servicios y actividades deseados (en conjunto, llamadas oportunidades). En el contexto del creciente deterioro climático, el desafío adicional será mejorar la accesibilidad provista por el sistema de transporte, y a su vez reducir el nivel de emisiones contaminantes. Por su parte, el término asequibilidad se refiere a los costos financieros del viaje en relación con los ingresos de los usuarios (VTPI, 2020).

7. Si bien la distancia media recorrida por viaje en ALC es menor al promedio en economías avanzadas, el tiempo de viaje es mayor (Rivas et al., 2019). En cinco megaciudades de la región (Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, Lima y Sao Paulo), 28,1 millones de personas transcurren por día más de 1,5 horas en viaje, lo que equivale a diez semanas laborales al año (BID, 2014).

8. Los menores niveles de ingreso en ALC limitan el volumen de personas que utilizan el transporte público y redundan en una mayor evasión tarifaria. El cambio modal del transporte público al vehículo privado y las motos reduce el número de usuarios, el nivel de ingreso por tarifas y la disponibilidad de recursos para mejorar la calidad de los servicios. Adicionalmente, el progresivo incremento de los costos y la reducción de la productividad del sistema también afecta su rentabilidad (Gómez-Lobo & Price, 2020).

22 - Capítulo 1. La relevancia de la congestión

avanzadas como Europa y Estados Unidos (471 y 805 vehículos por cada 1.000 habitantes, respectivamente), la tasa de crecimiento anual promedio en los últimos 10 años en ALC ha sido superior a las evidenciadas en economías avanzadas (4,7% frente a 0,5%, respectivamente) (Rivas et al., 2019). Asimismo, la participación de la movilidad privada en el total de los viajes se ha incrementado, pasando del 20,6% en la década de 1990 a 29,1% en la década de 2010⁹. Esto ha sido en **decremento del uso del transporte público**, el cual ha visto su participación reducida del 50,5% en la década de 1990 al 35,5% en la década de 2010¹⁰ (Rivas et al., 2019) (Figura 1.3). Cabe resaltar también el **aumento de la flota de motocicletas**, que presentan una opción más asequible para la movilidad privada (crecimiento de 153% entre 2007 y 2014 en las principales 29 ciudades de ALC, alcanzando los 7,2 millones de unidades en circulación [Estupiñan et al., 2018]).

Figura 1.2 Tasa de motorización por cada 1.000 habitantes y su crecimiento (2005-2015)

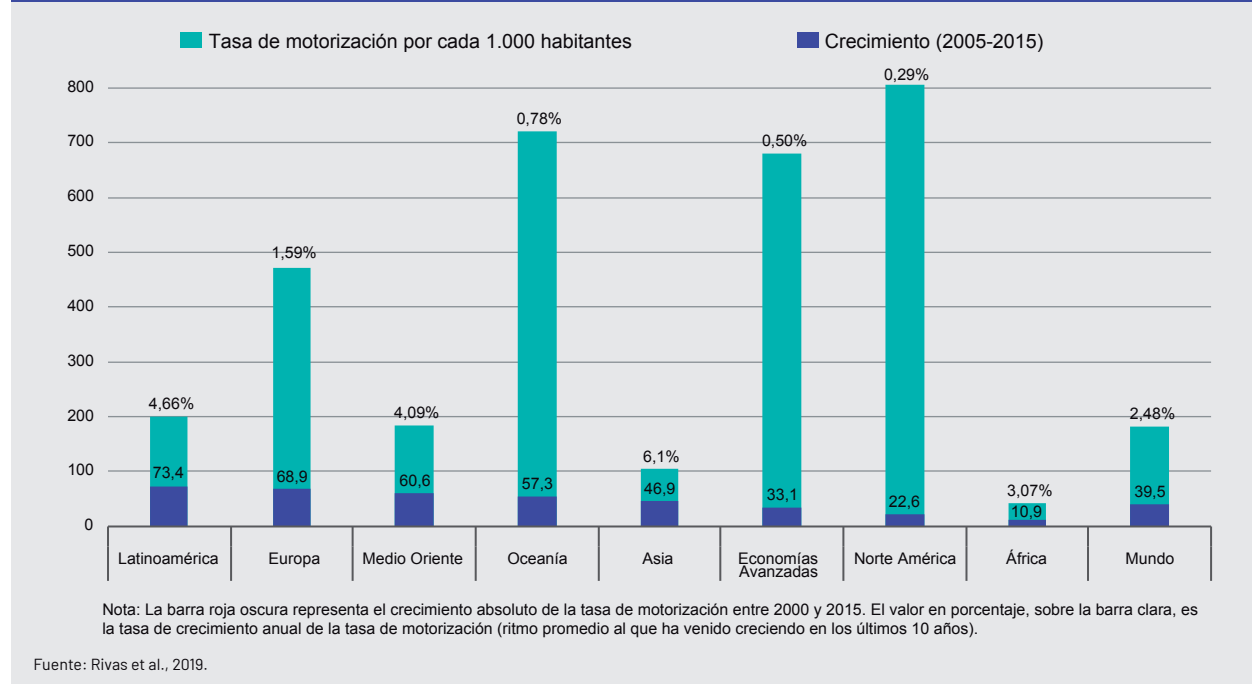
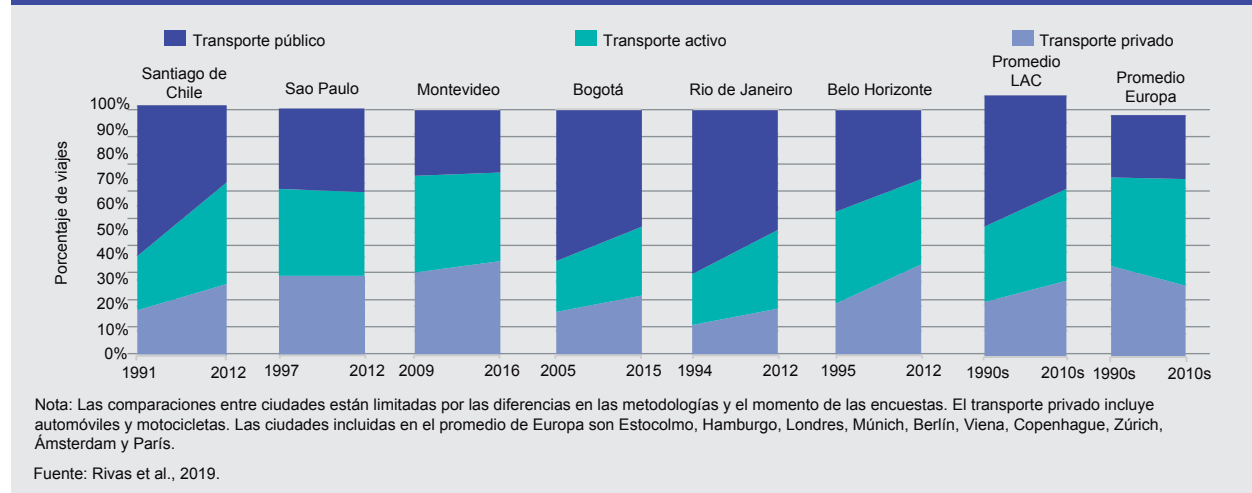


Figura 1.3 Porcentaje de los viajes realizados por modo (ciudades seleccionadas)



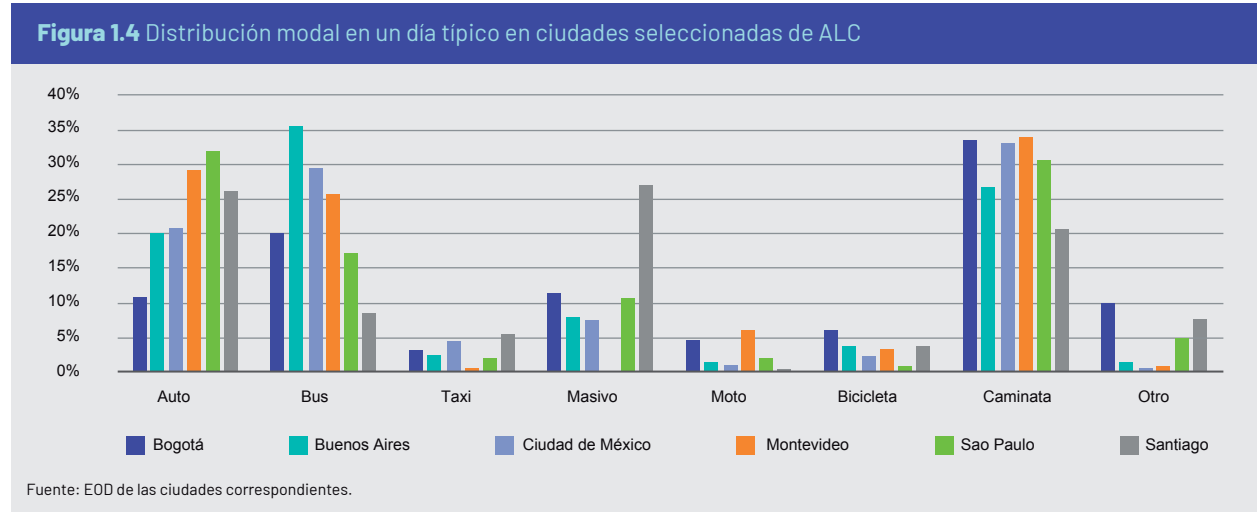
9. Caso contrario a Europa: en el mismo período, la participación del transporte privado pasó de 37,5% a 29,5%.

10. Contrariamente, en el mismo período, la participación del transporte público en Europa aumentó en 0,7%.

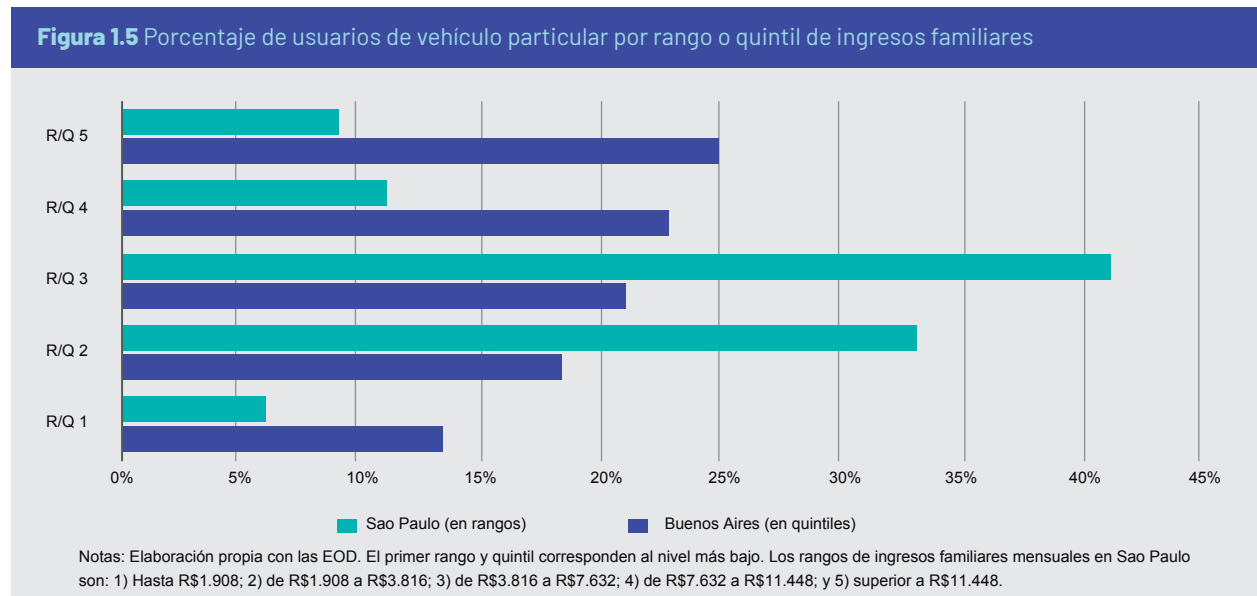
Congestión urbana en América Latina y el Caribe:

características, costos y mitigación

En varias ciudades de la región, inclusive en aquellas con extensos sistemas de transporte público, el vehículo particular representa una fracción importante del número de viajes urbanos. La Figura 1.4 muestra los patrones de movilidad de Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, Montevideo, Santiago y Sao Paulo, de acuerdo con las últimas encuestas origen-destino (EOD) disponibles. El vehículo particular es el segundo modo de transporte más utilizado en Santiago (26,2% del total de viajes en un día típico) y Montevideo (29,2%), y el más utilizado en Sao Paulo (31,8%) (Figura 1.4).



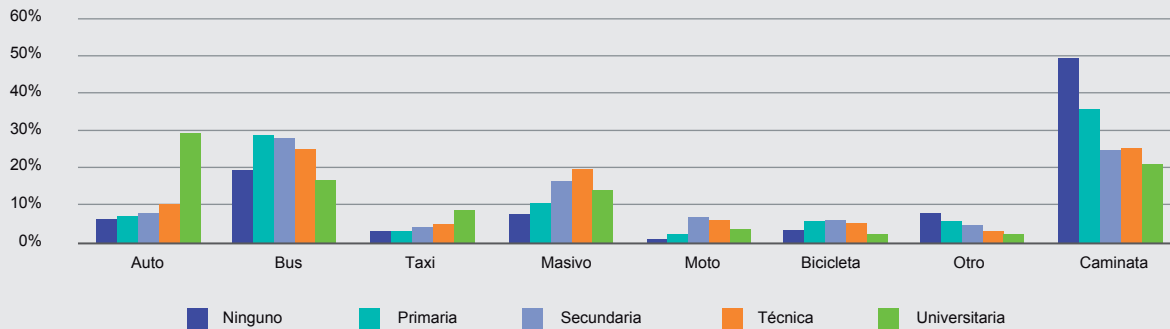
Las EOD realizadas por las ciudades de la región permiten identificar las **características de los usuarios del vehículo particular**. En primer lugar, existe una relación directa y positiva con el estrato socioeconómico de los individuos. En Sao Paulo, el gran porcentaje de las familias usuarias de automóvil reportan ingresos familiares mensuales en el rango R\$ 3.816 a R\$ 7.632 (aproximadamente US\$ 681 a US\$ 1.363, considerando una tasa de cambio de 5,6 R\$/US\$). Al analizar la distribución por quintiles, como en el caso de Buenos Aires, puede observarse que, entre más alto es el quintil de ingresos, mayor es el uso del vehículo particular. El 25% de los usuarios en Buenos Aires son parte del último quintil (Figura 1.5).



24 - Capítulo 1. La relevancia de la congestión

La relación directa y positiva también se verifica respecto al **grado de escolaridad**. En Bogotá, por ejemplo, alrededor del 30% de los individuos con grado universitario realiza sus desplazamientos en vehículo particular, mientras que solo el 15% utiliza servicio de autobús y el 13% lo hace en transporte público masivo (Figura 1.6).

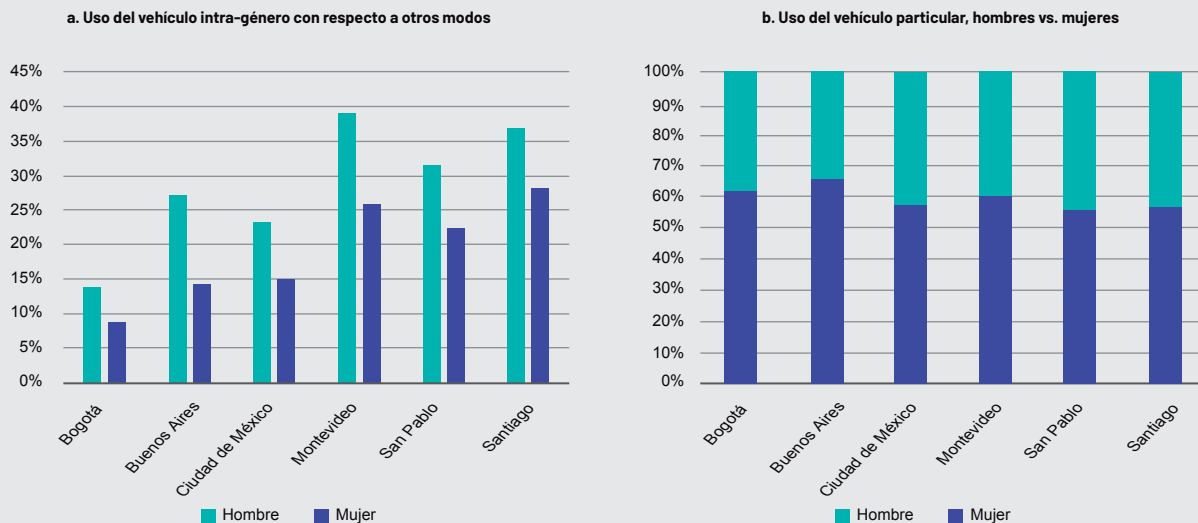
Figura 1.6 Distribución modal en Bogotá según nivel de escolaridad



Fuente: Encuesta origen-destino 2016.

La distribución de género también es un aspecto importante en los patrones de uso del vehículo privado. En mayor medida, son los hombres quienes más utilizan este modo de transporte (Figura 1.7-a). Entre las ciudades consideradas, las mayores disparidades se evidencian en Buenos Aires y Bogotá. En el primer caso, 66% de los usuarios de vehículo privado son hombres y 34% mujeres. En el segundo, las proporciones son 61% y 39% respectivamente. Cabe notar, en cambio, que en Santiago y Sao Paulo existe una distribución de género más equitativa entre los usuarios (Figura 1.7).

Figura 1.7 Uso del vehículo particular según género

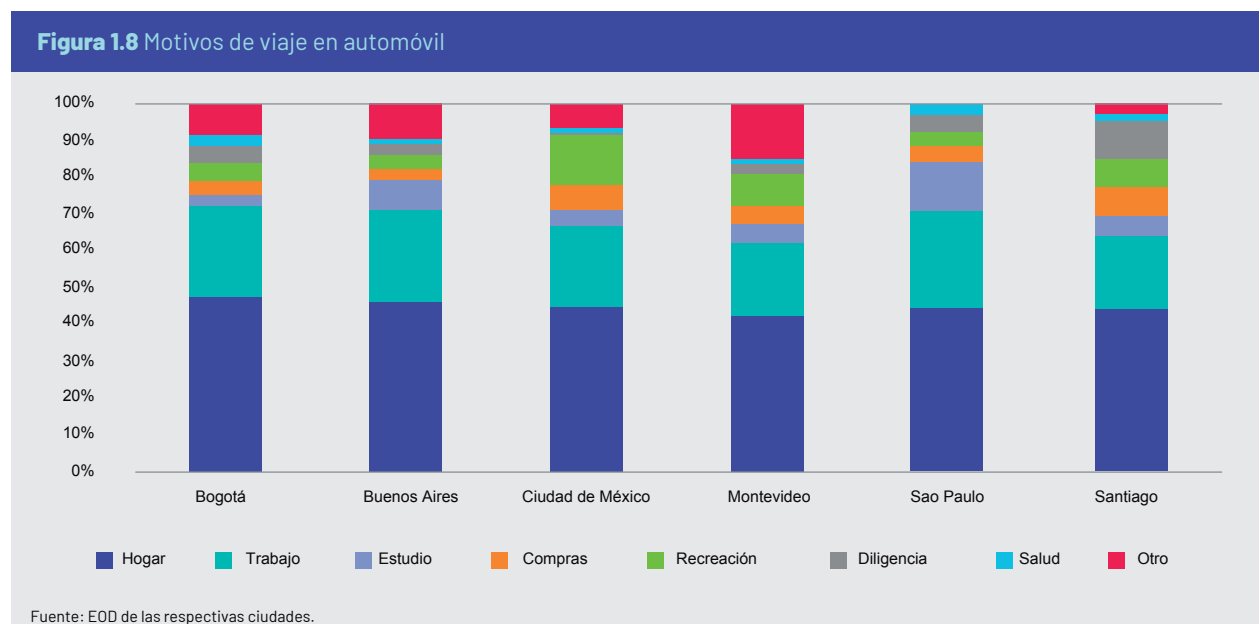


En términos de edad, los hombres suelen dejar de conducir más tarde que las mujeres. Entre los hombres, las edades medianas más altas se encuentran en Montevideo y Sao Paulo (43 años) y las más bajas en Buenos Aires y México (41 años). Buenos Aires presenta la mayor dispersión en las edades de los usuarios del automóvil, mientras que en México y Bogotá, la distribución es más consistente (Tabla 1.1). En el caso de las mujeres, la edad mediana es alrededor de dos años menor que la de los hombres en todas las ciudades, aunque la variabilidad sigue un patrón muy similar.

Tabla 1.1 Edad de los usuarios del vehículo particular		
Ciudad	Hombres	Mujeres
Bogotá	43 (16,1)	40 (17,4)
Buenos Aires	41 (33,3)	37 (27,4)
Ciudad de México	41 (17,0)	39 (17,7)
Montevideo	43 (17,9)	40 (18,2)
Sao Paulo	43 (18,5)	42 (18,9)
Santiago	42 (18,7)	39 (18,9)

Nota: Edad mediana fuera de paréntesis y desviación estándar entre paréntesis.

En todas las ciudades analizadas, el regreso al hogar y el viaje al trabajo son las principales **actividades que motivan el uso del vehículo particular**. Existe mayor variabilidad en cuanto a las actividades que les siguen en importancia. Por ejemplo, para Sao Paulo y Buenos Aires es la educación (13% y 8%, respectivamente); mientras que en Ciudad de México resaltan los motivos de compras y recreación (9%); y en Santiago destacan realizar diligencias o trámites (11%)(Figura 1.8).



26 - Capítulo 1. La relevancia de la congestión

Finalmente, la Tabla 1.2 Características de los viajes diarios en vehículo privado (ciudades seleccionadas) resume las características de los viajes en vehículo particular en un grupo de ciudades de la región. Sao Paulo es la ciudad donde se recorren más kilómetros en un día típico y donde se realiza el mayor número de viajes en vehículo particular, lo cual está relacionado con la extensión de la ciudad y su número de habitantes. Sin embargo, si se considera la distancia recorrida en vehículo particular respecto a la distancia recorrida en todos los modos, Sao Paulo (28,86% del total) es superada por Montevideo (39,04%) y Santiago de Chile (34,4%). Asimismo, si se observa el promedio diario de kilómetros recorridos por vehículo, Sao Paulo (5,67 KVA diarios) se ubica por detrás de Ciudad de México (9,94) y Santiago (6,46).

Ciudad	Bogotá	Ciudad de México	Montevideo	Sao Paulo	Santiago
KVA total	6.749.278	43.727.144	6.790.502	64.310.624	28.836.933
KVA/Distancia total	12,83%	23,65%	39,04%	28,86%	34,44%
No. de viajes en auto	1.420.231	4.399.571	1.243.052	11.341.237	4.462.071
KVA promedio por vehículo	4,75	9,94	5,46	5,67	6,46
Máximo recorrido (km)	48,39	76,52	50,13	76,86	74,34

Nota: se consideran únicamente los viajes con origen y destino adentro del área metropolitana. KVA refiere a kilómetros viajados en automóvil. Distancia total se refiere a la distancia recorrida en todos los modos en un día típico.

Fuente: EOD de las respectivas ciudades.

¿Cuáles son las perspectivas para la región teniendo en cuenta la pandemia de COVID-19? El uso del vehículo particular seguirá aumentando en ALC. Estudios previos a la pandemia ya preveían que las tasas de motorización se incrementarían en casi un 40% hacia 2030, llegando a 276 vehículos por cada 1.000 habitantes (BID, 2020b). Esta tendencia podría agravarse si se considera el impacto de la pandemia en las preferencias de movilidad urbana. Datos provenientes de China muestran que, luego de finalizado el aislamiento, un grupo significativo de personas que antes utilizaban el transporte público migraron hacia otros modos de transporte (ITDP, 2020). La participación del metro en el total de viajes cayó en 12 puntos porcentuales y la de autobús en más de 7 puntos porcentuales. En su mayoría, estas personas optaron por viajar en vehículo particular, cristalizando la pérdida de confianza en transporte público ante el riesgo de contraer el virus. En este escenario y junto con el crecimiento de la población (un incremento del 9% hacia 2030) y la extensión territorial de las ciudades, es de esperarse que la congestión en la región aumente rápidamente.

A pesar de la dimensión de esta problemática, los análisis acerca de la congestión urbana y sus costos para las ciudades de ALC son escasos. De la revisión de literatura realizada, cabe destacar el estudio de Bull & Thomson (2002), quienes analizaron el tiempo consumido en tráfico para ciudades con más de 100.000 habitantes, mencionando que el valor social de dicho tiempo ascendía, para el año de su análisis, al 3% del PIB de las ciudades. Más recientemente, el estudio de Lopez-Ghio et al. (2018), utilizó datos de encuestas para definir zonas en Bogotá, Ciudad de México y Santiago, donde implementaron un esquema de tarificación por congestión, estimando del costo diario de la congestión para dichas zonas en US\$ 70.571 en Bogotá, US\$ 401.064 en Ciudad de México y US\$ 137.878 en Santiago. En el caso de México, en 2019 el Instituto Mexicano para la Competitividad calculó los costos de congestión para 32 ciudades, considerando vehículos privados y transporte público, y señalando que cada persona en promedio pierde 100 horas al año, equivalentes a US\$ 4,9 mil millones.

La falta de evidencia reciente sobre las características y el impacto económico de la congestión en las ciudades de ALC, que incluya la perspectiva local y regional, obstaculiza la comprensión de la magnitud del fenómeno y de sus consecuencias, así como el diseño de medidas eficaces para su mitigación. Si bien los índices internacionales como

TomTom (2020) e INRIX (2018) constituyen un primer intento para brindar una orientación sobre la situación actual de algunas ciudades de ALC, en comparación con el resto del mundo, los resultados carecen de la granularidad temporal y geográfica necesaria para el análisis y la toma de decisiones en cuanto a la gestión de la congestión. En efecto, la congestión es un fenómeno dinámico y los responsables de la formulación de políticas necesitan una comprensión integral de sus características espaciales y temporales, a fin de diseñar políticas de mitigación efectivas.

En este contexto, este documento presenta el primer análisis exhaustivo para la región acerca las características y costos de la congestión urbana, con resultados para las ciudades de Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, Lima, Montevideo, Río de Janeiro, San Salvador, Santiago de Chile, Santo Domingo y Sao Paulo. Como se verá en el siguiente capítulo, se utilizará *big data* y ciencia de datos para elucidar la dinámica de la congestión en cada ciudad y su impacto en los costos directos e indirectos para la sociedad. Esto es, con el objetivo de brindar mayor y mejor información para el diseño de políticas públicas.

Capítulo 2.

¿CÓMO MEDIR LA CONGESTIÓN Y SUS COSTOS EN LAS CIUDADES DE ALC?



02

Como se mencionó en el capítulo anterior, en este documento utilizamos el **enfoque de Ingeniería de Transporte** para estimar el nivel de congestión en un conjunto de vías urbanas y los costos directos e indirectos de la misma. A continuación, detallaremos la metodología propuesta para el cálculo de la demora agregada, así como los costos monetarios y en siniestralidad de dicha demora. En nuestros análisis **utilizaremos big data** proveniente de una de las aplicaciones de navegación con adopción más generalizada en la región. Si bien los datos recolectados por los aplicativos de teléfono móvil solo permiten enfocar el análisis en usuarios de vehículo particular, a diferencia de las fuentes de datos tradicionales tales como las encuestas o los dispositivos fijos instalados en las vías, esta información permite capturar la variabilidad temporal y espacial de la congestión a gran escala, con una mayor granularidad, precisión y confiabilidad de los datos (Rendón et al., 2020). Esto se realiza a un menor costo, con una mayor frecuencia de actualización y para zonas más amplias que las cubiertas con las fuentes tradicionales (Goodall & Lee, 2019). De particular atención es la posibilidad de obtener información prácticamente en tiempo real dado que, en efecto, la congestión es un proceso dinámico, referido a la relación en constante cambio entre la demanda de infraestructura y su capacidad (Q. Shi & Abdel-Aty, 2015).

Los datos utilizados provienen de la aplicación Waze, la cual posee más de 130 millones de usuarios activos en 185 países (Waze, 2020). La aplicación recolecta datos de dos maneras: por un lado, permite a los usuarios reportar directamente eventos como colisiones, atascos, peligros y eventos climáticos, y por otro lado, una vez que se ha iniciado una ruta por parte de un usuario, captura información sobre la velocidad del vehículo a través de la señal de GPS del teléfono móvil donde se encuentra instalada la aplicación. Si un conjunto significativo de usuarios que circulan por el mismo lugar al mismo tiempo reduce su velocidad de manera atípica, la API generará y actualizará la información del tráfico, reportando un embotellamiento. Para nuestro análisis, utilizamos más de 10 mil millones de datos obtenidos a través de la iniciativa *Waze for Cities*. Los datos corresponden al año 2019, para las áreas urbanas de las siguientes **diez regiones metropolitanas de ALC**: Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, Lima, Montevideo, Río de Janeiro, San Salvador, Santiago de Chile, Santo Domingo y Sao Paulo.

2.1. Modelo para la estimación de la demora agregada

Con base en la definición de congestión de Goodwin (2004) (véase Capítulo 1), estimaremos el **nivel de congestión según el tiempo extra de circulación** debido al exceso de tráfico en una parte de la vía en un momento determinado, ya sea debido a causas recurrentes, no recurrentes o precongestión. Esto resulta en velocidades por debajo de las que se verificarían en condiciones de flujo libre. Dado la fuente de información utilizada en este estudio, frecuentemente empleada por conductores de automóviles, las estimaciones realizadas aquí no incluyen al transporte público de manera directa; sin embargo, dado que en varios tramos autobuses y vehículos comparten el espacio de circulación, se estima que los resultados alcanzados capturan de manera conservadora el nivel de congestión experimentado por los autobuses en tales tramos.

30 - Capítulo 2. ¿Cómo medir la congestión y sus costos en las ciudades de ALC?

2.1.1. Datos y variables

La Figura 2.1 para el análisis muestra las áreas urbanas consideradas en este estudio, definidas según las áreas metropolitanas de cada ciudad:

Figura 2.1 Áreas urbanas seleccionadas para el análisis



La información obtenida para estas zonas supera las **10 mil millones de observaciones para el año 2019** (Tabla 2.1). El 45% de los datos corresponde a Ciudad de México y Sao Paulo, lo cual es de esperar dada la mayor proporción de población en ambas ciudades. Montevideo es la ciudad que menos registros presenta, con 360 mil datos en promedio por día, mientras que Sao Paulo llega a registrar hasta 6,7 millones de datos diarios. Los embottellamientos registrados en 2019 en las áreas analizadas superan los 175 millones. Nuevamente, Ciudad de México (37,1 millones) y Sao Paulo (43,4 millones) son las ciudades que presentan el mayor número de embottellamientos. Por su parte, los embottellamientos duran más en Montevideo y Bogotá: promedios de 74,7 y 20,9 minutos respectivamente. En el otro extremo se encuentra Sao Paulo, con una duración promedio que apenas supera los 10 minutos. Finalmente, cabe señalar que en promedio, dos terceras partes de los embottellamientos registrados en las ciudades analizadas son de corta duración, es decir, embottellamientos de menos de diez minutos.

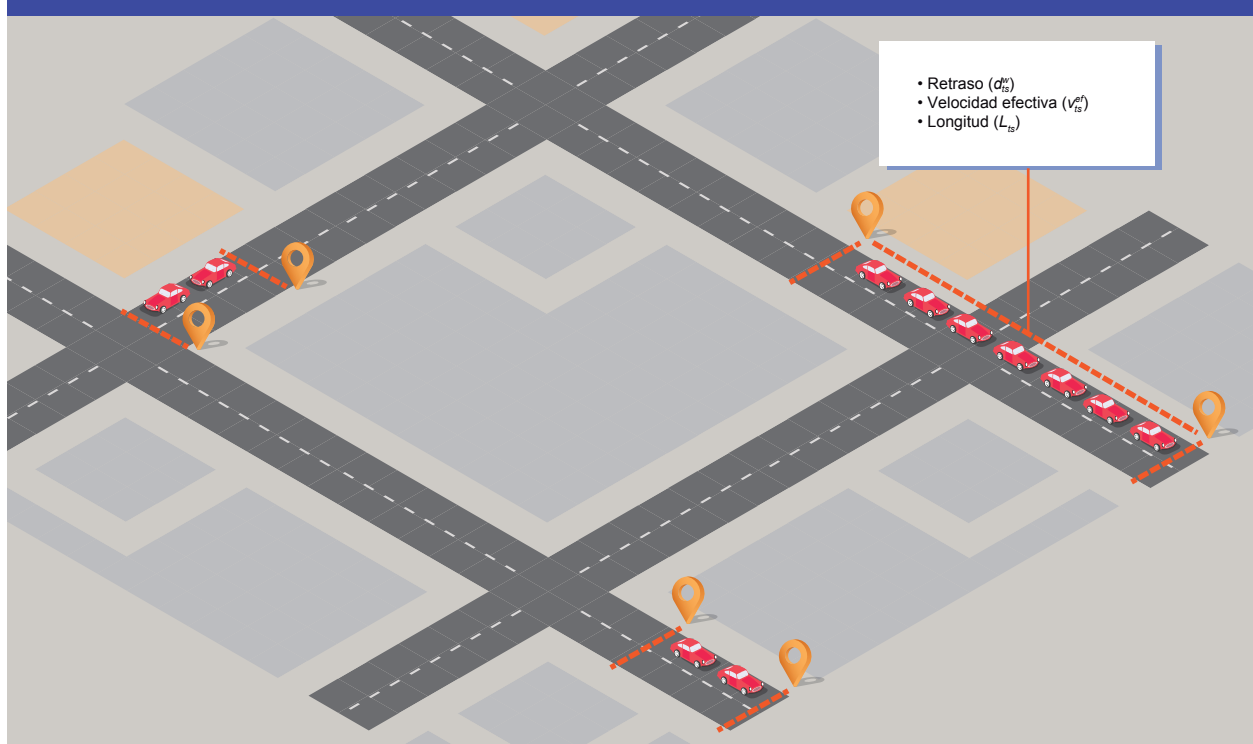
Tabla 2.1 Estadísticas generales de los datos de Waze

Ciudad	Observaciones (en millones)	Embotellamientos (en millones)	Duración promedio (en minutos)	Embotellamientos con duración inferior a 10 min (en millones)	Coefficiente de variación de la duración
Bogotá	1.101	17,8	20,9	12,9	5,2
Buenos Aires	634	21,5	15,4	16,9	6,3
Ciudad de México	2.162	37,1	14,7	23,1	3,7
Lima	1.456	15,5	15,8	11,0	4,9
Montevideo	132	2,1	74,7	1,6	3,6
Río de Janeiro	1.148	18,2	13,6	12,0	4,0
San Salvador	169	2,1	15,6	1,3	1,9
Santiago	576	11,8	12,9	8,7	4,1
Santo Domingo	371	5,9	13,2	4,0	3,0
Sao Paulo	2.432	43,4	15,5	29,0	3,8

Fuente: Cálculos propios a partir de los datos de Waze.

A través de la aplicación de Waze se obtiene la siguiente **información**, que será utilizada para el cálculo de la demora agregada: (i) coordenadas donde el embotellamiento es detectado por la aplicación, referido como “segmento”; (ii) velocidad efectiva a la cual circula el embotellamiento; y (iii) velocidad de flujo libre para el segmento donde se detecta el embotellamiento o la demora que tomaría atravesar el segmento a la velocidad del embotellamiento (Figura 2.1). La información es reportada por Waze cada 120 segundos.

Figura 2.2 Ilustración de la información reportada por Waze



32 - Capítulo 2. ¿Cómo medir la congestión y sus costos en las ciudades de ALC?

Las **variables derivadas** de la información directamente provista por Waze son:

d_{ts}^w : demora, definida como el tiempo adicional que tomaría a un vehículo cruzar un segmento s de la vía con respecto a un escenario de flujo libre [en segundos].

v_{ts}^{ef} : velocidad efectiva, referida a la velocidad promedio de circulación en el embotellamiento [en metros por segundo].

L_{ts} : longitud del embotellamiento en el segmento s [en metros].

A partir de las mismas, **se construyen las siguientes variables** para la estimación de la demora agregada:

t : intervalo entre momentos de captura de la información (120 segundos).

$t_{ts}^{ef} = \frac{L_{ts}}{v_{ts}^{ef}}$: tiempo efectivo, o el tiempo total que le tomaría a un vehículo para pasar por el embotellamiento [s].

$t_{ts}^{ff} = t_{ts}^{ef} - d_{ts}^w$: tiempo de flujo libre, que representa el tiempo que le tomaría a un vehículo para pasar por el segmento s si no hubiera embotellamiento [s].

$v_{ts}^{ff} = \frac{L_{ts}}{t_{ts}^{ff}}$: velocidad de flujo libre, que es la velocidad máxima de circulación [m/s].

$k_{ts} = f(v_{ts}^{ff}, v_{ts}^{ef}, k^c, k^j)$: densidad vehículos en el embotellamiento [veh/m].

$q_{ts} = f(v_{ts}^{ff}, v_{ts}^{ef}, k, k^j)$: flujo de vehículos por segundo [veh/s].

$\Gamma_{ts} = k_{ts} \cdot L_{ts}$: stock, que representa el número de vehículos atrapados en el embotellamiento al inicio de captura de información [veh].

$\Omega_{ts} = q_{ts} \cdot t$: flujo, que denota el número de vehículos que ingresarán al embotellamiento a lo largo del intervalo [veh].

$d_{ts}^{max} = \frac{d_{ts}^w}{t_{ts}^{ef}} \cdot \min(t, t_{ts}^{ef})$: retraso máximo, referido a la cantidad máxima de tiempo que un vehículo puede perder durante el intervalo de captura de datos [s].

La_s : número de carriles.

OR : es la tasa media de ocupación de vehículos. De acuerdo con Tirachini & Gomez-Lobo (2020), se asume una OR de 1,4 personas por vehículo.

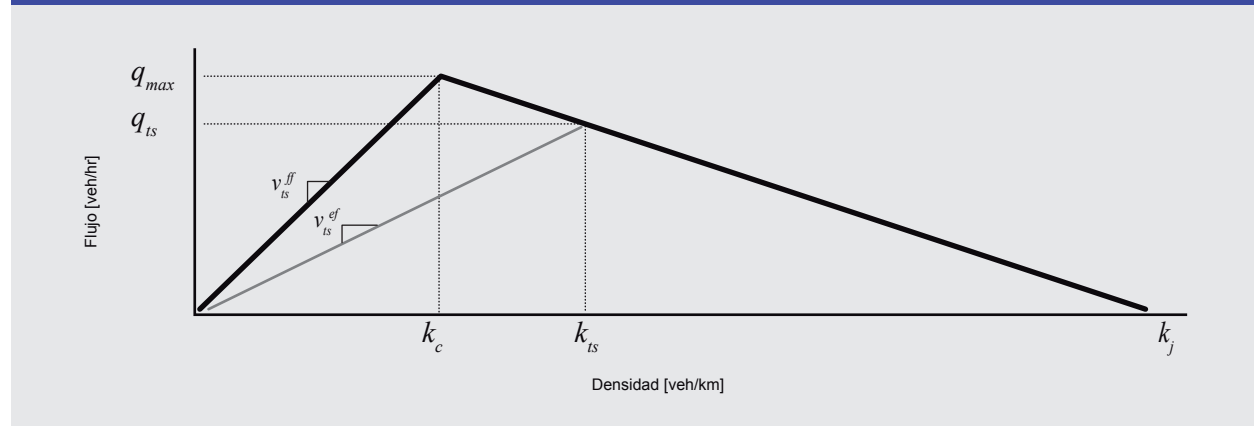
La **demora se define como el tiempo adicional que permanece un vehículo en la vía debido a la congestión de esta.**

En este caso, para calcular la demora en un arco e instante determinado se utilizó la velocidad de flujo libre, que corresponde a la velocidad en que circulan los vehículos en un segmento específico cuando no existe congestión. Como está evidenciado en el Capítulo 1, existen diferentes maneras de determinar la velocidad de referencia sobre la cual calcular el tiempo extra por congestión. La velocidad máxima permitida en la vía ha sido ampliamente cuestionada (véase la discusión presentada por Goodwin, 2004, y Wallis & Lupton, 2013). En este contexto, utilizar esta velocidad como punto de referencia podría llevar a sesgar involuntariamente las políticas de gestión de la congestión, con objetivos que serían imposibles de alcanzar en la práctica. Otra opción señalada en la literatura es emplear velocidades socialmente consideradas como “normales” o “esperadas”, según el tipo particular de vía, o las velocidades óptimas que se desprenden del diseño técnico de la vía en cuestión. Sin embargo, dada la necesidad de considerar las especificidad

de las velocidades para cada vía, estas opciones dificultan la comparación del nivel de servicio entre diferentes ciudades o regiones (Kriger et al., 2007). Para superar esta limitación, trabajos recientes han buscado eludir el problema utilizando como referencia **velocidades obtenidas en horarios valle**, como el aquí considerado.

Para estimar el número de vehículos que conforman el *stock* (Γ) y el *flujo* (Ω) –información no provista por Waze–, seguimos a Yperman et al. (2005) y Xu & González (2017) y asumimos una **relación funcional entre el flujo de tráfico q y la densidad k** . De acuerdo con Newell (1993), aproximamos esta relación flujo-densidad mediante una relación fundamental con forma triangular, como ilustrado en la Figura 2.3. La función negra en esta figura muestra la relación que existe entre el flujo de vehículos y su cantidad. Allí se puede apreciar que, a medida que incrementa la cantidad de vehículos en la vía, hay un mayor flujo. Sin embargo, en el momento en que la vía llega a un nivel máximo de ocupación, y los vehículos comienzan a estorbarse unos a otros, el flujo comienza a descender y se forma un embotellamiento. Dado que este artículo se desarrolla en un contexto urbano, la densidad máxima (k^j) se estima asumiendo un espacio de 6 metros de ocupación por vehículo al nivel máximo de congestión. Siguiendo a Daganzo (1997), se calibra la densidad crítica (k^c) igual a $\frac{1}{6}k^j$. A partir de esta información, se procede a calcular la densidad y el flujo de cada uno de los segmentos congestionados como función de la velocidad de flujo libre, la velocidad efectiva, y los parámetros comunes de densidad máxima de las vías y densidad crítica (para mayores detalles, véase Apéndices 1 y 2).

Figura 2.3 Relación triangular fundamental



A partir de esta relación y según los valores obtenidos de q_{is} y k_{is} , se estiman entonces los valores de Ω_{is} y Γ_{is} para cada segmento congestionado.

2.1.2. Estimación de la malla vial

Otra información no reportada por Waze es el número de carriles que posee cada vía. Esta información tampoco se encuentra disponible de manera generalizada para las diferentes ciudades incluidas en este estudio. En este contexto y con el fin de poseer una metodología que sea replicable en cualquier ciudad de la región, desarrollamos un **modelo de redes neuronales profundas para estimar el número de carriles** de una vía para cada segmento s del embotellamiento (La_s). Este modelo utiliza las características de los embotellamientos para clasificar a las vías de acuerdo con un número de carriles por dirección que se encuentra entre 1 y 5. Esto no implica que los embotellamientos en segmentos con el mismo número de carriles tengan exactamente el mismo comportamiento, pero se espera que compartan algunas características comunes. El modelo también incluye variables de entrada relacionadas con las características de la ciudad, que detallamos en la Tabla 2.2 Descripción de las variables de entrada del modelo.

34 - Capítulo 2. ¿Cómo medir la congestión y sus costos en las ciudades de ALC?

Tabla 2.2 Descripción de las variables de entrada del modelo

Nombre de la variable	Descripción de la variable	Unidad
Avenida	Variable booleana. Su valor es 1 cuando el segmento forma parte de una avenida.	-
Cola	Suma del número de vehículos en la cola inicial, teniendo en cuenta cada embotellamiento observado en el segmento durante un mes. Utiliza el modelo de tráfico para el caso de carril único.	Veh
Cola media	Promedio del número de vehículos en la cola inicial, teniendo en cuenta cada embotellamiento observado en el segmento durante un mes. Utiliza el modelo de tráfico para el caso de carril único.	Veh
Flujo	Suma del número de vehículos que entraron en todos los embotellamientos observados en el segmento durante un mes. Utiliza el modelo de tráfico para el caso de carril único.	Veh
Flujo medio	Promedio del número de vehículos que entraron en todos los embotellamientos observados en el segmento durante un mes. Utiliza el modelo de tráfico para el caso de carril único.	Veh
Densidad media del embotellamiento	Densidad media en la cola inicial, teniendo en cuenta cada embotellamiento observado en el segmento durante un mes. Utiliza el modelo de tráfico para el caso de carril único.	veh/m
Velocidad de flujo libre	Velocidad media de flujo libre observada en el segmento.	m/s
Velocidad media de la cola	Velocidad media en la cola inicial, teniendo en cuenta cada embotellamiento observado en el segmento durante un mes. Utiliza el modelo de tráfico para el caso de carril único.	m/s
Retraso total	Retraso acumulado observado en el segmento durante un mes.	s
Retraso promedio	Retraso medio por vehículo observado, teniendo en cuenta cada embotellamiento en el segmento durante un mes.	s
Duración media	Promedio de la duración del tiempo de todos los embotellamientos observados en el segmento.	s
Duración - Retraso (R_{DD})	Media de la variable que relaciona la duración y el retraso de un embotellamiento: $R_{DD} = \sqrt{\text{Retraso} * \text{Duración}}$	s
Nivel de congestión	Escala numérica que representa el nivel medio de congestión (1 a 5).	-
Número de embotellamientos	Número total de embotellamientos observados en el segmento.	-
Población de la ciudad	Total de habitantes del área metropolitana donde se encuentra la ciudad.	-
Promedio de horas trabajadas por semana	Promedio de horas de trabajo por persona en la ciudad.	h
Valor del tiempo	El valor del tiempo para un ciudadano. Se calcula siguiendo el método presentado en la sección 2.2.3.	US\$
PIB	Producto Interno Bruto (PIB) de la ciudad, calculado como el producto entre el PIB per cápita y el número de los habitantes de la ciudad.	US\$

La red neuronal utilizada es un perceptrón de seis capas escondidas, con 40, 35, 30, 20, 18, 15 neuronas respectivamente con inicialización *He Normal*. La función de activación es *relu*, que permite acelerar la convergencia del entrenamiento del modelo. Estos hiperparámetros se escogieron a través de ensayo y error, partiendo de un modelo simple hacia uno más complejo. El resultado del modelo de redes neuronales es la probabilidad de que el segmento observado pertenezca a una categoría determinada (vías que pueden tener hasta 5 carriles). El número de carriles del segmento se asigna según la categoría a la que el segmento tiene la mayor probabilidad de pertenecer. Dado que pueden existir muchos segmentos que pertenezcan a la misma vía, el número de carriles para la vía específica se definirá en función de la moda estadística del número de carriles para todos los segmentos.

Para el entrenamiento de la red se utilizó un conjunto de 7.684 observaciones elaboradas manualmente en Google Street View, y cuyo número por ciudad se detalla en la Tabla 2.3 Número de calles etiquetadas por ciudad.

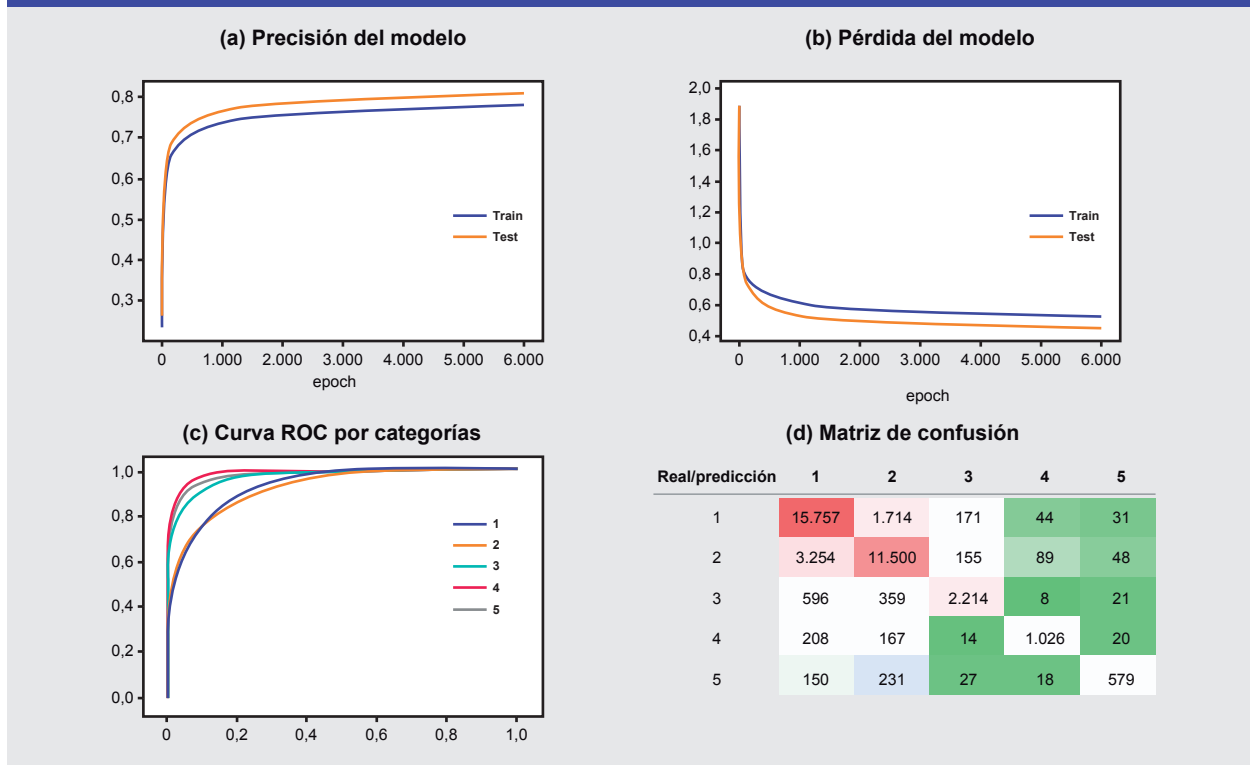
Tabla 2.3 Número de calles etiquetadas por ciudad

Ciudad	Número de segmentos para el conjunto de datos de entrenamiento	Número de segmentos para el conjunto de datos de prueba
Buenos Aires	71.820	7.980
Montevideo	44.537	4.949
Santiago de Chile	57.519	6.391
Bogotá	68.301	7.589
Sao Paulo	78.930	8.770
San Salvador	24.611	2.735
Total	345.718	38.414

Los datos de entrenamiento fueron divididos en dos partes: la primera de ellas contiene el 90% de los datos y se utilizó para el proceso de aprendizaje del algoritmo, mientras que el 10% de datos restantes se utilizó para evaluar el modelo. Como se muestra en la Figura 2.4 (a) y 2.4(b) el algoritmo reporta una buena predicción, tanto con los datos de evaluación como con los datos de entrenamiento, con una precisión del 82% y del 86% respectivamente.

La Figura 2.4 (c) muestra las curvas *ROC* para cada categoría (de 1 a 5 carriles), lo que indica que el modelo funciona mejor para las calles con 3, 4 y 5 carriles. El área promedio bajo la curva (*AUC*) es 0,82, lo que indica que hay un 82% de probabilidad de que el pronóstico del modelo sea más preciso que la selección aleatoria. La Figura 2.4 (d) es la matriz de confusión, donde las columnas son la predicción del modelo y las filas indican la categorización real de los segmentos. La diagonal concentra el mayor número de segmentos, lo que sugiere que el modelo está realizando una categorización correcta. Los falsos positivos y negativos que se encuentran fuera de la diagonal tienen una representación baja. El rendimiento bajo corresponde a los segmentos con 1 y 2 carriles. Sin embargo, esto se compensa con una puntuación de *F1* alta para todos los segmentos (0,81) (Figura 2.4).

Figura 2.4 Indicadores de ajuste del modelo



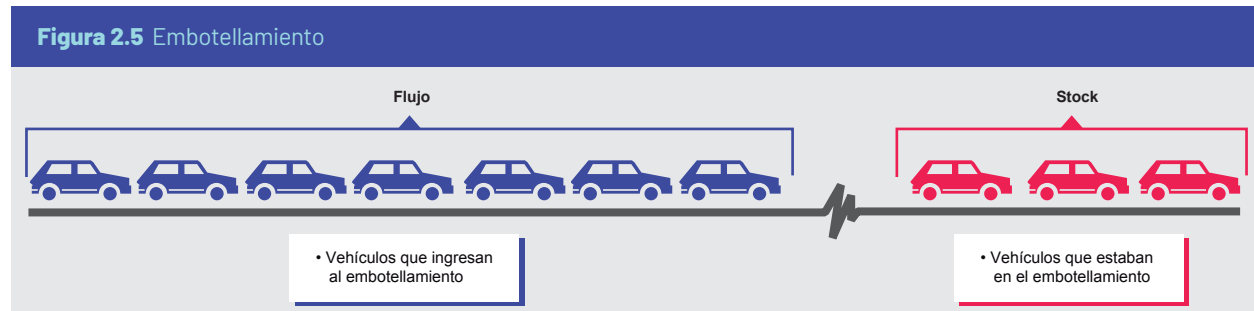
La precisión representa la cantidad de casos correctos, frente al total de casos clasificados en una clase. El *recall* corresponde al porcentaje de casos correctos respecto al total de casos que eran originalmente de esa clase. Esto nos da una idea del poder del modelo de capturar de una clase específica. El AUC corresponde al área debajo de la curva *ROC* (curva característica de funcionamiento), que grafica la tasa de verdaderos positivos contra falsos positivos del modelo, con respecto al *threshold* seleccionado de corte (entre 0 y 1). Mientras el valor de AUC sea más cercano a 1, mejor será el rendimiento del modelo. Estos valores se muestran en la Tabla 2.4 Resultados del modelo de red neural.

Tabla 2.4 Resultados del modelo de red neural

	Precisión	Recall	Puntuación F1	Apoyo
1	0,79	0,89	0,84	17.717
2	0,82	0,76	0,79	15.046
3	0,86	0,69	0,77	3.198
4	0,87	0,71	0,78	1.435
5	0,83	0,58	0,68	1.005
Precisión			0,81	38.401
Macro promedio	0,83	0,73	0,77	38.401
Promedio ponderado	0,81	0,81	0,81	38.401

2.1.3. Estimación de la demora agregada

Como mencionamos anteriormente, la información recolectada de la aplicación se obtiene en intervalos de 120 segundos; sin embargo, los embotellamientos continúan evolucionando entre capturas. Por ejemplo, como está ilustrado en la Figura 2.5, habrá vehículos que conforman el embotellamiento en el momento de captura de datos (lo que denominamos *stock* o I) y otros vehículos que entrarán a hacer parte del embotellamiento durante el intervalo de tiempo –los 120 segundos– que existe entre capturas (lo que denominamos *flujo* o Ω).



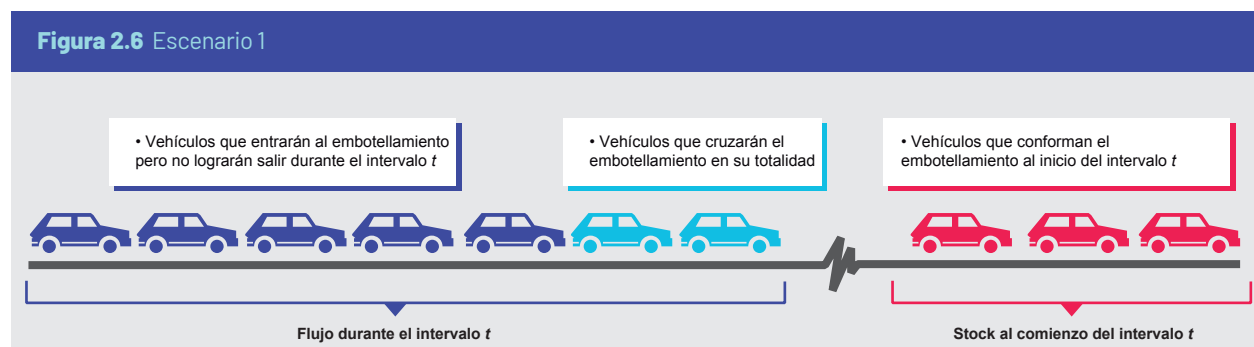
A partir de esta información, es razonable asumir:

- i) *Comportamiento del embotellamiento*: el embotellamiento mantiene características constantes durante los 120 segundos que existen entre dos capturas de datos; es decir, la velocidad de circulación (v_{ts}^{ef}), la demora para cruzar el segmento (d_{ts}^{ef}), la densidad (k_{ts}), la longitud (L_{ts}) y demás variables son invariantes a lo largo del intervalo (t).
- ii) *Flujo infinito*: como consecuencia del supuesto (i), para garantizar que el *stock* (I) sea igual al final del intervalo (t), cada vehículo que sale del embotellamiento es inmediatamente reemplazado por otro vehículo que entra como flujo (q).

En otras palabras, se asume que las características del embotellamiento –longitud del atasco y velocidad efectiva– se mantienen inalteradas entre captura de datos. Dado que el intervalo de tiempo entre captura de datos es bastante corto –dos minutos–, es razonable pensar que esta asunción no afectará los resultados del modelo. Consecuentemente, dado que el embotellamiento se presume invariante entre captura de datos, se asume que por cada vehículo que sale del atasco, uno nuevo ingresa, reemplazándolo. Esto implica que el *stock* se mantiene invariante entre captura de datos y, bajo este marco, el flujo es simétrico entre los vehículos que entran y los que salen del embotellamiento.

La **estimación de la demora agregada se realiza a partir de dos escenarios** que un embotellamiento puede presentar:

Escenario 1 ($t_{ts}^{ef} < t$): En este escenario, todos los vehículos en *stock* logran atravesar el embotellamiento durante el intervalo t , lo que significa que el tiempo efectivo es menor que dos minutos (el intervalo t):



38 - Capítulo 2. ¿Cómo medir la congestión y sus costos en las ciudades de ALC?

En este escenario, la demora se estima de la siguiente manera:

$$D_{ts}^{stock} = OR * La_s * \frac{d_{ts}^w}{\Gamma_{ts}} * \sum_{\gamma=1}^{\Gamma_{ts}} \gamma \quad (1)$$

$$D_{ts}^{flujo} = OR * La_s * (\Omega_{ts} - \Gamma_{ts}) * d_{ts}^{max} + OR * La_s * \frac{d_{ts}^w}{\Gamma_{ts}} * \sum_{\gamma=1}^{\Gamma_{ts}-1} \gamma \quad (2)$$

en donde D^{stock} se refiere al tiempo adicional de recorrido agregado para todos los viajeros que conforman el stock; y D^{flujo} representa el tiempo extra perdido por los viajeros que entran en el embotellamiento durante el intervalo .

La ecuación 2 se puede dividir en dos partes: la primera parte $[OR * La_s * (\Omega_{ts} - \Gamma_{ts}) * d_{ts}^{max}]$ representa la demora agregada de todos los viajeros que entran en el embotellamiento y logran atravesar el segmento s por completo durante el intervalo t (ilustrados por los vehículos celeste en la Figura 2.6). La segunda parte de la ecuación corresponde a la demora de los vehículos que entrarán al embotellamiento, pero por su ubicación en la cola del embotellamiento no tendrán tiempo suficiente para salir del mismo durante el intervalo t y, consecuentemente, conformarán el stock de la siguiente captura de datos (ilustrados por los vehículos morado en la Figura 2.6). Nótese que la demora de la segunda parte de la ecuación es igual a la del stock, con la particularidad que la sumatoria va hasta $\Gamma-1$, debido a que el momento en el que el vehículo entra en el embotellamiento no se considera como demora, para no alterar las condiciones propias del embotellamiento. Por lo tanto, la demora agregada del segmento s en el momento t es la suma de:

$$D_{ts} = D_{ts}^{stock} + D_{ts}^{flujo}$$

$$D_{ts} = OR \cdot La_s \cdot d_{ts}^w \cdot \Omega_{ts} \quad (3)$$

Por medio de la ecuación (3) se puede estimar la demora total para el segmento s al final del intervalo t . La intuición de esta ecuación indica que, debido a que los vehículos que comenzaron como stock suman el retraso complementario de los vehículos entrantes que no lograrán salir (morado de la Figura 2.6), la demora agregada se puede calcular como la suma de la demora reportada por Waze para cada vehículo que entra en el embotellamiento. La demora agregada para un área determinada será la suma de las demoras reportadas por todos los segmentos incluidos en el área, durante un período de tiempo determinado.

Escenario 2 ($t_{ts}^{ef} \geq t$): en este escenario, no todos los vehículos que comenzaron como stock en un embotellamiento al principio de t lograrán cruzarlo completamente al final de ese intervalo. En otras palabras, el tiempo efectivo es mayor que el tiempo entre la captura de datos (Figura 2.7)



En este escenario, la demora se estima de la siguiente manera:

$$D_{ts}^{flujo} = OR \cdot La_s \cdot \frac{d_{ts}^w}{\Gamma_{ts}} * \sum_{\omega=1}^{\Omega_{ts}-1} \omega \quad (4)$$

$$D_{ts}^{stock} = OR \cdot La_s \cdot (\Gamma_{ts} - \Omega_{ts}) \cdot d_{ts}^{max} + OR \cdot La_s \cdot \frac{d_{ts}^w}{\Gamma_{ts}} * \sum_{\omega=1}^{\Omega_{ts}} \omega \quad (5)$$

La ecuación (4) reporta la demora agregada para los vehículos en *flujo* bajo el escenario 2. Dado que los vehículos que entran en el embotellamiento no podrán cruzar todo el segmento durante estos, añadirán un retraso proporcional a la posición que ocupan en la cola ($\frac{\omega}{\Gamma_{ts}}$). Por su parte, la ecuación (5) se refiere a la demora agregada del *stock*. Esta ecuación igualmente consta de dos partes: la primera parte [$OR \cdot La_s \cdot (\Gamma_{ts} - \Omega_{ts}) \cdot d_{ts}^{max}$] se refiere a los vehículos que, debido a su posición en el embotellamiento, no lograrán atravesarlo completamente durante t y, en consecuencia, sumarán la demora máxima posible; la segunda parte se refiere a los vehículos que, dada su posición en el embotellamiento, lograrán atravesarlo durante t y, por lo tanto, sólo añadirán a la demora agregada una cantidad proporcional a su posición en el embotellamiento al inicio de t . La demora agregada para este segundo escenario será la suma de estas ecuaciones:

$$D_{ts} = D_{ts}^{stock} + D_{ts}^{flow}$$

$$D_{ts} = OR \cdot La_s \cdot d_{ts}^{max} \cdot \Gamma_{ts} \quad (6)$$

La ecuación (6) denota la estimación de la demora agregada para el segundo escenario. La intuición detrás de esta ecuación es que, debido a que ningún vehículo podría cruzar todo el embotellamiento durante t , y dado que los vehículos que entran en el embotellamiento como *flujo* son simétricos en términos de demora agregada a aquellos del *stock* que salen, la demora agregada puede ser calculada como la suma de la demora máxima para cada vehículo en *stock*. Es importante resaltar que las ecuaciones (3) y (6) son algebraicamente idénticas (ver Apéndice 1 para consultar la derivación algebraica).

2.2. Valor del tiempo (VoT) y costo monetario de la congestión

Una vez calculado el retraso total por congestión en una ciudad, procedemos a estimar el costo monetario de la congestión. Para ello, es necesario determinar cuantitativamente el valor que los individuos atribuyen al tiempo perdido en el tráfico.

Existe un área en la literatura que se enfoca en estudiar cómo las personas valoran el tiempo cuando viajan (denominado VoT, por sus siglas en inglés). Barrett (2010), Beesley (1965) y Shiaw (2004) calcularon el VoT utilizando una metodología que comparaba diferentes modos de viaje, como automóviles, aviones, y trenes, en relación con el costo del viaje y los requisitos de tiempo. La principal crítica a esta aproximación se refiere a la heterogeneidad en los atributos de cada modo de viaje. Un ejemplo tradicional es que se puede leer fácilmente un libro en un tren, pero no es tan fácil en un coche, por lo que el valor subjetivo del tiempo difiere (Wolff, 2014).

Para abordar estas preocupaciones, otras metodologías se han centrado en un solo modo, haciendo uso de la variación situacional para identificar el VoT. En esa línea, Deacon & Sonstelie (1985) estimaron la disposición de los

40 - Capítulo 2. ¿Cómo medir la congestión y sus costos en las ciudades de ALC?

conductores a pagar para evitar la espera en gasolineras usando precios diferenciados; su resultado presenta un VoT que superó el 70% de la tasa salarial bruta. Más tarde, Small et al. (2005) implementaron un enfoque econométrico comparando a los automovilistas que están dispuestos a pagar más para evitar la congestión en Los Ángeles, con el resultado de un VoT superior al 90% de la tasa salarial.

Posteriores estudios señalan las posibles variables omitidas en estas aproximaciones, relacionadas con las preocupaciones físicas o psicológicas de los conductores que los pueden llevar a la decisión de pagar más o menos, son variables que dependen de las particularidades de cada carretera y la expectativa de la hora de llegada. De hecho, la imprevisibilidad en el horario de llegada en un viaje abrió una subárea de estudio referenciada como el Valor de la Fiabilidad (VoR, por sus siglas en inglés). Teniendo esto en cuenta, Fezzi et al. (2014) hicieron uso de simulaciones de Monte Carlo después de la recopilación de datos de encuestas de preferencias reveladas para estimar el VoT de la demanda de tráfico recreativo, encontrando en este caso un VoT del 70% de la tasa salarial.

También se han implementado estudios de preferencias declaradas para lograr una ortogonalización de las variables omitidas en los análisis de preferencias reveladas, y acercarse así a una inferencia causal más limpia. Los resultados en este grupo de estudios rondan una estimación de VoT de 50% o menos. En el metaanálisis presentado por Wardman (2001) se identificó que, en general, el tiempo en condiciones de congestión se valora un 48% más alto que en un escenario de flujo libre. El estudio realizado en Suecia por Eliasson (2004) identificó un VoT 50% más alto en zonas congestionadas y encontró un rango entre 20% a 100% más de valor atribuido al tiempo según la intensidad de la congestión vial.

Finalmente, Wolff (2014) presentó un método totalmente diferente para estimar el parámetro de VoT mediante el análisis de la relación entre los patrones de velocidad de los conductores y los precios de la gasolina en áreas de flujo libre. Coherente con la tendencia en la literatura, Wolff estima un VoT de aproximadamente el 50% de la tasa salarial después de controlar por una lista de posibles fuentes de sesgo como incidentes de tráfico y multas de tráfico.

A partir de este grupo de estudios, los académicos y los formuladores de política suelen adoptar la siguiente regla general para aproximar el VoT en la medición y el análisis de los costos de congestión: **el VoT es aproximadamente igual al 50% del salario de mercado para los viajes en automóvil** (véase Parry & Small, 2009; Small et al., 2007; Yang et al., 2020)¹¹. En consistencia con esta regla, en este estudio aproximamos el VoT de un ocupante del vehículo de la siguiente manera:

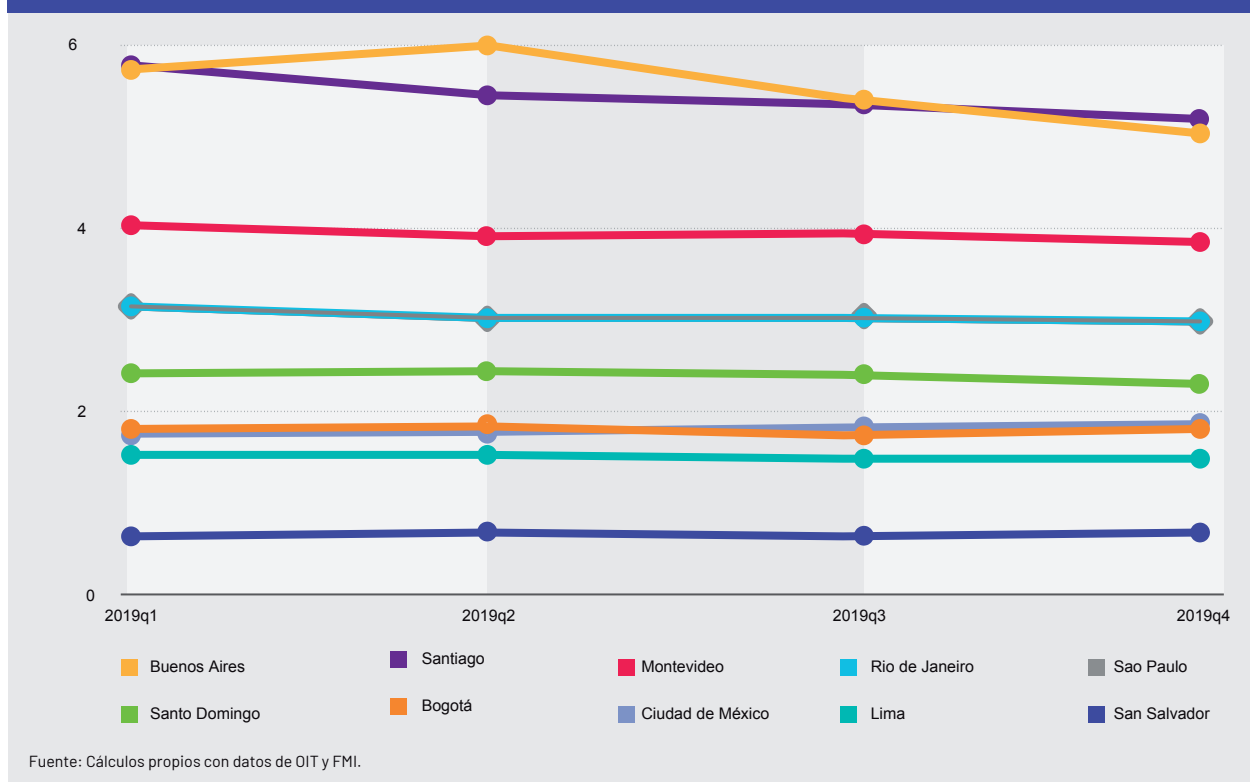
$$VoT_{cq} = 0.5 * \frac{Y_{cq} * WS_c}{L_{cq} * h_{cq} * 13} \quad (7)$$

Donde los subíndices c y q denotan ciudad y trimestre; Y representa la producción de la ciudad; WS se refiere a la participación salarial sobre la producción de la ciudad (*wage share*); L es el número de personas empleadas y h se refiere al número medio de horas trabajadas por los empleados durante una semana.

WS y h se obtuvieron de las estadísticas de país de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), el primero para 2017 y el segundo para 2019. Debido a la ausencia de esta información a nivel ciudad, se utilizan los disponibles a nivel país. Para los casos de Lima, Montevideo y San Salvador, se disponen de las horas medias trabajadas por semana con granularidad anual. L se calculó a partir del número de empleados urbanos a nivel de país y se re-escaló utilizando la proporción de la población de la ciudad en relación con la población urbana total del país. Los datos de empleo se obtuvieron de las estadísticas de la OIT y la tasa de población urbana se obtuvo de los Indicadores de Desarrollo Mundial (IDM) (Banco Mundial, 2019) —excepto para Río de Janeiro, que proviene de SimpleMaps—. Y se obtuvo de la base de datos de Estadísticas Financieras Internacionales (FMI, 2019). Para el caso de San Salvador, este indicador solo está disponible de modo anualizado. Éste se reescaló utilizando la proporción de la población de la ciudad en relación con la población total del país, según IDM.

11. Esta valoración del tiempo incluye implícitamente el Valor de la Fiabilidad (VoR, por sus siglas en inglés), que se relaciona con la imprevisibilidad en el horario de llegada en un viaje (Grant-Muller & Laird, 2007).

Figura 2.8 Valor del tiempo en las ciudades seleccionadas



2.3 Modelo de estimación de costos indirectos de la congestión

Como mencionamos en el Capítulo 1, la congestión está asociada con una serie de costos indirectos, entre los que se encuentran variaciones en el **nivel de siniestralidad vial** y en la gravedad de los casos registrados. Estudios previos han reportado resultados mixtos sobre estos efectos de acuerdo con el tipo de vía bajo análisis. Entre los estudios destacados se encuentra el de Brownfield et al. (2003), que analiza el caso del Reino Unido y reporta que la tasa de siniestralidad en las autopistas es casi el doble en condiciones de congestión respecto a las condiciones de flujo libre, siendo esta tasa siete veces mayor para los usuarios de motocicletas. A su vez, evidencia que la proporción de incidentes de tráfico fatales o graves es menor bajo condiciones de congestión. En el caso de las vías urbanas, los autores reportan que la tasa de siniestralidad es un 50% menor en condiciones de congestión, tanto para vehículos como para motocicletas. La proporción de incidentes de tráfico fatales y graves de peatones y ciclistas en este caso no reportó variación alguna¹². La Administración Estatal de Autopistas (SHA, por sus siglas en inglés), obtuvo resultados similares para el caso de Estados Unidos (Chang & Xiang, 2003). Evidencia reciente destaca que los estudios con mayor poder estadístico reportan una relación en forma de U entre congestión y el nivel de siniestralidad, y resalta la necesidad de obtener mejores datos desagregados temporal y espacialmente para ahondar en su entendimiento (Retallack & Ostendorf, 2019). En este sentido, y con el fin de analizar el impacto de la congestión en la siniestralidad urbana en ALC, presentamos en esta sección la metodología desarrollada, la cual hace uso de la riqueza de los datos obtenidos¹³.

12. Cabe resaltar que la frecuencia y gravedad de los incidentes de tráfico puede ser diferente bajo escenarios de hipercongestión. Ver Small & Chu (2003) para una descripción completa de este fenómeno.

13. Debido a la cantidad de usuarios de Waze, se logra recolectar una muestra representativa de las alertas en carretera. Previos estudios han validado la calidad de los datos comparándolos con los reportes de los sistemas de manejo de tráfico (ATMS, por sus siglas en inglés), considerando también el tiempo de reporte y su cobertura geográfica (Amin-Naseri et al., 2018; Goodall & Lee, 2019). En Estados Unidos, el Departamento de Transporte ha integrado esta información para complementar sus decisiones de política pública con respecto a la frecuencia de las colisiones en carretera (Flynn et al., 2018).

42 - Capítulo 2. ¿Cómo medir la congestión y sus costos en las ciudades de ALC?

Definimos la siniestralidad como el número de alertas registradas a lo largo de una hora en toda la ciudad, obteniendo los datos mediante la plataforma Waze. Los usuarios de este aplicativo móvil alertan sobre diferentes incidentes de tráfico en la calle mientras simultáneamente, otros usuarios registran la validez del reporte anterior. De esta manera, a cada incidente se otorga un nivel de confiabilidad entre 1 y 10, siendo 10 el más confiable. Con base en este criterio, seleccionamos aquellos incidentes de tráfico cuyo nivel de confiabilidad sea 5 o superior. Asimismo, dado que varias alertas pueden corresponder al mismo incidente, filtramos las alertas de acuerdo con el siguiente criterio espaciotemporal: aquellas alertas del mismo tipo que se encuentren a menos de 20 metros de radio y que sean reportadas en menos de 20 minutos de margen temporal, son consideradas como la misma alerta. Finalmente, tomamos el intervalo temporal comprendido entre las 7 hs. y las 20 hs., a fin de excluir observaciones anómalas en las estimaciones por ausencia de actividad de movilidad urbana. Luego de este procesamiento, obtuvimos una base de aproximadamente 100 millones de registros de alertas para las diez ciudades analizadas.

El modelo utilizado para estimar el impacto de la congestión en el nivel de siniestralidad es un **modelo de Poisson en panel de datos con efectos fijos por ciudad**:

$$\lambda_{it} = E(Y_{it}|X_{it}) = e^{X_{it}\theta + \delta_i} \quad (8)$$

donde los subíndices i y t representan ciudad y fecha con desagregación por hora; λ se refiere a la media del índice de siniestralidad por ciudad; δ son los efectos fijos de cada área metropolitana; y X es una matriz que contiene las variables explicativas del modelo entre las que se encuentran: $\ln(\text{hazard})$, que representa el logaritmo natural del número de alertas de peligro causadas por efectos de la naturaleza, como inundaciones, lluvias u objetos en la vía, que son registrados en cada ciudad por los usuarios de Waze; *lunes, martes, miércoles, jueves, viernes*, y que son *dummies* que toman valor de 1 en caso de ser el día de la semana al que hacen referencia, y 0 en otro caso; y que hace referencia a la demora total que le toma a los vehículos transitar por la vía. Así, la función distribución Poisson propuesta para la ejecución del modelo es la siguiente:

$$pr(Y_{it} = y_{it}|X_{it}) = \frac{\lambda_{it}^{y_{it}} * e^{-\lambda_{it}}}{y_{it}!} = \frac{e^{(X_{it}\theta + \delta_i)y_{it}} * e^{-e^{X_{it}\theta + \delta_i}}}{y_{it}!} = \frac{e^{X_{it}\theta y_{it}} * e^{\delta_i y_{it} - e^{X_{it}\theta + \delta_i}}}{y_{it}!} \quad (9)$$

A partir de esta, se puede plantear la función de distribución conjunta de la siguiente manera:

$$pr(Y_{i1} = y_{i1}, \dots, Y_{iT_i} = y_{iT_i}|X_{it}) = \prod_{t=1}^{T_i} \frac{e^{X_{it}\theta y_{it}} * e^{\delta_i y_{it} - e^{X_{it}\theta + \delta_i}}}{y_{it}!} \quad (10)$$

$$pr(Y_{i1} = y_{i1}, \dots, Y_{iT_i} = y_{iT_i}|X_{it}) = \left(\prod_{t=1}^{T_i} \frac{e^{X_{it}\theta y_{it}}}{y_{it}!} \right) e^{[-e^{\delta_i} \sum_t e^{X_{it}\theta + \delta_i} \sum_t y_{it}]}$$

donde, con base en la metodología propuesta por Wooldridge (2016), se obtiene la función de máxima verosimilitud a ser optimizada:

$$L = \ln \prod_{i=1}^{T_i} \left[\frac{(\sum_t y_{it})!}{\prod_t y_{it}!} \prod_{t=1}^{T_i} p^{y_{it}} \right] \quad (11)$$

donde:
$$p_{it} = \frac{e^{X_{it}\theta}}{\sum_t e^{X_{it}\theta}}$$

Para garantizar la exogeneidad de las variables de control, se procedió a instrumentar la congestión debido a la simultaneidad presente entre esta y la siniestralidad. La instrumentación se diseñó a partir de la estimación en dos etapas del siguiente sistema de ecuaciones simultáneas:

$$delay_{it} = \beta_0 + \alpha_i + \omega_t + h_t + \beta_1 \ln(accident_{it}) + \beta_2 delay_{it-1} + \beta_3 \ln(RoadClosed_{it-1}) + \beta_4 \ln(hazard_{it-1}) + \mu_{1it} \quad (12)$$

$$\ln(accident_{it}) = \gamma_0 + \eta_i + \gamma_1 delay_{it} + \gamma_2 \ln(hazard_{it-1}) + \gamma_{d+2} \sum_{dow=1}^7 dow_t + \mu_{2it} \quad (13)$$

donde $\ln(accident)$ se refiere al logaritmo del número de incidentes de tráfico agregados en la ciudad i durante la hora t ; α y η son los efectos fijos por ciudad estimados para cada una de las ecuaciones; ω son efectos fijos por semana del año y h son efectos fijos por hora del día para controlar por la alta volatilidad de la congestión presente en el tiempo. Las variables usadas como instrumento de la demora agregada, además de los efectos fijos temporales previamente señalados son: la demora agregada $delay$ en la misma hora rezagada a la semana inmediatamente anterior; y $\ln(RoadClosed)$ que representa el logaritmo de la agregación del número de cierres viales. Por su parte, se propone realizar la ejecución del modelo controlando por el efecto de: $\ln(hazard)$ que simboliza el logaritmo de la agregación del número de alertas por peligros en la vía reportados (estos peligros varían desde vehículos varados al costado de la vía u objetos estorbando la circulación, hasta efectos de la naturaleza como fuertes lluvias o inundaciones); y dow que es un efecto fijo por día de la semana para controlar por esta dimensión. Finalmente, se ha tomado las variables de cierres viales y peligros en la vía rezagada por la naturaleza de la conformación de la información agregada por hora y área geográfica para la realización de la estimación econométrica.

En el siguiente capítulo, presentamos los resultados de la aplicación de la metodología, incluyendo demora, costos directos e impacto de la congestión en la siniestralidad vial, para las diez ciudades incluidas en este estudio.

Capítulo 3.

MAGNITUD Y COSTOS DE LA CONGESTIÓN EN ALC



03

En este capítulo, presentamos los resultados del análisis de congestión para las diez áreas urbanas de ALC seleccionadas, según la metodología detallada en el Capítulo 2. Las ciudades bajo estudio son: Bogotá (Colombia), Buenos Aires (Argentina), Ciudad de México (México), Lima (Perú), Montevideo (Uruguay), Río de Janeiro (Brasil), San Salvador (El Salvador), Santiago (Chile), Santo Domingo (República Dominicana) y Sao Paulo (Brasil). La Tabla 3.1 Descripción general (2019) resume las principales características de estas ciudades. Todas superan el millón de habitantes, cuatro albergan a más de 10 millones de personas (Bogotá, Buenos Aires, Lima y Río de Janeiro) y dos a más de 21 millones (Ciudad de México y Sao Paulo). Cinco ciudades (Buenos Aires, Lima, Montevideo, Santiago y Santo Domingo) poseen entre un tercio y la mitad de la población de sus respectivos países. Reuniendo las principales actividades económicas y sociales, todas ellas son cruciales para el desarrollo de los países seleccionados.

Tabla 3.1 Descripción general (2019)

Ciudad	Población (millones) ¹⁴	% sobre población país	PIB per cápita (US\$) ¹⁵
Bogotá	10,78	21,4	6.432
Buenos Aires	15,06	33,4	10.006
Lima	10,55	32,5	6.978
Ciudad de México	21,67	17,0	9.863
Montevideo	1,74	50,4	16.190
Río de Janeiro	11,75	5,6	8.717
San Salvador	1,10	17,1	4.187
Santiago	6,72	35,5	14.896
Santo Domingo	3,24	30,2	8.282
Sao Paulo	21,85	10,4	8.717

Fuente: Cálculos propios con datos de FMI, IDM y Simplemaps.

El capítulo se encuentra organizado de la siguiente manera: en la primera sección, estimamos la magnitud de la congestión en las ciudades seleccionadas; en la segunda, analizamos el costo monetario de la misma desde diferentes perspectivas; en la tercera, hacemos un *zoom* en cada ciudad y describimos la dinámica temporal y espacial de la congestión y sus costos monetarios y, finalmente, en la cuarta sección analizamos el impacto de la congestión en la siniestralidad vial, como costo indirecto de la misma.

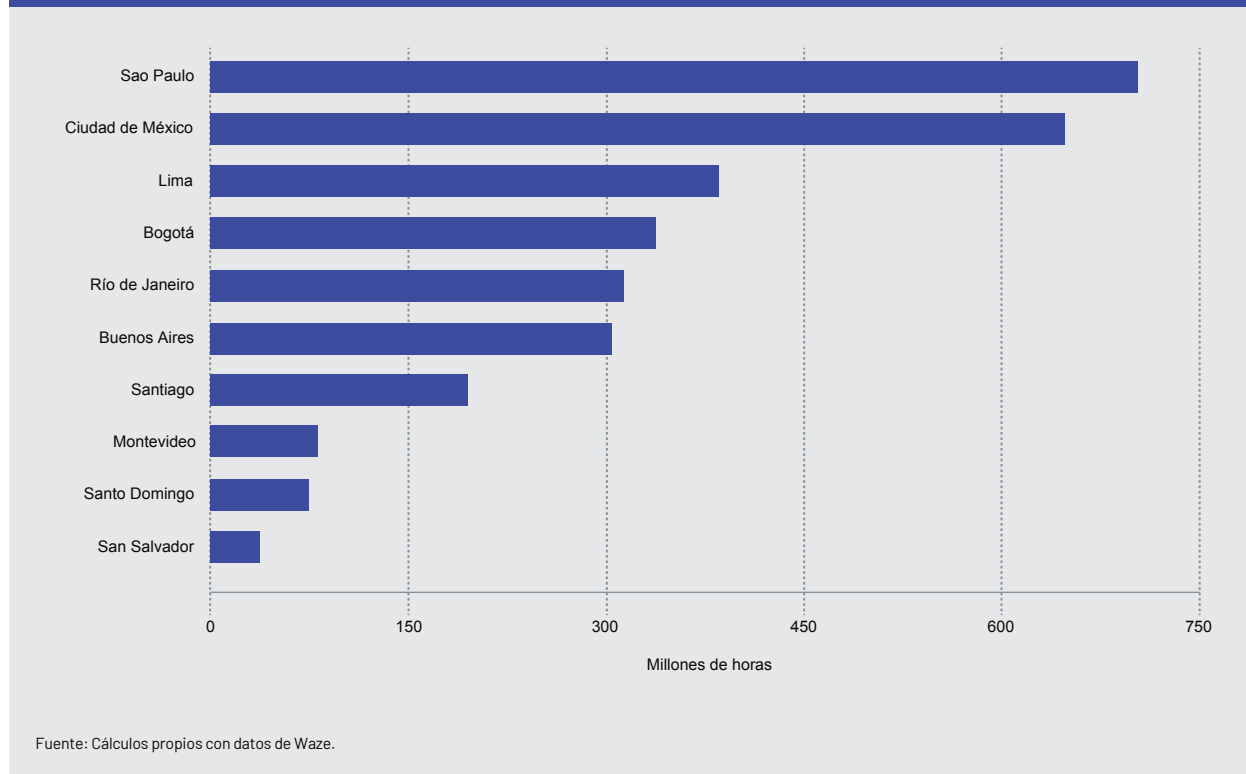
3.1. Magnitud de la congestión en ALC

En la Figura 3.1 mostramos el resultado del cálculo de la **demora total del transporte privado en 2019**, para cada una de las diez ciudades. Como se discutió en Capítulo 1, los determinantes de la congestión incluyen el nivel de concentración de las actividades económicas, así como factores de oferta y demanda, entre los que se encuentran la capacidad y extensión de la red carretera, la cobertura de bienes sustitutos al auto privado, la participación de este en los viajes típicos de los habitantes y la densidad poblacional. Los resultados iniciales para las ciudades de ALC muestran una correlación entre la demora total y el tamaño de la población, siendo las megaciudades de Sao Paulo (21,8 millones de habitantes y 702 millones de horas perdidas) y Ciudad de México (21,6 millones de habitantes y 647 millones de horas perdidas) donde se verificaron las mayores demoras en 2019. Por su parte, San Salvador, la ciudad con menor número de habitantes entre las diez analizadas (1,1 millones), fue la ciudad con menor número de horas perdidas en congestión, alcanzando 37 millones de horas en 2019.

14. Por disponibilidad de datos, para cada ciudad se utiliza la población de toda la región metropolitana.

15. Se utiliza el PIB per cápita nacional multiplicado por la población como proxy del producto de la ciudad. Esto con el fin de garantizar homogeneidad de la fuente en primera instancia, así como también asegurar una metodología uniforme de asignación del PIB por otro lado. Al respecto, los institutos de estadística realizan la contabilidad nacional y posteriormente asignan regionalmente, por medio de técnicas estadísticas no estandarizadas, la producción a los diferentes Estados/Provincias/Departamentos.

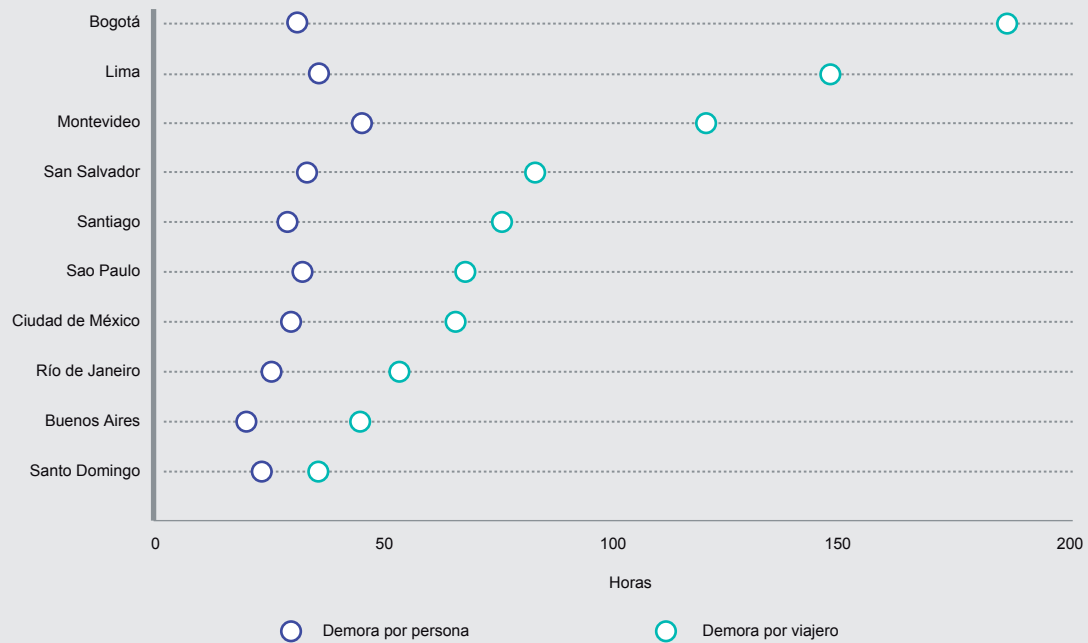
Figura 3.1 Demora total en ciudades seleccionadas (millones de horas, 2019)



Ahora bien, si analizamos la **demora por habitante y por viajero** por el tamaño de la ciudad, el posicionamiento de las ciudades cambia significativamente (Figura 3.2). Entiéndase en adelante, a todo residente de la ciudad como habitante y a todo usuario frecuente del vehículo privado como viajero. Este último es calculado como la población multiplicada por la tasa de motorización y la ocupación por vehículo promedio. Así, en 2019, los habitantes de Montevideo, por ejemplo, perdieron 51% más de tiempo en congestión que los de Ciudad de México, aun cuando la población de la capital mexicana es 11 veces mayor que la de Montevideo. Lo mismo ocurre con San Salvador —recuérdese que era la ciudad con la menor demora total—, donde sus habitantes perdieron 33 horas parados en el tráfico en 2019, por encima de megaciudades como Bogotá (31 horas), Río de Janeiro (25 horas) y Buenos Aires (20 horas).

De igual manera, si tomamos en cuenta solamente a los usuarios de vehículos privados, Bogotá fue la ciudad con mayores pérdidas por congestión en 2019, ascendiendo a 186 horas por usuario de automóvil. Esta cifra es 2,7 y 2,8 veces mayor que las pérdidas de los usuarios de vehículos privados en Sao Paulo y Ciudad de México respectivamente. Cabe mencionar que en parte, estas diferencias se deben a la intensidad de uso del vehículo privado en las diez ciudades. De acuerdo con las encuestas EOD más recientes (disponibles para Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, Montevideo, Santiago y Sao Paulo), Montevideo es una de las ciudades con mayor porcentaje de viajes en automóvil que tienen origen y destino dentro del área metropolitana (32,2%), sólo por debajo de Santiago (32,5%) y muy por encima de Bogotá (11,3%), Buenos Aires (20,4%) y Ciudad de México (18,8%). Además, Montevideo presenta una mayor proporción de kilómetros recorridos en vehículo particular, equivalente a 32% del total de los modos de transporte. En el caso de San Salvador, por su parte, es interesante señalar que su área metropolitana concentra alrededor del 43% de los vehículos del país, frente al 17% de la población nacional, siendo asimismo destino de numerosos viajes provenientes del exterior del área metropolitana para la realización de tareas de educación, salud, comerciales y laborales (COAMSS-OPAMSS, 2010, 2020).

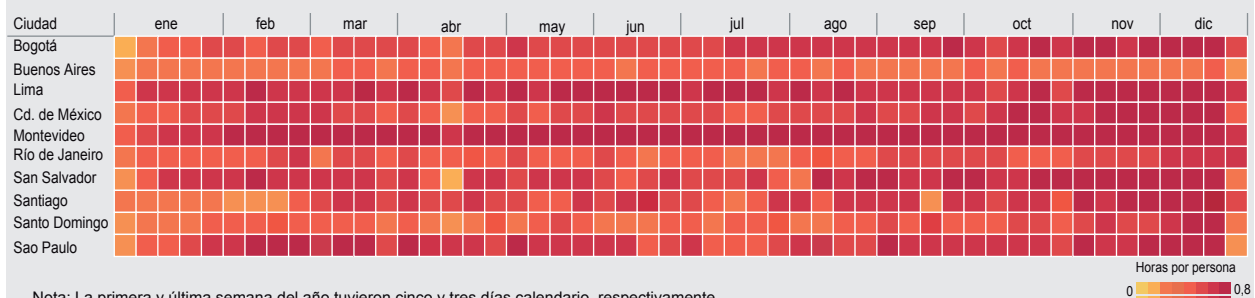
Figura 3.2 Demoras por persona y por usuario de vehículo particular en ciudades seleccionadas (horas, 2019)



Fuente: Cálculos propios con datos de Waze e IRF.

La Figura 3.3 presenta la **demora semanal por persona** para las diez ciudades a lo largo del año. Este gráfico permite identificar en qué meses se intensifica la congestión vial. En general, la congestión en 2019 fue relativamente menos intensa en enero y alcanzó su nivel de tendencia en febrero. Sao Paulo fue la ciudad que mayor peso relativo distribuyó en el primer trimestre, con una cuarta parte del total de las demoras anuales concentradas en este periodo comparado con el 22% del promedio general. Por su parte, en Santiago y Bogotá las demoras por persona se incrementaron significativamente a partir del segundo trimestre, alcanzando su punto crítico en diciembre, mes que reunió el 11% de la congestión total anual para ambas ciudades.

Figura 3.3 Demora semanal por persona en 2019



Nota: La primera y última semana del año tuvieron cinco y tres días calendario, respectivamente.

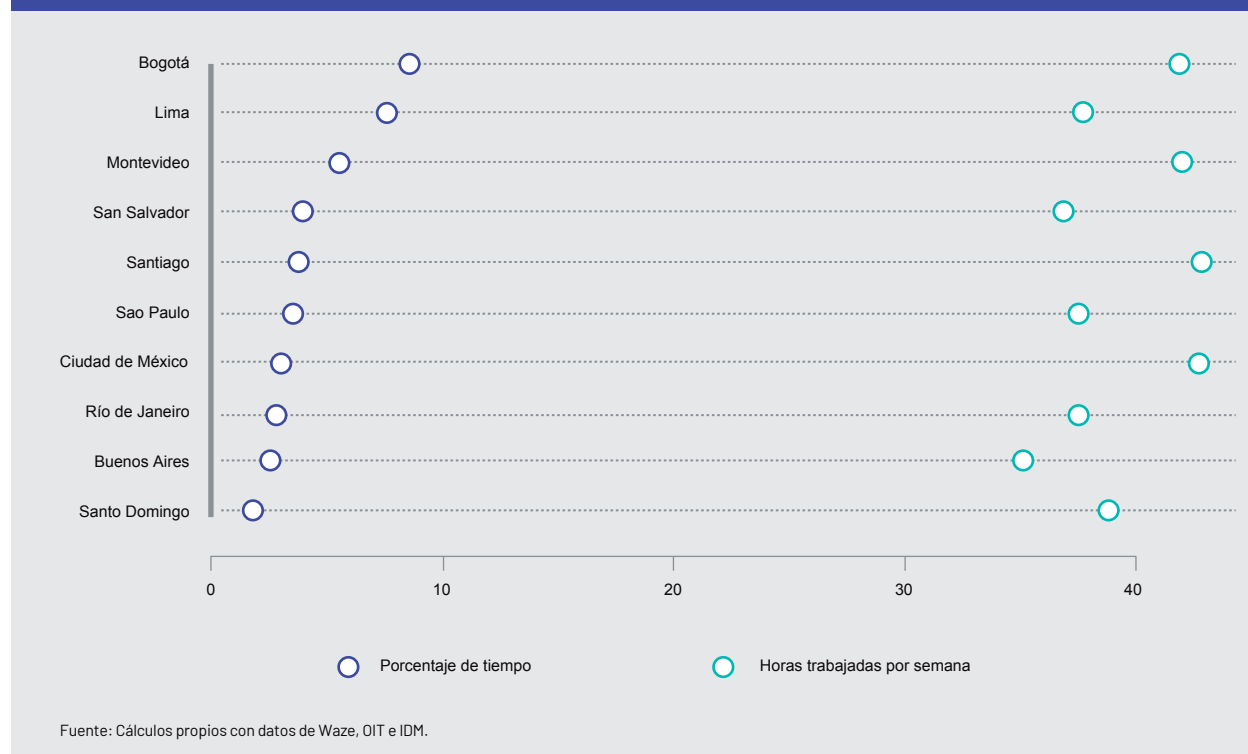
Fuente: Cálculos propios con datos de Waze e IDM.

Si se compara el tiempo perdido en congestión con el número de horas semanales trabajadas por persona, puede obtenerse un interesante dimensionamiento del **peso de la congestión en la vida cotidiana**. Esta cifra puede considerarse como *proxy* de las pérdidas en productividad laboral generadas por la congestión. La Figura 3.4 muestra esta

48 - Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC

relación para el usuario de vehículo privado. En 2019, cada viajero en Bogotá perdió en el tráfico el equivalente al 9% del tiempo trabajado. En segundo lugar se ubicó Lima, donde esta cifra ascendió al 8%. Por su parte, San Salvador, la ciudad con el mayor número de horas trabajadas promedio, se ubicó en la quinta posición con casi el 4% de horas perdidas. Cabe recalcar que, a pesar de las grandes diferencias de horas promedio trabajadas y las dinámicas de congestión por viajero evidenciadas entre las cuatro ciudades de mayor tamaño en el ranking —Sao Paulo, Ciudad de México, Buenos Aires y Río de Janeiro—, todas estas ciudades se encuentran entre las que menos tiempo perdieron relativo a las horas trabajadas promedio, ubicándose en un rango del 2,5% al 3,5%. La ciudad con la menor proporción fue Santo Domingo, donde la pérdida fue equivalente al 2% de las horas semanales trabajadas.

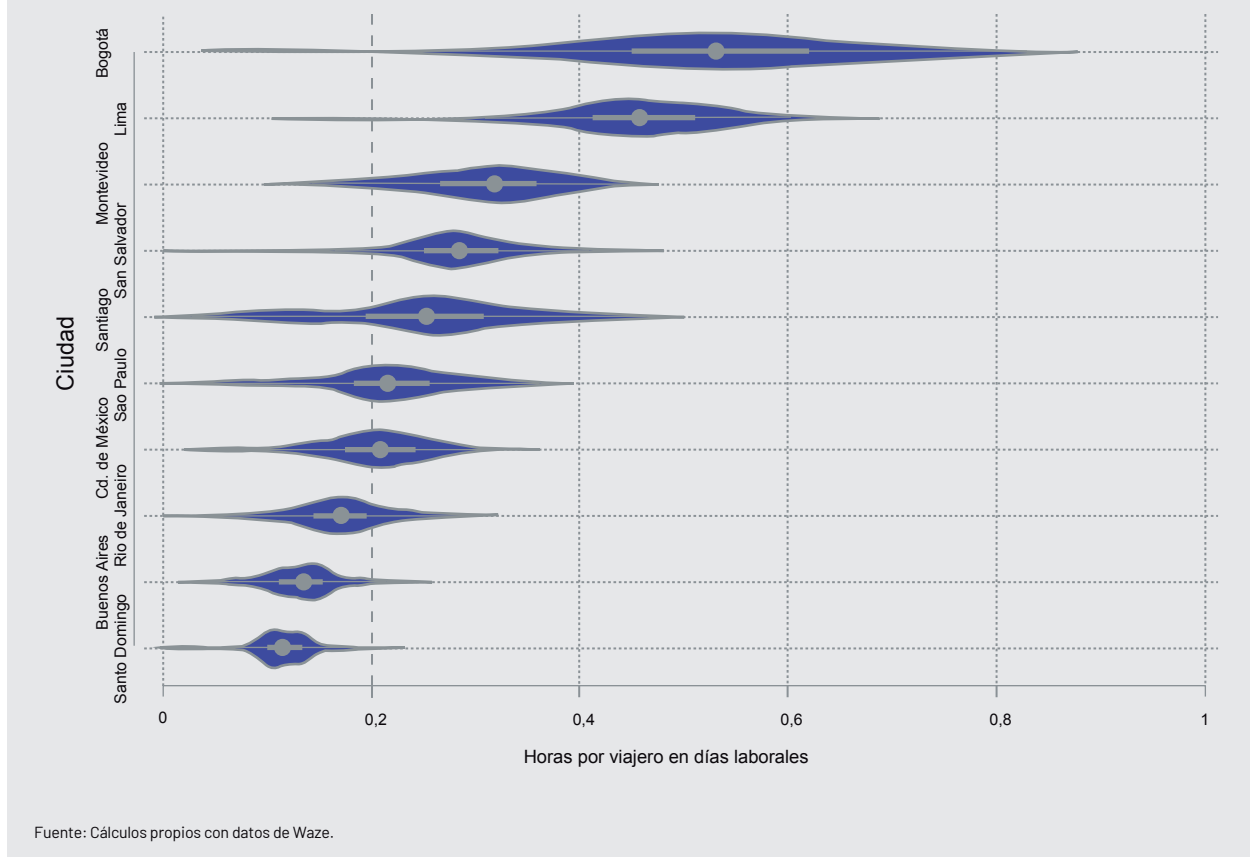
Figura 3.4 Horas semanales trabajadas por persona vs. demoras por usuario de vehículo particular en ciudades seleccionadas (2019)



¿Cuán variable es la congestión en las ciudades analizadas? En la Figura 3.5 incluimos la distribución de las horas perdidas en congestión por usuario de vehículo particular para los días laborales (lunes a viernes). Las ciudades están ordenadas de mayor a menor según el número de horas perdidas. La línea punteada representa la mediana global de las diez ciudades y los puntos gris de cada distribución, la mediana de cada ciudad. Sobre esta base, se puede apreciar que la **distribución de la congestión** es bastante volátil. A pesar de que algunas de las ciudades presentan una distribución relativamente normal, en especial Bogotá, Río de Janeiro y Buenos Aires¹⁶, ninguna de las urbes pasa las pruebas estadísticas de distribución normal de acuerdo con la prueba Shapiro-Wilk. Por otro lado, ciudades como Santiago y Santo Domingo presentan un comportamiento más irregular con dos picos marcados en la distribución. De la Figura 3.5 se derivan dos grupos de ciudades, San Salvador, Santiago, Santo Domingo, Sao Paulo y Río de Janeiro como conjunto de alta volatilidad relativa, con un coeficiente de variación superior a 0,4; mientras que México, Lima, Buenos Aires, Bogotá y Montevideo son las urbes con menor coeficiente de variación. El mayor retraso agregado se registró en Bogotá con un pico de 58 minutos perdidos en promedio por viajero el 6 de diciembre.

16. Buenos Aires es la que mayor tendencia tiene hacia una distribución normal, no se puede rechazar la hipótesis nula de normalidad al 5% de acuerdo con el test Shapiro-Wilk

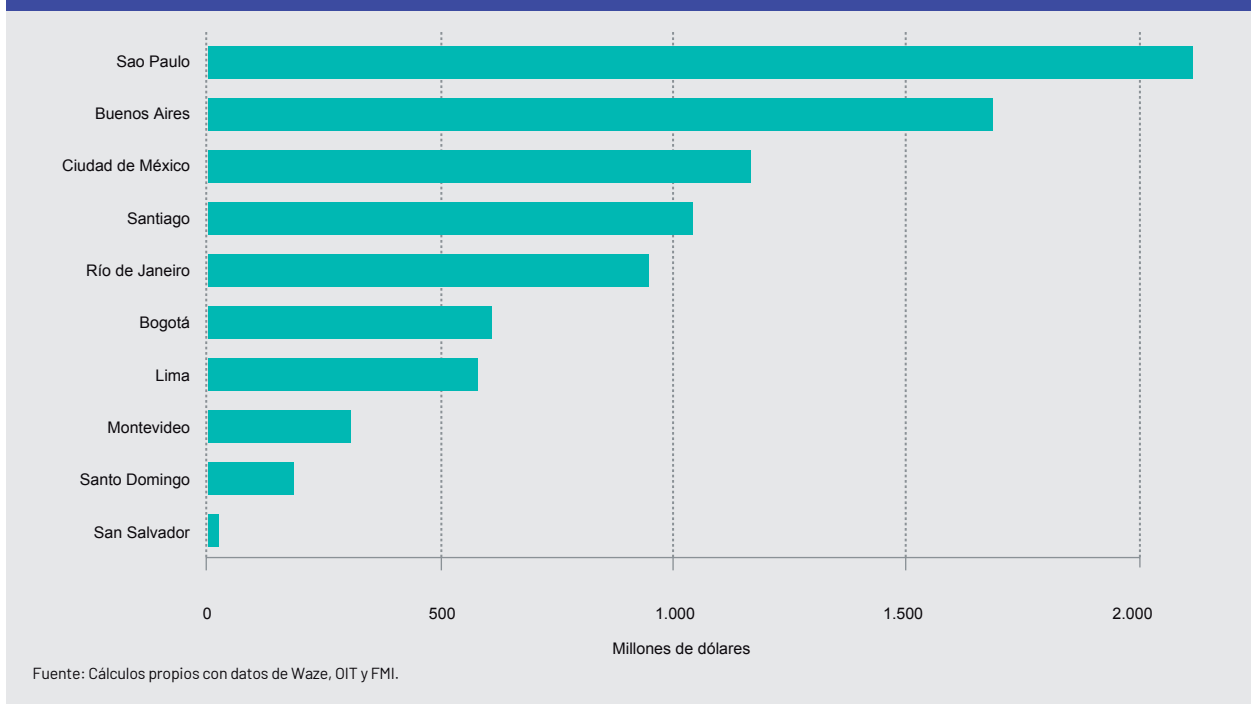
Figura 3.5 Distribución de la demora para usuarios de vehículo particular en días laborales, ciudades seleccionadas (horas, 2019)



3.2. Costo de la congestión en las ciudades de ALC

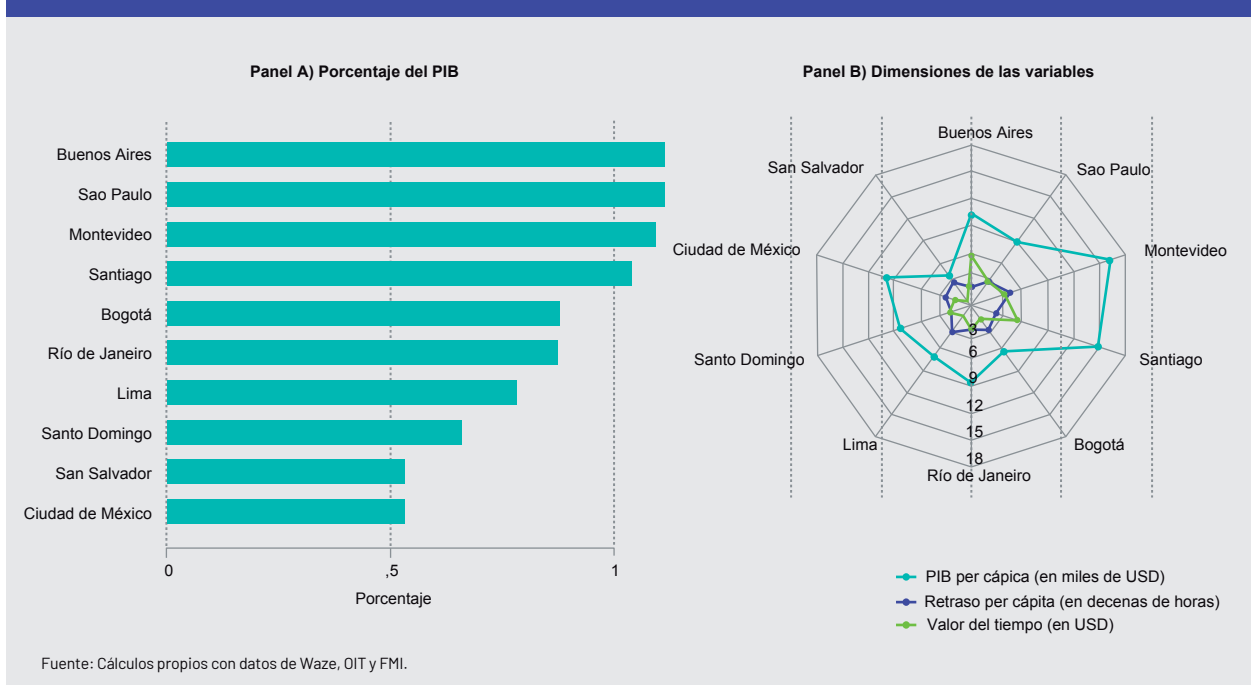
Habiendo estimado la demora generada por la congestión, el siguiente paso fue calcular el costo de la misma. Para ello, utilizamos la metodología contenida en el Capítulo 2, obteniendo resultados para las diez ciudades sujetas de estudio. En la Figura 3.6 mostramos los **costos totales de la congestión** para dichas ciudades. La diferencia en el posicionamiento de las ciudades respecto a la Figura 3.1 se debe, en su mayoría, a la magnitud del valor del tiempo en cada una. Así, si bien en Ciudad de México se perdieron 647 millones de horas en 2019, frente a los 305 millones de Buenos Aires, el valor de cada hora perdida en Buenos Aires es mayor. En consecuencia, mientras que la demora costó US\$ 1.168 millones a Ciudad de México, el costo para Buenos Aires fue 45% mayor, ascendiendo a US\$ 1.691 millones. Lo mismo puede señalarse para Santiago respecto a Bogotá y Río de Janeiro.

Figura 3.6 Costo total de la congestión en ciudades seleccionadas (millones de US\$, 2019)



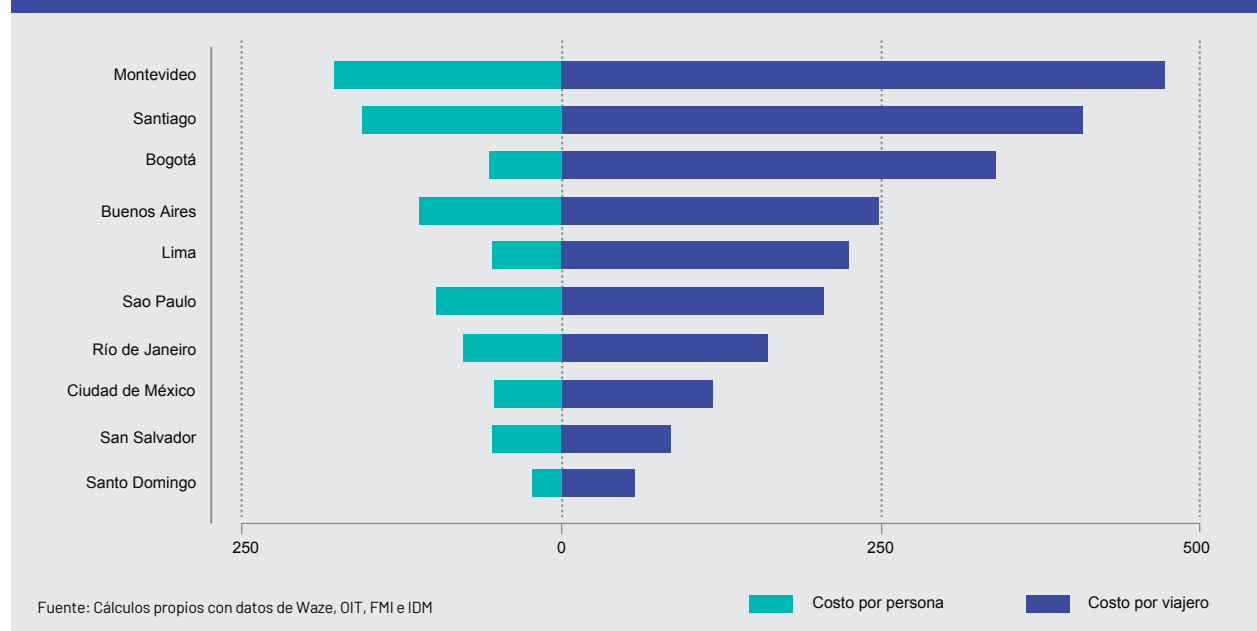
En términos económicos, estas pérdidas representan: 1,1% del PIB de Buenos Aires, Montevideo y Sao Paulo; 1% de Santiago; 0,9% de Bogotá y Río de Janeiro; 0,8% de Lima; 0,7% de Santo Domingo; y 0,5% de San Salvador y México. Para tener una proporción de lo que implican estas pérdidas, a modo de ejemplo, a Buenos Aires y la Ciudad de México la congestión les cuesta 2 y 2,3 veces lo que el gobierno local invierte en educación. La inversión de Sao Paulo en salud equivale a lo que le cuesta la congestión. Del mismo modo, la inversión de Bogotá en atención a la población vulnerable equivale a dos tercios de lo que la ciudad pierde en congestión.

Figura 3.7 Costo total de la congestión en ciudades seleccionadas



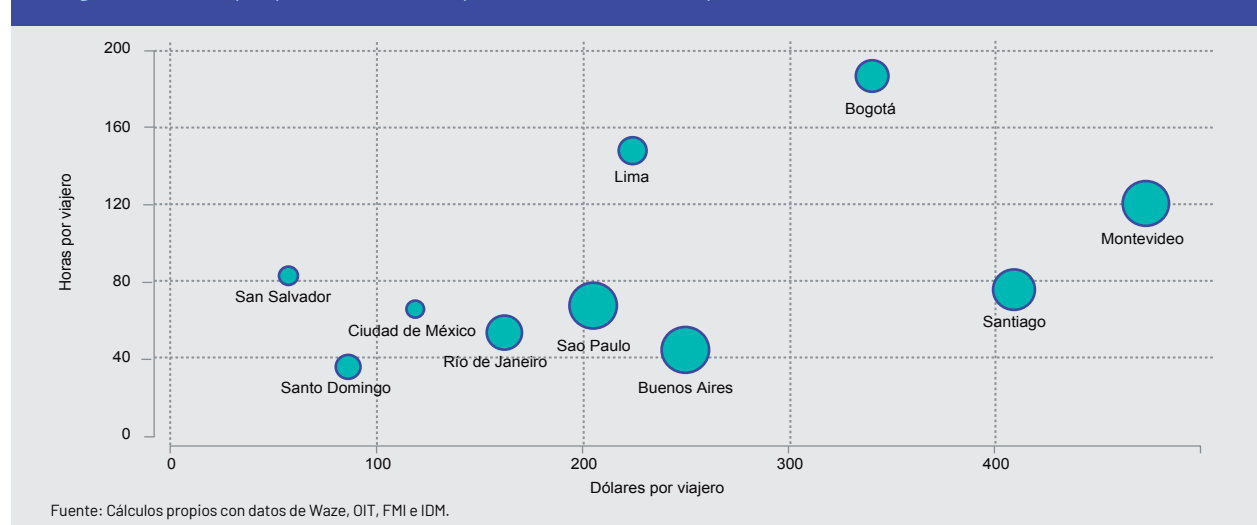
A nivel individual, el costo anual de la **congestión por persona** en 2019 fue mayor en las ciudades de Montevideo (US\$ 177), Santiago (US\$ 156) y Buenos Aires (US\$ 112) (Figura 3.8). Si se considera el costo por usuario de vehículo particular, las mayores pérdidas se dieron en Montevideo (US\$ 474), Santiago (US\$ 409) y Bogotá (US\$ 341). Nuevamente, la diferencia en el valor del tiempo explica los menores costos para ciudades como San Salvador y Ciudad de México, y el ascenso al primer escalafón para Montevideo y Santiago, respecto a los datos presentados en la Figura 3.8.

Figura 3.8 Costo por persona vs. Costo por usuario de vehículo particular en ciudades seleccionadas (US\$, 2019)



La Figura 3.9 compara el **costo y magnitud de la congestión por viajero**. El tamaño de la circunferencia indica el peso del costo agregado de la congestión sobre el PIB de la ciudad. El gráfico muestra que, si bien Bogotá y Lima registran mayor retraso por viajero que Santiago y Montevideo, estas últimas ciudades las superan en lo relativo al costo de la congestión. Por su parte, puede evidenciarse que, si bien Sao Paulo y Ciudad de México tienen un comportamiento muy similar de las dinámicas del retraso agregado, difieren significativamente en lo que respecta al costo por viajero y al peso de la congestión en la economía.

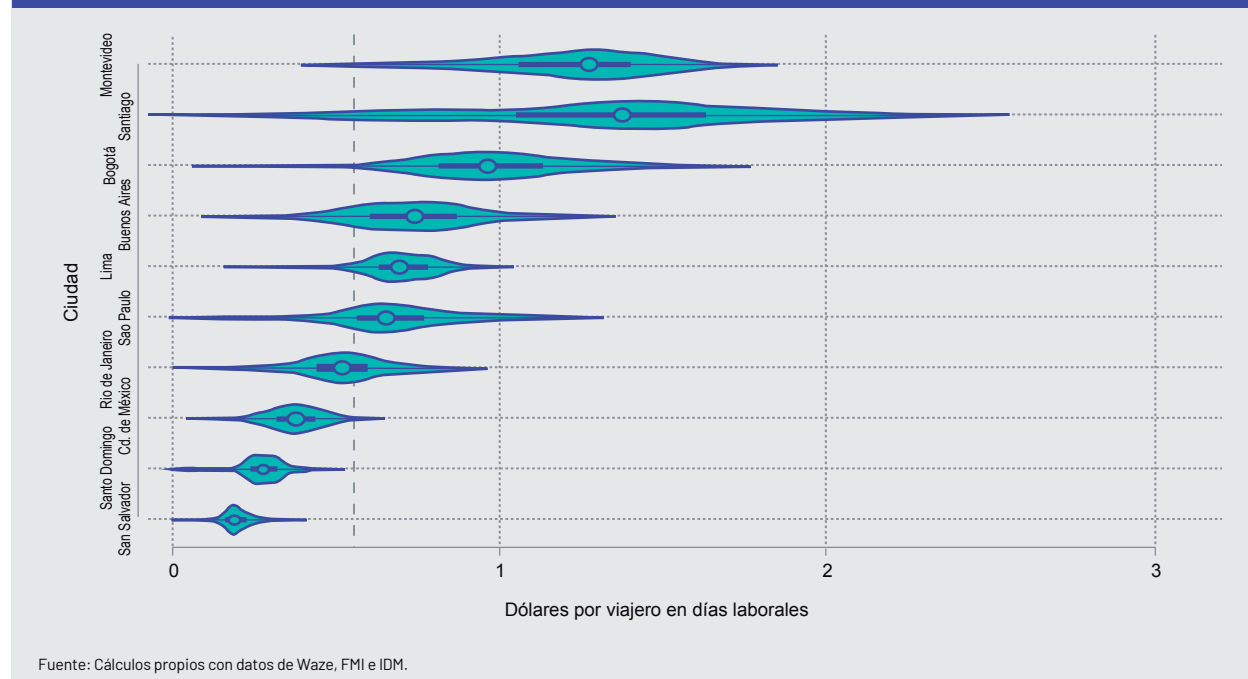
Figura 3.9 Costo por persona vs. costo por usuario de vehículo particular en ciudades seleccionadas (US\$, 2019)



52 - Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC

¿Cuánto cuesta la congestión al día? En la Figura 3.10 se muestra que Montevideo y Santiago son las ciudades que presentan las cifras más desalentadoras: en un **día laboral**, los conductores pierden en congestión US\$ 1,2 y US\$ 1,3, respectivamente. Esta cifra es preocupante si se considera que el salario mediano¹⁷ por día es de US\$ 31 y US\$ 25 respectivamente, lo que representa el 4% y 5% del ingreso laboral mediano para cada ciudad. Entre todas las urbes analizadas, Santiago de Chile tuvo el registro del máximo costo de la congestión en 2019 en un día, alcanzando una pérdida de más de 3 dólares por conductor. Esto se registró el día 18 de octubre, fecha en que ocurrieron diferentes cierres viales y de transporte público por manifestaciones en la ciudad. Santiago y San Salvador son las ciudades que poseen la mayor volatilidad relativa entre las ciudades analizadas, mientras que Montevideo y Lima son las ciudades de menor varianza relativa.

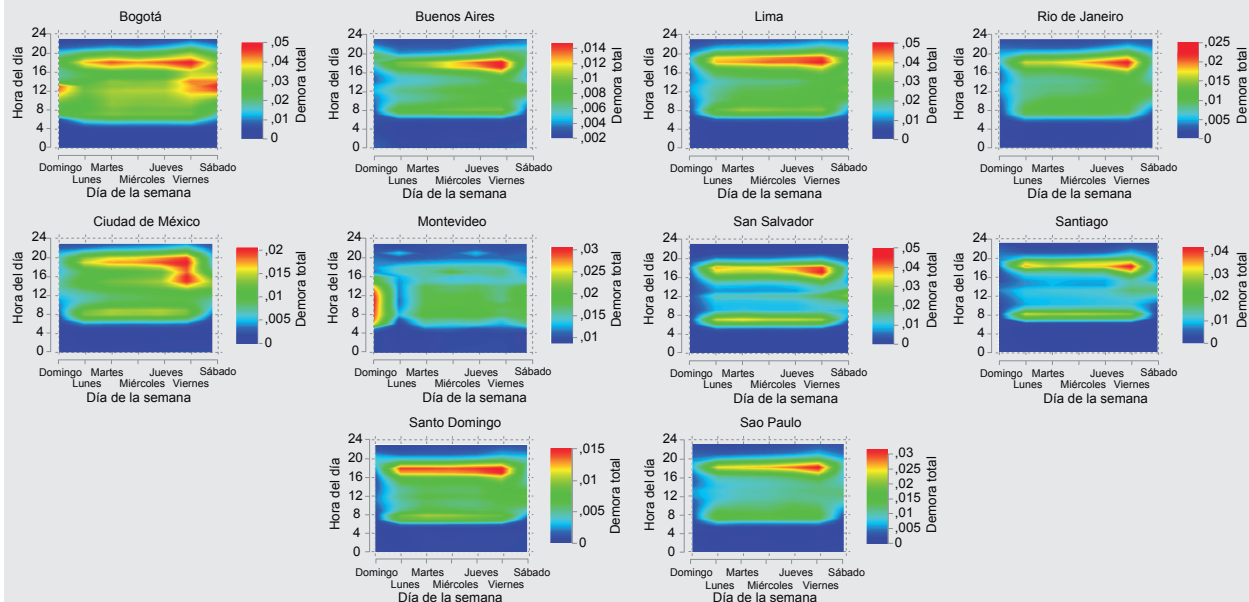
Figura 3.10 Costo de la congestión por usuario de vehículo particular en días laborales, ciudades seleccionadas (US\$, 2019)



Finalmente, la **distribución temporal de la congestión** puede arrojar mayor claridad acerca de cuándo se verifican los momentos de mayores demoras y por tanto, de pérdidas económicas. Esto puede ser de gran utilidad para la elaboración de las políticas públicas de reducción de la congestión. En la Figura 3.11, se evidencia que, en la mayoría de las ciudades, la congestión suele agravarse en el pico de la tarde, especialmente hacia final de la semana laboral (jueves y viernes). Algunas ciudades poseen otros picos hacia la hora del mediodía (Bogotá, México y Montevideo). La congestión del pico de la mañana suele ser menos grave que la del pico de la tarde.

17. El salario mediano se ha calculado como el ingreso laboral mediano de las personas empleadas -según la definición de la OIT- con datos provenientes del INE-Uruguay e INE-Chile.

Figura 3.11 Distribución horaria de la congestión en ciudades seleccionadas (horas, 2019)



Fuente: Cálculos propios con datos de Waze.

3.3. Análisis por ciudad

A continuación, se presenta un análisis detallado de la congestión y sus costos para cada una de las diez ciudades seleccionadas. En el análisis, identificamos los **patrones espaciales y temporales de la congestión** como insumo para la toma de decisiones de política pública. En efecto, conocer estos patrones permite, entre otros: (i) establecer áreas/momentos críticos que requieren de la acción del sector público para mejorar la movilidad urbana; (ii) realizar comparaciones geográficas y temporales dentro del área urbana y con otras ciudades; y (iii) monitorear tendencias y evaluar impactos de las medidas tomadas para mitigar la congestión.

Bogotá

En 2019, Bogotá registró una demora agregada de 335 millones de horas, ubicándose como la cuarta ciudad con mayor demora entre las diez ciudades de ALC analizadas. Cada habitante de la capital colombiana perdió 31 horas en el tráfico (posición 5/10); sin embargo, si se considera la demora por usuario de vehículo particular, la demora ascendió a 186 horas (posición 1/10).

En el mismo año, el costo total de la congestión en Bogotá superó los US\$ 600 millones, lo que se traduce en casi US\$ 2 millones diarios. Esta cifra es de altísima relevancia, puesto que representa cerca del 1% del PIB de la ciudad y es similar a lo que el gobierno local invierte en salud. Relativo al número de viajeros, cada conductor bogotano pierde más de 340 dólares al año por causa de la congestión (9% del ingreso laboral mediano anual), lo que la posiciona como la tercera ciudad donde la congestión cuesta más.

54 - Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC

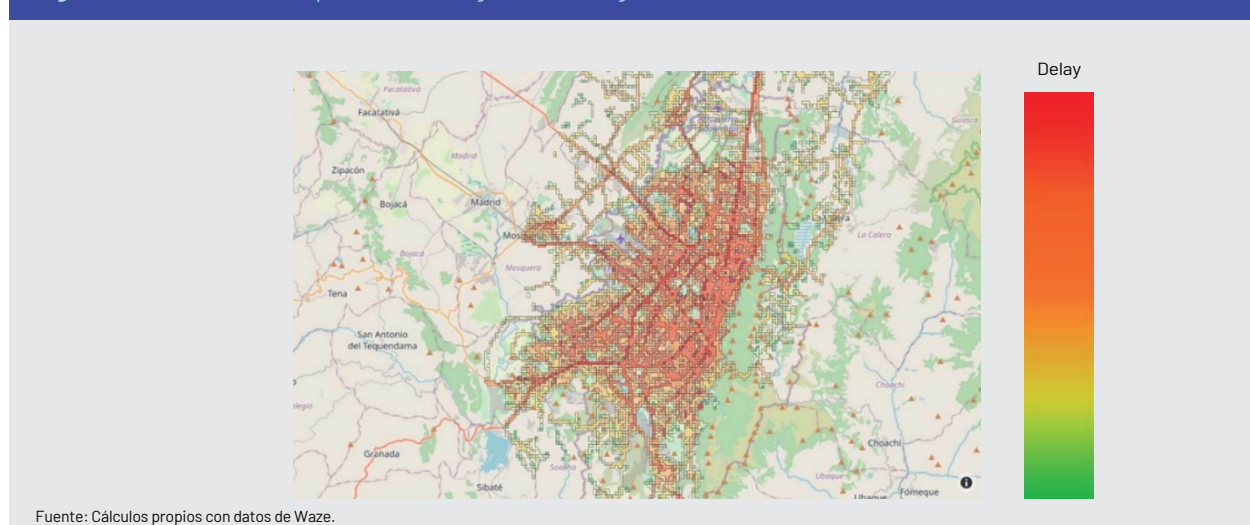
Tabla 3.2 Resultados generales para Bogotá

Indicador	Valor (para 2019)
Congestión total	335 Millones de horas
Congestión por persona	31 Horas
Congestión por viajero	186 Horas
Congestión diaria	0,9 Millones de horas
Costo de la congestión total	612 Millones de US\$
Costo de la congestión por persona	57 US\$
Costo de la congestión por viajero	340 US\$
Costo de la congestión diaria	1,7 Millones de US\$
Costo de la congestión relativo al PIB	0,88%

Fuente: Cálculos propios con datos de Waze, OIT, FMI e IDM.

Con relación a los patrones espaciales de la congestión en Bogotá, se observa un mayor número de áreas congestionadas en los sectores centro-oriental y norte de la ciudad. Ahora bien, cuando se la compara con otras ciudades de ALC, se evidencia que la congestión se encuentra mucho menos concentrada geográficamente que en ciudades como Buenos Aires y Lima, por ejemplo. Esto puede tener implicaciones relevantes para la implementación de políticas públicas tales como cordones de cobro por congestión, los cuales suelen aplicarse en ciudades donde la congestión se encuentra concentrada en un determinado espacio geográfico. Las vías más congestionadas de Bogotá son la Autopista Norte, la Calle 80, la Autopista Sur – NQS y la Avenida El Dorado.

Figura 3.12 Distribución espacial de la congestión en Bogotá (2019)

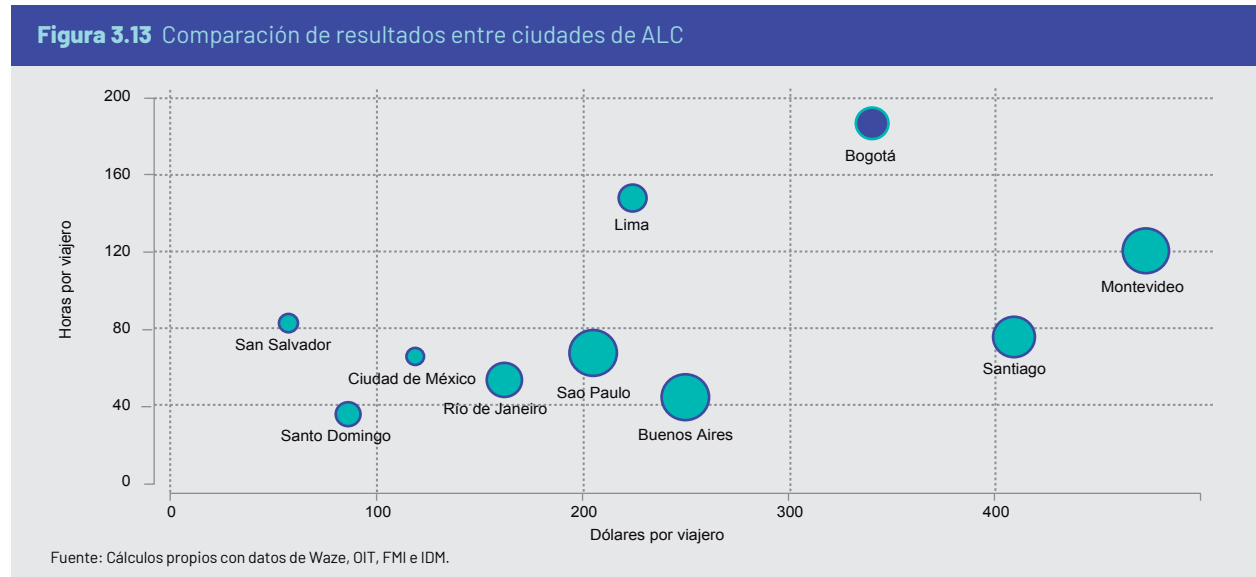


La Figura 3.13 muestra una comparación en 3 dimensiones: la demora por viajero en el eje de las abscisas, el costo por viajero en el eje de las ordenadas y el costo relativo al magnitud de la economía en el tamaño relativo de la circunferencia. En esta gráfica, se puede apreciar que Bogotá registra valores promedio respecto a las demás ciudades

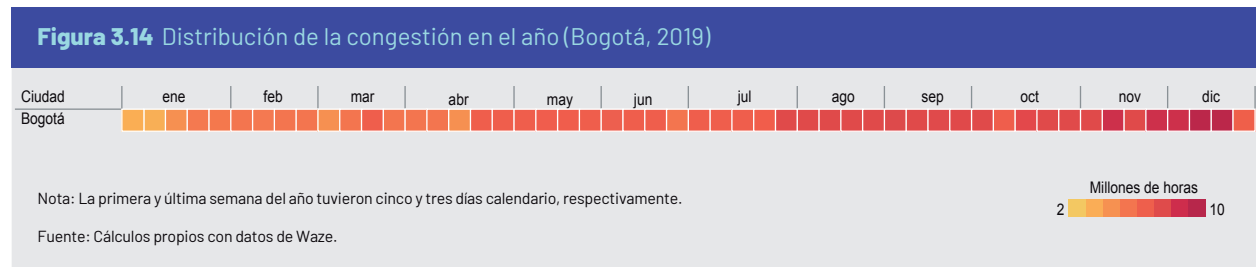
Congestión urbana en América Latina y el Caribe:

características, costos y mitigación

consideradas. Es la tercera ciudad en lo referente al costo monetario por viajero y la que acumula la mayor demora. Por su parte, Bogotá presenta el quinto mayor costo de la congestión relativa a su economía.

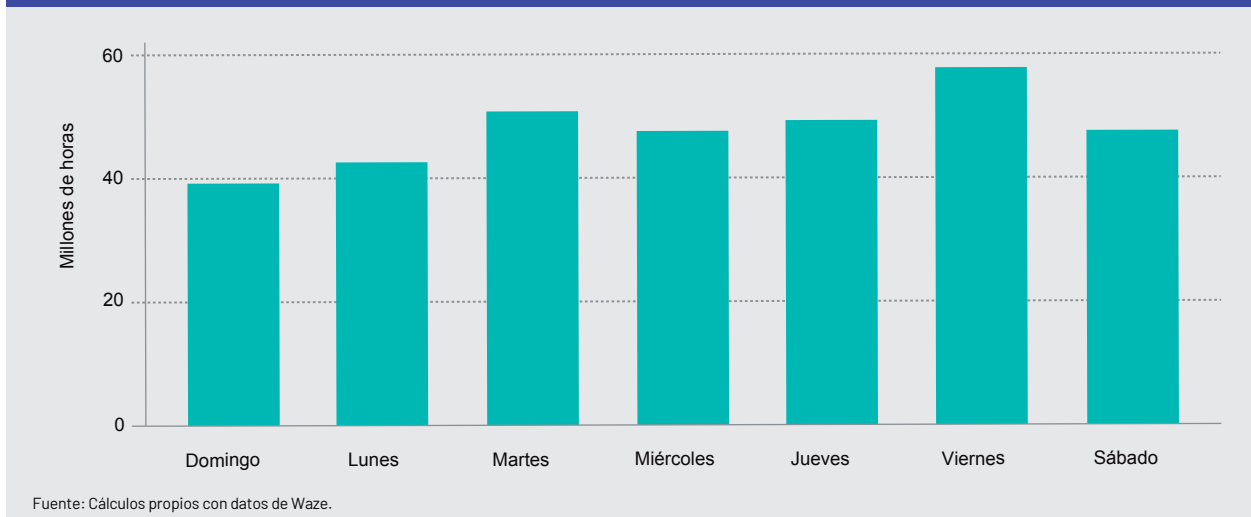


En cuanto a la distribución temporal de la congestión, la Figura 3.14 evidencia una clara tendencia al alza a lo largo del año, con un pico de 9,7 millones de horas perdidas en la segunda semana de diciembre, lo que representa casi un 3% de la demora total. Estas magnitudes fueron determinadas, en parte, por las manifestaciones públicas evidenciadas durante los últimos dos meses de 2019, intensificadas en esta semana. Por otro lado, los niveles de congestión en enero y febrero fueron particularmente leves. Estos dos meses agregaron cerca de 40 millones de horas, lo que representa el 12% de la congestión total de 2019.



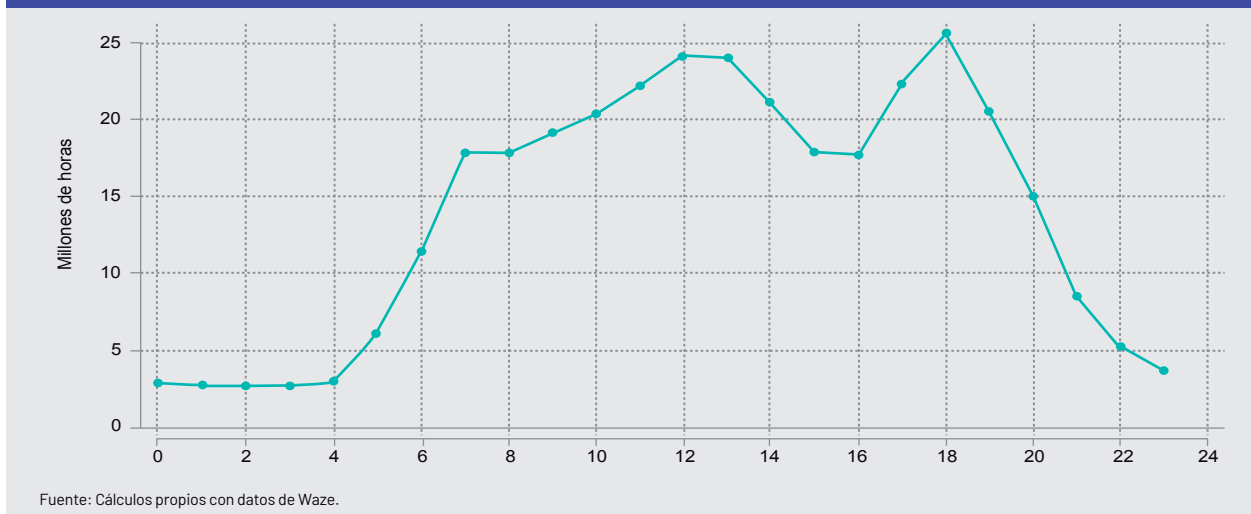
En cuanto a la distribución por día de la semana, las mayores demoras se registraron los martes y viernes (Figura 3.15). Cabe destacar el alto nivel de congestión de los sábados, con valores superiores a los días miércoles. Asimismo, el nivel de los domingos fue un 82% superior a los niveles para el mismo día en el resto de las ciudades.

Figura 3.15 Distribución de la congestión por día de la semana (Bogotá, 2019)



Finalmente, la Figura 3.16 muestra la distribución de la congestión a lo largo del día. Se evidencian dos picos de demoras: entre las 10 hs. y las 14 hs., y entre las 17 hs. y las 19 hs. Al igual que en las demás ciudades analizadas, las mayores demoras se verifican en el pico de la tarde. A diferencia con otras ciudades, el pico de la mañana tiene lugar más tarde, lo que podría atribuirse a las medidas de Pico y Placa presentes en la ciudad.

Figura 3.16 Distribución de la congestión por hora del día (Bogotá, 2019)



Buenos Aires

La capital de Argentina se ubicó como la sexta ciudad con mayor congestión agregada, superando la barrera de los 300 millones de horas en 2019. En términos relativos a su población, esto se tradujo en una pérdida de 20 horas por persona (posición 10/10) y 45 horas por viajero (posición 9/10), obteniendo un mejor desempeño relativo frente a las restantes ciudades.

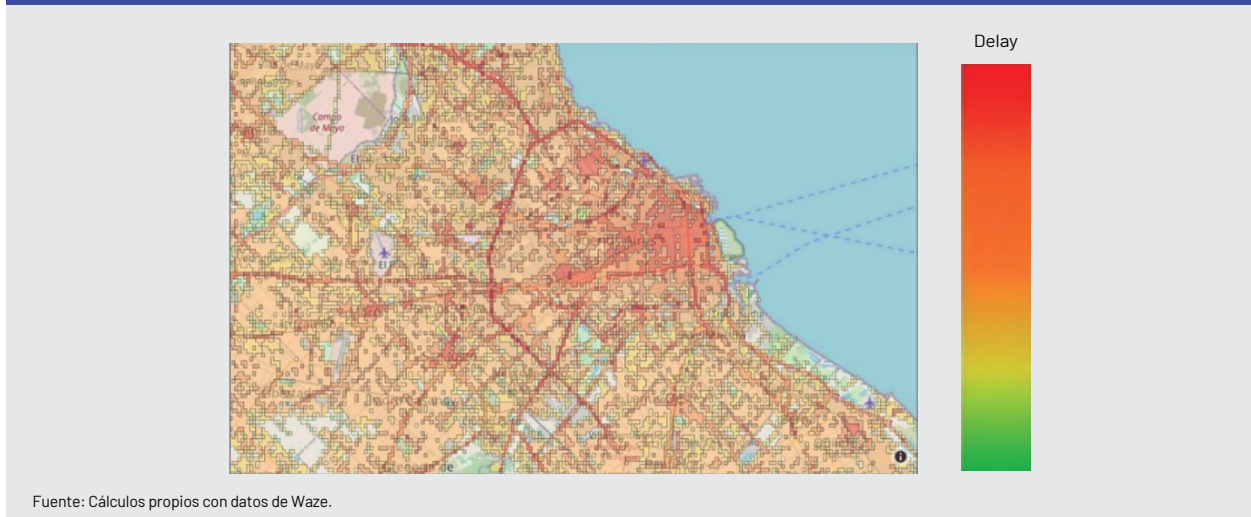
A pesar de ello, los costos de la congestión son considerablemente altos para la ciudad. En total, estos superaron los US\$ 1.690 millones —US\$ 4,6 millones en promedio por día—, posicionando a la capital argentina como la segunda ciudad con mayores costos, superando a la Ciudad de México y solo por debajo de Sao Paulo. Esto a pesar de ser significativamente más pequeña en términos poblacionales. Esta cifra se traduce en 1,1% del PIB de la ciudad, o casi dos veces lo que el gobierno local invierte en educación. A nivel individual, cada usuario de vehículo privado perdió US\$ 250 anuales en congestión (3% del ingreso per cápita).

Tabla 3.3 Resultados generales para Buenos Aires	
Indicador	Valor (para 2019)
Congestión total	305 Millones de horas
Congestión por persona	20 Horas
Congestión por viajero	45 Horas
Congestión diaria	0,8 Millones de horas
Costo de la congestión total	1.691 Millones de US\$
Costo de la congestión por persona	112 US\$
Costo de la congestión por viajero	249 US\$
Costo de la congestión diaria	4,6 Millones de US\$
Costo de la congestión relativo al PIB	1,12%

Fuente: Cálculos propios con datos de Waze, OIT, FMI e IDM.

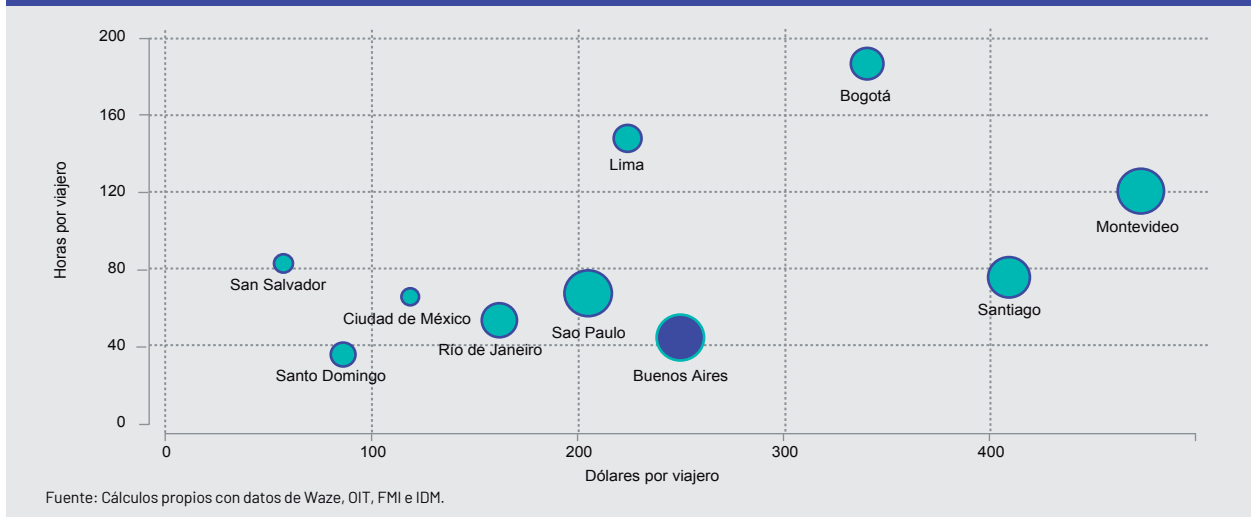
La Figura 3.17 presenta la distribución espacial de la congestión en Buenos Aires. En ésta se puede evidenciar la alta concentración de la congestión en el microcentro y el área aledaña al puerto. La Avenida General Paz, límite entre CABA y el resto del Área Metropolitana, es la avenida que concentra la mayor congestión, seguida por las autopistas que facilitan la movilidad entre el microcentro y la provincia de Buenos Aires (Autopista Panamericana, Autopista General Pablo Riccheri y la Autopista Dr. Ricardo Balbín).

Figura 3.17 Distribución espacial de la congestión en Bogotá (2019)



De acuerdo con la Figura 3.18, Buenos Aires fue la ciudad con los mayores costos por congestión relativos a su PIB —aunque bastante cerca de Sao Paulo y Montevideo— y la cuarta con el mayor costo por viajero. Ahora bien, cabe resaltar que estos resultados están influenciados por el alto valor del tiempo en esta ciudad pues, en lo referente a la demora por viajero, se ubicó recién en la novena posición (sobre 10), con 45 horas de demora.

Figura 3.18 Comparación de resultados entre ciudades de ALC



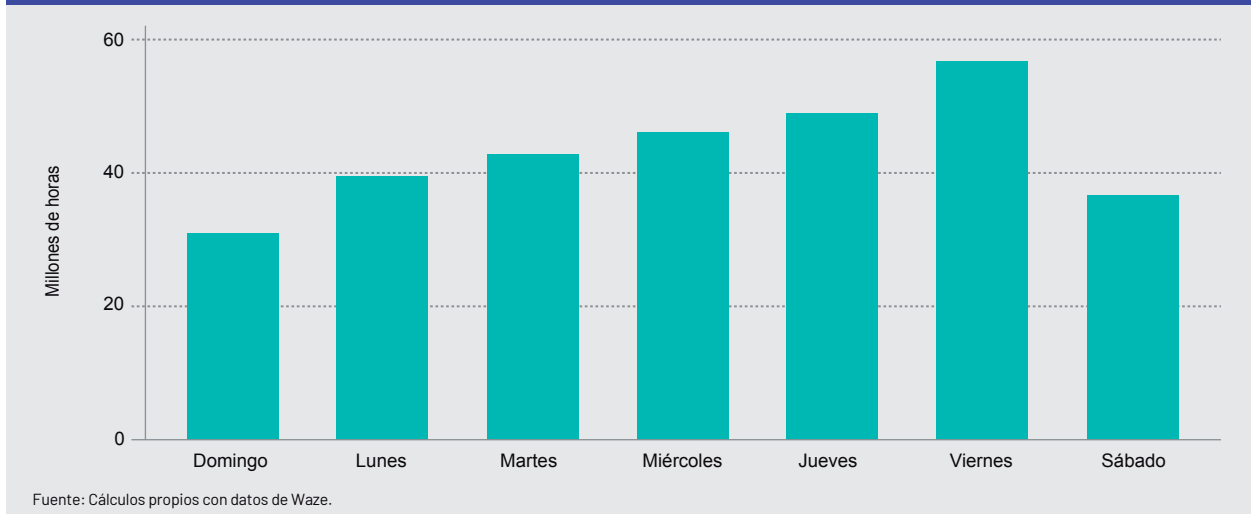
En cuanto al comportamiento temporal de la congestión, la Figura 3.19 evidencia que esta fue relativamente baja en los primeros meses del año, para posteriormente crecer hasta mediados de año, donde se alcanzaron las cifras más altas de congestión urbana. A partir de este momento decreció levemente, retomando los niveles de congestión que se tenían a principios de año. Es así que, el segundo y tercer trimestre registraron cada uno el 27% de la congestión de la capital argentina, en contraste con el 23% y 24% estimado para el primer y cuarto trimestre, respectivamente.

Figura 3.19 Distribución por mes del año (2019)



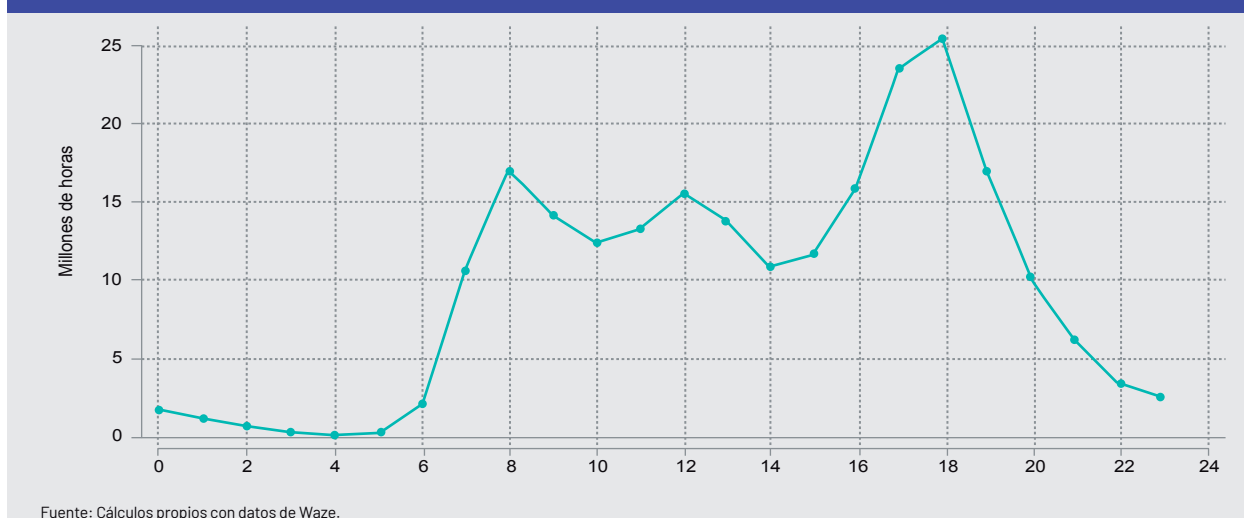
Respecto a la distribución semanal de la congestión, esta crece entre lunes y viernes, para alcanzar las mayores demoras este último día. En promedio, los días laborales presentaron un 39% más de retraso que los fines de semana. Por su parte, los domingos fueron los días que presentaron la menor demora agregada.

Figura 3.20 Distribución por día de la semana (Buenos Aires, 2019)



A nivel diario, la congestión en Buenos Aires suele acrecentarse entre las 16 hs. y las 19 hs. En efecto, este período concentra 28% de la congestión total de la ciudad, registrando demoras por más de 86 millones de horas a lo largo del 2019. Esta cifra es superior a la demora total calculada para todo Montevideo. Otros dos picos tienen lugar a las 8 hs. y 12 hs., aunque sus niveles son sensiblemente menores que los del pico de la tarde.

Figura 3.21 Distribución de la congestión por hora del día (Buenos Aires, 2019)



Lima

La capital peruana se ubicó como la tercera ciudad de mayor congestión agregada, con una pérdida total de 384 millones de horas para 2019. Lima registró la segunda mayor demora por persona (36 horas) y la segunda mayor demora por usuario de vehículo privado (148 horas), siendo superado solo por Montevideo en el primer indicador y Bogotá en el segundo. En 2019, el costo de la congestión alcanzó los US\$ 582 millones, ascendiendo a casi US\$ 1,6 millón diarios. La pérdida por viajero en la capital peruana fue de US\$ 224 (posición 5/10), lo que representa el 5% del ingreso laboral mediano de los habitantes de la ciudad.

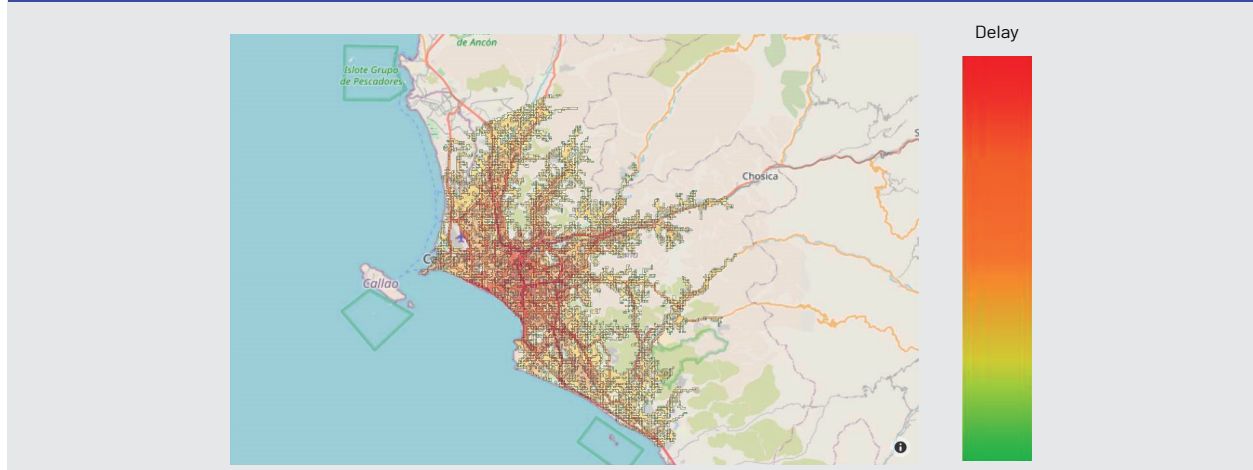
Tabla 3.4 Resultados generales para Lima

Indicador	Valor (para 2019)
Congestión total	384 Millones de horas
Congestión por persona	36 Horas
Congestión por viajero	148 Horas
Congestión diaria	1,1 Millones de horas
Costo de la congestión total	582 Millones de US\$
Costo de la congestión por persona	55 US\$
Costo de la congestión por viajero	224 US\$
Costo de la congestión diaria	1,6 Millones de US\$
Costo de la congestión relativo al PIB	0,79%

Fuente: Cálculos propios con datos de Waze, OIT, FMI e IDM.

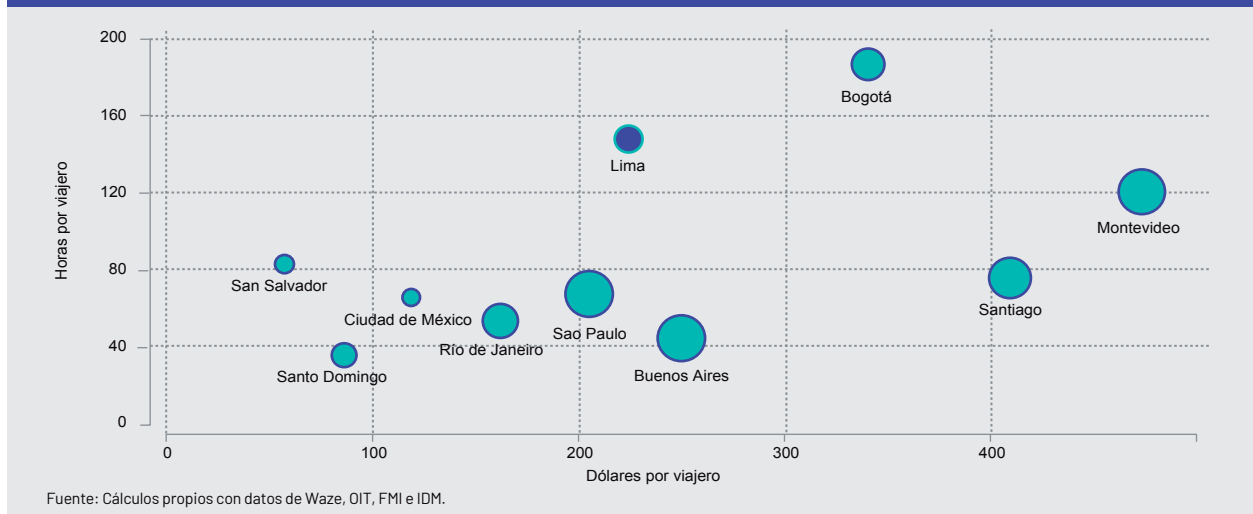
La congestión en Lima se encuentra bastante extendida espacialmente. La Figura 3.22 permite identificar al menos 3 centros con mayor nivel de congestión: (1) el mercado de Lima, centro de la ciudad, donde se encuentra la Plaza de Armas y el punto neurálgico de las actividades económicas; (2) el malecón en el centro-occidente de la ciudad; y (3) Miraflores y La Victoria, distritos que son habitados por la población de mayores ingresos de la ciudad y donde tiende a haber una mayor tasa de motorización. El Paseo de la República es la avenida que presenta la mayor congestión agregada.

Figura 3.22 Distribución espacial de la congestión (Lima, 2019)



De acuerdo con la Figura 3.23, Lima fue la segunda ciudad con mayor demora por viajero; no obstante, el costo por viajero en la ciudad fue de apenas US\$ 224 dólares al año, lo que la posicionó como la quinta en el escalafón. Debido a su bajo valor del tiempo, sumado a su relativamente baja tasa de motorización, la capital peruana se ubicó en el puesto 7/10 en materia de costo de la congestión relativo a su PIB (0,8%). Esto, a pesar de tener el tercer mayor nivel de congestión total, superando a ciudades de mayor tamaño poblacional como Río de Janeiro y Buenos Aires.

Figura 3.23 Comparación de resultados entre ciudades de ALC



Respecto a la dinámica anual de la congestión, los menores niveles se presentaron a principios de año y en octubre (Figura 3.24). Noviembre y diciembre registraron los mayores volúmenes de demora agregada, con más de 70 millones de horas perdidas en estos meses (casi el 20% del total). Solamente la penúltima semana del año acumuló más de 10 millones de horas de retraso.

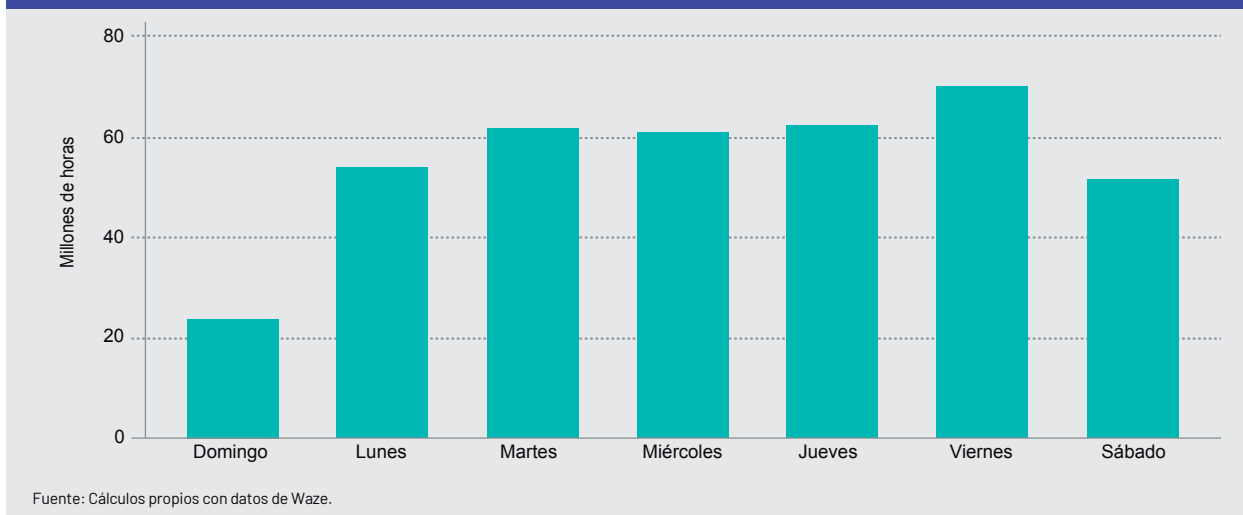
62 - Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC

Figura 3.24 Distribución de la congestión por mes del año (2019)



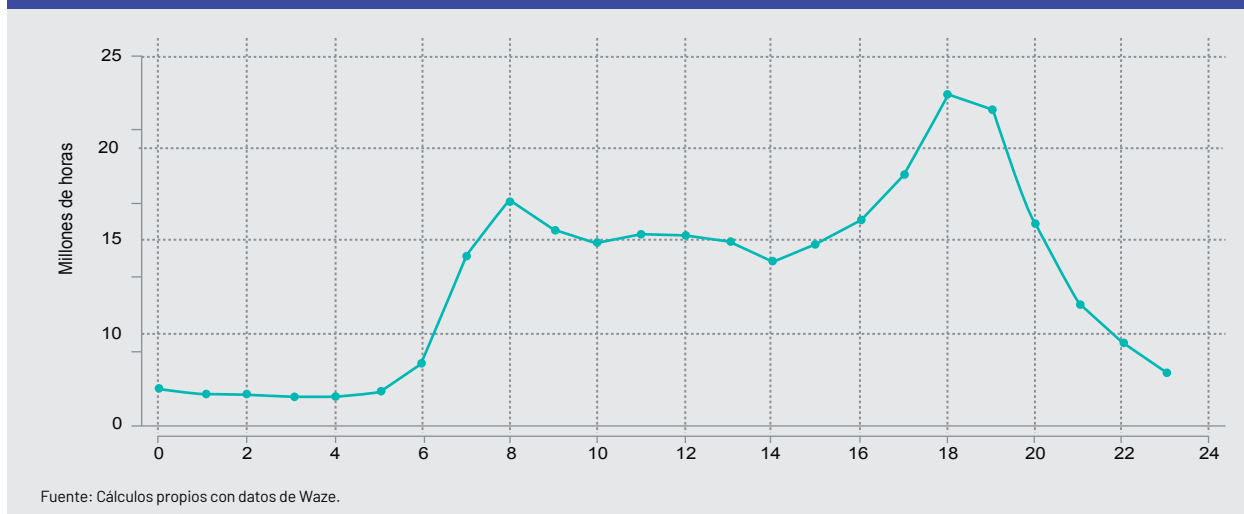
La distribución semanal de la congestión se encuentra dentro de los parámetros esperados con el mayor pico en el viernes, una tendencia creciente entre lunes y viernes y una marcada disminución durante los fines de semana. En promedio, un día de semana acumula un 65% más de congestión que un día de fin de semana.

Figura 3.25 Distribución de la congestión por día de la semana (Lima, 2019)



La Figura 3. 26 muestra la distribución de la congestión a lo largo del día. Lima presenta los tres picos de congestión bien marcados en mañana, mediodía y tarde, siendo este último —entre las 16 hs. y las 19 hs.— el más pronunciado, concentrando casi la tercera parte de la congestión total. La congestión es tan pronunciada en el pico de la tarde que, a pesar de que 14 de las 24 horas tienen más congestión que el promedio horario, las 18 hs. y 19 hs. son las que más doblan dicho promedio.

Figura 3.26 Distribución de la congestión por hora del día (Lima, 2019)



Ciudad de México

En 2019, la Ciudad de México fue la segunda urbe con el mayor nivel de congestión. Junto con Sao Paulo, son las únicas ciudades que superaron la barrera de los 500 millones de horas perdidas en congestión. La congestión agregada rebasó en casi un 70% a Lima, la ciudad que le sigue en el *ranking*, marcando una gran brecha entre las dos mayores ciudades y el resto. Sin embargo, al analizar las demoras por persona (30 horas) y por viajero (66 horas), Ciudad de México se posiciona relativamente mejor: sexto y séptimo lugar, respectivamente.

México registró el tercer mayor valor de la congestión, siendo una de las cuatro ciudades que superó los US\$ 1.000 millones. Esto quiere decir que cada día, en promedio, la ciudad perdió más de US\$ 3,2 millones por causa de esta problemática. Esta cifra es más del doble de lo que el gobierno local invierte en educación. El costo por viajero ascendió a casi el 3% del ingreso laboral mediano de la ciudad, sumando US\$ 119 a lo largo de 2019.

Tabla 3.5 Resultados generales para Ciudad de México

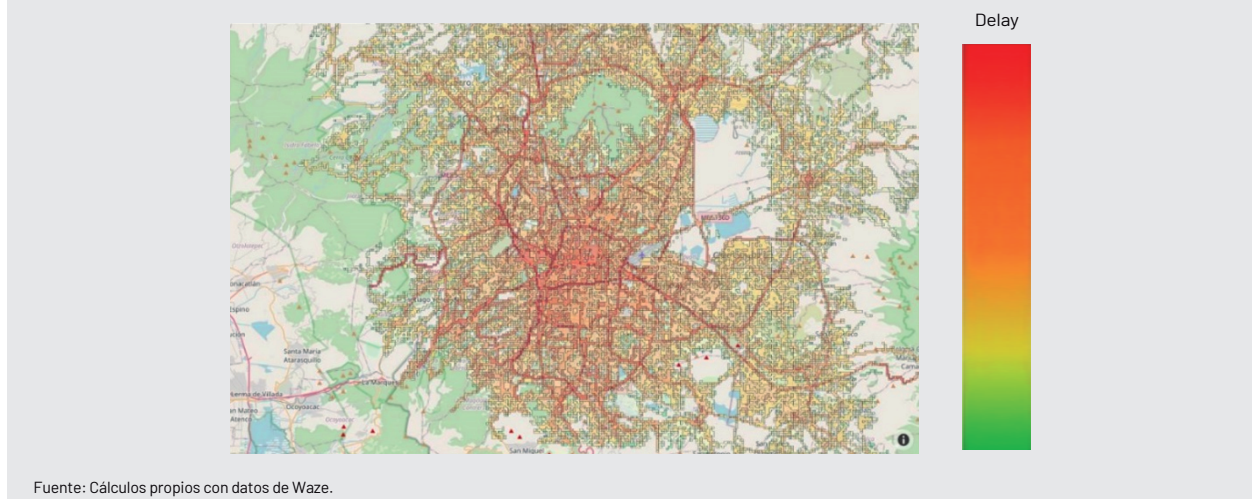
Indicador	Valor (para 2019)
Congestión total	647 Millones de horas
Congestión por persona	30 Horas
Congestión por viajero	66 Horas
Congestión diaria	1,8 Millones de horas
Costo de la congestión total	1.168 Millones de US\$
Costo de la congestión por persona	54 US\$
Costo de la congestión por viajero	119 US\$
Costo de la congestión diaria	3,2 Millones de US\$
Costo de la congestión relativo al PIB	0,55%

Fuente: Cálculos propios con datos de Waze, OIT, FMI e IDM.

64 - Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC

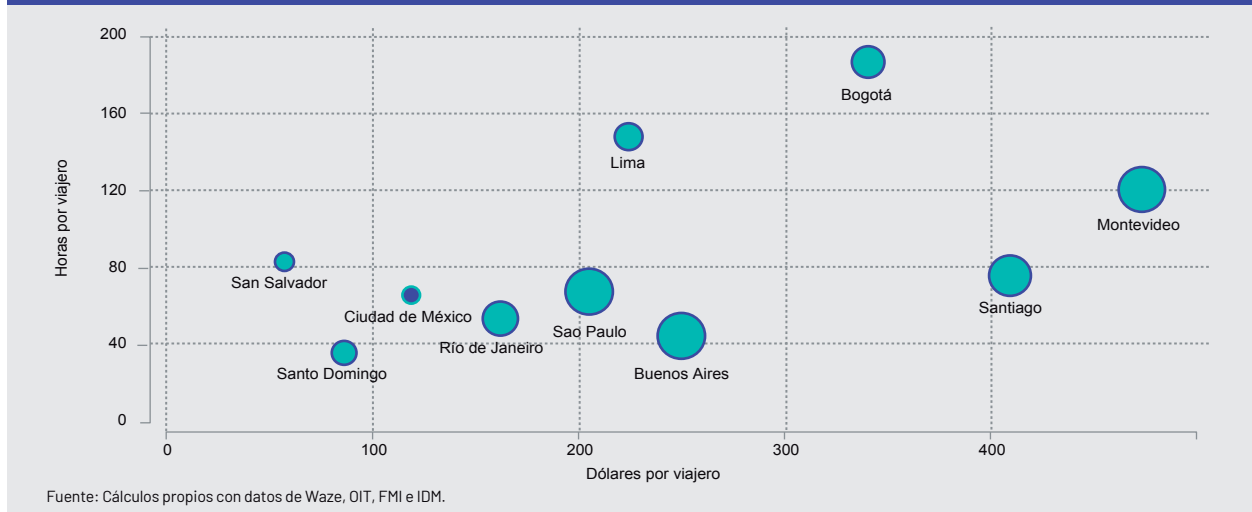
En la Figura 3.27 puede observarse que el eje central de la dinámica de congestión en Ciudad de México está conformado por las áreas de La Condesa, Zócalo, Chapultepec y el centro financiero. Allí se remarca la relevancia que tiene el Circuito Interior, la Vialidad Río de la Piedad y la Avenida Río Churubusco. Ahora bien, las mayores demoras se presentan en las principales avenidas y autopistas periféricas, que movilizan tráfico desde y hacia el centro de la Ciudad de México.

Figura 3.27 Distribución espacial de la congestión (Ciudad de México, 2019)

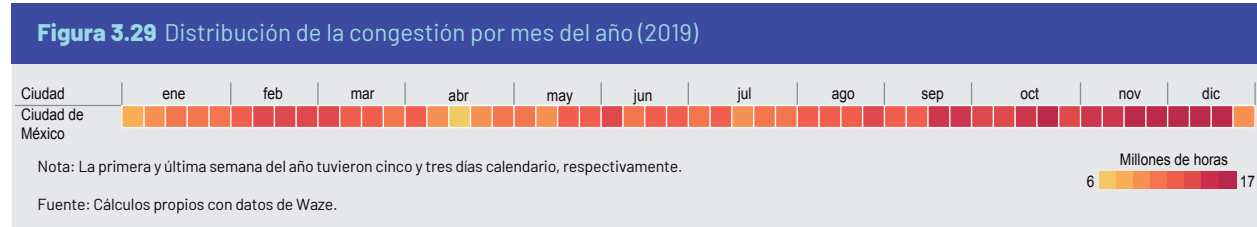


A pesar de ser la segunda ciudad con el mayor retraso agregado, y sexta controlando el tráfico a través de la población, la capital mexicana resalta por tener un costo de la congestión relativamente bajo respecto de su economía. Este ascendió a 0,6% de su PIB en el 2019, siendo la novena en el escalafón y muy cerca a San Salvador, ciudad con el menor valor en este indicador (ver Figura 3.28). Asimismo, guiado por el bajo valor del tiempo, el costo anual por viajero representó cerca de US\$ 119 (posición 8/10).

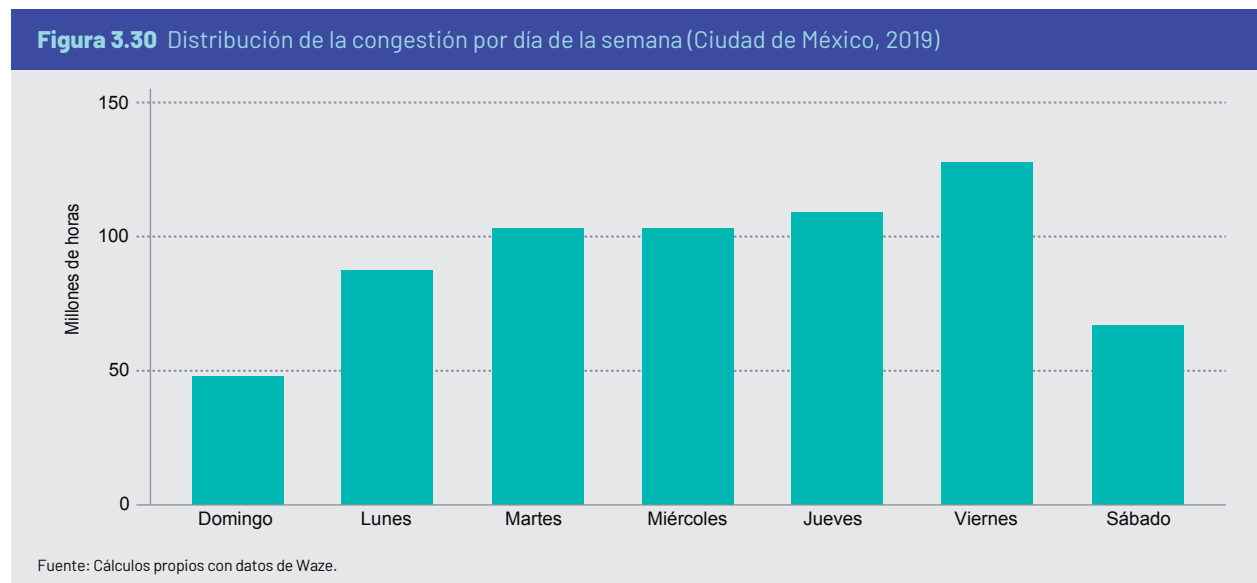
Figura 3.28 Comparación de resultados entre ciudades de ALC



La Figura 3.29 muestra la distribución de la congestión a lo largo del año en Ciudad de México. Ésta presenta una tendencia creciente, solo interrumpida en tres ocasiones: abril, julio y la última semana del año. Octubre resalta como el mes de mayor congestión, sumando casi 70 millones de horas perdidas, lo que equivale a casi el total de la demora agregada de Montevideo en 2019. La congestión en Ciudad México se encuentra particularmente concentrada en el último trimestre: 190 millones de horas, equivalente al 30% del valor anual.

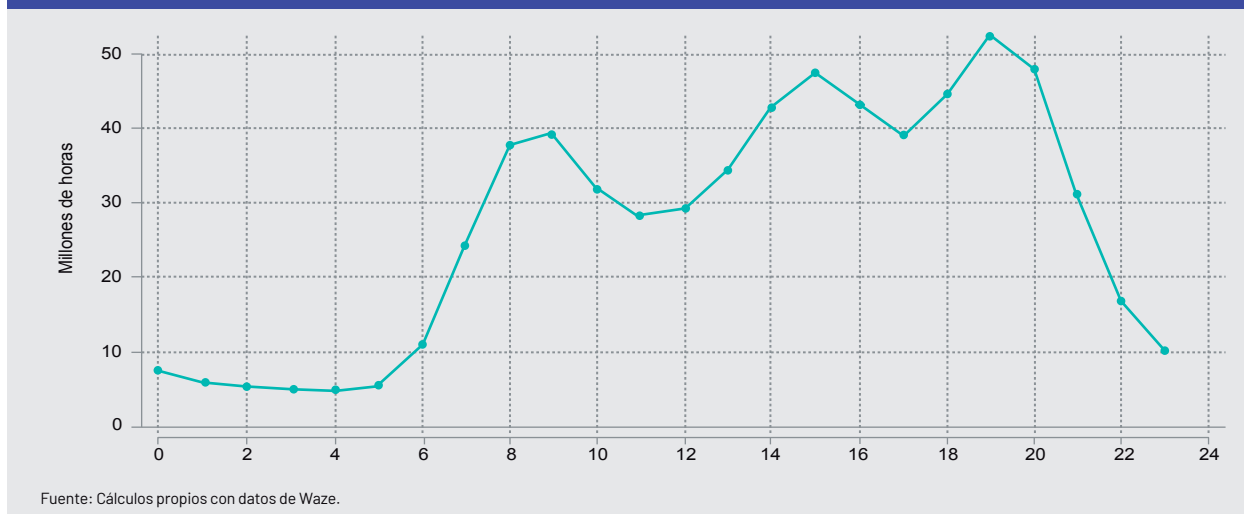


La Ciudad de México presenta una distribución semanal de la congestión bastante similar a la de las ciudades precedentes, con una tendencia creciente de lunes a viernes, alcanzando la mayor demora agregada el viernes (casi 130 millones de horas) y disminuyendo los fines de semana (ver Figura 3.30). Respecto a esto último, en promedio, la congestión en un día laboral es 85% superior a la de un día típico del fin de semana.



La ciudad registra tres picos bien marcados (ver Figura 3.31), aunque un poco más tarde de cuando se dan en las demás ciudades. El pico de mayor trascendencia es el de la tarde, entre las 17 hs. y las 20 hs., momento en el que se acumula el 29% de la demora agregada de la ciudad. Cabe resaltar que, en este intervalo de tiempo, Ciudad de México pierde en congestión cerca del total de lo que pierde Santiago en todo el año.

Figura 3.31 Distribución de la congestión por hora del día (Ciudad de México, 2019)



Montevideo

La capital de Uruguay fue la tercera ciudad con menor demora agregada entre las analizadas, registrando un total de 79 millones de horas perdidas en 2019; sin embargo, registró la mayor demora por habitante (45 horas; 24% superior a Lima, la segunda ciudad en el *ranking*). Esto, sumado al mayor valor del tiempo, hizo que la ciudad presentara el mayor costo de congestión tanto por persona como por viajero: US\$ 177 y US\$ 474, respectivamente. El valor de la demora por viajero equivale al 4% del ingreso laboral mediano. Por su parte, Montevideo es la tercera ciudad con el mayor costo de la congestión relativo a su economía, superando el 1% del PIB local.

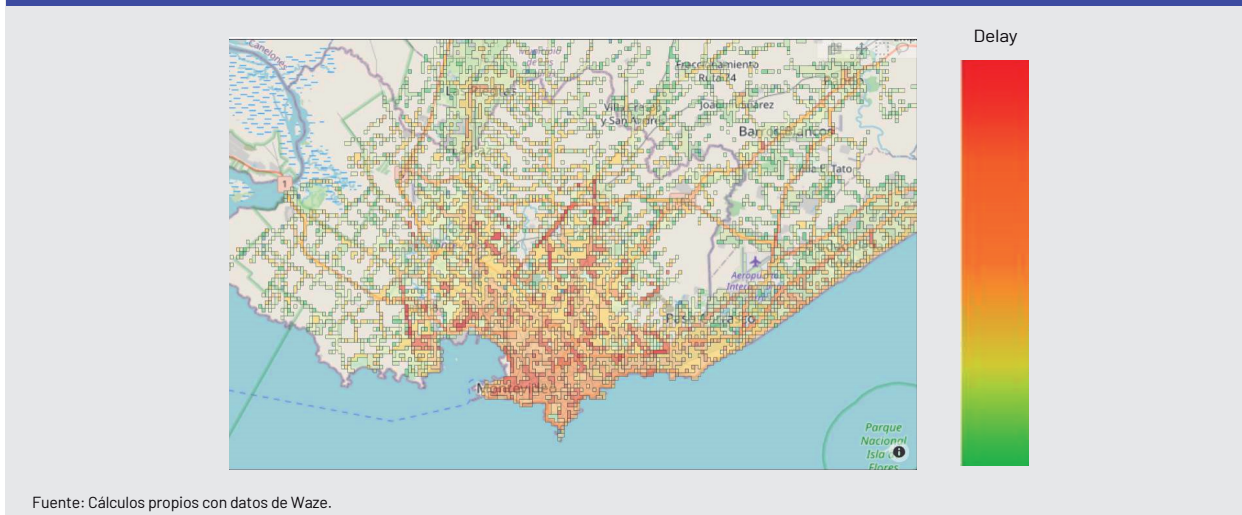
Tabla 3.6 Resultados del análisis para Montevideo

Indicador	Valor (para 2019)
Congestión total	79 Millones de horas
Congestión por persona	45 Horas
Congestión por viajero	121 Horas
Congestión diaria	0,2 Millones de horas
Costo de la congestión total	310 Millones de US\$
Costo de la congestión por persona	177 US\$
Costo de la congestión por viajero	474 US\$
Costo de la congestión diaria	0,8 Millones de US\$
Costo de la congestión relativo al PIB	1,10%

Fuente: Cálculos propios con datos de Waze, OIT, FMI e IDM.

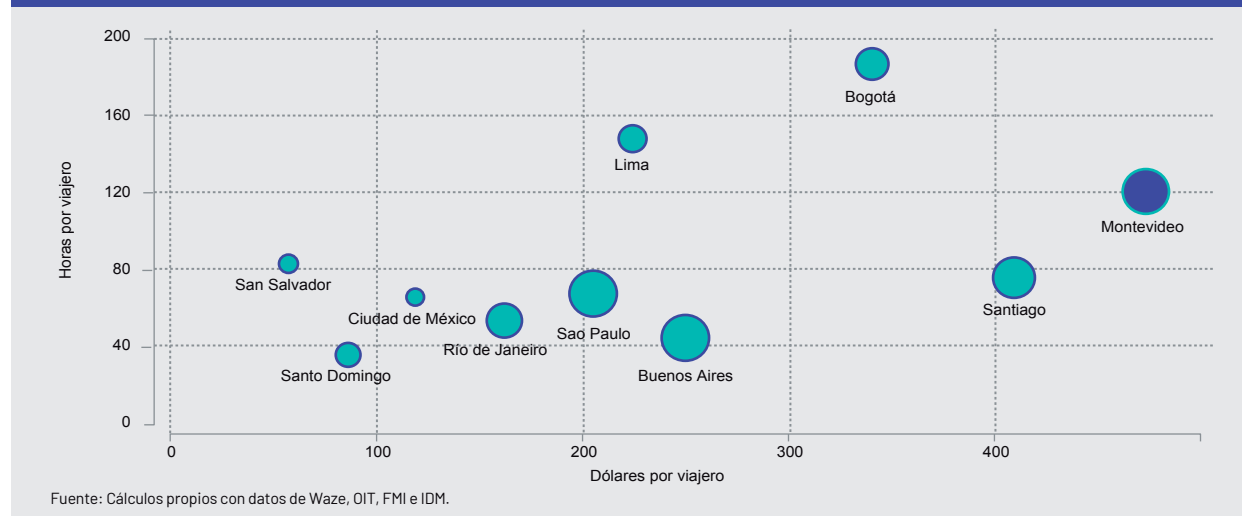
La Figura 3.32 muestra la distribución espacial de la congestión en Montevideo. Si bien esta se encuentra extendida a lo largo de la ciudad, los mayores niveles se registran en el centro y el área aledaña al puerto. Las principales vías donde se concentra la congestión son: General Manuel Oribe, entrando de occidente a centro, y la Avenida General Flores.

Figura 3.32 Distribución espacial de la congestión (Montevideo, 2019)



La Figura 3.33 compara los resultados de Montevideo frente a las demás ciudades analizadas. La ciudad fue la tercera con mayor demora por usuario de vehículo particular y costo relativo a su PIB, además de ser la ciudad con el mayor costo por viajero.

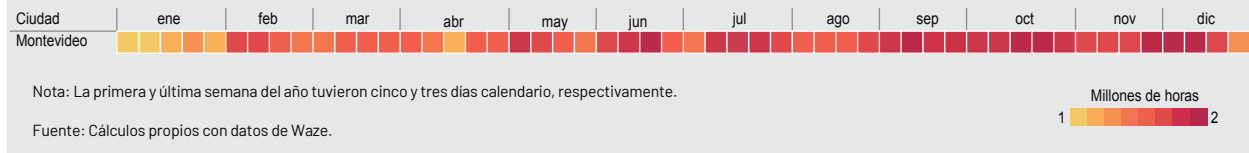
Figura 3.33 Comparación de resultados entre ciudades de ALC



La Figura 3.34 muestra la distribución temporal de la congestión en Montevideo para el año 2019. Las demoras se incrementaron con el curso del año, hasta alcanzar su pico máximo en octubre (80% de aumento respecto a los niveles de enero, pasando de 4,3 millones de horas de retraso a 7,9 millones). Las semanas de mayor congestión fueron la segunda de diciembre y la tercera de junio, acumulando el 2,4 y 2,3 por ciento del total del año respectivamente.

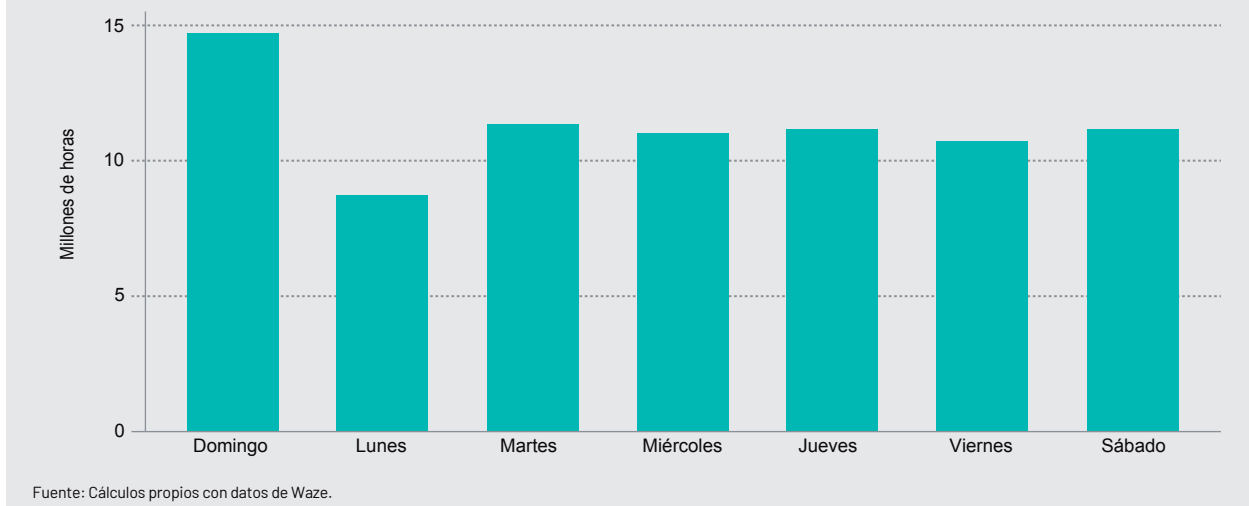
68 - Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC

Figura 3.34 Distribución de la congestión por mes del año (2019)



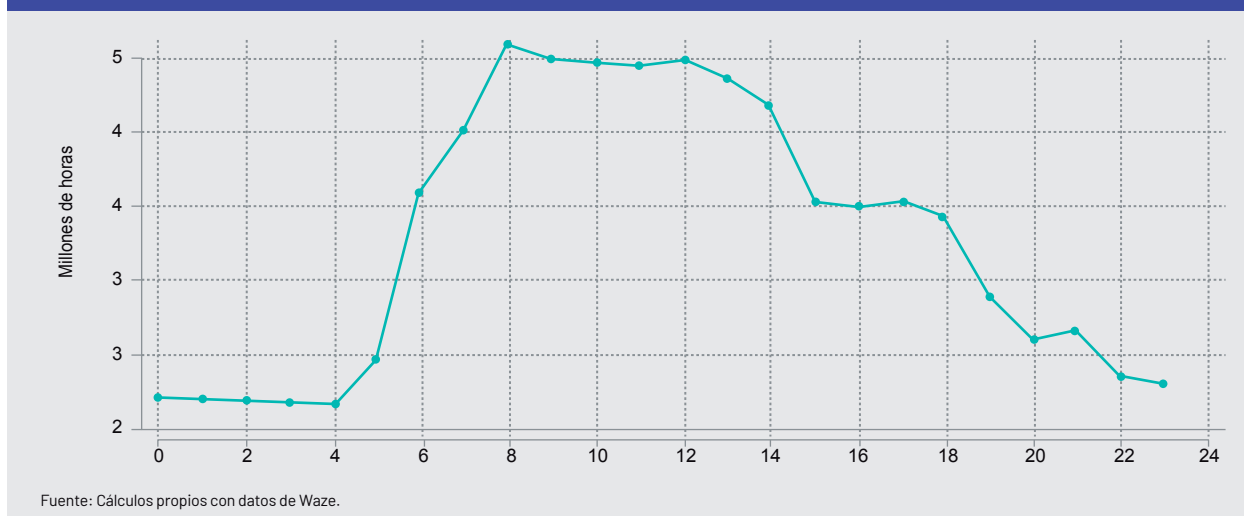
La Figura 3. 35 presenta la distribución de la congestión durante la semana. La capital uruguaya registra un comportamiento atípico de la demora agregada, pues contra la tendencia de la mayoría de las ciudades, el domingo es el día de mayor retraso agregado. En este día se acumulan 14,6 millones de horas perdidas en congestión, lo que representa más del 19% del total. Cabe mencionar que, dado que el área urbana considerada para el análisis incluye las zonas costeras aledañas al límite jurídico de Montevideo, la cual recibe un gran número de viajes durante el fin de semana, es de esperar que se verifiquen elevados niveles de congestión durante los días domingo, que concentran el regreso a la capital uruguaya previo al inicio de la semana laboral.

Figura 3.35 Distribución de la congestión por día de la semana (Montevideo, 2019)



De la misma manera, el comportamiento de la congestión durante el día difiere del que posee en las anteriores ciudades (ver Figura 3.36). El momento de mayor congestionamiento tiene lugar en horas de la mañana, especialmente a las 8 hs. A partir de allí, mantiene una tendencia constante hasta las 14 hs., momento en el cual comienza a decrecer.

Figura 3.36 Distribución de la congestión por hora del día (Montevideo, 2019)



Río de Janeiro

Río de Janeiro presentó una demora agregada superior a 312 millones de horas para 2019 (posición 5/10). Por las dimensiones de la ciudad, cada persona perdió, en promedio 25 horas, ubicándola como la octava ciudad en este indicador, posición que mantuvo considerando el número de viajeros (54 horas).

En 2019, la congestión costó a la ciudad más de US\$ 943 millones (posición 5/10), lo que representa el 0,9% de su producción agregada. En contexto, la congestión le costó a Río de Janeiro más de la mitad de lo que la ciudad invirtió en educación. Los costos por persona ascendieron a US\$ 77 (posición 5/10), y cada viajero registró pérdidas de casi US\$ 162, lo que representa el 3% del ingreso laboral mediano.

Tabla 3.7 Resultados del análisis para Río de Janeiro

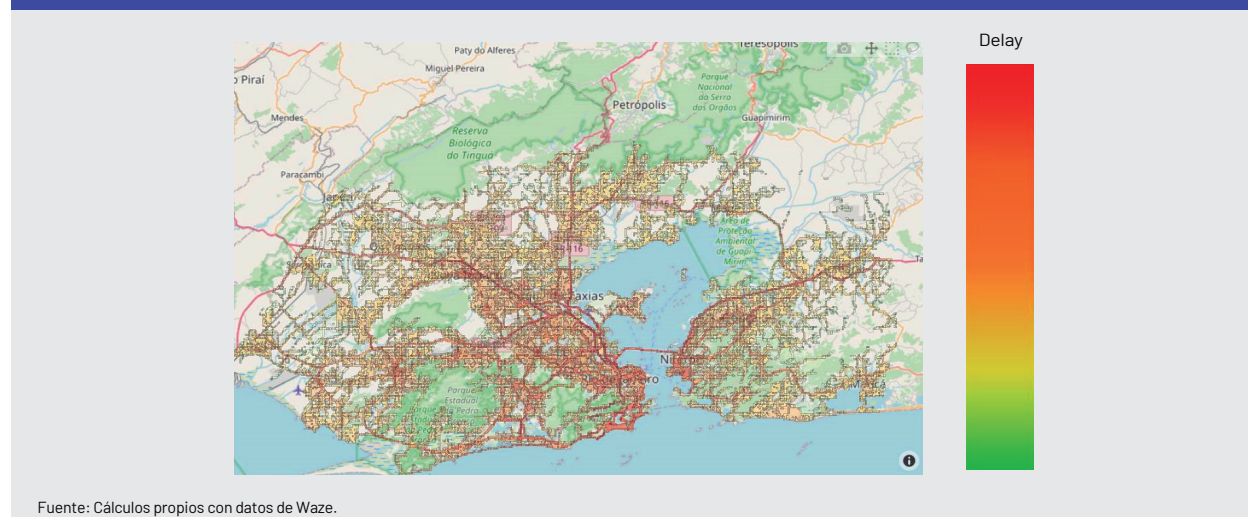
Indicador	Valor (para 2019)
Congestión total	312 Millones de horas
Congestión por persona	25 Horas
Congestión por viajero	54 Horas
Congestión diaria	0,9 Millones de horas
Costo de la congestión total	943 Millones de US\$
Costo de la congestión por persona	77 US\$
Costo de la congestión por viajero	162 US\$
Costo de la congestión diaria	2,6 Millones de US\$
Costo de la congestión relativo al PIB	0,88%

Fuente: Cálculos propios con datos de Waze, OIT, FMI e IDM.

70 - Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC

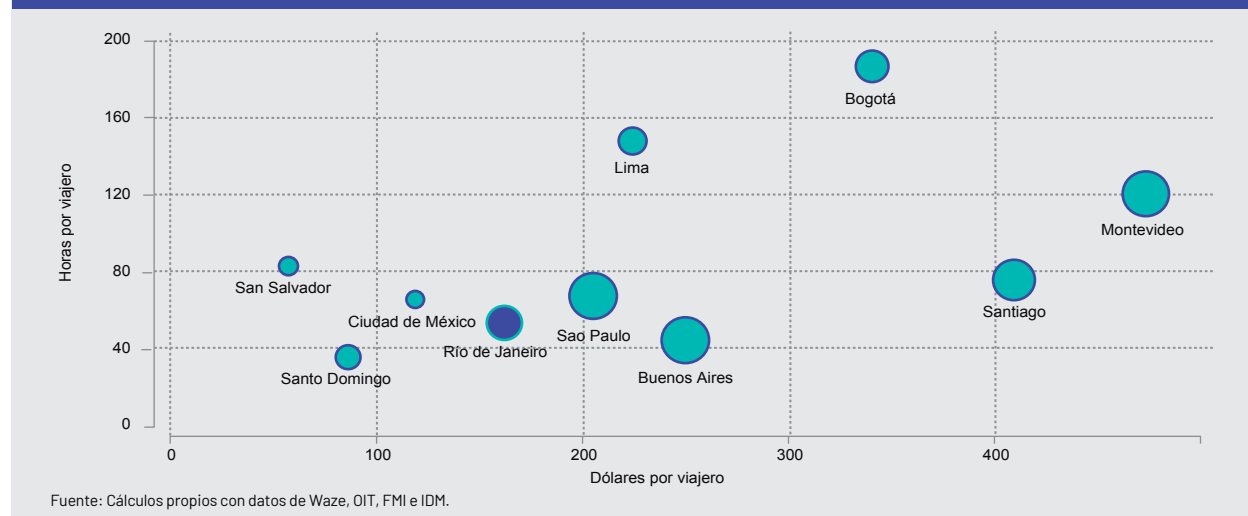
Río de Janeiro es una ciudad de marcado policentrismo en cuestión de la distribución espacial de la congestión. Los puntos focales más relevantes se encuentran en el noroccidente, centro (cerca al área portuaria), oriente y las áreas de mayor actividad turística en el sur de la ciudad. La Avenida Joao Goulart, que atraviesa la ciudad de norte a sur, registra los mayores niveles de congestión agregada, seguido por las avenidas Brasil y Trajano Silva, que unen el noroccidente con el centro de la ciudad.

Figura 3.37 Distribución espacial de la congestión (Río de Janeiro, 2019)

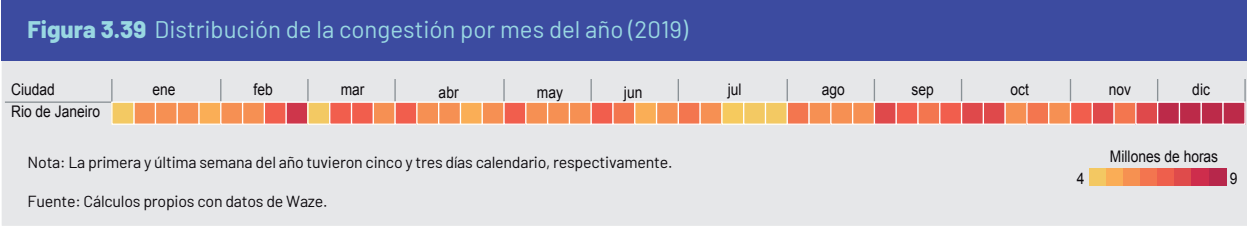


Comparado con las demás ciudades analizadas, Río de Janeiro tuvo un buen desempeño relativo en materia de congestión en ALC (ver Figura 3.38). Fue la octava ciudad con la mayor demora y la séptima con el mayor costo por viajero. Relativo a su PIB, el costo de 0,9% la ubica como la sexta ciudad con el mayor valor de este indicador.

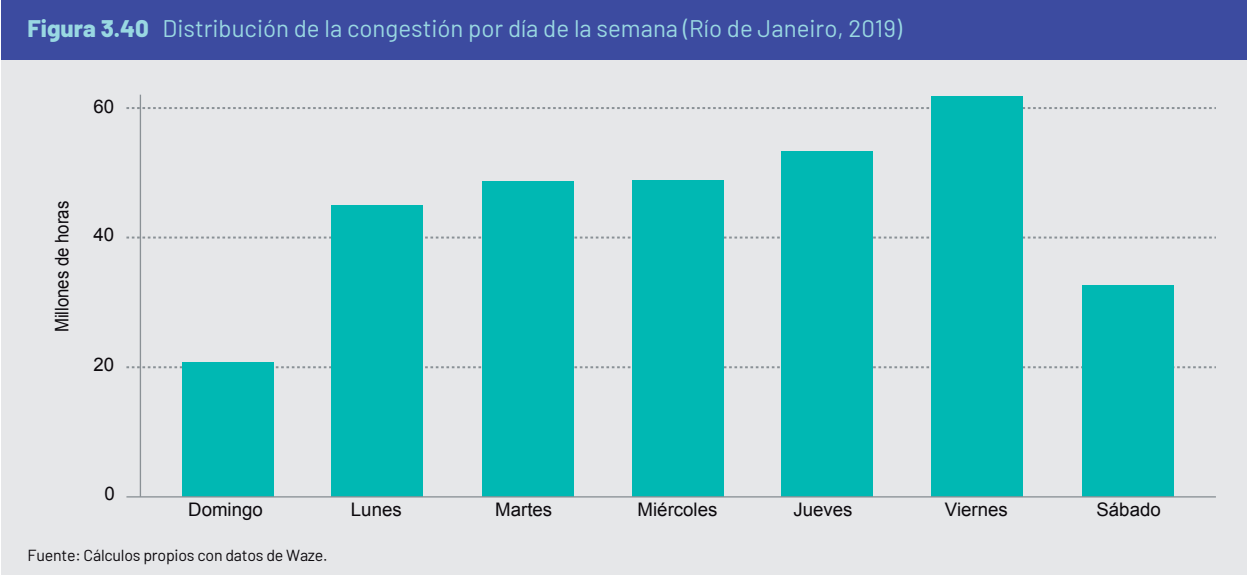
Figura 3.38 Comparación de resultados entre ciudades de ALC



La congestión en Río de Janeiro posee una particular dinámica temporal: esta tiene una tendencia relativamente constante a lo largo del año, con excepciones bien marcadas como finales de febrero, que es cuando se realizan los carnavales, o las primeras semanas de septiembre. Es así que los tres primeros trimestres del año registran el 23% de la congestión cada uno. En el último trimestre la congestión se intensifica, acumulando más de 90 millones de horas de retraso, equivalente a 30% del total. Solamente diciembre registra más del 11% de la congestión agregada, alcanzando un pico máximo en la tercera semana de este mes, con casi 9 millones de horas perdidas (ver La Figura 3.39).

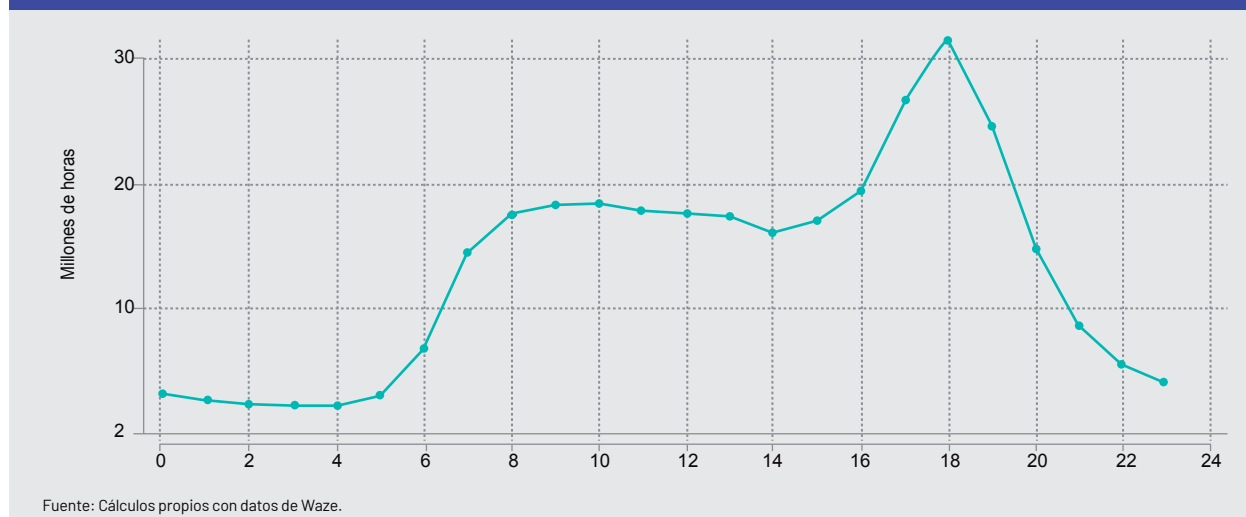


La Figura 3.40 presenta la distribución de la congestión en los días de la semana. Esta exhibe un comportamiento bastante típico. El día de mayor congestionamiento es el viernes, con cerca de 62 millones de horas acumuladas, lo que representa el 20% de la congestión total. Existe asimismo una marcada diferencia entre los días laborales y el fin de semana, pues en promedio, un día laboral acumula el doble de demora por congestión que un día de fin de semana.



La Figura 3.41 exhibe el comportamiento de la congestión en Río de Janeiro durante las horas del día. Nuevamente, esta presenta una tendencia bastante típica, con un crecimiento marcado en las horas de la mañana y sostenido hasta las horas de la tarde. El mayor pico de congestión se registra entre las 16 hs. y las 20 hs., representando el 38% de la congestión de todo el día, por un total de 118 millones de horas perdidas.

Figura 3.41 Distribución de la congestión por hora del día (Rio de Janeiro, 2019)



San Salvador

En 2019, San Salvador obtuvo la menor demora agregada entre las ciudades analizadas, con menos de 37 millones de horas en total: sin embargo, si consideramos el tamaño de la población urbana, la congestión ascendió a 33 horas por persona (posición 3/10). Asimismo, cada viajero perdió 83 horas (posición 4/10). Por su parte, la ciudad centroamericana presentó el menor costo de la congestión, sumando US\$ 25 millones (US\$ 70 mil diarios en promedio). Esto representa el 0,6% de su economía. En parte, debido a que San Salvador registra el menor valor del tiempo entre las ciudades analizadas, el costo de la congestión per cápita fue de apenas US\$ 23 por persona (posición 10/10) y el costo por viajero ascendió a US\$ 57 (posición 10/10).

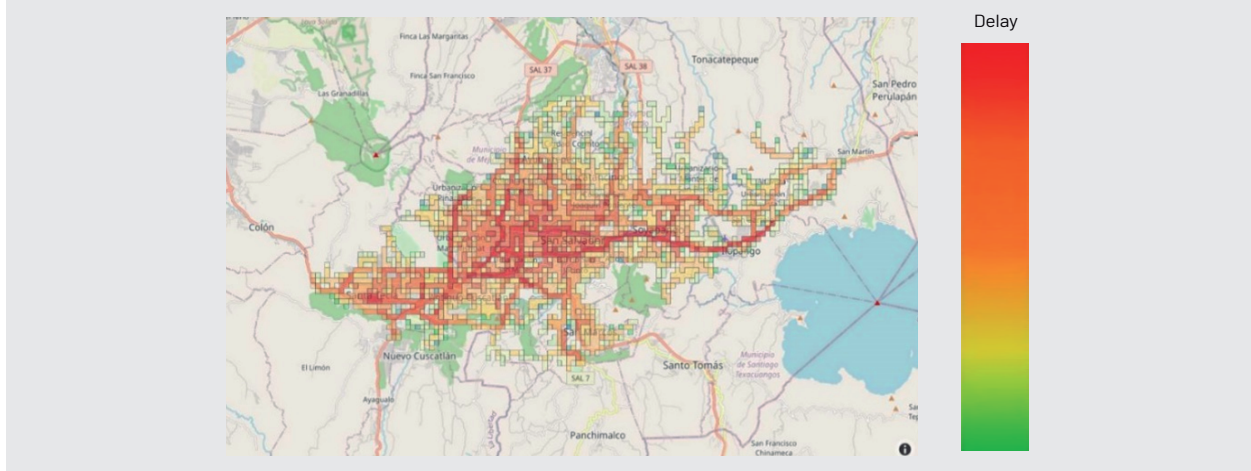
Tabla 3.8 Resultados del análisis para San Salvador

Indicador	Valor (para 2019)
Congestión total	37 Millones de horas
Congestión por persona	33 Horas
Congestión por viajero	83 Horas
Congestión diaria	0,1 Millones de horas
Costo de la congestión total	25 Millones de US\$
Costo de la congestión por persona	23 US\$
Costo de la congestión por viajero	57 US\$
Costo de la congestión diaria	0,1 Millones de US\$
Costo de la congestión relativo al PIB	0,55%

Fuente: Cálculos propios con datos de Waze, OIT, FMI e IDM.

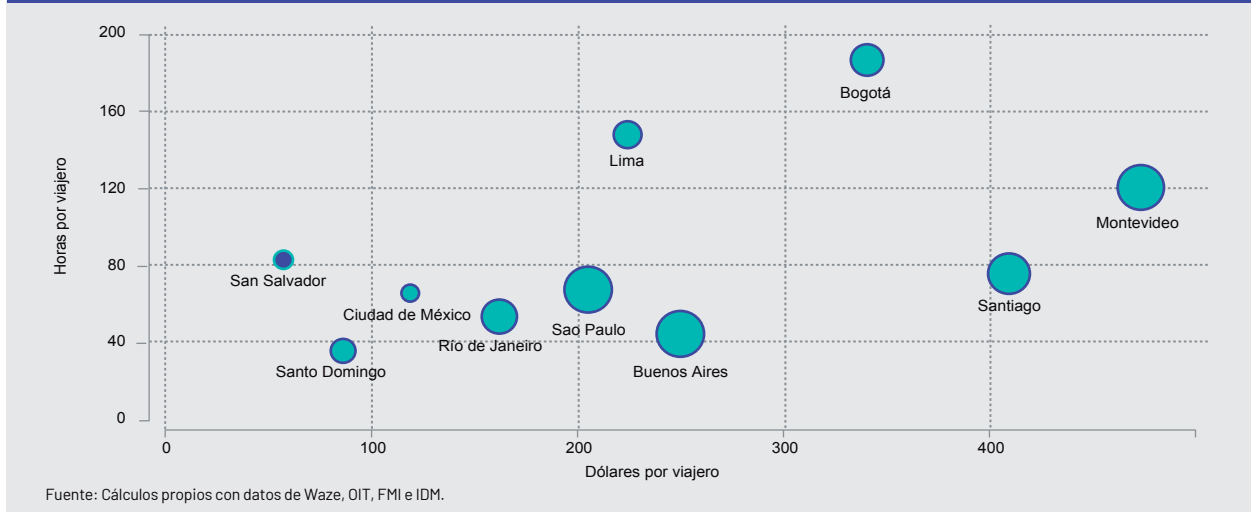
En términos espaciales, si bien bastante extendida en la ciudad, los mayores niveles de congestión se concentran en el sector centro-oriental (Figura 3.42). La Alameda Roosevelt, avenida que atraviesa de oriente a occidente la ciudad, y la Alameda Manuel Enrique Araujo, son las vías de mayor congestión.

Figura 3.42 Distribución espacial de la congestión (San Salvador, 2019)



En línea con lo señalado anteriormente, debido a su bajo valor del tiempo relativo a las demás ciudades, San Salvador registró el menor costo de congestión total y el menor costo relativo a su economía. Ahora bien, fue la cuarta ciudad con mayor tiempo perdido por viajero (ver Figura 3.43), además de ser la quinta ciudad que más tiempo perdió en tráfico relativo a las horas promedio trabajadas.

Figura 3.43 Comparación de resultados entre ciudades de ALC



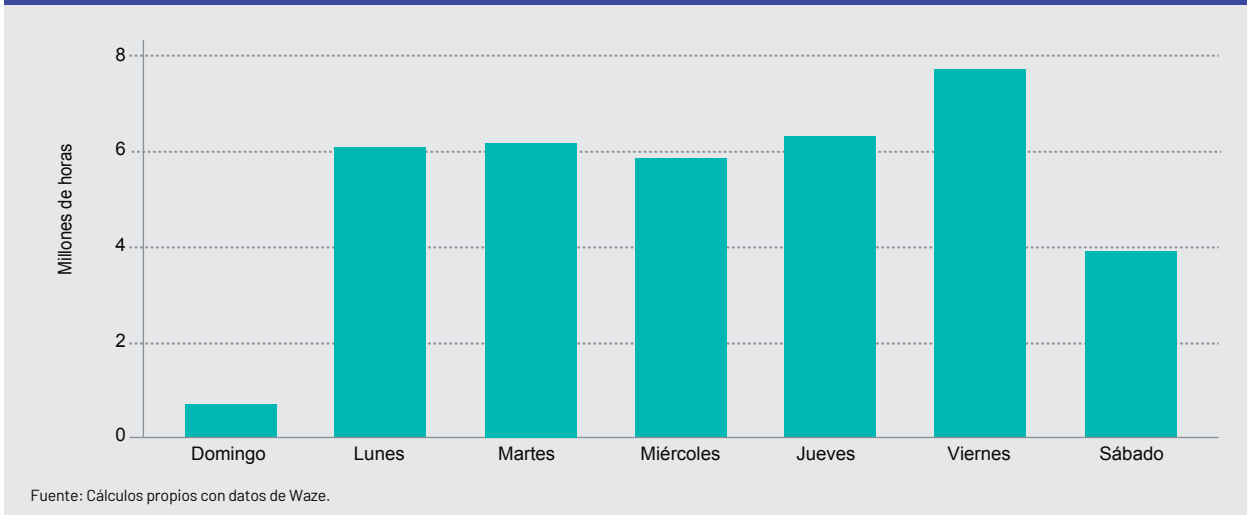
La Figura 3.44 muestra la dinámica anual de la congestión en San Salvador. La mayor proporción se concentró en el último trimestre, intensificándose en el último mes. Es así como solo la tercera semana de diciembre contabilizó el 3,2% del total de la congestión.

Figura 3.44 Distribución de la congestión por mes del año (2019)



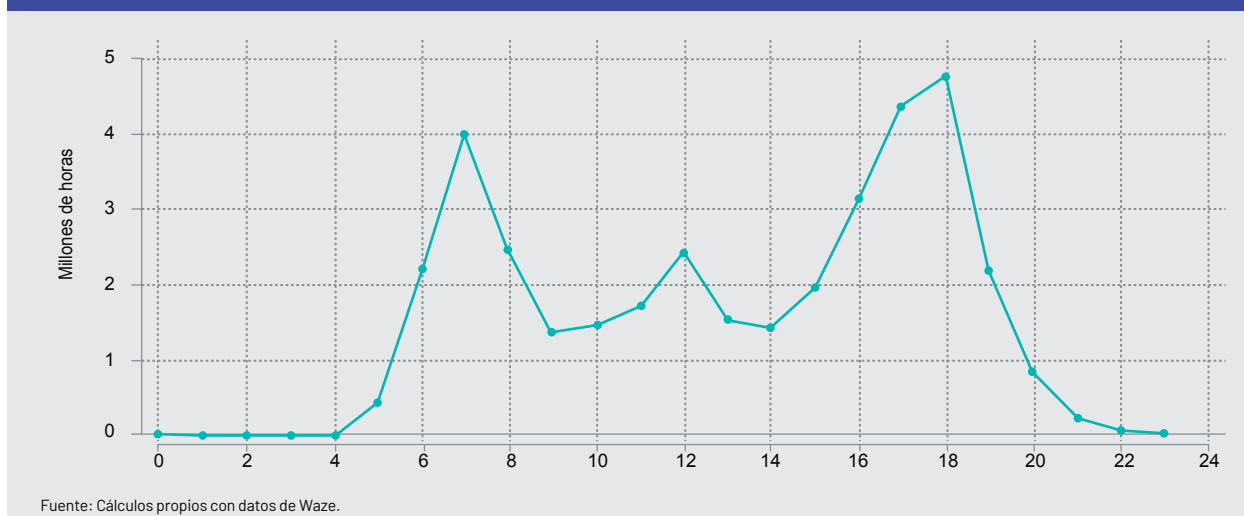
La distribución de la congestión a lo largo de la semana está marcada por una gran diferencia entre los días laborales y los fines de semana (Figura 3.45). Esta brecha es, en promedio, de un 176% (la máxima entre las ciudades de ALC analizadas). El día de mayor congestión es el viernes, acumulando el 21% de la demora total (más de 7,7 millones de horas).

Figura 3.45 Distribución de la congestión por día de la semana (San Salvador, 2019)



La Figura 3. 46 presenta la dinámica de la congestión a lo largo del día. Allí se evidencian tres momentos con mayores niveles de congestión, siendo el mayor de ellos en las horas de la tarde. Este tercer pico reúne un total de 15 millones de horas, equivalente al 42% del total.

Figura 3.46 Distribución de la congestión por hora del día (San Salvador, 2019)



Santiago

La capital chilena presentó una demora agregada de 194 millones de horas en 2019, lo que la ubicó como la séptima ciudad de mayor congestión. Esto se traduce en que cada habitante perdió, en promedio, 29 horas (posición 7/10). Considerando únicamente a los usuarios de automóvil, esta cifra ascendió a casi 76 horas/viajero (posición 5/10). Desde el punto de vista monetario, en 2019 los costos de la congestión en Santiago fueron superiores a US\$ 1.000 millones (cerca de US\$ 3 millones por día en promedio), equivalente al 1% del PIB de la ciudad. Santiago se ubicó como la segunda ciudad de mayor costo de la congestión tanto por persona como por viajero, ascendiendo a US\$ 156 y US\$ 409, respectivamente. Este último es equivalente al 5% del ingreso laboral mediano anual de los santiaguinos.

Tabla 3.9 Resultados del análisis para Santiago

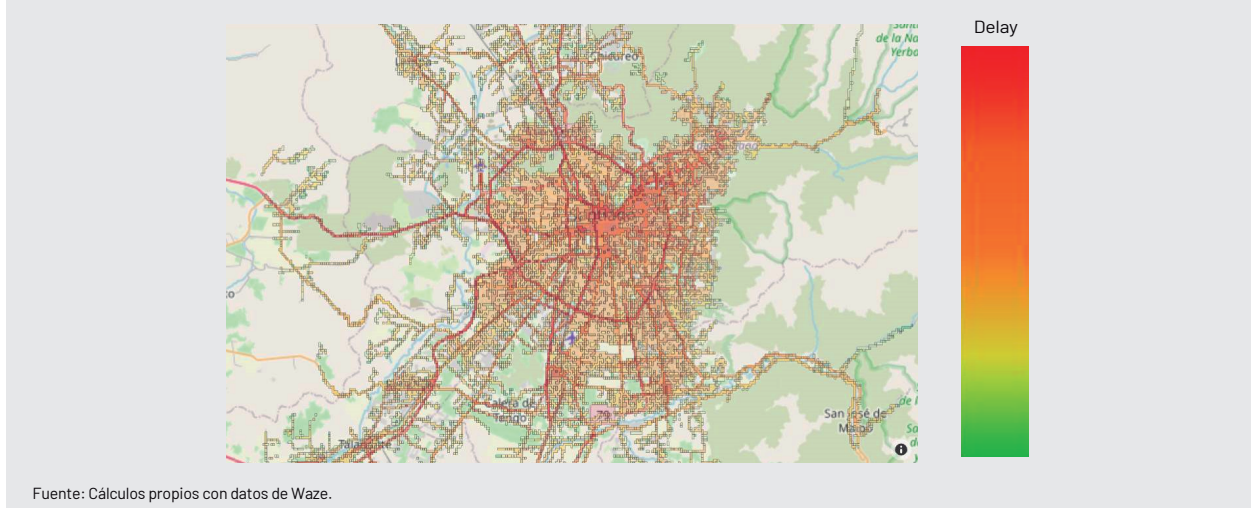
Indicador	Valor (para 2019)
Congestión total	194 Millones de horas
Congestión por persona	29 Horas
Congestión por viajero	76 Horas
Congestión diaria	0,5 Millones de horas
Costo de la congestión total	1.046 Millones de US\$
Costo de la congestión por persona	156 US\$
Costo de la congestión por viajero	409 US\$
Costo de la congestión diaria	2,9 Millones de US\$
Costo de la congestión relativo al PIB	1,04%

Fuente: Cálculos propios con datos de Waze, OIT e IDM.

76 - Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC

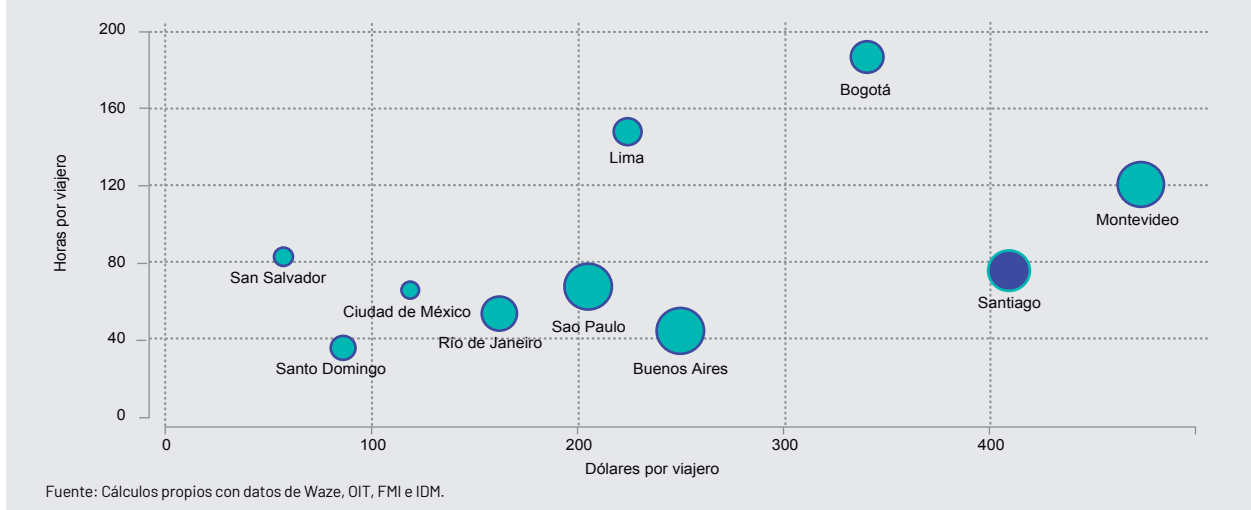
La congestión en la ciudad Santiago se encuentra concentrada en el sector centro y centro-oriental, como se puede apreciar en la Figura 3.47. La mayor parte de la congestión se aglomera en la autopista Vespucio, que constituye el anillo circunvalar de la ciudad. Otras vías de gran congestión son la Avenida Panamericana-Norte, Avenida Libertador O'Higgins y la Autopista Central.

Figura 3.47 Distribución espacial de la congestión (Santiago, 2019)



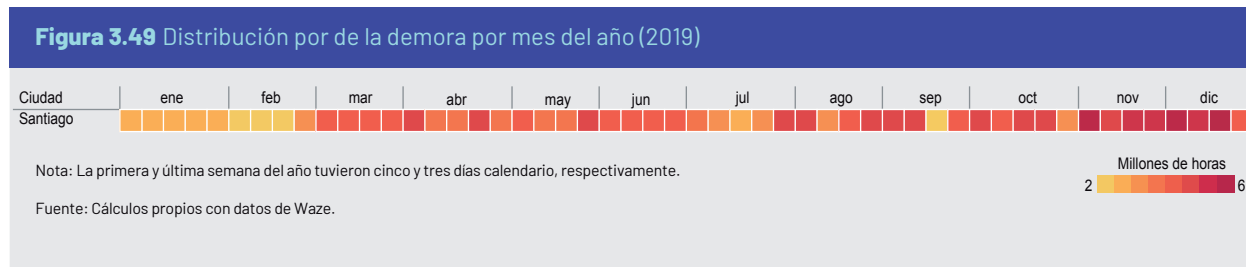
La Figura 3.48 muestra la comparación de las demoras y sus costos entre Santiago y las restantes ciudades analizadas. Santiago es la segunda ciudad con mayores costos por viajero, a pesar de que se ubica en la quinta posición en cuanto a horas perdidas en el tráfico. Esto se explica por el mayor valor del tiempo presente en dicha ciudad.

Figura 3.48 Comparación de resultados entre ciudades de ALC

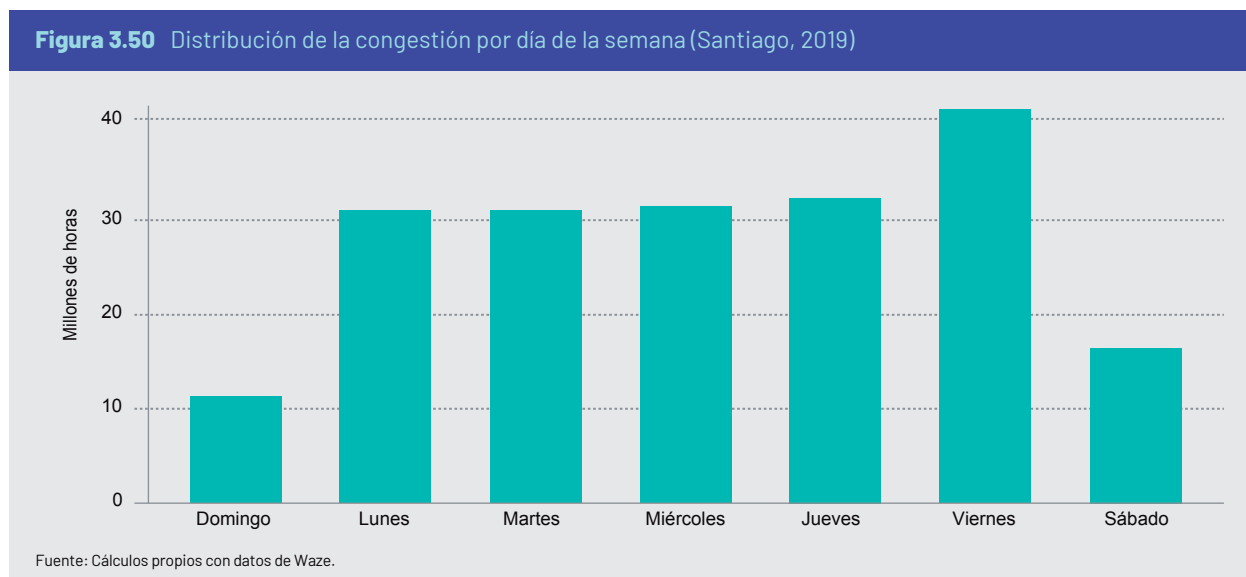


La congestión en Santiago presenta una clara tendencia creciente a lo largo del año, en parte guiado por las vacaciones de febrero y el reinicio de actividades a partir de marzo, ver Figura 3.49. La capital de Chile registró el menor acumulado relativo durante el primer trimestre, con apenas el 18% del total de la congestión. Los meses de mayor congestión total fueron octubre y diciembre; el primero de los señalados, probablemente guiado por las manifestaciones públicas y el cierre temporal del transporte público. Por su parte, el último mes del año acumuló más de 20 millones de horas perdi-

das en congestión, lo que representó el 11% del total, alcanzando un pico máximo la tercera semana de diciembre con casi 6 millones de horas de demora.

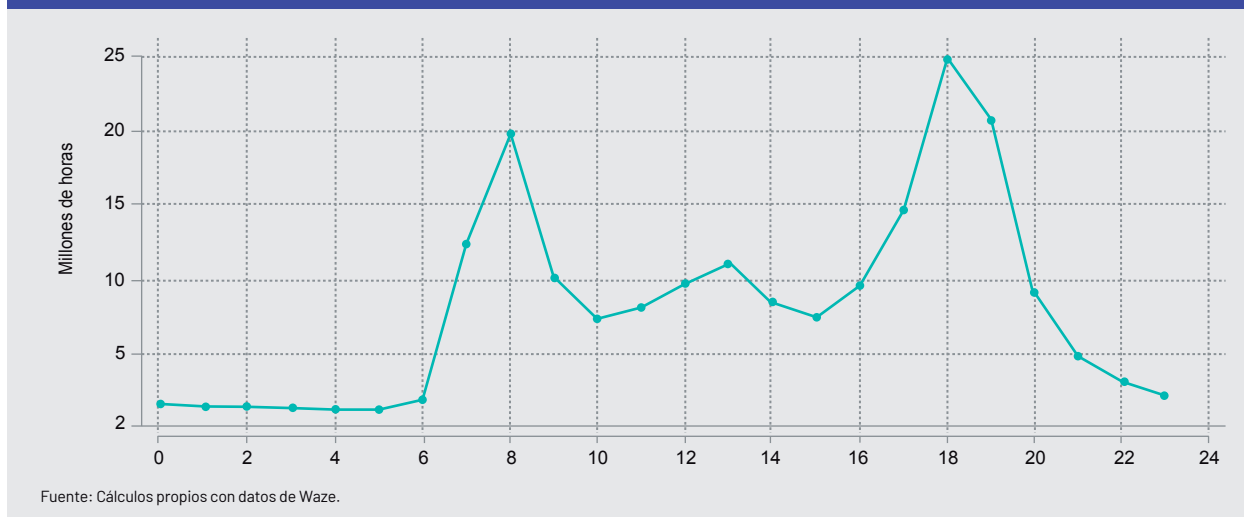


Si se analizan los patrones semanales, se evidencia una brecha entre los días laborales y el fin de semana. De lunes a jueves la congestión reporta valores muy cercanos. El viernes, sin embargo, crece marcadamente con un 32% más de tiempo perdido que en el resto de los días laborales (Figura 3.50), acumulando así más de la quinta parte de toda la congestión. Tan solo los días viernes, la capital chilena perdió 41 millones de horas en 2019, superior a la demora total registrada en San Salvador.



Finalmente, en cuanto a la distribución por hora del día, la congestión en Santiago presenta un comportamiento bastante regular con dos grandes picos en los horarios de la mañana y la tarde (Figura 3.51). Las 18 hs. es la hora que acumula la mayor congestión en la ciudad, con casi 25 millones de horas perdidas. El pico alrededor de esta hora –de 16 hs. a 19 hs.– acumula el 41% del total de la congestión, llegando a 80 millones de horas perdidas.

Figura 3.51 Distribución de la congestión a lo largo del día (Santiago, 2019)



Santo Domingo

En 2019, la demora agregada en Santo Domingo ascendió a 75 millones de horas (posición 9/10). Esta cifra corresponde a 23 horas/habitante (posición 9/10) y a 36 horas/viajero. Respecto a esto último, fue la ciudad mejor posicionada entre las analizadas. Los costos por congestión representaron US\$ 180 millones, equivalente a casi medio millón de dólares diarios (posición 9/10). El costo por persona fue de US\$ 56 (posición 7/10) y el costo por viajero de US\$ 86 (posición 9/10). Adicionalmente, la capital dominicana registró uno de los menores costos relativos a su economía, con un peso total de 0,7% del PIB de la ciudad.

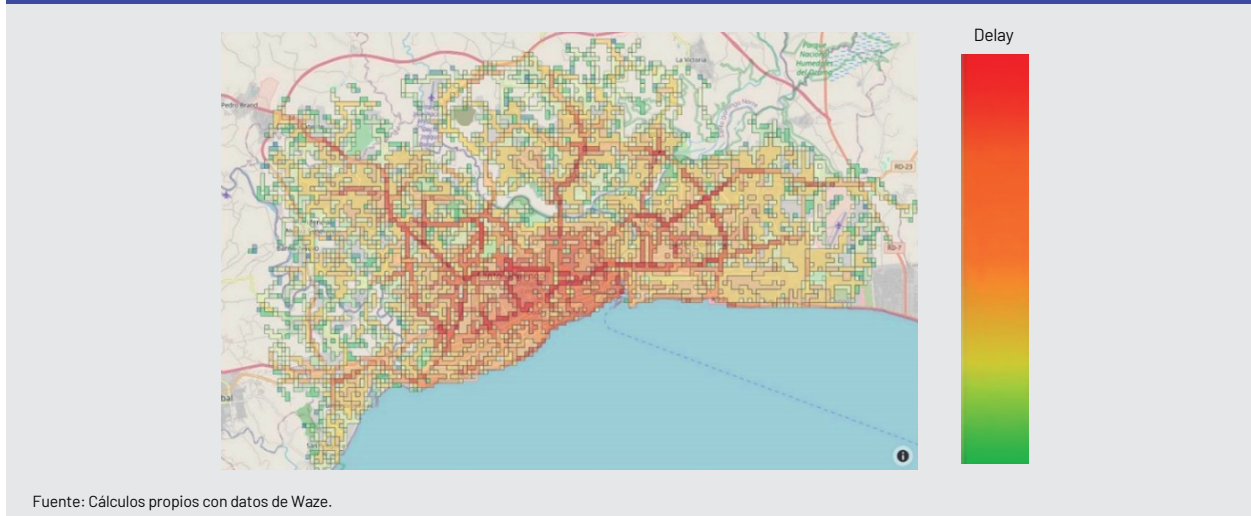
Tabla 3.10 Resultados del análisis para Santo Domingo

Indicador	Valor (para 2019)
Congestión total	75 Millones de horas
Congestión por persona	23 Horas
Congestión por viajero	36 Horas
Congestión diaria	0,2 Millones de horas
Costo de la congestión total	180 Millones de US\$
Costo de la congestión por persona	56 US\$
Costo de la congestión por viajero	86 US\$
Costo de la congestión diaria	0,5 Millones de US\$
Costo de la congestión relativo al PIB	0,67%

Fuente: Cálculos propios con datos de Waze, OIT, FMI e IDM.

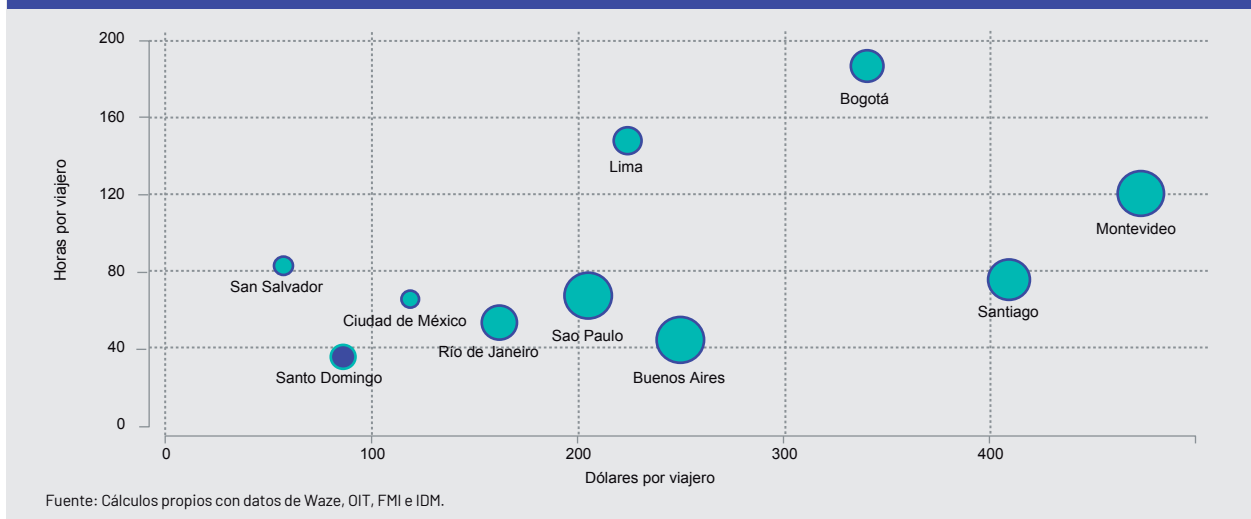
Desde el punto de vista geográfico, los mayores niveles de congestión se registran en la zona central de la ciudad. Las vías con mayores demoras son el Expreso 27 de febrero, la Avenida Máximo Gómez y la Autopista Juan Pablo Duarte.

Figura 3.52 Distribución espacial de la congestión (Santo Domingo, 2019)



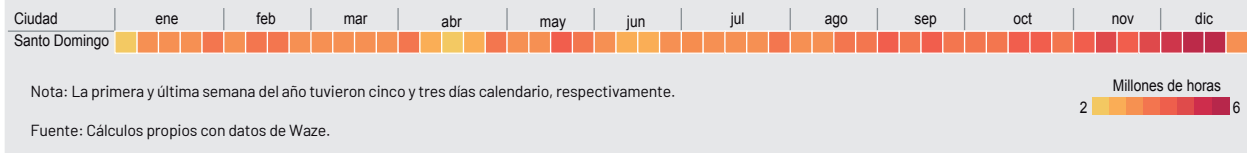
En términos generales, Santo Domingo es la ciudad que, de forma comparativa, presentó los mejores resultados en la región (Figura 3. 53). Se posicionó en séptimo lugar en cuanto a los costos relativos a su economía, penúltima posición en lo referente a costos por viajero y última en lo relativo a la congestión por automovilista.

Figura 3.53 Comparación de resultados entre ciudades de ALC



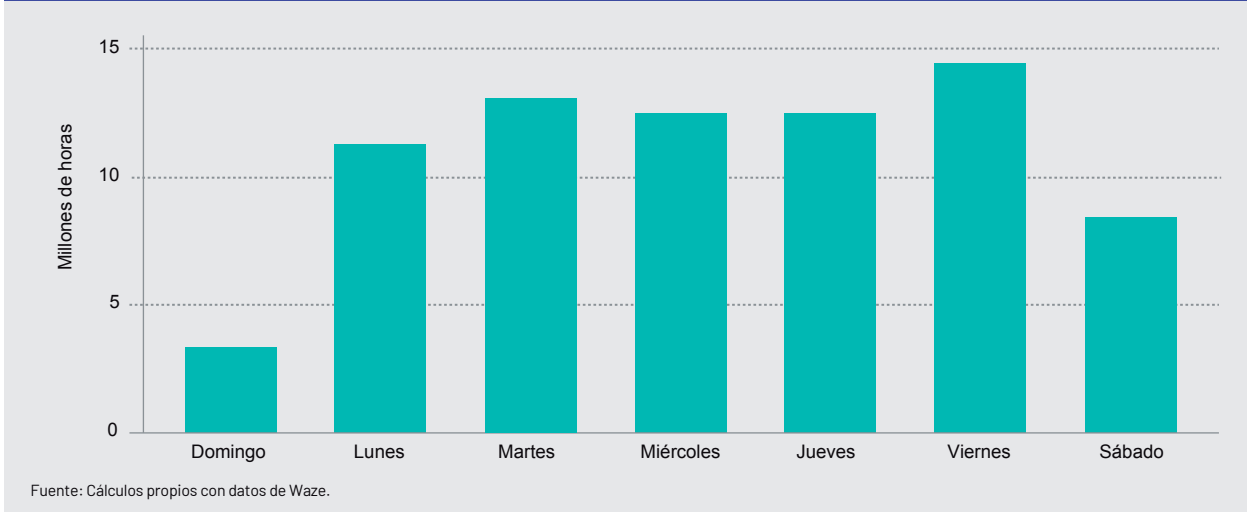
Muy similar a lo evidenciado en Santiago de Chile, la dinámica anual de la congestión en Santo Domingo presentó una tendencia creciente a lo largo del año (Figura 3.54). La primera mitad del año acumuló el 44% de la congestión (con más de 33 millones de horas perdidas). Respecto a la segunda mitad de año, los meses de noviembre y diciembre concentraron el 21% de la congestión total. La semana de mayor congestión en esta ciudad fue la segunda semana de diciembre, alcanzando el 3,21% del total de la congestión.

Figura 3.54 Distribución de la congestión por mes del año (2019)



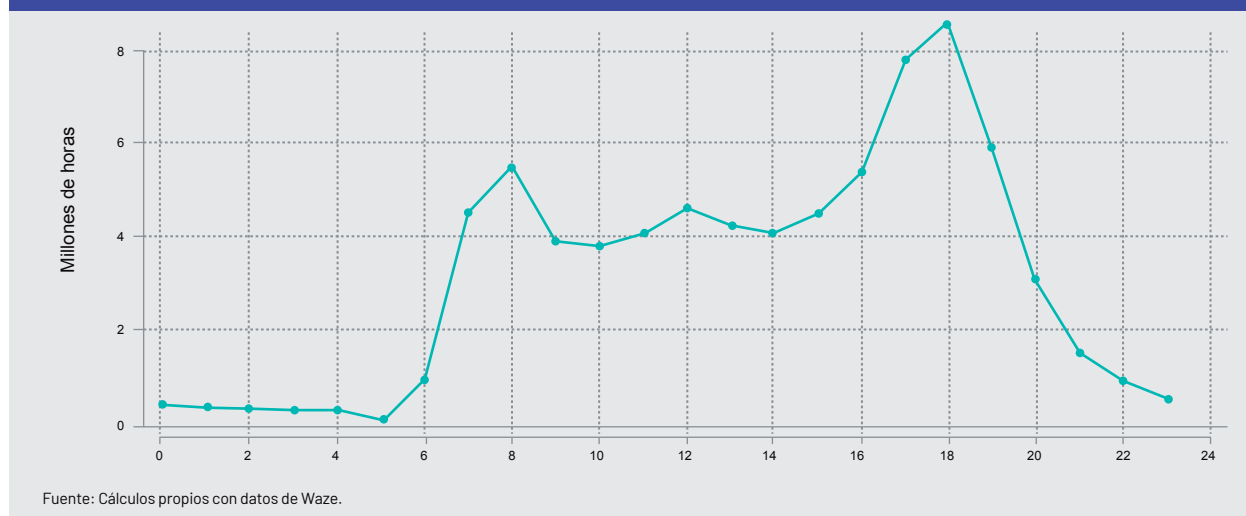
La Figura 3.55 presenta la distribución de la congestión en Santo Domingo a lo largo de la semana. Al igual que en las demás ciudades, el viernes es el día con mayores demoras. Los niveles de congestión de los restantes días laborales son bastante similares entre ellos. Cabe resaltar que en un día laboral promedio, se pierde más del doble que en un día de fin de semana.

Figura 3.55 Distribución de la congestión por día de la semana (Santo Domingo, 2019)



La Figura 3.56 presenta la distribución de la congestión en Santo Domingo a lo largo del día. Se evidencia un comportamiento bastante típico, con tres picos diarios. De manera similar a otras ciudades de ALC, el mayor de ellos es el de la tarde, acumulando más de 31 millones de horas perdidas en congestión (41% de la demora total de la ciudad).

Figura 3.56 Distribución de la congestión por hora del día (Santo Domingo, 2019)



Sao Paulo

Entre las ciudades analizadas, Sao Paulo es la que presenta los mayores niveles de congestión. Esta urbe es la única que superó la barrera de los 700 millones de horas de demora en 2019. Ahora bien, si se considera la congestión per cápita, Sao Paulo se ubica en el cuarto lugar, con una pérdida de más de 32 horas por habitante. En cambio, si se considera a los usuarios de vehículo, la ciudad desciende a la sexta posición, registrando una pérdida de 68 horas/viajero.

Los costos de la congestión en 2019 ascendieron a más de US\$ 2.000 millones, cerca de US\$ 5 millones diarios. Esto es equivalente al 1,1% de PIB de Sao Paulo. Para poner estas cifras en perspectiva, las pérdidas representan dos terceras partes de lo que la ciudad invierte en educación o el 90% de lo que dedica a la salud. En 2019, cada habitante paulista perdió en promedio alrededor de US\$ 100 (posición 4/10). Considerando únicamente los viajeros, estos perdieron más de US\$ 200 (posición 6/10), lo que representa el 4% del salario mediano.

Tabla 3.11 Resultados del análisis para Sao Paulo

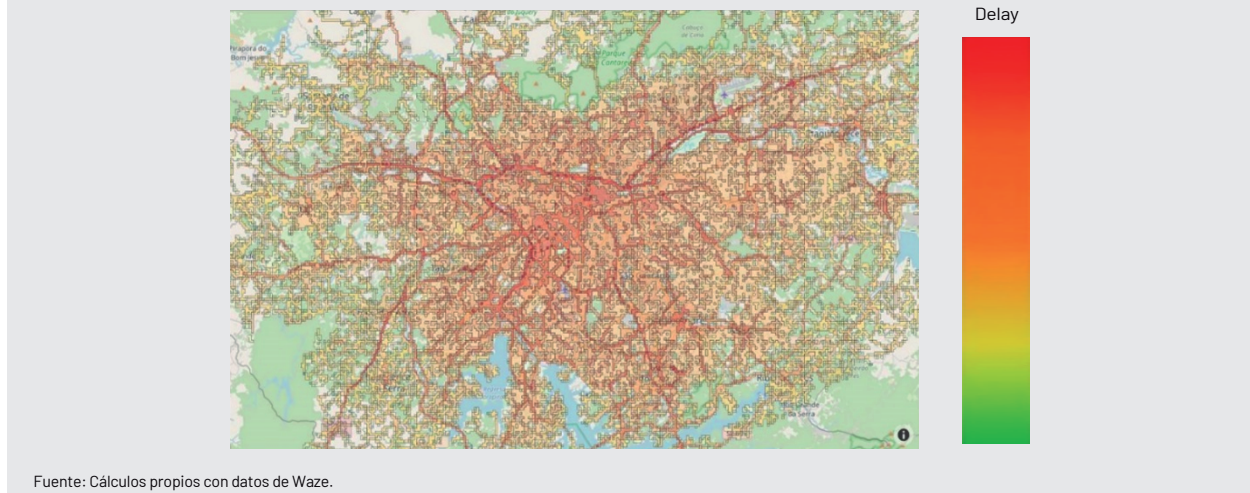
Indicador	Valor (para 2019)
Congestión total	702 Millones de horas
Congestión por persona	32 Horas
Congestión por viajero	68 Horas
Congestión diaria	1,9 Millones de horas
Costo de la congestión total	2.124 Millones de US\$
Costo de la congestión por persona	97 US\$
Costo de la congestión por viajero	205 US\$
Costo de la congestión diaria	5,8 Millones de US\$
Costo de la congestión relativo al PIB	1,12%

Fuente: Cálculos propios con datos de Waze, OIT, FMI e IDM.

82 - Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC

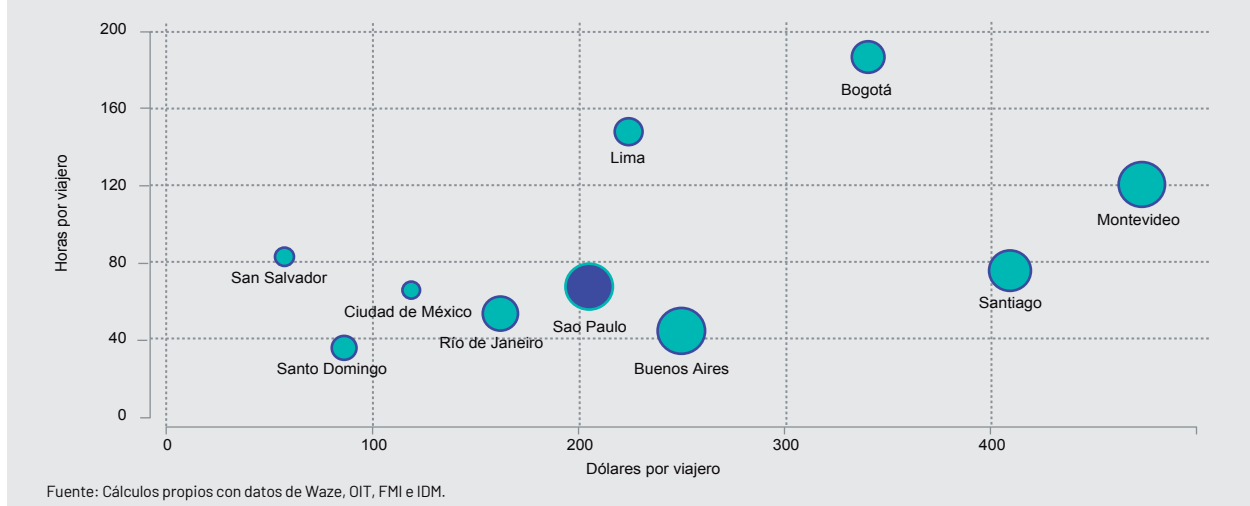
La congestión en Sao Paulo se encuentra extendida a lo largo del territorio (Figura 3.57) con una manifestación en el centro de la ciudad. Las vías con mayores demoras son: la Avenida Marginal Tiete, que atraviesa la ciudad de occidente a oriente por el norte; la Autopista Presidente Dutra, como canal de acceso del nororiente al centro de la ciudad; y la Avenida Washington Luís, como canal de acceso del sur al centro de la ciudad y circulando cerca del aeropuerto local.

Figura 3.57 Distribución espacial de la congestión (Sao Paulo, 2019)



La Figura 3.58 compara los resultados de Sao Paulo y las demás ciudades de ALC. En términos de retraso por viajero, la urbe brasileña se asemeja a Ciudad de México y Santiago. Por su parte, los costos por viajero son comparables a los percibidos en ciudades como Lima. El costo de la congestión relativo a PIB es el segundo mayor de la región, superado solo por Buenos Aires.

Figura 3.58 Comparación de resultados entre ciudades de ALC



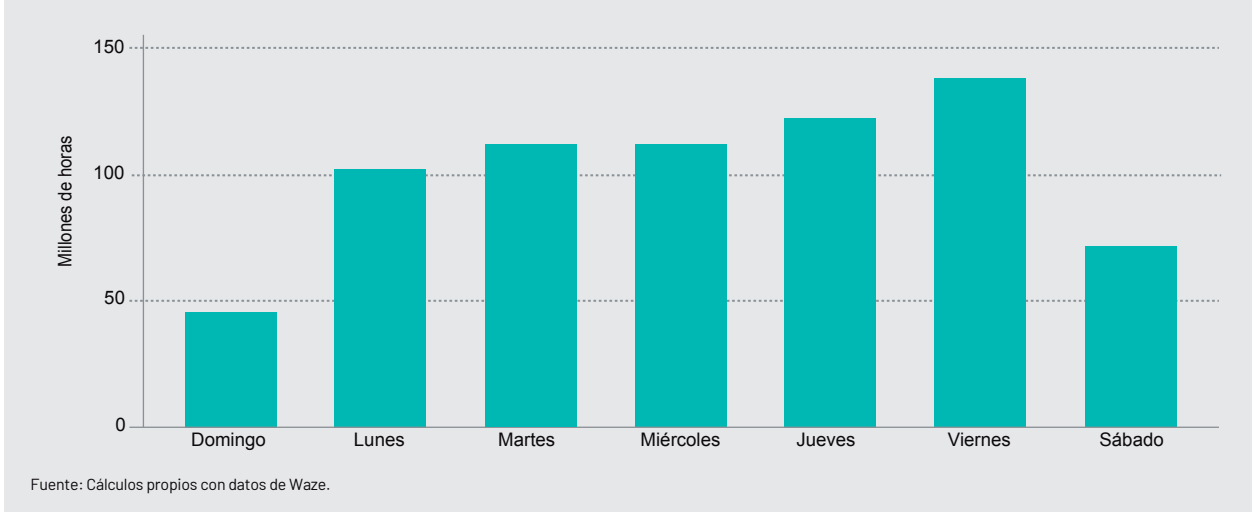
La Figura 3.59 exhibe el comportamiento de la congestión a lo largo del año. El último trimestre fue la etapa que acumuló mayor demora (26% de la congestión total), con aproximadamente 190 millones de horas equitativamente distribuidas entre los 3 meses.

Figura 3.59 Distribución de la congestión por mes del año (2019)



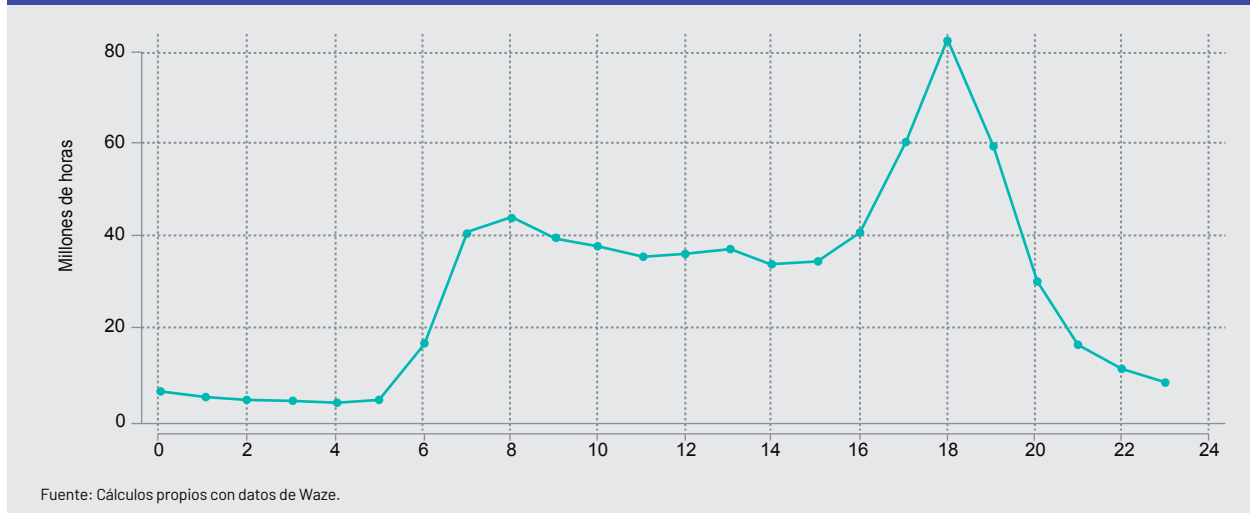
El comportamiento de la congestión en Sao Paulo a lo largo de la semana es similar al de otras ciudades (Figura 3.60). El viernes es el día de mayor nivel de congestión, acumulando cerca de 140 millones de horas, lo que representa el 20% del total. Cabe resaltar la marcada diferencia que existe entre días laborales y fines de semana, pues en días laborales se pierde, en promedio, un 99% más de tiempo por congestión.

Figura 3.60 Distribución de la congestión por día de la semana (Sao Paulo, 2019)



La Figura 3.61 exhibe el comportamiento de la congestión en Sao Paulo a lo largo del día. La congestión comienza a las 6 hs. y se mantiene hasta la tarde. El mayor pico se registra a las 18 hs. con un total del 12% del tiempo de congestión, es decir, más de 80 millones de horas. El período pico de la tarde —entre las 16 hs. y las 19 hs.— acumula el 39% de la congestión total, registrando 275 millones de horas. Esto es superior a la demora agregada de ciudades como Santiago de Chile.

Figura 3.61 Distribución de la congestión por hora del día (Sao Paulo, 2019)



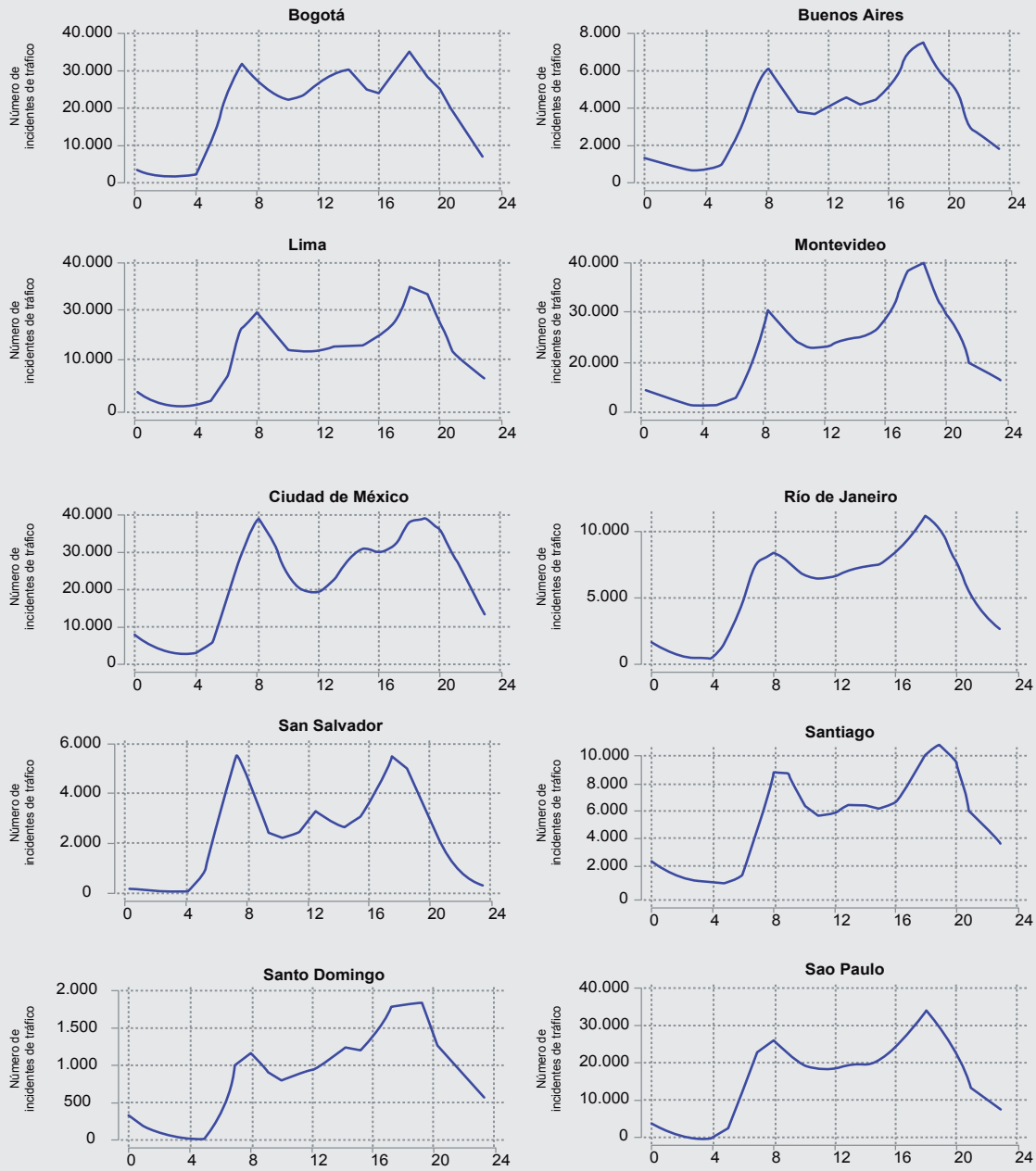
3.4. Costos indirectos de la congestión

De acuerdo con la literatura, entre los costos indirectos de la congestión se encuentra el de la siniestralidad vial (véase Capítulo 1)¹⁸. En esta sección, aplicaremos la metodología presentada en el Capítulo 2 para estimar la **relación entre congestión y siniestralidad** en las diez ciudades de ALC analizadas. La base de datos que utilizamos muestra que, en 2019, se produjeron alrededor de **2 millones de incidentes de tráfico** en las mismas. En términos absolutos, Ciudad de México es la ciudad que registró el mayor número de incidentes de tráfico, alcanzando el 27% del total, seguido por Bogotá y Sao Paulo con el 23% y 20% respectivamente. Por su parte, Santo Domingo y Montevideo presentaron el menor nivel de siniestralidad, con 1,1% y 1,5% del total respectivamente. En términos relativos, San Salvador fue la ciudad con mayor número de incidentes de tráfico por habitante (0,05/hab.), mientras que la capital argentina fue la que registró la menor tasa de siniestralidad (0,01/hab.).

La Figura 3.62 presenta la **distribución del número de incidentes de tráfico a lo largo de las horas del día**. La mayoría de las ciudades presentan al menos dos picos coincidentes con los horarios de mayor congestión: mañana y tarde. Algunas ciudades como Bogotá, Buenos Aires y San Salvador exhiben tres picos de alta siniestralidad, incluyendo uno en las horas del mediodía.

18. Para un análisis detallado sobre la seguridad vial en ALC, véase Zamora et al. (2021).

Figura 3.62 Distribución de los incidentes de tráfico por hora del día (2019)



Fuente: Cálculos propios con datos de Waze.

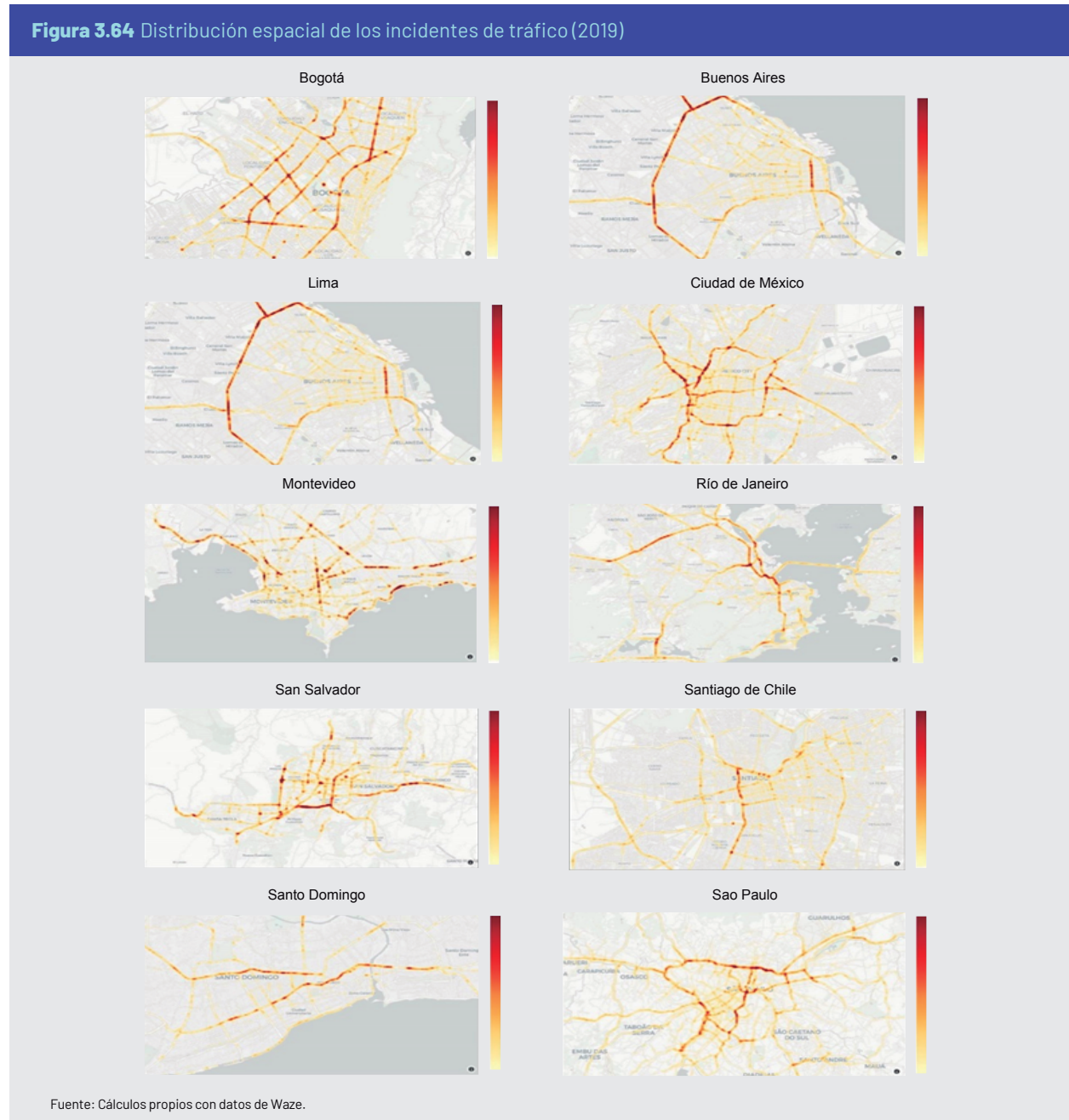
Similar a la distribución de la congestión observada por día de la semana, el número de incidentes de tráfico tiende a incrementarse durante los **días laborales** (ver Figura 3.63). Los viernes concentran el 19% del total de los incidentes de tráfico registrados en 2019.

Figura 3.63 Distribución de los incidentes de tráfico por día de la semana (2019)



Ciudad de México es la ciudad con mayor número de **incidentes de tráfico por hora**, con una media de 63 colisiones en 2019. El máximo de incidentes de tráfico se presentó el jueves 17 de octubre a las 8.00 am, con más de 300 siniestros viales. En el otro extremo se encuentra Santo Domingo, con 2,6 incidentes de tráfico por hora en promedio. Cabe resaltar el caso de Buenos Aires que, a pesar de ser la tercera ciudad más grande entre las analizadas, tuvo una media de 10 incidentes de tráfico por hora, cifra cinco veces inferior a la presentada por Bogotá y 1,6 veces inferior a la presentada por Santiago de Chile.

La Figura 3.64 muestra la **distribución espacial de los incidentes de tráfico** ocurridos en 2019. Para las ciudades con elevado nivel de siniestralidad, los siniestros tienden a ocurrir en las vías de mayor congestión. Bogotá y San Salvador son las ciudades que presentan la mayor densidad de siniestros. Estos se encuentran en las principales vías de la ciudad, es decir, Avenida NQS, Avenida El Dorado y Avenida Boyacá en la primera, y Paseo General Escalón y Boulevard de los Próceres. Cabe resaltar que en Buenos Aires, Ciudad de México, Río de Janeiro y Sao Paulo, la siniestralidad se superpone casi perfectamente con la demora agregada, como fue ilustrado en la sección 3.2 acerca de la distribución espacial de la congestión.

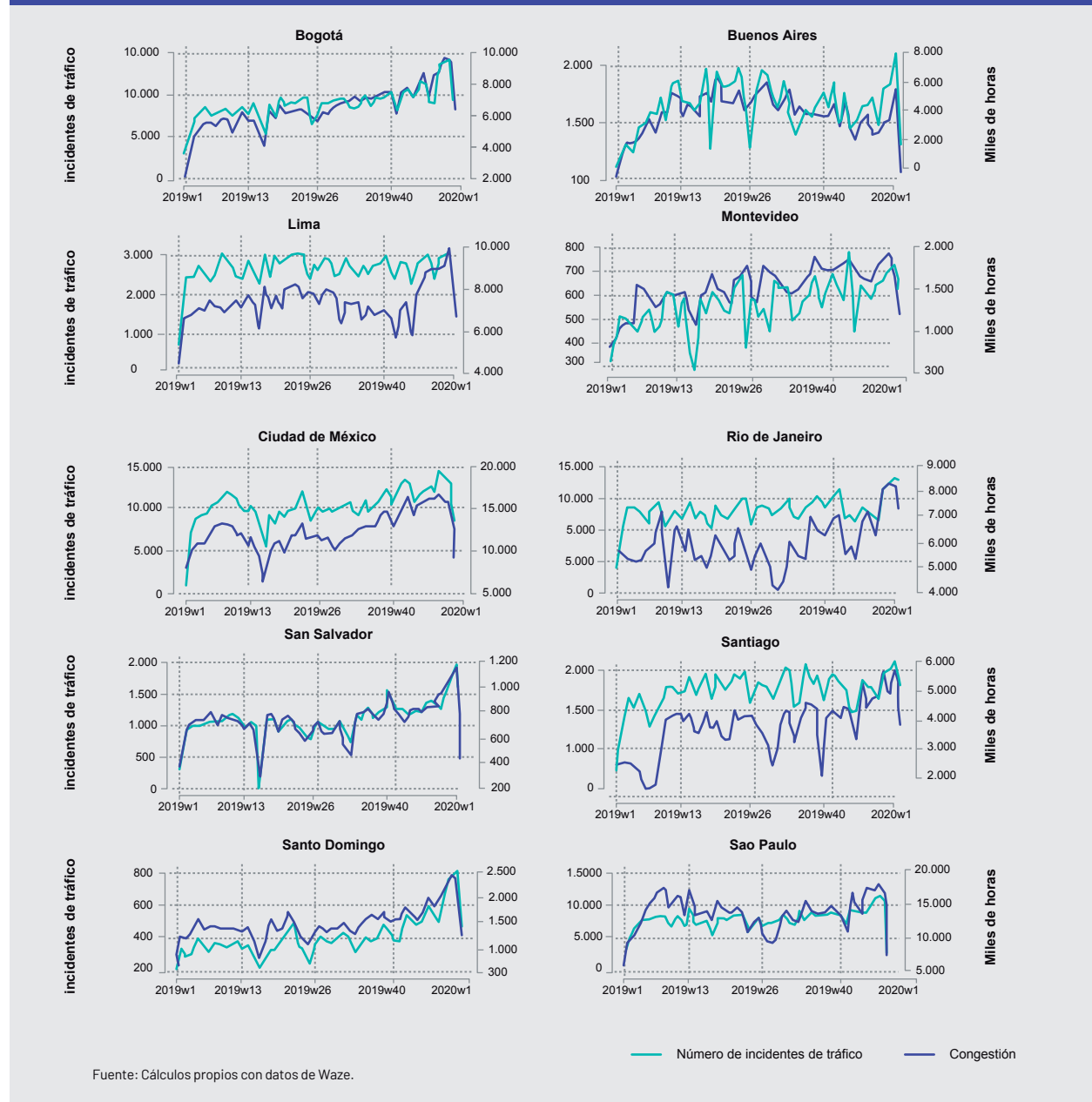


La Figura 3.65 muestra la cantidad de incidentes de tráfico contrastado con el total de congestión —en miles de horas— a lo largo de las 52 semanas del 2019. En cuanto a la serie temporal de los agregados, se presenta una **correlación altamente positiva y estadísticamente significativa** para todas las ciudades. La correlación más baja se evidencia en

88 - Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC

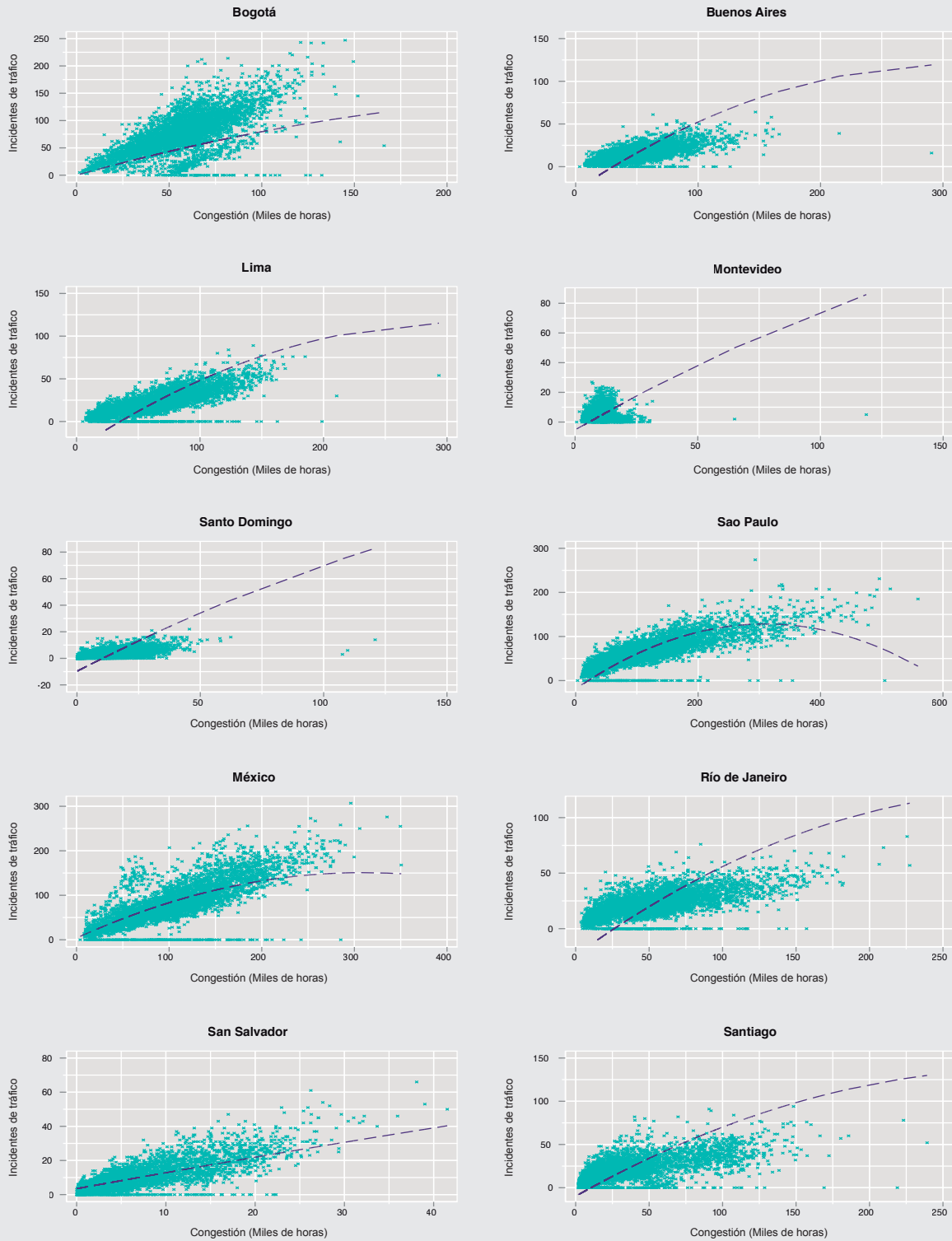
Río de Janeiro, con un coeficiente de 0,68. Por su parte, la correlación más alta se presenta en Bogotá, Santo Domingo y San Salvador, con coeficientes de 0,92, 0,91 y 0,90 respectivamente. Es importante señalar que, sin excepción alguna, todas las series presentan significancia estadística en las correlaciones para los diferentes estadísticos usados, a saber: Bonferroni y Sidak.

Figura 3.65 Número de incidentes de tráfico vs horas en congestión por semana



La Figura 3.66 ilustra la relación entre incidentes de tráfico y congestión en las diferentes ciudades, en intervalos de una hora. La línea punteada representa la relación cuadrática entre estas dos variables. Todas las ciudades presentan una tendencia positiva entre congestión y número de incidentes de tráfico. La correlación global es de 0,76 y estadísticamente significativa. Las correlaciones más fuertes tienen lugar en Sao Paulo y Lima, con 0,84 y 0,82 respectivamente. Montevideo es la única ciudad que presenta una relación atípicamente menos pronunciada (coeficiente de 0,09), aunque positiva y estadísticamente significativa.

Figura 3.66 Relación incidentes de tránsito y congestión (2019)

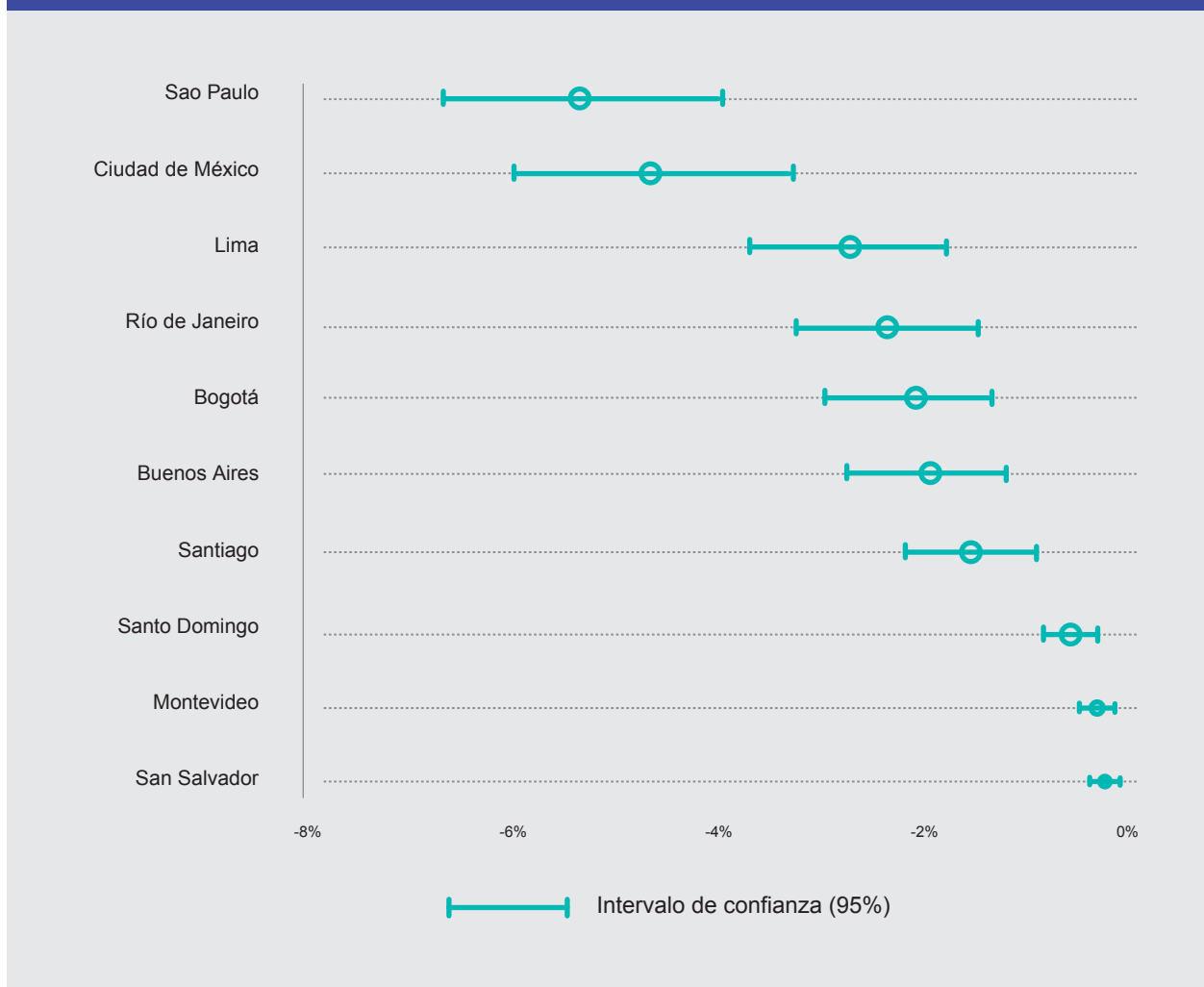


Fuente: Cálculos propios con datos de Waze.

90 - Capítulo 3. Magnitud y costos de la congestión en ALC

La aplicación del modelo descrito en el Capítulo 2 arroja resultados que son consistentes con la literatura académica, la cual señala una **relación causal y positiva entre congestión y siniestralidad** (Dias et al., 2009; Wang et al., 2009; Green et al., 2016). Nuestros hallazgos sugieren que si la demora agregada en un día laboral promedio se redujera un 10%, entonces los incidentes de tráfico disminuirían 5% en Sao Paulo y en Ciudad de México; 3% en Lima; 2% en Río de Janeiro, Bogotá, Buenos Aires y Santiago; 1% en Santo Domingo; 0,4% en Montevideo; y 0,3% en San Salvador (Figura 3.67). Particularmente, esto significa que si la congestión en 2019 hubiera sido un 10% menor, la cantidad de incidentes de tráfico reportados se habría reducido en un 3,5% promedio para la región. Esto equivale a una reducción de 73 mil incidentes de tráfico. La mayor proporción de esta reducción habría tomado lugar en Ciudad de México y Sao Paulo, con 26.627 y 23.247 incidentes de tráfico menos respectivamente; seguidos por Bogotá (11 mil); Lima (4 mil); Río de Janeiro (3 mil); Santiago y Buenos Aires (2 mil); San Salvador (194); Montevideo (143); Santo Domingo (117).

Figura 3.67 Reducción porcentual del número de incidentes de tráfico ante una disminución del 10% de la congestión



Capítulo 4.

CARACTERÍSTICAS Y DINÁMICA DE LA CONGESTIÓN: CASOS SELECCIONADOS

The number '04' is rendered in a large, bold, white font with a 3D effect, appearing to float above a dark blue grid. The grid is composed of white lines forming a perspective view of a city street layout. A white line traces a path across the grid, starting from the left, moving right, then down, then right again, ending at a small green dot. A white location pin icon is placed on the grid near the end of the path. A large, dashed white arc is visible in the upper half of the image, curving from the left towards the right.

04

92 - Capítulo 4. Características y dinámica de la congestión: casos seleccionados

La **concentración geográfica y temporal de actividades** económicas, sociales y culturales es uno de los factores que dan origen a la congestión urbana. En consecuencia, una parte importante de la gestión de tráfico en las ciudades se centra en el diseño e implementación de mecanismos para aliviar la congestión derivada de tales actividades y facilitar la movilidad. En los últimos años, el surgimiento de los servicios digitales de navegación y la analítica de *big data* ha mejorado la comprensión del impacto en el tráfico de, por ejemplo, actividades turísticas, mega eventos, operaciones logísticas y condiciones climáticas. En este capítulo, analizaremos una serie de casos de América Latina, para ilustrar este impacto. Los casos seleccionados pueden clasificarse en tres grupos:

1. Actividades económicas: (i) turismo de cruceros; (ii) mercado de abasto y áreas logísticas.
2. Actividades culturales y sociales: (iii) mega evento deportivo; (iv) festival de música.
3. Áreas de primera importancia: (v) presencia de escuelas; y (vi) presencia de centros de salud.

Para cada caso, analizaremos el comportamiento de la congestión incluyendo sus dimensiones temporales y geográficas. El objetivo de este capítulo es ilustrar el potencial del uso de estas técnicas, para **comprender mejor las características y dinámicas de la congestión** en nuestras ciudades cuando está **relacionada con actividades específicas**. Esto permitirá adoptar medidas de gestión de tráfico más adecuadas a las condiciones cambiantes de la congestión en presencia de tales eventos.

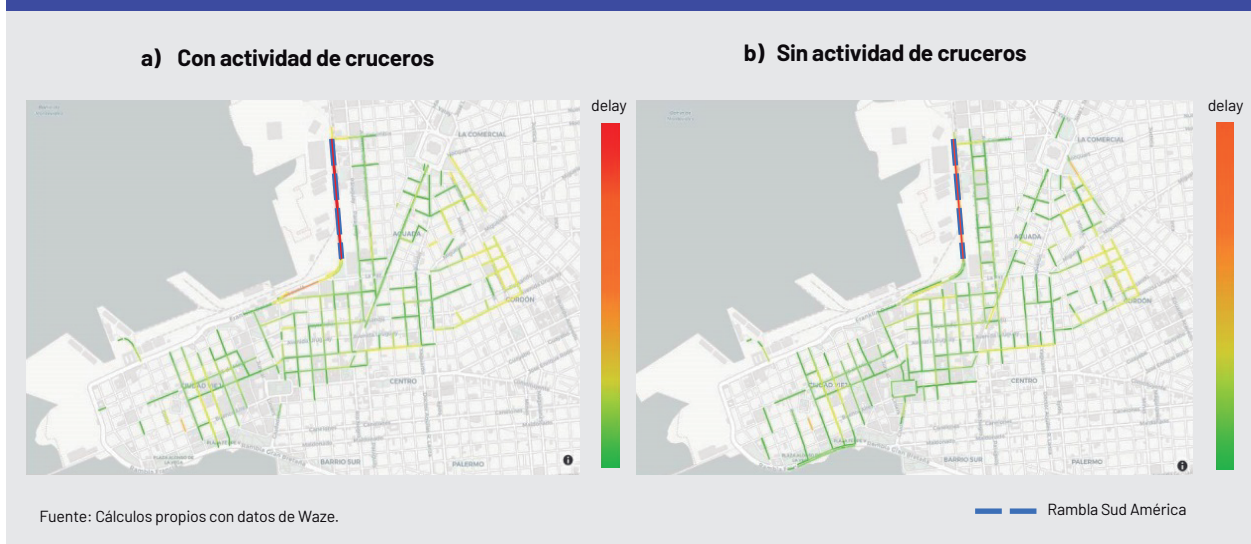
4.1. Congestión urbana relacionada con actividades económicas

La mayor disponibilidad y granularidad de los datos acerca de la movilidad en las ciudades permite analizar con mayor detalle la **relación entre la congestión y las actividades económicas**. A continuación, exploraremos dos tipos de actividades que se encuentran ampliamente presentes en las megaciudades de ALC: **turismo y logística**. Respecto al turismo, focalizaremos nuestro análisis en la industria de cruceros en dos ciudades: Buenos Aires y Montevideo. Previo a la pandemia de COVID-19, esta industria constituía uno de los sectores del turismo con mayor crecimiento en la región y todo parecería indicar que, una vez concluida la pandemia, retomará su tendencia creciente. Por su parte, a través del caso de Corabastos en Bogotá, exploraremos la relación entre la presencia de mercados centrales, actividades logísticas y congestión urbana.

En los últimos años, se ha incrementado el debate acerca del impacto —positivo y negativo— de las **actividades de cruceros en las ciudades** y países que las reciben (Brida et al., 2011). Entre los efectos negativos, una de las principales fuentes del descontento social son las consecuencias sobre la movilidad urbana, especialmente cuando las terminales se encuentran en zonas centrales de las ciudades huéspedes. Para indagar sobre este efecto en las ciudades de ALC, utilizaremos datos de congestión en las zonas aledañas a las terminales de cruceros de **Montevideo y Buenos Aires**, las cuales están emplazadas dentro del núcleo urbano, así como datos de arribos y salidas de cruceros para ambos puertos, para el año 2019.

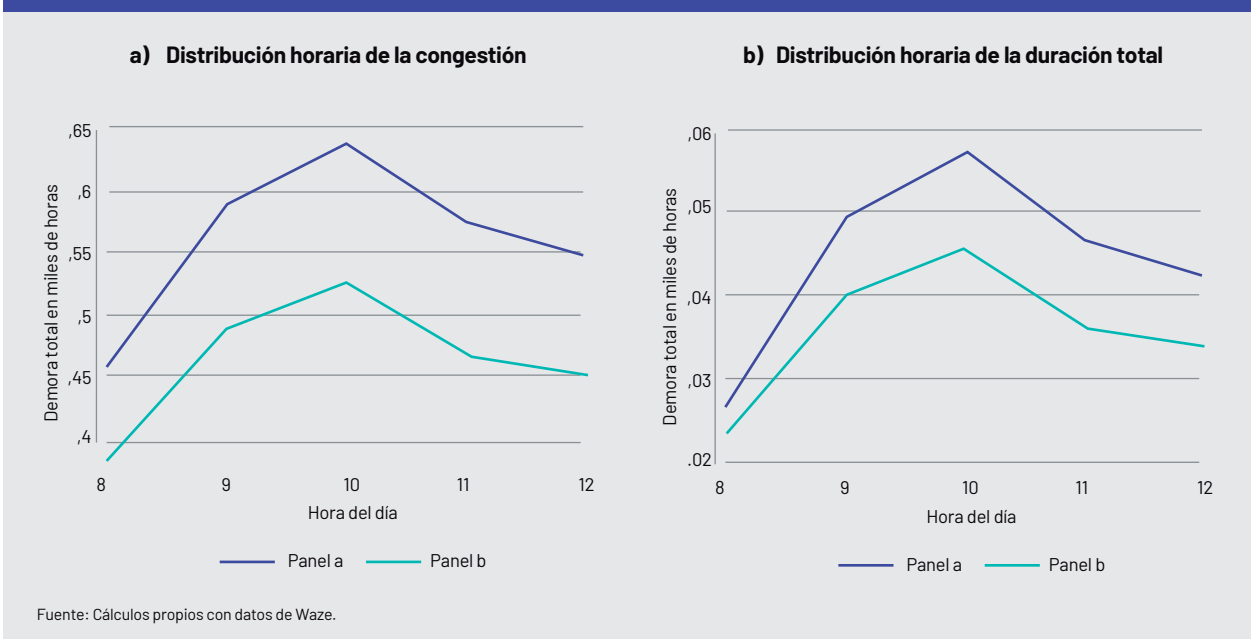
Realizamos una regresión en panel de datos (detallada en el Apéndice 3) que permite controlar por diversos factores, para determinar la significancia estadística del incremento del retraso total por actividad de cruceros sobre la congestión en el área portuaria. Con base a estas estimaciones, encontramos que **cada crucero incrementa la congestión en el área portuaria alrededor del 15%**. La Figura 4.1 ilustra los resultados para Montevideo, para la franja horaria 8:00 am a 12:00 pm, en 2019. El panel (a) presenta la congestión promedio de los días de 2019 en los que hubo al menos un crucero entrando o saliendo en el puerto. El panel (b) muestra el promedio de la congestión en la misma área en los días en los que no hubo actividad de cruceros. En promedio, la congestión en los alrededores del puerto de Montevideo incrementó en un 21% de manera estadísticamente significativa durante los días que tuvieron actividad de cruceros. Gran parte de este incremento se verificó en la Rambla Sud América, lo que indica la necesidad de una mayor atención a la planificación de la movilidad en esta zona para los días y momentos con descenso/ascenso de pasajeros.

Figura 4.1 Puerto de Montevideo con y sin actividad de cruceros (promedio 2019)



Aprovechando las oportunidades que permite el análisis de *big data* en términos de desagregación, exploramos la dinámica de la congestión bajo la presencia de cruceros. La Figura 4.2 muestra que la congestión es sistemáticamente mayor ante la presencia de cruceros para todas las horas entre 8:00 am y 12:00 pm. La mayor demora tiene lugar entre las 9:00 am y 10:00 am, con un retraso máximo de 640 horas, toda vez que en aquellos días sin cruceros esta demora se sitúa en 520 horas. El incremento en la demora se asocia con la duración de los embotellamientos alrededor de la zona portuaria (Figura 4.2.b).

Figura 4.2 Dinámica de la congestión alrededor del Puerto de Montevideo (2019)

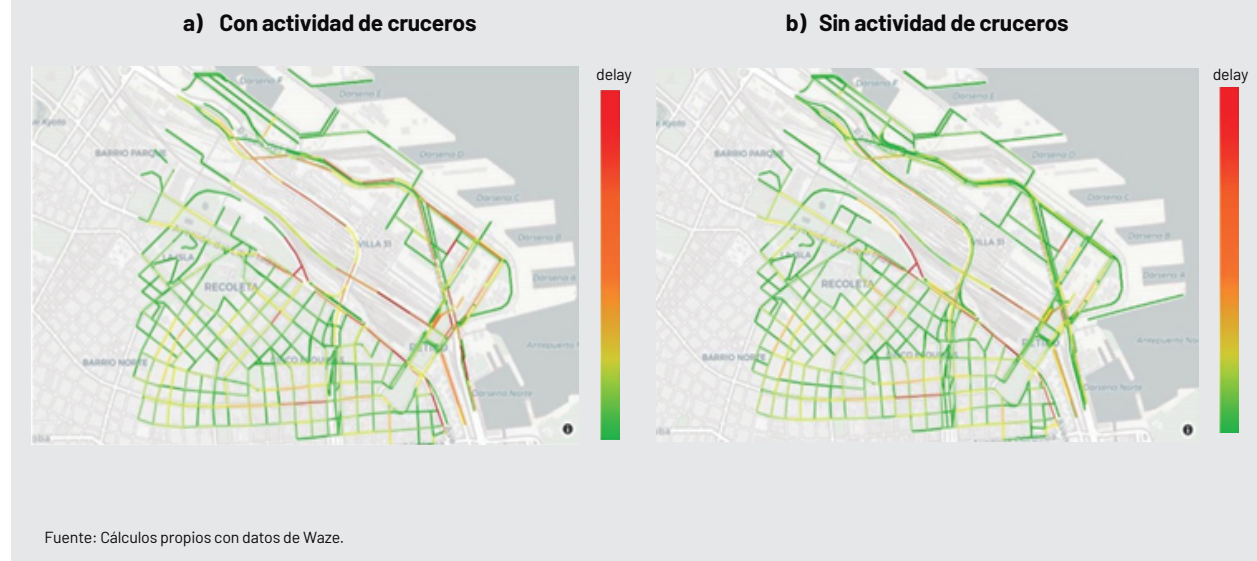


La Figura 4.3 ilustra la dinámica de la congestión en el área aledaña al puerto de Buenos Aires. En promedio, la diferencia en la demora agregada entre los días con y sin actividad de cruceros asciende a un 47% y también posee significancia estadística. A diferencia de Montevideo, el impacto de la congestión no se encuentra geográficamente

94 - Capítulo 4. Características y dinámica de la congestión: casos seleccionados

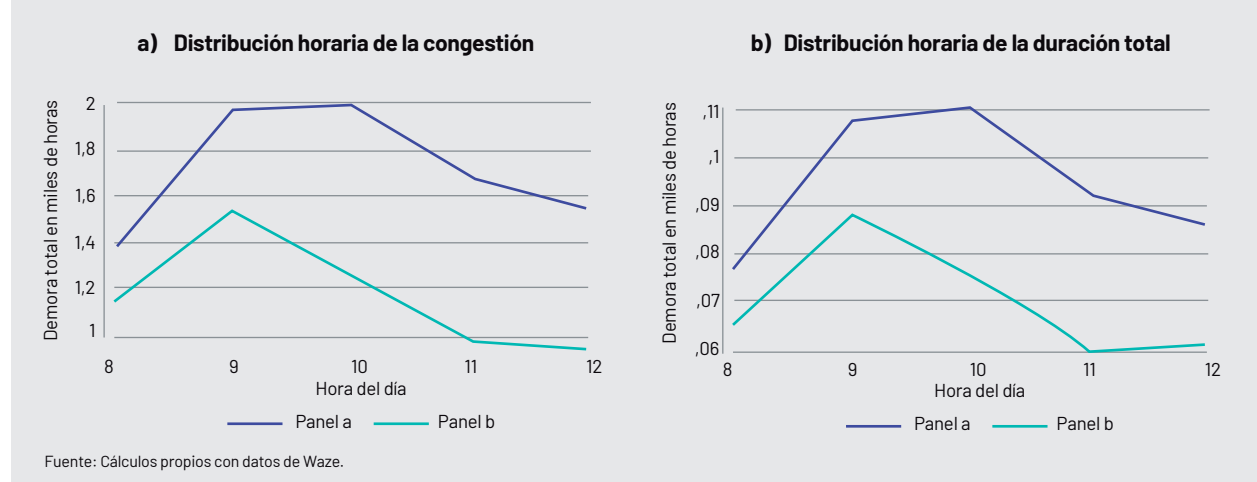
aislado en una única vía, sino que se extiende sobre toda la zona aledaña al puerto. Así, la mejora de la movilidad en presencia de cruceros requiere una atención integral hacia la zona, donde también se concentran numerosas actividades comerciales y sociales, a la vez que uno de los puntos neurálgicos de transporte en la ciudad (Terminal de Autobuses y Trenes de Retiro).

Figura 4.3 Puerto de Buenos Aires con y sin actividad de cruceros (promedio 2019)



La dinámica temporal de la congestión alrededor del puerto de Buenos Aires presenta un pico inicial a las 9:00 am en ambos escenarios. Ante la presencia de cruceros, este pico se extiende hasta las 10:00 am, alcanzando una demora agregada superior a las 2.000 horas en 2019 (1.550 horas para los días sin actividad de cruceros) (Figura 4.4a). Respecto a la duración de los embotellamientos, puede observarse una mayor duración para los días con actividad de cruceros, que tiene lugar en el período 10:00 a.m a 12:00 m.d (Figura 4.4b). En el período de 11:00 a.m a 12:00 m.d del panel b se observa una disminución en la demora agregada y un aumento de la duración total. Una posible explicación de ello es el aumento de embotellamientos de baja envergadura que aumentan la duración, pero tienen un bajo impacto en la demora agregada del área.

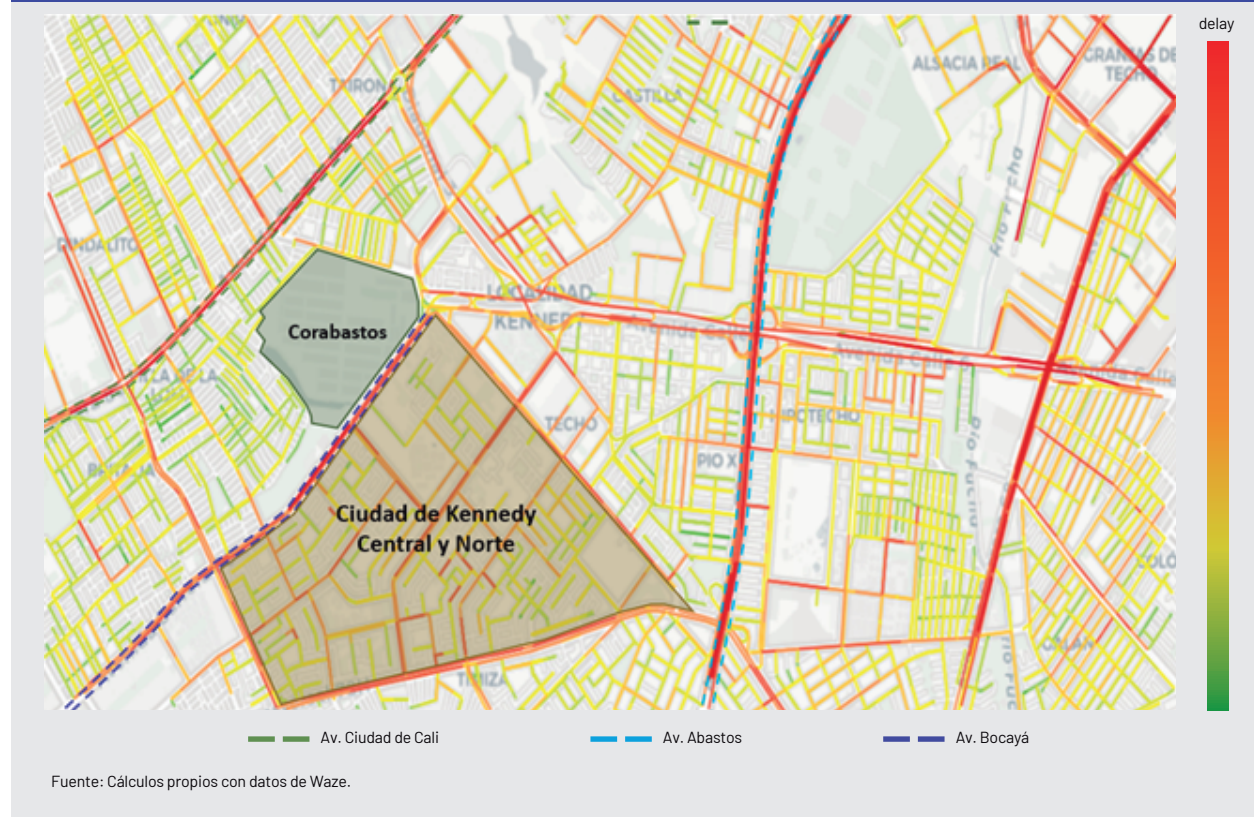
Figura 4.4 Dinámica de la congestión alrededor del puerto de Buenos Aires (2019)



Habiendo analizado la relación entre congestión y cruceros, nos focalizaremos ahora en el segundo ejemplo de actividad económica a explorar. Recordando lo mencionado en el primer capítulo, uno de los tipos más comunes y relevantes de la congestión es la congestión recurrente (Brownfield et al., 2003). Entre sus causas, se encuentra la concentración de actividades económicas en un punto determinado, donde la afluencia de viajes excede la capacidad de la infraestructura presente. En las ciudades latinoamericanas, los **mercados centrales**, donde se aglutinan numerosos establecimientos formales e informales, y alrededor de los cuales tienen lugar una miríada de operaciones comerciales y logísticas, suelen ser un punto álgido de congestión. En estas áreas, los vehículos de carga coinciden con un alto flujo de transporte colectivo (formal e informal) y de vehículos particulares de todo tipo, utilizados por los consumidores para trasladarse desde y hacia el mercado. Alcanzado el punto de saturación de la red vial relacionada, la congestión comienza a extenderse, afectando de forma recurrente toda la red de transporte que se encuentra próxima a estos centros de actividad.

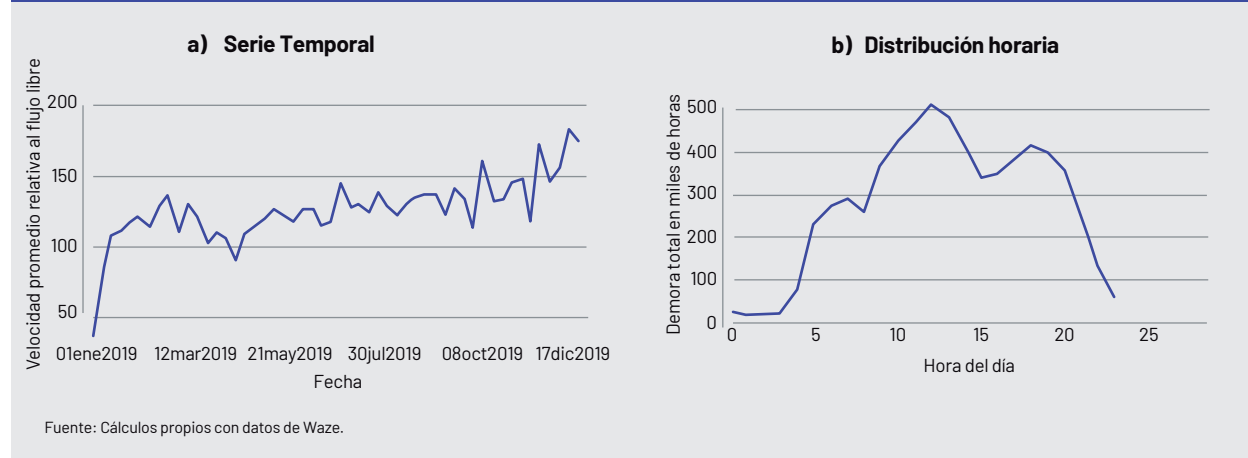
Un caso de estudio interesante en este sentido es el de la **central mayorista más importante de Colombia, Corabastos**. Esta central está ubicada al occidente de Bogotá, en la localidad más poblada de la ciudad capital, denominada Kennedy (1.200.000 habitantes), y cuenta con 57 bodegas para el almacenamiento y distribución de alimentos. La Figura 4.5 muestra la concentración de la congestión en la red de transporte próxima a Corabastos. Resalta la situación de la Avenida Carrera 80 (también llamada Avenida Abastos), que da entrada a la central. Ahora bien, las dos vías más afectadas son: la Avenida Ciudad de Cali y la Avenida Boyacá, dos vías arteriales que recorren toda la ciudad de Bogotá de norte a sur en su zona occidental. Finalmente, altos niveles de congestión se presentan en las principales vías que sirven a los barrios residenciales Ciudad Kennedy Norte y Ciudad Kennedy Central (parte inferior de la figura).

Figura 4.5 Congestión urbana en Corabastos, Bogotá



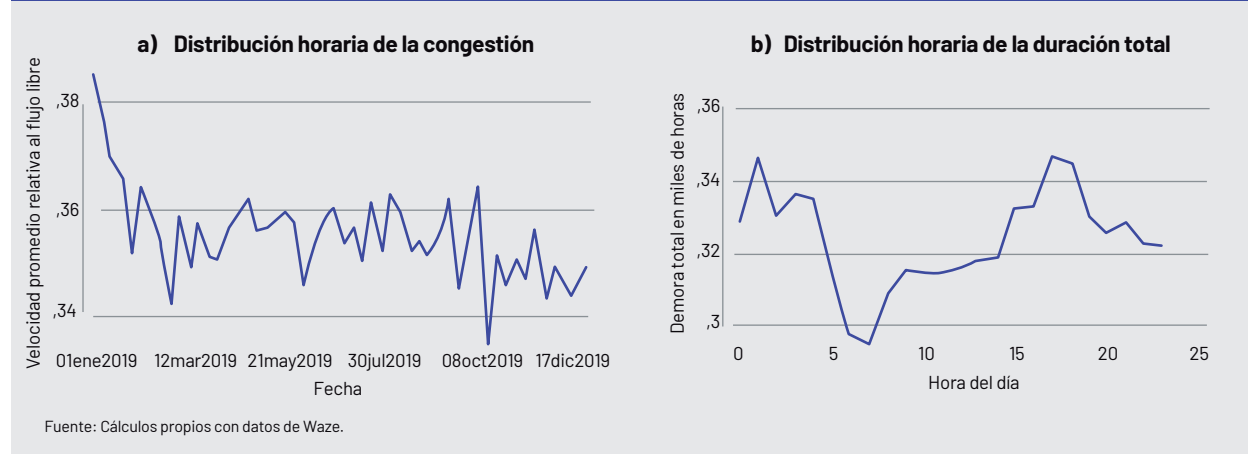
La Figura 4.6a presenta la descripción temporal de la congestión alrededor de Corabastos durante 2019. En la misma, se observa una tendencia creciente, siendo más pronunciada en el último trimestre del año. Mientras que durante el primer trimestre la demora total máxima registrada fue cercana a las 131 mil horas, tan solo en el mes de diciembre este valor promedió las 141 mil horas, alcanzando un máximo semanal de 183 mil horas. La concentración de la congestión tiene lugar entre las 8 hs. y las 20hs., con dos grandes picos: el mayor se registra a las 12 hs., con una demora acumulada superior a las 510 mil horas para el año 2019, y el menor se evidencia a las 18 hs., superando las 400 mil horas. Estas tendencias están correlacionadas con la duración de los embotellamientos; mientras que en el primer trimestre del año la duración acumulada promedio semanal de los embotellamientos estuvo cercana a las 13,5 mil horas (en diciembre esta duración ascendió hasta las 18 mil horas). Por horas del día, la mayor duración de los embotellamientos se dio a las 11 hs. y a las 18 hs., superando las 57 mil horas.

Figura 4.6 Descripción temporal de la congestión urbana en Corabastos, Bogotá



La velocidad promedio durante los embotellamientos se sitúa alrededor del 35% de la velocidad de flujo libre durante todo el 2019, con una caída en el período octubre-diciembre, en coherencia con el incremento total de la congestión (Figura 4.7). Es de notar que la mayor reducción de la velocidad promedio se da de las 4 hs. a las 7 hs., rebasando el 30% de la velocidad promedio de flujo libre, y entre las 18 hs. y 20 hs., aproximándose al 32% de la misma. Estas indicaciones temporales de la congestión, junto con las geográficas presentadas más arriba, brindan información importante para las acciones de gestión del tráfico en la zona aledaña al mercado, a fin de mejorar la movilidad en la misma.

Figura 4.7 Velocidad promedio de embotellamientos en Corabastos, Bogotá (2019)



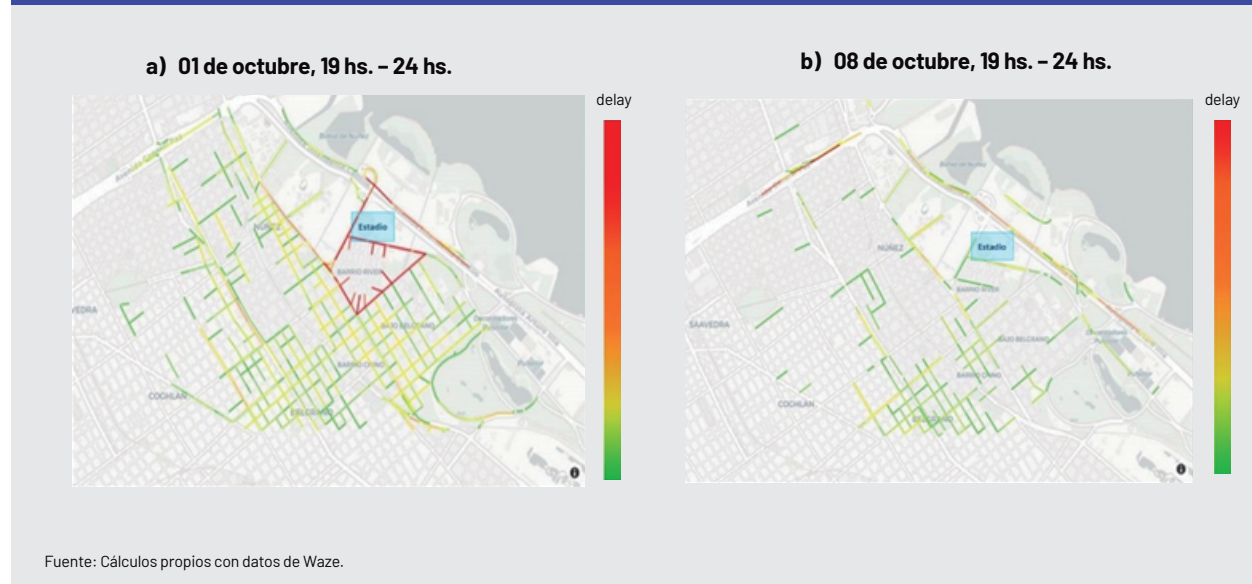
A través de los ejemplos aquí utilizados, podemos evidenciar que las actividades económicas pueden estar asociadas a niveles de saturación de la infraestructura y por ende, de congestión. A la vez, la congestión posee características y dinámicas específicas en cada caso. Dados los costos económicos directos e indirectos derivados de la congestión para las ciudades y sus habitantes, es clave conocer dichas características, a fin de diseñar medidas de gestión de tráfico que sean efectivas, balanceando los efectos negativos sobre el territorio de la aglomeración económica. En relación con este tema, en el Capítulo 5 mencionamos las medidas que han demostrado ser más efectivas para la gestión de la logística urbana.

4.2. Congestión urbana relacionada con actividades culturales y sociales

Las ciudades son núcleo de numerosas **actividades culturales y sociales**, entre las cuales se encuentran **eventos deportivos y musicales**. Estas constituyen focos de atracción de numerosos viajes, los cuales muchas veces exceden la capacidad de la infraestructura de transporte disponible. Si bien los eventos culturales son un elemento funcional a la vida de las ciudades, en cuanto manifestaciones artísticas y deportivas, así como generadoras de oportunidades económicas, desde el punto de vista del transporte es clave observar sus impactos en el tráfico, para poder implementar acciones que mitiguen riesgos de incidentes de tráfico y faciliten la movilidad en las zonas involucradas. A continuación, examinamos ejemplos de dos mega eventos culturales —un partido de fútbol en Buenos Aires y un festival de música en Santiago—, a fin de evidenciar su impacto en la congestión urbana.

El martes 1 de octubre de 2019 se enfrentaron en Buenos Aires los dos equipos de fútbol más importantes de Argentina: River Plate y Boca Juniors. El partido correspondía a la **semifinal de la Copa Libertadores**, el torneo de fútbol que reúne a los principales clubes de Sudamérica. Alrededor de 70.000 espectadores asistieron al estadio Monumental de River Plate. El partido comenzó a las 21:30 hs., finalizando poco antes de las 23:30 hs. En la Figura 4.8 se muestra el estado del tráfico en torno al estadio, para el período entre las 19hs. y las 24 hs. del 1 de octubre, comparado con el período similar del martes de la siguiente semana, día 8 de octubre, en el cual no hubo partido de fútbol en el Monumental. Se evidencia un claro incremento de la congestión en la zona aledaña al estadio, medida en más de 23.000 horas (incremento del 811%) para el período de tiempo considerado. Asimismo, puede visualizarse la extensión geográfica de las demoras ocasionadas por este mega evento, llegando a los barrios adyacentes al barrio River Plate, tales como Núñez, Bajo Belgrano y el Barrio Chino.

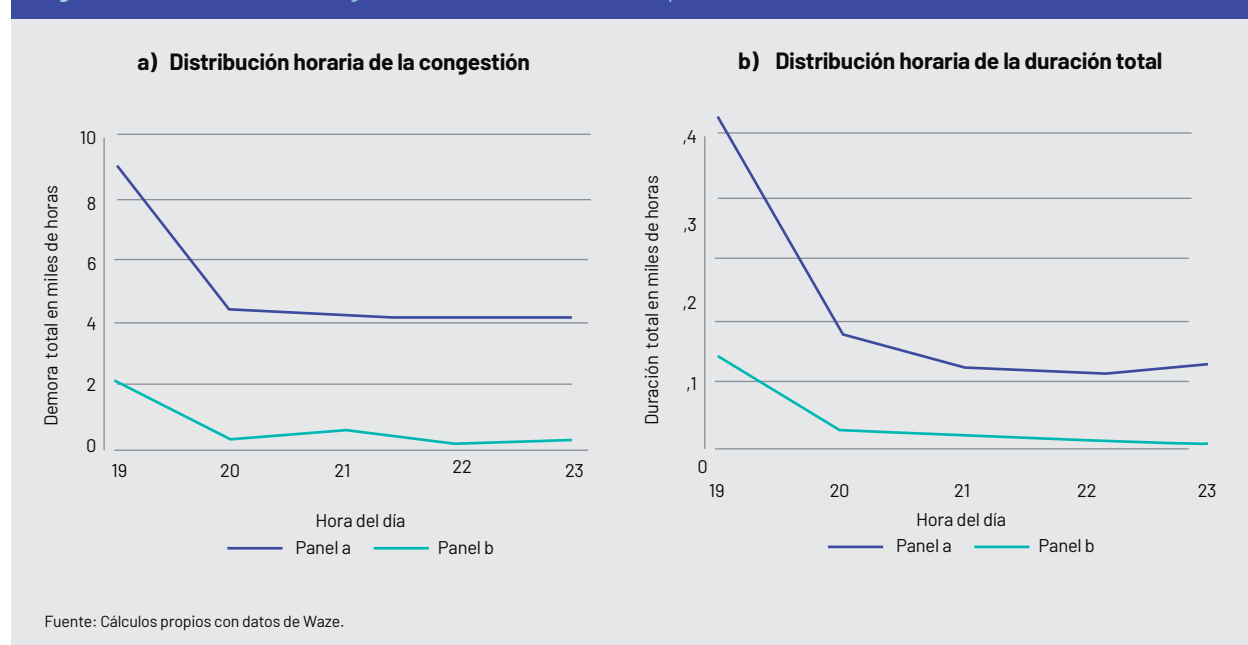
Figura 4.8 Semifinal de la Copa Libertadores y congestión urbana (Buenos Aires, 2019)



98 - Capítulo 4. Características y dinámica de la congestión: casos seleccionados

La Figura 4.9a muestra la demora total, tanto para el 1 como para el 8 de octubre, entre las 19 hs. y las 23 hs. En el panel b —el escenario de congestión sin la Semifinal de la Copa Libertadores—, se reporta una demora total inferior a las 3 mil horas, desapareciendo parcialmente a partir de las 23 hs. El día del partido, por su parte, la demora total ascendió a aproximadamente 9 mil horas a las 19 hs., sosteniéndose por encima de 4 mil horas a partir de este momento, con lo cual se tuvo una pérdida a lo largo de la noche de casi 26 mil horas. Por su parte, la Figura 4.9b reporta la duración total de los embotellamientos. El día del partido presenta una duración total de los embotellamientos de casi mil horas, bastante superior a lo reportado en las fechas que no hubo partido, donde apenas se superaron las 200 horas perdidas por congestión.

Figura 4.9 Dinámica de la congestión durante la Semifinal copa Libertadores (Buenos Aires, 2019)



Unido a las manifestaciones deportivas, los conciertos suelen ser eventos que también reúnen a un gran número de personas en un área y espacio de tiempo reducidos. A fin de analizar el comportamiento de la congestión en estos casos, elegimos el **festival de música "Lollapalooza Chile"**, que se llevó a cabo en el Parque O'Higgins durante el último fin de semana de marzo del 2019, reuniendo a más de 240.000 personas. El evento tuvo tres puntos de acceso, que se abrieron a las 12 hs. del viernes 29 de marzo y se cerraron el domingo 31 de marzo a las 23:30 hs. El parque O'Higgins se encuentra en la comuna de Santiago Centro, cercano a tres estaciones de la Línea 2 del Metro de Santiago: Toesca, Rondizonni y Parque O'Higgins. Debido a la gran magnitud del evento, las autoridades decidieron extender el horario de operación de las líneas 1 y 2 del metro. Por su parte, las personas que quisieron asistir en vehículo particular podían comprar anticipadamente un cupo de estacionamiento en el Club Hípico de Santiago.

La Figura 4.10 ilustra el estado de congestión de la zona aledaña al Parque O'Higgins, para el período entre las 8 hs. y las 22 hs. del fin de semana del 30 al 31 de marzo, comparado con el mismo período del fin de semana anterior. En esta imagen se muestra el gran contraste que existe en la congestión de las vías que rodean al parque, como Av. Matta y la Autopista Central. Adicionalmente, se observa el impacto que tuvo el evento masivo sobre la congestión de barrios medianamente cercanos al parque, como Franklin o República.

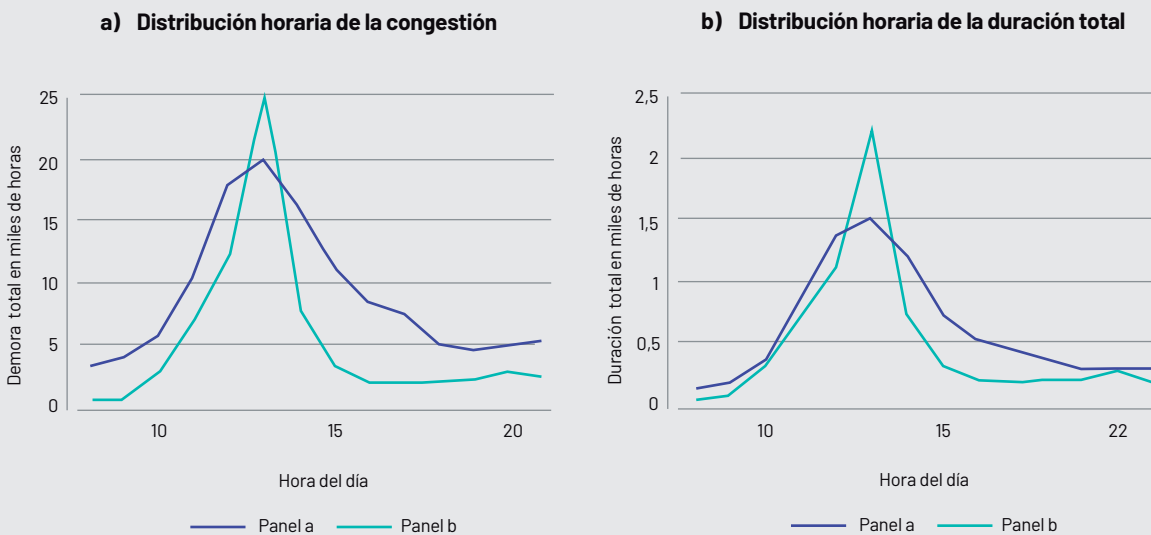
Figura 4.10 Congestión urbana en parque O'Higgins, Santiago (2019)



Fuente: Cálculos propios con datos de Waze.

La demora acumulada a través en los días del Lollapalooza es sistemáticamente superior a la demora acumulada entre el 23 y el 24 de marzo (Figura 4.11). A las 10 hs., la demora total se acercaba a las 6 mil horas en los días del festival, mientras que el fin de semana anterior la demora apenas alcanzaba las 3 mil horas. El día termina con un margen de diferencia similar. Para ambos casos (con y sin festival), se observa un aumento de la congestión durante el periodo 10 hs. a 13 hs., que supera las 20 mil horas de demora. Cabe destacar que es en el caso sin festival donde se registra el pico de mayor demora, teniendo lugar a las 13 hs. y con una demora total mayor a las 25 mil horas. No obstante, en el total del período analizado, la congestión es 50 mil horas superior con el Lollapalooza, lo que representa casi un 70% más de congestión dado el evento.

Figura 4.11 Congestión en Parque O'Higgins



Fuente: Cálculos propios con datos de Waze.

100 - Capítulo 4. Características y dinámica de la congestión: casos seleccionados

En suma, como evidenciado en los casos de la Semifinal de la Copa Libertadores y el festival de Lollapalooza, los mega eventos generan un gran estrés en las vías urbanas, expandiéndose más allá de las zonas meramente adyacentes a los lugares donde se realizan tales eventos. Poder disponer de información granular acerca del impacto en la movilidad de esta afluencia masiva de personas es clave para diseñar planes efectivos de gestión de tráfico, que mitiguen efectos adversos en la seguridad vial y en el bienestar de las zonas involucradas en tales eventos

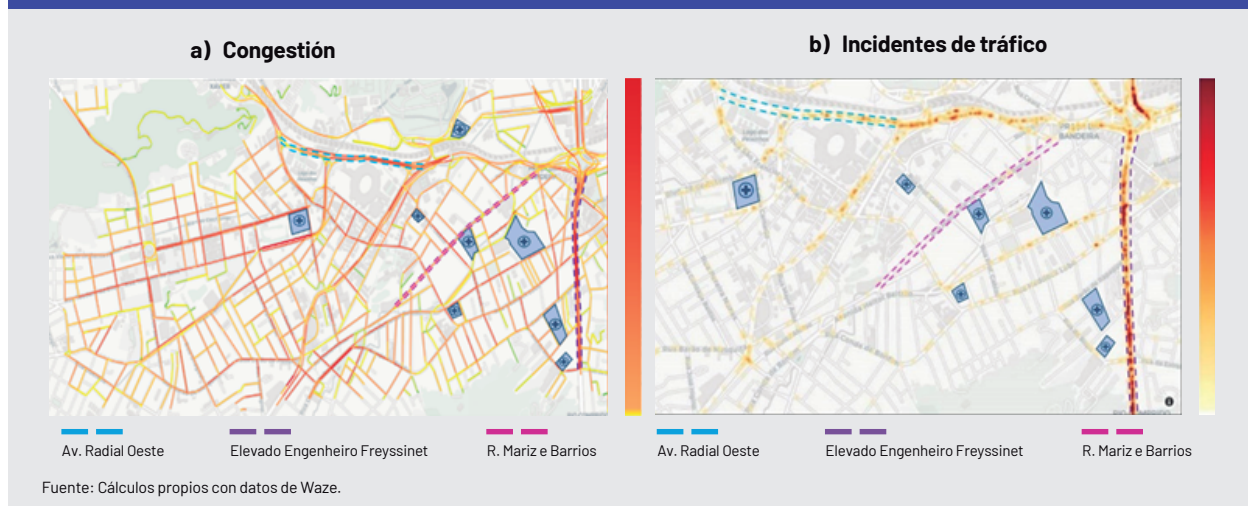
4.3. Congestión urbana relacionada con áreas de primera importancia

Las ciudades reúnen a **centros de primera importancia** para la sociedad, como lo son **centros de salud y los centros educativos**. Estos lugares son frecuentados día tras días por miles de personas, generando un alto volumen de tráfico en sus inmediaciones y, en ciertos horarios, congestión recurrente. En estos casos, además de los costos económicos de la congestión, es clave tener en cuenta sus impactos indirectos, tales como una mayor propensión a incidentes de tráfico en zonas donde circulan un gran número de niños, y mayores demoras en áreas donde el acceso oportuno a la salud puede ser determinante. De esta forma, la gestión apropiada del tráfico en las zonas aledañas a los centros de primera necesidad es elemental para mitigar riesgos en la seguridad vial y la asistencia sanitaria. La granularidad de los datos de tráfico disponible a través de *big data* hace posible comprender los patrones de congestión en estas áreas, con un detalle sin precedentes. A estos efectos y a modo de ejemplo, en esta sección analizaremos la dinámica de la congestión y el nivel de siniestralidad alrededor de tres áreas de primera necesidad en ciudades de ALC: un área hospitalaria en Río de Janeiro, una universitaria en Sao Paulo y una escolar en Ciudad de México.

La zona aledaña al estadio Maracanã en **Río de Janeiro** alberga una **red hospitalaria con numerosos centros y especialidades**: entre la Av. Maracanã y la calle Dr. Satamini se encuentra la Clínica Médica, el Hospital Universitario Gaffrée y Guinle y el Hospital Sao Vicente de Paulo; al sureste de la calle Dr. Satamini se sitúan el Hospital Central da Aeronáutica y la Rede Hospital Casa de Portugal; al suroeste de esta se encuentra el Hospital Casa Prontocor; en el sector noroccidental se encuentra el Hospital Universitario Pedro Ernesto; y al nororiente está ubicado el hospital más grande del Estado, el Quinta D'Or. Ante la presencia de este número de centros de atención sanitaria, nos preguntamos cómo es la congestión y cómo se da la dinámica de siniestralidad en el área.

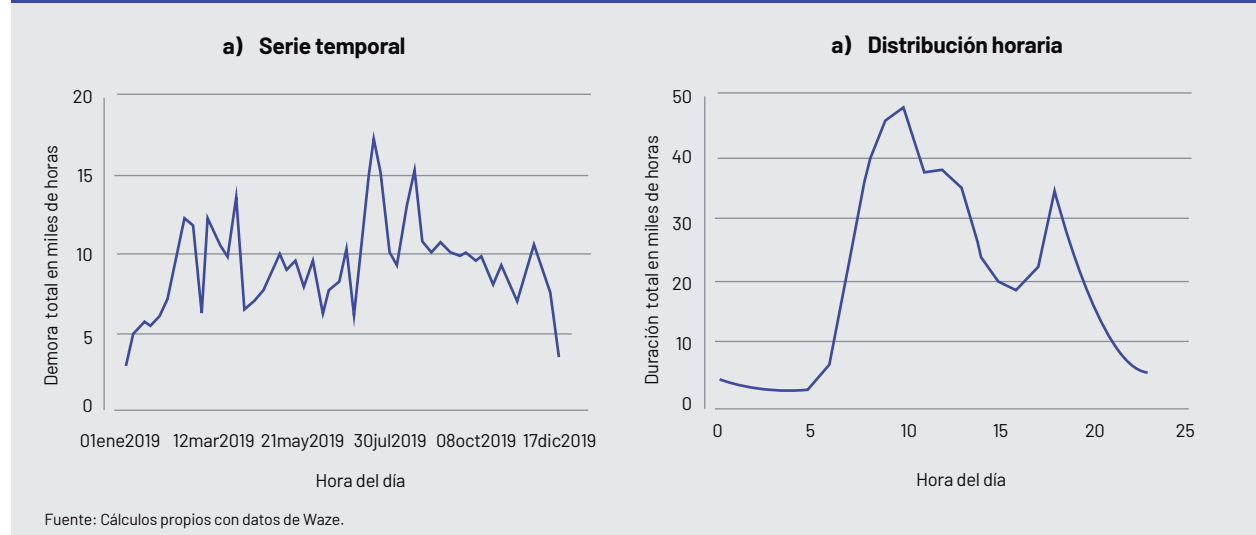
La Figura 4.12 muestra que las vías más congestionadas durante 2019 fueron principalmente la Avenida Radial Oeste y el elevado Engenheiro, cruciales para el flujo vehicular de norte a sur y el acceso a los hospitales desde el occidente. Por su parte, la calle Mariz e Barrios, clave para la conectividad dentro del área, reporta un alto nivel de congestión en un tramo situado al sur del estadio Maracanã. Como es de esperarse, las principales vías reflejan un alto nivel de siniestralidad, aspecto que puede ser determinante en caso de necesitar acceder con urgencia a los servicios de salud.

Figura 4.12 Congestión urbana e incidentes de tráfico en área hospitalaria, Río de Janeiro (2019)



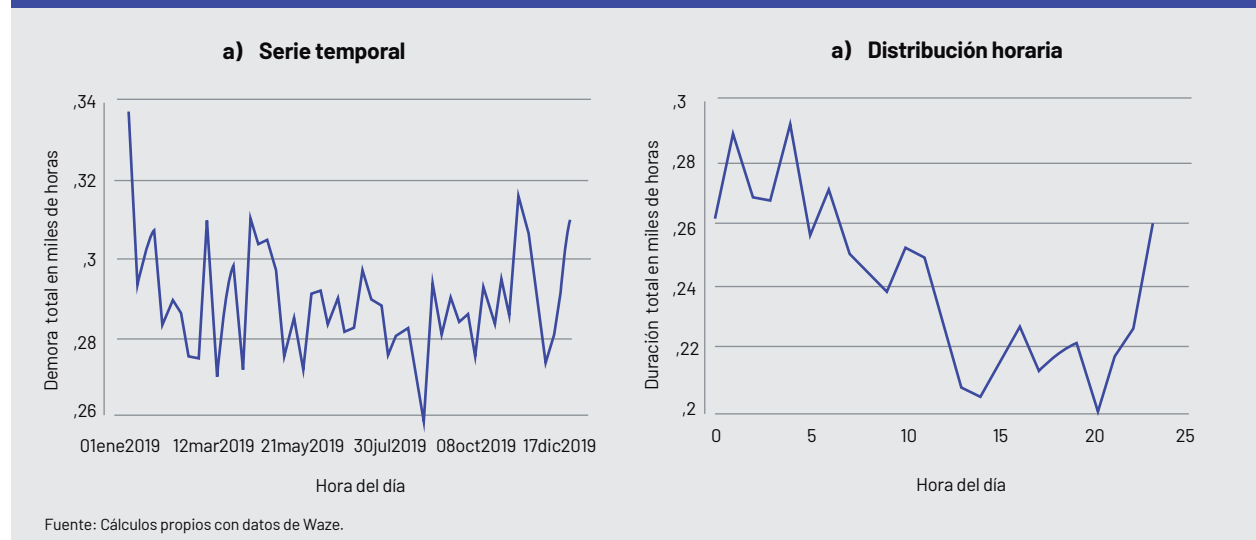
La demora media semanal por congestión en el área aledaña a la zona hospitalaria fue alrededor de 8 mil horas durante el 2019, con un máximo de 17 mil horas registrado a finales de julio (Figura 4.13). En especial, destaca un alto nivel de congestión en los períodos entre febrero y mayo, y de julio a septiembre. Cabe notar que el grueso de la congestión en esta zona se verifica entre las 9 hs. y las 21 hs., con especial énfasis en los rangos 9 hs.-11 hs. (donde se alcanza un máximo de 48 mil horas de demora) y 18 hs.-19 hs. (34 mil horas). La duración total de los embotellamientos alcanza las 63 mil horas.

Figura 4.13 Descripción temporal de la congestión en área hospitalaria, Río de Janeiro (2019)



La velocidad promedio de los embotellamientos fue inferior al 29% de la velocidad de flujo libre durante el 2019, con un mínimo en agosto situándose por debajo de 26%. La tendencia por hora del día muestra que la velocidad promedio cae sostenidamente desde las 4 hs. hasta las 15 hs., principalmente de las 6 hs. a las 9 hs. (caída de 3 puntos porcentuales), y de las 11 hs. a las 13 hs. (caída de cinco puntos porcentuales). El mínimo se registra a las 20 hs., con una velocidad promedio de 20% de la velocidad de flujo libre.

Figura 4.14 Velocidad promedio de embotellamientos en área hospitalaria, Río de Janeiro (2019)

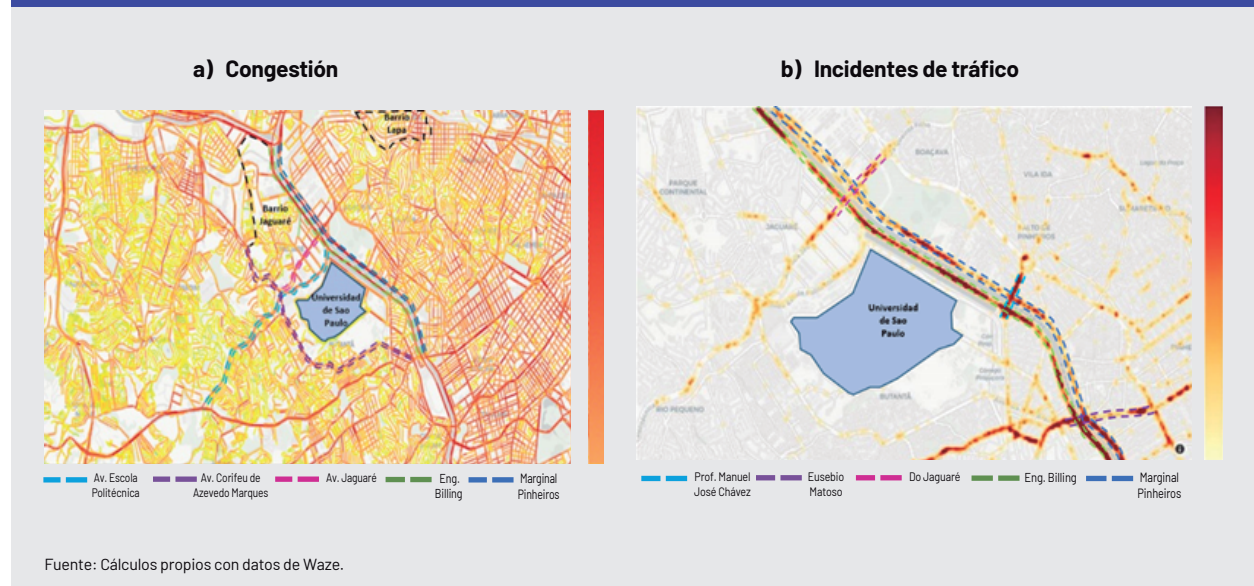


102 - Capítulo 4. Características y dinámica de la congestión: casos seleccionados

Consideramos ahora el caso de un **centro educativo**. La Universidad de Sao Paulo es uno de los centros de educación superior más grandes e importantes de Brasil y ALC, con alrededor de 75.000 estudiantes matriculados. La universidad tiene cuatro campus, siendo el principal el de **la Ciudad Universitaria Armando de Salles Oliveira**, ubicado en la Zona Oeste de Sao Paulo. Este concentra las principales unidades de enseñanza, investigación y zonas de extensión de la universidad y en consecuencia, es frecuentado diariamente por miles de estudiantes y empleados.

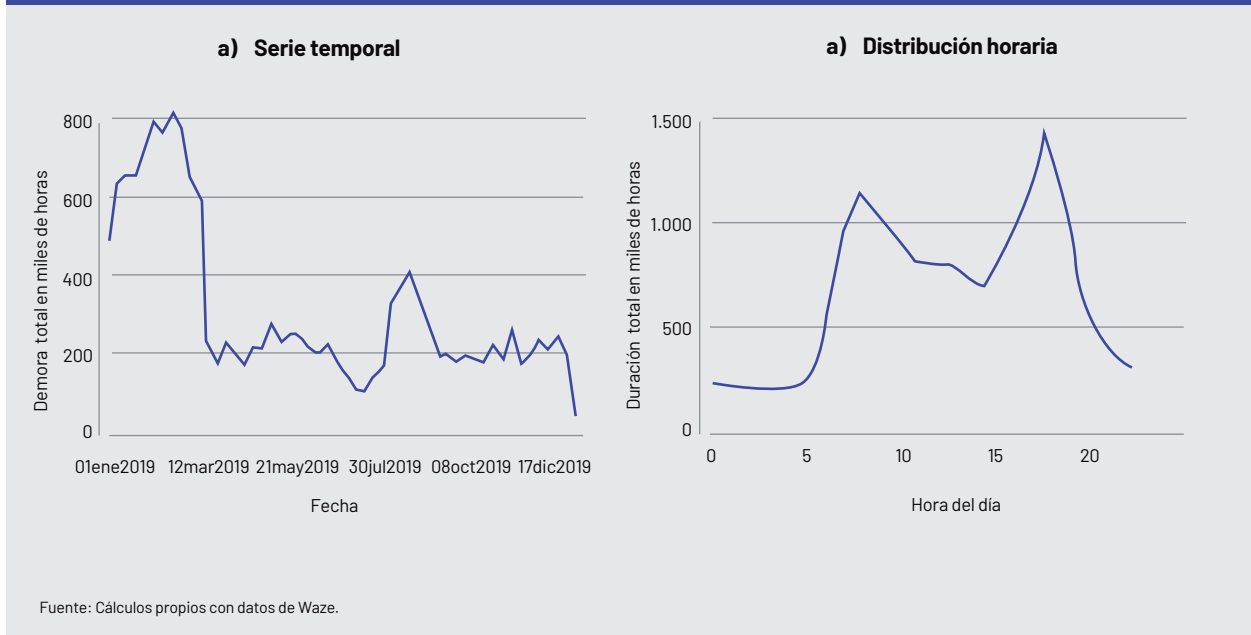
La Figura 4.15 destaca altos niveles de congestión en el cordón que rodea al campus, comprendiendo la Av. Jaguaré y la Av. Escola Politécnica (al occidente), la Av. Corifeu de Azevedo Marques (al suroccidente), y las Av. Eng. Billing y Marginal Pinheiros (al oriente). La mayor concentración de la congestión se presenta en la Av. Eng. Billing y Marginal Pinheiros, fundamental para la conectividad de la Universidad con el resto de la ciudad, y en la Av. Jaguaré, que contiene el único puente en la zona sobre el río Pinheiros, para conectar los barrios de Jaguaré (al sur) y Lapa (al norte). La repercusión de incidentes de tráfico se intensifica en la ubicación más próxima a la Universidad, concentrándose especialmente en los tres puentes que permiten la conexión hacia el centro de Sao Paulo, cruzando el río Pinheiros (Eusebio Matoso al sur, Ciudad Universitaria en el centro y Jaguaré en el norte de la Universidad).

Figura 4.15 Congestión urbana alrededor de Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo (2019)



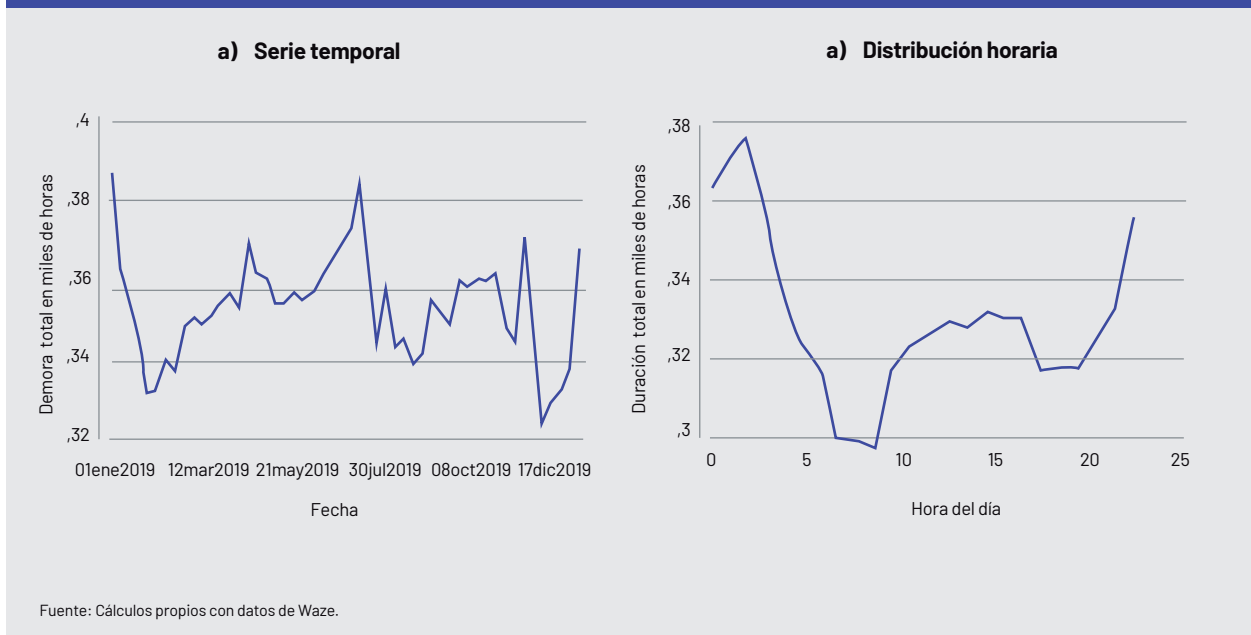
La Figura 4.16 muestra que la mayor congestión se presenta en el primer trimestre del año, con un máximo superior a las 800 mil horas de demora agregada en febrero. A partir de marzo, la congestión se reduce considerablemente, permaneciendo estable durante el resto del año, con un promedio de 200 mil horas totales. En términos de horas del día, pueden observarse dos picos importantes: uno a las 9 hs. con más de 1.100 horas acumuladas de demora total, y el más crítico a las 19 hs., con casi 1.500 horas perdidas.

Figura 4.16 Descripción temporal de la congestión alrededor de la Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo (2019)



La velocidad promedio durante los embotellamientos alrededor de la Universidad de Sao Paulo fue de aproximadamente un 35% de la velocidad de flujo libre a lo largo de 2019. La mayor reducción en la velocidad se da entre las 4 hs. y las 9 hs., alcanzando un mínimo inferior al 30% (Figura 4. 17).

Figura 4.17 Velocidad promedio de embotellamientos alrededor de la Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo (2019)



En **Ciudad de México** también se encuentra una zona que concentra un número importante de centros educativos, principalmente **centros de educación primaria**. Esta zona se ubica entre el barrio Mixcoac y el barrio Militar Marte, en el sur de la ciudad. Dentro de esta zona se localizan, en el oriente, la Escuela Primaria Guadalupe Victoria, la Escuela

104 - Capítulo 4. Características y dinámica de la congestión: casos seleccionados

Primaria Canadiense Del Valle y Escuela Primaria República de Paraguay; en el centro, la Escuela Mexicana Americana, la Escuela Mexicana del Valle, el Colegio Nuevo Continente, entre otros; al norte, la Escuela México Nuevo y un conjunto de centros universitarios; y al oeste, la Escuela Primaria Chipre y la Escuela Primaria General Anaya. Dada la relación existente entre los niveles de congestión y siniestralidad, evidenciado en la literatura y en nuestros resultados, la gestión oportuna de la congestión es clave en las zonas aledañas a los centros educativos, a fin de reducir el riesgo de lesión de niños y adolescentes.

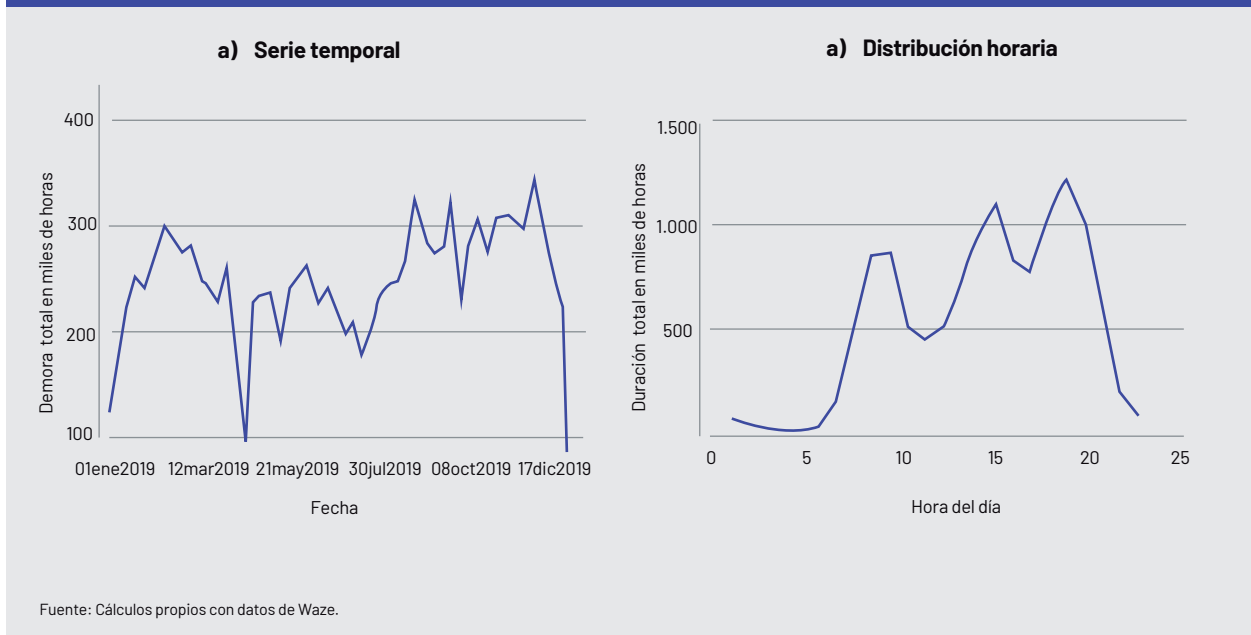
La Figura 4.18 muestra una concentración importante de la congestión en la avenida División del Norte, que atraviesa la estación del metro con el mismo nombre, y la avenida Universidad, ambas confluyendo en la Glorieta de Rivera. Además, se reportan altos niveles de congestión en la avenida Río Churbusco, una de las principales vías de la ciudad que va desde el norte hasta el occidente, y la avenida Calzada de Tlalpan que conecta el centro histórico con la zona sur. Como es esperado, los incidentes de tráfico reflejan una dinámica que sigue de manera muy cercana a la congestión (panel b de la Figura 4.18). Así, los niveles de congestión y de siniestralidad son significativamente menores en las vías donde se localizan los centros educativos, destacando la necesidad de gestionar de manera conjunta los aspectos de congestión y siniestralidad.

Figura 4.18 Congestión urbana en área de escuelas, Ciudad de México (2019)



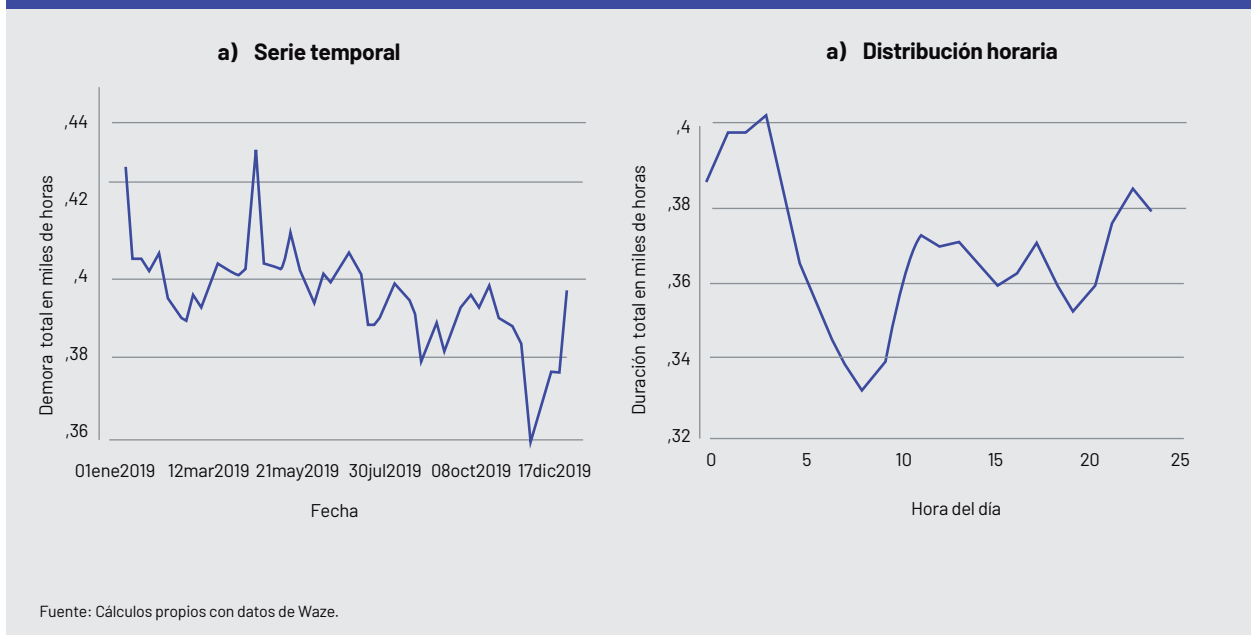
Esta zona reportó un nivel de congestión promedio cercano a las 210 mil horas semanales durante 2019, con una tendencia negativa en la primera parte del año y positiva en la segunda. El máximo de la congestión se registró en las últimas semanas del año, aproximándose a las 320 mil horas totales de demora. En este punto, la duración media semanal de los embotellamientos alcanzó las 17 mil horas. En cuanto a su patrón horario, la congestión presenta tres picos: entre las 6 hs. y las 9 hs., luego al medio día y, finalmente, entre las 18 hs. y las 20 hs. En este último pico se alcanzó el máximo de acumulación cercano a las 1.250 horas de demora total (Figura 4.19).

Figura 4.19 Descripción temporal de la congestión urbana en áreas de escuelas, Ciudad de México (2019)



La Figura 4.20 muestra la tendencia decreciente de la velocidad promedio en los embotellamientos a través del tiempo, con valores alrededor de 40% de la velocidad de flujo libre, y cayendo por debajo del 36% al final del año. La mayor reducción en la velocidad promedio se presenta en el primer pico de la congestión, es decir, en el tramo 6 hs. a 9 hs., al caer por debajo del 34%; luego de eso, la velocidad se mantiene relativamente estable a lo largo del día, en alrededor del 37% de la velocidad de flujo libre.

Figura 4.20 Velocidad promedio de embotellamientos en áreas de escuelas, Ciudad de México (2019)



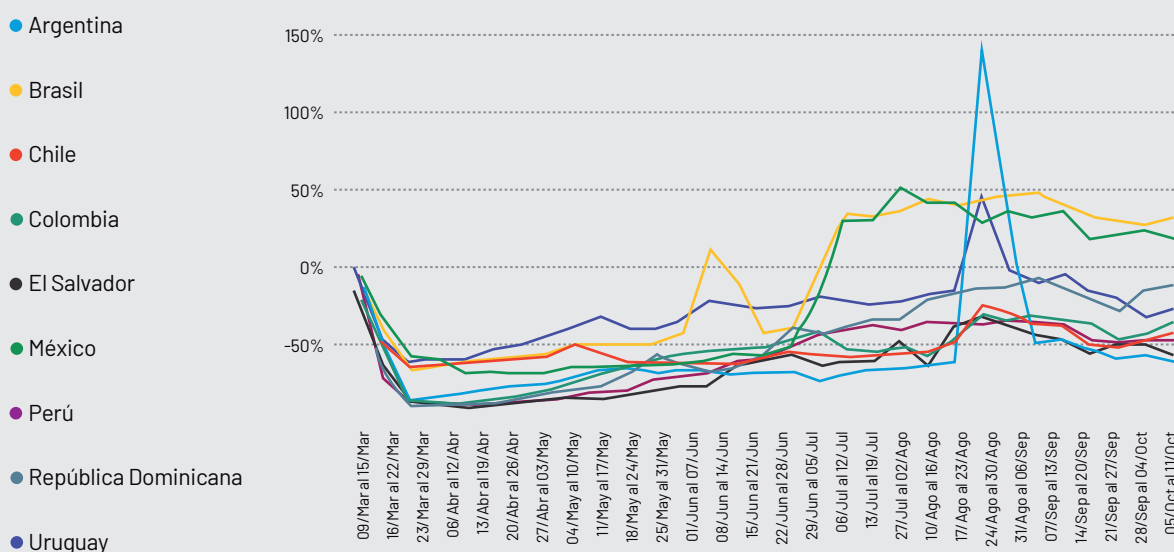
A modo de síntesis, los casos aquí analizados muestran que, al igual que en los casos de actividades económicas y sociales, la granularidad de los datos de tráfico disponible a través de *big data* permite comprender mejor los patrones

de congestión en las áreas de primera necesidad. Esto es un insumo clave para poder diseñar planes de mejora de la movilidad en dichas áreas, a fin de reducir el tiempo de acceso a los servicios de salud —especialmente en las vías rápidas utilizadas por las ambulancias— y mitigar el riesgo de siniestralidad vial que pueda derivarse de la congestión, particularmente en zonas transitadas por niños.

Recuadro 4,1 Impacto de COVID-19 en la congestión

Sobre la base de información detallada acerca del estado de la congestión en las ciudades de ALC, el BID elaboró un índice de intensidad de tráfico por país, para analizar el **cambio y la evolución de la congestión durante la pandemia de COVID-19**. En efecto, durante el año 2020, la población mundial fue enormemente afectada por la pandemia de COVID-19, la cual produjo importantes cambios en los patrones de movilidad de las ciudades. Las medidas de prevención implementadas por los gobiernos para la contención del virus, tales como incentivar el teletrabajo, potenciar el uso de modos activos (bicicleta y caminata) y cerrar las actividades no esenciales, provocaron una disminución en el uso del transporte público y privado. Como consecuencia de ello, la congestión mermó notablemente, reportándose en octubre de 2020 una reducción del 30% de su intensidad frente a los niveles prepandemia (Figura 4.21). A esa fecha, los países que presentaban los niveles más altos de congestión eran Brasil y México, donde las restricciones a la movilidad fueron mínimas. Es interesante notar que, en ambos países, la congestión alcanzó a ser 50% mayor respecto a los niveles prepandemia. Una hipótesis para explicar este incremento es la mayor desconfianza en el transporte público por parte de los ciudadanos, percibido como una fuente de contagio de COVID-19. Esto podría estar en línea con lo evidenciado en ciudades como Madrid, donde el transporte público pasó de ser el modo más utilizado en la época prepandemia, a ser el tercero (25% de los viajes), después del vehículo particular (44%) y el transporte activo (32%) (El País, 2020). A medida que se avance en la contención del virus y el restablecimiento de las actividades en las ciudades de ALC, será clave monitorear la evolución de este índice desarrollado por el BID, a fin de evaluar el impacto de la pandemia sobre la elección modal y en los patrones de movilidad de los habitantes de las ciudades de ALC, y diseñar acciones que incentiven a una movilidad sostenible en las mismas.

Figura 4.21 Variación de la intensidad de congestión por país durante el 2020



Fuente: <https://www.iadb.org/es/topics-effectiveness-improving-lives/coronavirus-impact-dashboard>

Capítulo 5.

POLÍTICAS PÚBLICAS REDUCIR LA CONGESTIÓN VIAL



05

108 - Capítulo 5. Políticas públicas reducir la congestión vial

En los capítulos anteriores, evidenciamos el estado de la congestión en diez principales ciudades de ALC y estimamos sus costos directos e indirectos. Presentamos asimismo ejemplos de cómo la aglomeración de actividades económicas, sociales y de primera necesidad conllevan, intrínsecamente, la presencia de elevados niveles de congestión. Las tendencias generales de la movilidad en la región, con el aumento de la tasa de motorización y la reducción en el uso del transporte público, unido al incremento de la población en las áreas urbanas, nos hace entrever que los niveles de congestión hoy presentes se reviertan en el futuro cercano (Calatayud & Muñoz, 2020). Es más, la desconfianza hacia el transporte público provocada por la pandemia de COVID-19 podría incrementar el uso del vehículo particular. Existen ya algunos indicios de este cambio en ciudades como Shanghái y Madrid. En este último caso, el transporte público pasó de ser el modo más utilizado en la época prepandemia, a ser el tercero (25% de los viajes), después del vehículo particular (44%) y el transporte activo (32%) (El País, 2020).

En este contexto, el **diseño de políticas públicas efectivas** será clave para avanzar hacia una movilidad más eficiente y sostenible en nuestras ciudades. Así, el objetivo de este capítulo es compartir soluciones y mejores prácticas a nivel internacional para proveer a los formuladores de políticas de una batería de instrumentos que conlleven a una mejor gestión de la congestión vial. Estas soluciones serán presentadas en **cuatro grupos** (Tabla 5.1), siguiendo las categorías establecidas por Buehler et al. (2017), a saber: (i) **instrumentos de gestión de tráfico**; (ii) políticas que restringen el uso del vehículo particular; (iii) políticas que promueven el uso del transporte público, el transporte activo y el transporte compartido; y (iv) planificación integrada de la movilidad y el uso del suelo. Asimismo, incluimos una sección sobre **gestión de la logística urbana**, área que comienza a ganar atención entre los formuladores de política, a la par que aumenta la circulación de vehículos de transporte de carga en las ciudades, en parte debido al *boom* del comercio electrónico. Muchas de las recomendaciones de este capítulo han sido desarrolladas, replicadas y recuperadas en diversas publicaciones del Banco Interamericano de Desarrollo, las cuales se incluirán como referencia para que el lector pueda consultar mayores detalles.

Es importante resaltar que, para que las iniciativas de reducción de la congestión sean exitosas, deben estar contenidas dentro de un **marco integral** que, por un lado, promueva la mejora de los modos de transporte alternativos al vehículo particular y, por otro, desincentiven el uso del automóvil. Asimismo, no todas las medidas atienden las mismas causas de la congestión ni tienen el mismo horizonte temporal de implementación. Por eso, es clave identificar aquellas medidas que sean más eficaces en la reducción de la congestión de acuerdo con la situación particular de la ciudad a tratar, así como también evaluar el **timing necesario** para la implementación de las políticas. Sobre todo, las medidas deben estar contenidas en un plan integrado de uso del suelo y del transporte, que fomente ciudades más sostenibles y resilientes, focalizadas en mover personas y no vehículos. Para ello, es importante planear la ciudad desde un enfoque sistémico, que genere una mayor accesibilidad a las oportunidades de trabajo, salud y educación, a partir de usos mixtos de suelo y una red de transporte integrada y eficiente. Sobre la base de las medidas analizadas, en la última parte de este capítulo reflexionaremos sobre las medidas más necesarias para el control de la congestión en las megaciudades de ALC y la secuencia en su implementación. Claramente, estas medidas deben ser **adaptadas a la realidad de cada ciudad**.

Tabla 5.1 Políticas públicas para la reducción de la congestión

Gestión de tráfico	Restricción del uso del vehículo particular	Promoción del transporte público, activo y compartido	Integración de la movilidad y el uso del suelo	Gestión de la logística urbana
<ul style="list-style-type: none"> • Provisión de infraestructura • Pacificación del tráfico y control de acceso a vías • Carriles de alta ocupación • Ciclos semafóricos optimizados y adaptativos • Monitoreo del tráfico en tiempo real • Vigilancia del cumplimiento de las normas de tránsito • Reducción de la demanda de viajes 	<ul style="list-style-type: none"> • Restricción a la circulación • Limitación de estacionamiento en vía pública • Impuesto al combustible • Impuesto al automóvil • Cobro por estacionamiento en vía pública • Tarifificación vial 	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad y disponibilidad del transporte público • Estacionamiento <i>Park and Ride</i> • Infraestructura para bicicletas y peatones • Transporte escolar • Transporte institucional • Sistemas de vehículos compartidos • Oferta de transporte para personas con discapacidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) • Plan maestro de movilidad urbana 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de mercancías fuera de las horas punta • Asignación de áreas especiales para carga y descarga • Cobro por congestión y/o estacionamiento

Fuente: Elaboración propia.

5.1. Instrumentos de gestión de tráfico

Estos instrumentos tienen como objetivo **optimizar el flujo de vehículos dentro de las condiciones establecidas por la infraestructura existente**. En otras palabras, buscan generar el mayor rendimiento posible de dicha infraestructura. Entre los instrumentos más utilizados por los especialistas del sector, se encuentran: (i) provisión de infraestructura; (ii) carriles de alta ocupación; (iii) pacificación del tráfico y control de acceso a vías; (iv) ciclos semafóricos optimizados y adaptativos; (v) uso de tecnologías para el monitoreo del tráfico en tiempo real; (vi) uso de aplicaciones de navegación; (vii) vigilancia del cumplimiento de las normas de tránsito; (viii) reducción de la demanda de viajes.

5.1.1. Provisión de infraestructura

Por años se pensó que la solución al congestionamiento vial era la construcción de nuevas vialidades o la expansión de las existentes; sin embargo, esto sólo resuelve el problema parcialmente y en el corto plazo. La construcción de más infraestructura para el vehículo particular provoca una mayor demanda de las vialidades en el mediano y largo plazo, un fenómeno conocido como demanda inducida. Es decir, el congestionamiento vial regresa y muchas veces es peor que antes. Al respecto, Noland (2001) analizó las vías en Estados Unidos, encontrando que un 25% del crecimiento general en las millas recorridas por vehículo (*VTM*, por sus siglas en inglés) fue atribuible al aumento histórico de la capacidad vial, reportando mayores elasticidades en las vías urbanas. Por su parte, Bagloee et al. (2019) realizaron una revisión sobre casos de éxito de la paradoja de Braess (1968) —la cual sugiere que cerrar una vía/camino puede mejorar la congestión por tráfico—, encontrando que, por ejemplo, la destrucción de una autopista de seis carriles en Seúl mejoró el tiempo de viaje desde y hacia la ciudad, aun cuando el nivel de tráfico se mantuvo constante (Easley & Kleinberg, 2010). Asimismo, en Stuttgart, el aumento de la capacidad de la infraestructura vial empeoró la congestión, la cual solo se redujo una vez que una parte de la infraestructura construida fue cerrada al tráfico (Knödel, 2013).

En efecto, cuando la infraestructura urbana se diseña y construye pensando en el uso del vehículo particular, el resultado serán más vehículos, más congestionamiento, y mayores impactos negativos ambientales. Si en contraste, la

110 - Capítulo 5. Políticas públicas reducir la congestión vial

infraestructura se diseña y construye pensando en *Calles Completas* (véase [Manual de calles: diseño vial para ciudades mexicanas](#)) y en incrementar la eficiencia de las vías para movilizar personas y mercancías en lugar de vehículos, se promueve que los habitantes diversifiquen sus modos de transporte, específicamente los de movilidad activa y el transporte público, y con ello, se reduzca la congestión vial. Esto conlleva un cambio en el paradigma adoptado por la ingeniería para el diseño de la malla vial urbana, ahora focalizado en mejorar el flujo vehicular y la velocidad de tráfico, incorporando el concepto de la movilidad, tanto activa (peatonal y en bicicleta) como en transporte público y de mercancías, que se realiza en las calles. Así, las calles completas incluyen aceras más anchas, ciclocarriles y carriles exclusivos para el transporte público, basado en una priorización de usuarios del espacio urbano, donde los peatones y usuarios del transporte público son priorizados frente a los que viajan en vehículo particular. La literatura da cuenta de los impactos positivos de este tipo de diseño en la elección modal. Al respecto, luego de analizar los patrones de viaje en las 100 mayores ciudades de México, Guerra et al. (2018) evidenciaron que las personas tenían menos propensión a utilizar el automóvil en áreas dotadas de mejor transporte público y menos disponibilidad de acceso a infraestructura de uso vehicular. Por su parte, una evaluación de impacto desarrollada para este reporte arrojó que la obra integral de infraestructura en Buenos Aires llamada “Paseo del Bajo” redujo la congestión de tráfico significativamente en el centro porteño durante el 2019 (ver Recuadro 5.1).

Recuadro 5.1: Paseo del Bajo: El impacto de inversión en infraestructura integral sobre la congestión vial

De acuerdo con el Gobierno de Buenos Aires, antes del segundo trimestre del 2019, alrededor de 91 mil vehículos particulares, 28 mil pasajeros de buses y 15 mil vehículos pesados de carga solían atravesar todos los días el centro porteño, obligados a compartir los mismos carriles viales, sin que este lugar fuese su destino (Gobierno de Buenos Aires, 2019). En particular, el gran afluente de carga en el área se da por la importancia de las conexiones al puerto marítimo de la ciudad y a la terminal de ómnibus de Retiro. Frente a una demanda de tráfico creciente, la carencia de infraestructura apropiada hacía insostenible la movilidad en el microcentro (eje Madero-Huergo), con efectos en la conectividad de las distintas zonas de Buenos Aires y su Área Metropolitana (AM). De hecho, esta zona estaba entre las más congestionadas del AM, principalmente en las avenidas Alicia Moreau de Justo y Huergo, y ocasionando altos niveles de contaminación ambiental y acústica (Gobierno de Buenos Aires, 2019).

Como respuesta a la problemática, el 27 de mayo del 2019 se inauguró la obra integral de infraestructura llamada Paseo del Bajo, la cual había iniciado su proceso de construcción aproximadamente 50 años atrás. Esta consiste en una autopista exclusiva de tránsito pesado y buses de larga distancia, con diseño de trinchera abierta –semi soterrada– desde la autopista Buenos Aires–La Plata hasta su empalme en el norte con la autopista Illia (Figura 5.1). La obra recorre las avenidas Alicia Moreau de Justo y Huergo–Madero, las avenidas Ramos Mejía, Antártida Argentina y Castillo. La extensión de este proyecto es de 7,1 kilómetros, con 12 carriles nuevos (cuatro para camiones y micros de larga distancia y ocho para vehículos livianos), 15 cruces transversales (cinco son peatonales) e incluye un total de 13,6 hectáreas de espacio público y verde (Gobierno de Buenos Aires, 2019b).



Nota: todo el trazado corresponde a la estructura del Paseo del Bajo. Los colores del trazado representan la estructura de trinchera abierta –semi soterrada– de la obra.

Fuente: elaboración propia con información del Gobierno de Buenos Aires.

A partir de la metodología propuesta en el Capítulo 2, se calcula la congestión de tráfico total dentro del área de influencia directa de la obra, representada en la Figura 5.1. La tendencia de la congestión reporta un salto desde el día de la inauguración del Paseo del Bajo (el 27 de mayo, denotado como el punto de corte) y desde ahí se mantiene hasta el 31 de diciembre del 2019 (Figura 5.2).

Antes del inicio de la obra, el nivel de congestión en el área de influencia directa fue de 3.019,2 horas totales perdidas por demora de tráfico, con una desviación estándar de 2.012,3 horas, mientras que el resto del año este promedio cayó un 46% y su desviación estándar un 35%, aunque el coeficiente de variación aumentó en un 22%. Esta reducción, en el nivel de congestión, se observa en todas las horas del día, pero particularmente en la tarde y en la noche.

¿Cuál fue el impacto de la obra en la congestión vial? Para responder a esto, desarrollamos una evaluación de impacto haciendo uso de este salto en la tendencia de la congestión. Se implementa un diseño de Regresión Discontinua en el Tiempo (RDIT, por sus siglas en inglés) con la fecha como la *running variable* y el 27 de mayo como el límite de la discontinuidad, controlando por las variables correlacionadas con la presencia de la obra y la dinámica de la congestión, incluyendo número de vías cerradas, peligros en la vía, duración de incidentes de tráfico, efectos fijos y el proceso autorregresivo¹⁹.

Los resultados indican que la reducción de la congestión ocasionada propiamente por la inauguración de la obra fue de un 18%, con respecto al periodo previo al evento (Tabla 5.2, PB es la variable de tratamiento que toma el valor de uno a partir de la fecha de inauguración del Paseo del Bajo y fecha es la distancia en días al 27 de mayo). Los resultados son consistentes independientemente a la ventana de análisis. La estimación por submuestra, considerando los periodos de horas pico, permite confirmar que esta reducción se dio principalmente en las horas de la tarde y la noche, con una reducción del 26% en el periodo 7-11am, y del 30% en el periodo 3-8pm²⁰.

Figura 5.2: Congestión en el área de influencia directa del Paseo del Bajo durante el 2019

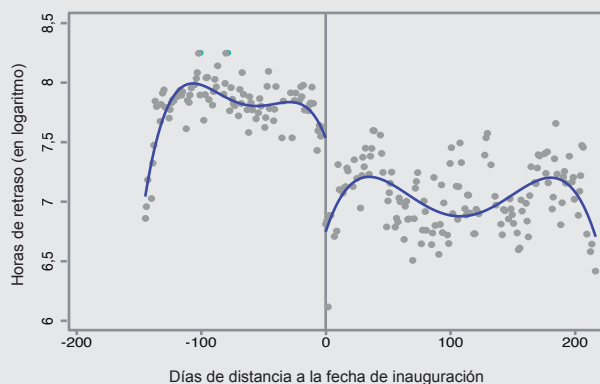


Tabla 5.2: Impacto del Paseo del Bajo en el área de influencia

	<i>In (retraso)</i>			
	Sin Ventana	Con ventana	7-11 am	3-8 pm
PB	-0,18** (0,07)	-0,18** (0,08)	-0,26** (0,12)	-0,30** (0,10)
PB*fecha	0,01 (0,01)	-0,001 (0,001)	-0,001 (0,001)	-0,004 (0,01)
PB*fecha ²	-0,0002 (0,0003)	-	-	-
PB*fecha ³	-0,0001 (0,000)	-	-	-
Observaciones	5.576	1.438	300	360
R ²	0,93	0,96	0,90	0,92

Notas: En la figura cada punto es un promedio por intervalo de tiempo (bin). La primera columna de la tabla incluye todas las horas del día. Se incluyen todos los controles, estos son, logaritmo del número –más uno– de peligros en la vía, vías cerradas y incidentes de tráfico (medido en minutos de duración), cada uno ponderado por el factor precisión, y un polinomio autorregresivo de segundo orden. Todas estimaciones incluyen efectos fijos de mes, semana, días de semana y hora del día. Los errores estándar en *cluster* por día de la semana y hora del día son reportados entre paréntesis. **p<0.05, *** p<0.01.

La inversión total Paseo del Bajo fue de US\$ 702 millones, de los cuales el 57% fue financiado por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), y actualmente incluye un cargo por peaje a los vehículos de carga pesada²¹. Considerando los primeros 30 días laborales posteriores a la inauguración de la obra y un promedio de 72.461 horas totales que los ciudadanos perdían por día en esta área debido a congestión de tráfico, una reducción del 18% representa un ahorro mensual de 391.228 horas. De acuerdo con lo descrito en el Capítulo 2, aproximamos el valor que los individuos atribuyen al tiempo en Buenos Aires (VoT, por sus siglas en inglés) obteniendo una valoración promedio de 4,75 dólares la hora. Sobre esta base, estimamos que en el área directa de influencia del Paseo del Bajo los porteños dejaron de perder, únicamente por concepto de congestión vial, alrededor US\$ 1,9 millones en el mes siguiente a la inauguración de la obra.

21. El cobro se realiza mediante un sistema de láser que detecta el vehículo y determina sus dimensiones y categoría.

112 - Capítulo 5. Políticas públicas reducir la congestión vial

5.1.2. Pacificación del tráfico y control de acceso a vías

Los embotellamientos de las autopistas urbanas se activan por una disminución en la capacidad de descarga de las vías, que resulta menor que la demanda, lo que provoca una reducción en la velocidad de circulación de los vehículos y un aumento de maniobras de cambios de carriles, que aumenta la probabilidad de incidentes de tráfico (J. Shi & Liu, 2019). Estas pérdidas de capacidad pueden ser ocasionadas por la infraestructura o por los usuarios.

La pérdida de capacidad de la infraestructura se debe a las singularidades que presentan las vías, como la reducción del número de carriles, que disminuye la capacidad total de la vía y aumenta la circulación entre carriles; la existencia de rampas de entrada y salida, que provocan interrupciones en el flujo de la autopista, producen colas y aumentan el número de cambios de carriles; la existencia de pendientes o curvas que varía la velocidad de circulación de los vehículos; el mal estado del pavimento, que provoca una menor velocidad de los vehículos y una mayor probabilidad de incidentes de tráfico; y la heterogeneidad en la capacidad entre las autopistas y calles intermedias, de forma que los flujos provenientes de las autopistas se terminan insertando en vías ya congestionadas (Gomes & Horowitz, 2006).

Los embotellamientos provocados por los usuarios se producen por obstrucción de la infraestructura existente, de manera fija, como un incidente de tráfico que bloquea una de las pistas por un período de tiempo; o de manera móvil, cuando un vehículo circula a una baja velocidad imponiendo una velocidad de circulación para los vehículos que viajan aguas arriba. El uso desbalanceado de las vías también produce una pérdida de capacidad (Yan & Sun, 2012). Por ejemplo, cuando el carril izquierdo tiene una velocidad notoriamente más alta que la pista derecha, se produce un incentivo a cambiarse de carril, lo que disminuye su velocidad de circulación promedio y genera una subutilización de la pista derecha, que culmina en una menor capacidad de operación de la autopista.

Existen diversas medidas de gestión para aumentar la capacidad de las autopistas urbanas. El *ramp metering* consiste en limitar el flujo de vehículos de una rampa de entrada a una autopista. Esto permite una mayor capacidad de la vía principal y de la rampa, pues mantiene la cola del flujo entrante en la rampa de entrada y posibilita que los vehículos de la rampa puedan ingresar a la autopista (en la mayoría de los casos, a una tasa mínima de 1 vehículo cada 15 segundos) (Gomes & Horowitz, 2006). Este tipo de implementación también desincentiva el uso de autopistas para viajes cortos (OECD, 2007). Un resumen de la experiencia norteamericana evidencia una reducción de los tiempos de viaje entre un 20 y 48%, un aumento de la velocidad de viaje en 16 a 62% y de la capacidad de la vía entre un 17 y 25%, una disminución en la tasa de incidentes de tráfico entre 15 y 50%, y una reducción en el consumo de combustible de 41% (Arnold, 1998).

Otra medida de gestión es el limitar el número de cambios de carriles, siendo posible al mejorar la segregación de los mismos mediante demarcación o infraestructura, o cambiando el límite de las velocidades máximas permitidas. Una forma de cambiar las velocidades es armonizando las velocidades máximas de los carriles para que tengan un nivel de servicio similar y, en consecuencia, no existan incentivos a cambiarse de carril. Esto permite tener una distribución de intervalos entre vehículos más uniforme, lo que disminuye la variabilidad en los tiempos de viaje y la probabilidad de incidentes de tráfico. En Alemania, la tasa de incidentes de tráfico con daños graves disminuyó un 23% con la implementación de esta medida (Waller et al., 2009). También pueden definirse velocidades máximas diferenciadas por carril. Al respecto, la evidencia sugiere que esta medida disminuye la frecuencia y duración de los cambios de carriles, los conductores eviten comportamientos peligrosos como manejar al borde de las pistas, y mejoran la seguridad de la vía (J. Shi & Liu, 2019).

Una acción adicional es permitir el uso de las bermas, de manera temporal o permanente, para aumentar la capacidad de las vías en ciertos momentos del día. Waller et al. (2009) muestran que las bermas habilitadas permanentemente en Alemania disminuyeron la congestión entre un 68 y 82% y aumentaron la velocidad promedio en 9%, mientras que las bermas habilitadas temporalmente a horas preestablecidas o en momentos de gran congestión disminuyeron el número de incidentes de tráfico inducidos por congestión.

5.1.3. Carriles de alta ocupación

Una de las principales problemáticas referentes al uso del automóvil es su baja tasa de ocupación. La mayoría de los automóviles tienen capacidad para transportar a cinco personas, sin embargo, suelen ser utilizados solo por una. En este sentido, los carriles exclusivos para vehículos de alta ocupación, que transportan a tres o más personas, tienen como objetivo promover el uso compartido del automóvil entre personas con destinos similares. La literatura ha señalado que, para quienes utilizan estos carriles, las millas recorridas, el tiempo de viaje y el consumo de combustible pueden reducirse significativamente (Daganzo & Cassidy, 2008; Small et al., 2007). Cassidy et al. (2010) sugieren una disminución de 30% en las horas-personas recorridas y de 15% en las horas-vehículo recorridas. Muchas veces esto también trae aparejado otros beneficios como la economía compartida, en la que cada pasajero aporta a los gastos del viaje y se reduce el consumo de gasolina por los viajes individuales evitados (Shewmake, 2012). Ahora bien, la literatura también señala que la efectividad de esta medida dependerá de la tasa de utilización de estos carriles, de su ubicación y de la capacidad de hacer cumplir su uso debido (Shewmake, 2012). Asimismo, sus efectos podrían diluirse en el tiempo: a medida que se incrementa la velocidad en estos carriles, podría inducir un mayor tráfico en los mismos, incluyendo viajes que antes no se realizaban o que se realizaban en transporte público o utilizando otras rutas (Hughes & Kaffine, 2019).

5.1.4. Ciclos semafóricos optimizados y adaptativos

Los volúmenes de tránsito vehicular varían por vialidad y por horario a lo largo del día. En este sentido, los ciclos semafóricos deben ser adaptados a estos cambios para promover flujos más eficientes y combatir la congestión vial. Optimizar y adaptar los ciclos semafóricos puede hacerse a partir de aforos vehiculares tradicionales, o mediante un monitoreo en tiempo real que responda a las necesidades de cada momento. En este último caso, simulaciones recientes sugieren que la sincronización semafórica con datos en tiempo real disminuye la demora un 23% respecto a la programación fija (Jeon et al., 2018). Para el caso de ALC, la evaluación de Martínez et al. (2021) para Medellín muestra que, con la implementación de semáforos adaptativos, la velocidad del tráfico mejora y la demora por congestión disminuye.

5.1.5. Uso de tecnologías para el monitoreo del tráfico en tiempo real

Obtener información en tiempo real sobre las condiciones de tráfico en las ciudades se ha convertido en un insumo básico para tomar decisiones. La mayoría de las ciudades ya cuentan con sistemas de monitoreo de seguridad pública que pueden ser utilizados para reducir la congestión vial. Otra fuente de datos son las aplicaciones de navegación, que pueden proveer un insumo fundamental para conocer los patrones de movilidad de una ciudad por vialidad y horario. La información que puede ser capturada por estos medios va desde la identificación inmediata de un incidente de tráfico sobre alguna vialidad, que permite la rápida reacción de servicios de emergencia para atender el problema y procurar la integridad de los involucrados, hasta un aforo en tiempo real de los flujos viales. Esta última información permite adaptar en tiempo real, ciclos semafóricos para hacer más eficientes los flujos de vehículos o para realizar cierres viales u otras acciones que reduzcan la congestión. Además de la información recabada en tiempo real, se pueden generar bases de datos históricas para analizar y conocer mejor la movilidad de la ciudad, predecir los estados de tráfico futuros y, con ello, proponer cambios en el diseño de la infraestructura y políticas públicas que sirvan para reducir la congestión vial. En efecto, Singapur ha mejorado la eficacia de su sistema de cobro por congestión ajustando dinámicamente las tarifas de acuerdo con los datos de tráfico en tiempo real (Lehe, 2019) (véase 5.2.7).

Un análisis detallado de las características, metodologías y aplicaciones de esta información puede encontrarse en las publicaciones del BID: [Cómo aplicar Big Data en la planificación del transporte urbano: El uso de datos de telefonía móvil en el análisis de la movilidad](#), [Cómo aplicar Big Data en la planificación del transporte: El uso de datos de GPS en el análisis de la movilidad urbana](#) (Gutiérrez Puebla et al., 2020), y en [Nueva generación de modelos de transporte a través del uso de big data: Caso San Salvador](#) (Rendón et al., 2020).

5.1.6. Aplicación de normas y leyes de tránsito

Existen diversas conductas que realizan algunos de los conductores de vehículos particulares y operadores de transporte público que incumplen el reglamento de tránsito local y que promueven el congestionamiento vial. Algunos ejemplos son estacionarse en lugares prohibidos, obstaculizar las vialidades con objetos para apartar lugares de estacionamiento, hacer giros no autorizados, transitar o detenerse en carriles exclusivos de transporte público o ciclovías, entre otros. Todas estas acciones tienen impactos negativos en los flujos de vehículos y personas, generan congestión vial e incrementan el riesgo de siniestralidad. En este sentido, garantizar el cumplimiento del reglamento de tránsito mediante la aplicación de la ley a los infractores es considerado una buena práctica para mejorar la seguridad vial y reducir el congestionamiento.

5.1.7. Reducción de la demanda de viajes

El trabajo es el principal generador de viajes en una ciudad. Así, las políticas que promueven el trabajo remoto y el escalonamiento en los horarios de entrada y salida pueden disminuir sensiblemente la demanda de transporte y, en consecuencia, los niveles de congestión vial. Asimismo, pueden generar importantes beneficios desde el punto de vista medioambiental, en consonancia con el enfoque *avoid-shift-improve* (evitar-cambiar-mejorar), que promueve a evitar los viajes innecesarios, particularmente en automóvil particular, para reducir la huella ambiental del transporte²².

El trabajo remoto se ha convertido en una necesidad –producto de la pandemia de COVID-19–, sin embargo, desde el punto de vista del transporte, ya anteriormente había demostrado beneficios sobre los esquemas presenciales, al reducir el tiempo de traslado a la oficina y, con ello, mejorar la calidad de vida de las personas. El impulso dado por la pandemia de COVID-19 al trabajo remoto genera buenas expectativas desde este punto de vista: permitir el trabajo remoto de las personas, por lo menos un día por semana, crearía impactos muy significativos en la reducción de viajes y en la congestión vial de la ciudad. Giovanis (2018) estudió la relación entre el trabajo remoto, la congestión y la polución para el caso de Suiza en un lapso de 12 años, encontrando que la implementación del trabajo remoto había reducido la congestión en 2,7% y la polución entre 2,6% y 4,1%. Adicionalmente, existen estudios que señalan una mayor calidad de vida ante la práctica del trabajo remoto debido, entre otras cosas, a poder eludir el tiempo transcurrido en embotellamientos de tráfico (Golden & Veiga, 2005; Vittersø et al., 2003).

Por su parte, los viajes al trabajo suelen concentrarse en horarios específicos (hora pico) y hacia zonas determinadas. Respecto a esto último, la aglomeración espacial de actividades económicas implica que la mayoría de las personas se dirijan al mismo lugar donde se concentran las oportunidades laborales. La combinación de estos dos factores genera congestionamientos viales intensos en la mayoría de las ciudades. Banister & Marshall (2000) encontraron que en los Países Bajos el trabajo remoto redujo la congestión durante horas pico en un 26%. Los horarios escalonados de entrada y salida son considerados una buena práctica a nivel internacional para combatir esta problemática: con ellos se promueve que la demanda se distribuya en el tiempo y se disminuya el congestionamiento vial (véase Takayama, 2015). Al respecto, Chile implementó un horario escalonado de entrada para los empleados del servicio público, quienes tienen la flexibilidad de comenzar sus labores entre las 8:00 y 9:30 horas, siempre que cumplan con las horas de trabajo determinadas (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2000). Los impactos de esta medida en la congestión restan ser evaluados.

22. Para más información sobre este enfoque, su aplicación en ALC y su impacto en la huella ambiental del transporte, véase Taddia et al. (2021).

5.2. Políticas que restringen el uso del vehículo particular

Estas políticas abarcan normativas e instrumentos económicos para **desincentivar el uso del automóvil**. En particular, incluyen: (i) restricciones a la circulación de vehículos; (ii) limitación del estacionamiento en la vía pública; (iii) impuestos al combustible; (iv) impuestos al automóvil; (v) cobro por estacionamiento en la vía pública; (vi) impuestos especiales a estacionamientos públicos; y (vii) tarificación vial. A continuación, describimos cada una de ellas y presentamos evidencia disponible acerca de su efectividad en la reducción del uso del automóvil.

5.2.1. Restricciones a la circulación de vehículos

Las políticas de restricción a la circulación de determinados automóviles consisten en reducir los días u horarios en los que un vehículo puede ser utilizado. Usualmente, esto se hace a partir de algún carácter alfanumérico en la matrícula: por ejemplo, todos los vehículos con matrícula que terminen en 1 o 2 no circulan los lunes. Estas políticas han sido implementadas en distintas ciudades de la región, como el “hoy no circula” de la Ciudad de México y el “pico y placa” de Bogotá. En el corto plazo, estas medidas pueden contribuir a reducir la congestión vial, al limitar la cantidad de vehículos que pueden circular. Sin embargo, cuando no existen modos alternativos de transporte de calidad, los ciudadanos pueden optar por adquirir un vehículo adicional para utilizar el día u horario de la restricción, y ese vehículo puede ser usado por otros miembros de la familia el resto del tiempo (Ríos-Florez et al., 2013), lo que podría generar mayor congestión.

En el caso de Ciudad de México, Eskeland & Feyzioglu (1995) encontraron evidencia de incrementos en la compra de vehículos más baratos y de menor calidad como resultado de las medidas. Crotte et al. (2011) estimaron que un 38% de las familias afectadas por la política en Ciudad de México optaron por la compra del vehículo adicional. En Bogotá, Bonilla (2019) señaló que el “pico y placa” no reportó mejoras en la calidad del aire y en el uso del automóvil. De hecho, se encontraron incrementos en el stock de vehículos, consumo de gasolina y concentración de CO₂ en los horarios de la mañana. La literatura también cuestiona la regresividad de estas medidas, dado que los hogares de menores recursos tienden a tener vehículos más antiguos y contaminantes y no pueden comprar otro vehículo (Gallego et al., 2013). Gallego et al. (2013) realizaron un análisis de varias ciudades latinoamericanas y diferentes tipos de restricciones, concluyendo que, aunque en el corto plazo —dos meses— estas políticas parecerían ser efectivas, es en el largo plazo donde se evidencian los efectos contraproducentes de las mismas. Estos hallazgos son consistentes con experiencias en otras regiones. Por ejemplo, Cai & Xie (2011) evaluaron la política de restricción por dígito de patente implementada en Beijing durante Juegos Olímpicos de 2008, encontrando mejoras significativas en velocidad de tráfico y calidad del aire durante el evento deportivo. Ahora bien, en el mediano plazo, el incremento del parque automotor canceló estos beneficios y condujo a la implementación de medidas más restrictivas para la adquisición de vehículos, incluyendo la autorización de compra vía sorteo (Ma & He, 2016).

Existen, sin embargo, medidas específicas que han reportado resultados positivos. Por ejemplo, De Grange & Troncoso (2011) evaluaron las políticas de reducción de la polución implementadas en Santiago de Chile entre abril y agosto de 2008, consistentes en limitar la circulación de: (i) vehículos sin convertidor catalítico durante todo el período, y (ii) vehículos con convertidor catalítico en el horario entre 7:30 y 9:00 am en los días declarados como “pre-emergencia”. Sus estimaciones indicaron que, si bien la medida permanente no tuvo un impacto real, la medida adicional redujo, en el corto plazo, el uso del automóvil en un 5,5%. Adicionalmente, en los días de pre-emergencia, el flujo de usuarios de pasajeros de Metro incrementó en un 3%.

Una alternativa a evaluar en ALC es la implementación de políticas de restricción vehicular con la posibilidad de pago para su exoneración. Un ejemplo de ellos es el programa llamado “Pico y Placa Solidario”, que comenzó a implementarse desde el 22 de septiembre de 2020 en Bogotá. Este programa consiste en incluir la opción de pagar económica y socialmente para eludir por un período determinado de tiempo la obligación del tradicional “Pico y Placa”. En el caso de Bogotá, la cuota económica es de 2.066.200 pesos (alrededor de US\$ 590) para exonerarse por un semestre. Adicionalmente, el usuario del vehículo particular debe realizar un curso de cuatro módulos acerca de los efectos

indeseados del uso indebido del automóvil y no debe adeudar multas y/o comparendos. La medida aplica para todo tipo de vehículos sujetos al tradicional “Pico y Placa”. La Secretaría de Movilidad definió que los recursos serían destinados a la financiación del Sistema Público Integrado de Transporte (SITP). Con la posibilidad de pagar por circular y utilizar esos recursos para la mejora de la calidad del transporte público, esta política tiene como objetivo evitar la compra de un vehículo adicional de menor calidad por parte de aquellos usuarios con suficiente capacidad económica (Cantillo & Ortúzar, 2014). No obstante, una crítica a esta política es que, al tratarse de un pago por un número de meses determinado, tiene el defecto de inducir más viajes en automóvil debido a este nuevo costo por amortizar. Una alternativa se encuentra en Montero et al. (2020), quienes proponen implementar un sistema de restricción vehicular con “pase diario” para eximirse de la restricción uno o más días de la semana. Uno de los retos más importantes que trae esta propuesta es la necesidad de un sistema eficiente, capaz de recolectar el dinero y monitorear diariamente el cumplimiento del permiso. Asimismo, los autores reconocen que existirá una pérdida de bienestar para los estratos socioeconómicos bajos, la cual debería ser compensada reduciendo las tarifas de transporte público (autobuses y metro) y mejorando las frecuencias del servicio de autobuses.

5.2.2. Limitado estacionamiento en la vía pública

La decisión de usar el automóvil para los viajes habituales está fuertemente condicionada a la disponibilidad de estacionamiento en el destino del viaje. Las vialidades son espacios públicos de la ciudad y de todos sus habitantes, por lo tanto, un automóvil que permanece estacionado muchas horas por día sobre las calles limita el potencial uso que pueden tener otras personas de ese espacio. Delimitar el estacionamiento sobre la vialidad ha resultado una buena práctica para reducir el uso del vehículo particular y la congestión vial. Existen diversas formas de delimitar el espacio de estacionamiento, como la introducción de espacios exclusivos para residentes, espacios mixtos (para residentes y no residentes con cargo a no residentes), espacios exclusivos para bus (especialmente turísticos), espacios exclusivos para motos, espacios exclusivos para carga y descarga, y espacios limitados por tiempo.

Las buenas prácticas internacionales demuestran que, en ciudades donde se busca disminuir el número de viajes realizados en vehículo particular, limitar o anular la oferta de espacios de estacionamiento en proyectos inmobiliarios ha resultado exitoso a tal fin. Esto ha sido evidenciado por (Guo, 2013a) para la región de Nueva York, indicando que la cantidad de estacionamientos determina significativamente la decisión de poseer vehículo. De hecho, la variable de oferta de estacionamiento es más relevante que el ingreso y otras características demográficas del hogar. La conveniencia de estacionamiento en el inmueble se relaciona también con un uso más frecuente del vehículo privado y un mayor número de millas recorridas en este modo (Guo, 2013b). Los resultados de Shen et al. (2020) para Xí'an, China, concuerdan con estos hallazgos, mostrando la correlación entre la relación oferta-demanda de estacionamiento, la densidad y el uso del suelo con el nivel de congestión, así como la asociación positiva de la disponibilidad de parqueo con la distribución espaciotemporal del de los flujos de tráfico. Christiansen et al. (2017) analizaron la relación entre disponibilidad de estacionamiento y viajes al trabajo, encontrando que la reducción del estacionamiento es la medida más efectiva para desincentivar el uso del automóvil en tales viajes. Contar con parqueo gratis y en abundancia puede llegar a cuadruplicar la probabilidad de viajar en automóvil. Por su parte, Auchincloss et al. (2015) recabaron datos para 107 ciudades de Estados Unidos y mostraron que mayores costos de estacionamiento se asociaban con un aumento en el uso del transporte público.

5.2.3. Impuestos a los combustibles

Incrementar los impuestos y retirar las subvenciones a los combustibles es un instrumento tradicionalmente utilizado para reducir el uso del vehículo privado y las externalidades negativas derivadas de ello. En especial, con este instrumento se busca disminuir las emisiones contaminantes. La mayoría de los combustibles que emplean los automóviles y motocicletas actuales (gasolina y diésel) provienen de fuentes fósiles, por lo que su quema provoca la emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero, los cuales afectan de forma negativa la salud humana y agilizan el cambio climático, respectivamente.

Los ingresos que provienen de estos impuestos constituyen una importante fuente de recursos para el sector transporte, los cuales son generalmente destinados para la construcción y mantenimiento de infraestructura y transporte público (véase [Casos de financiación del transporte público: retos y buenas prácticas](#)). Sin embargo, la eficacia del instrumento para reducir el uso del automóvil es cuestionada en la literatura, dado la demanda inelástica de los combustibles en el corto plazo. Asimismo, la magnitud del impuesto suele estar lejos de ser consistente con el daño ambiental generado por el consumo de combustible (Miller & Vela, 2013). Al respecto, en la región se han realizado diversos estudios donde se estima el impuesto óptimo para los combustibles, calculando externalidades relacionadas con la contaminación del aire, la congestión y el número de incidentes de tráfico. Por ejemplo, Parry & Timilsina (2010) calcularon el impuesto óptimo para Ciudad de México, Parry & Strand (2012) lo estimaron para Chile y Antón-Sarabia & Hernández-Trillo (2019) lo indicaron para Guatemala.

Por su parte, Blackman et al. (2010) señalan la importancia de considerar el efecto redistributivo de las políticas. Mientras un impuesto directo a la gasolina es progresivo, un impuesto indirecto al diésel (incluyendo buses públicos) implica un componente regresivo. Respecto a esto último, en Feng et al. (2018) se analizan los efectos distributivos de los aumentos en los precios energéticos en 11 países de ALC, evidenciando que los grupos de altos ingresos se benefician más de los precios bajos que los grupos de menores ingresos. Finalmente, este impuesto tiene el problema de no permitir la focalización, en tanto que no distingue entre viajes urbanos e interurbanos, horario del uso del vehículo, y área congestionada o sin congestión. Por estas razones, y especialmente por el incremento en la adopción de vehículos eléctricos, algunos países están comenzando a experimentar con instrumentos alternativos de cobros basados en la distancia recorrida, con elementos dinámicos que permitan cobrar más durante los períodos pico y/o dependiendo del tipo de vehículos (véase 5.2.7).

5.2.4. Impuestos al automóvil

La tasa de crecimiento de la motorización en ALC es superior a la de economías avanzadas (4.7% frente a 0,5% respectivamente) (Rivas et al., 2019). Esto se debe a que los automóviles se han vuelto mucho más asequibles para una mayor proporción de la población, a partir de planes de financiamiento y otros mecanismos financieros. En este sentido, a pesar de su impopularidad, aumentar el costo de un automóvil mediante el incremento en los impuestos a la compra o impuestos anuales por poseer un vehículo, justificados por las externalidades negativas que genera para la sociedad y el medio ambiente, apoyan a disminuir la tasa de motorización en la región.

En Singapur los impuestos al automóvil han sido usados como uno de los principales mecanismos para reducir la congestión. Entre ellas, el programa Cuota por Registro Adicional (ARF, por sus siglas en inglés) y el Sistema de Cuota Vehicular (VQS) mostraron ser eficientes para la reducción de la congestión (Willoughby, 2001). Entre 1990 y el 2002, el programa VQS había logrado reducir la tasa de crecimiento del parque vehicular a 2.8% desde 4.2% (Santos et al., 2004). Un resultado similar se encontró en Hong Kong, en donde un crecimiento agudo de la flota vehicular fue contenido por la combinación entre un impuesto al registro y una cuota anual vehicular (Khan, 2001). Sin embargo, la eficacia de esta medida depende del valor del impuesto, que tiene que ser lo suficientemente alto como para desincentivar nuevas adquisiciones. Por el contrario, si es demasiado bajo, tendría el efecto de inducir más viajes en el vehículo adquirido, debido a este nuevo costo por amortizar.

Para conocer más a detalle cómo los impuestos a los automóviles pueden contribuir a la financiación del transporte público, se recomienda revisar: [Casos de financiación del transporte público: retos y buenas prácticas](#) (Ariza et al., 2018b).

5.2.5. Cobro por estacionamiento en la vía pública

Cobrar por estacionar un vehículo es una de las acciones más efectivas para reducir el uso del vehículo particular. La mayoría de los viajes en las ciudades de ALC tienen como motivo el trabajo y las personas suelen permanecer allí por períodos de hasta diez horas diarias. Si los usuarios tuvieran que pagar por el estacionamiento en sitios públicos, probablemente buscarían otras alternativas de transporte, favoreciendo la sustitución modal del transporte particular y

118 - Capítulo 5. Políticas públicas reducir la congestión vial

reduciendo la congestión vial. Al respecto, Kelly & Clinch (2006) encontraron que el incremento del 50% en el costo del parqueo en la zona central de Dublín redujo la demanda y la duración del estacionamiento en 15% y 16,5% respectivamente. Millard-Ball et al. (2014) evaluaron el programa general de cobro al parqueo en San Francisco, evidenciando una mayor tasa de ocupación vehicular y una caída del 50% en el tiempo de búsqueda de estacionamiento respecto a los dos años previos a su implementación. De acuerdo con ITF (2019), cambiar la introducción del cobro por estacionamiento típicamente reduce el viaje en solitario entre 10 y 30%.

No obstante, cabe notar que estas políticas pueden tener resistencia no solo por parte de los usuarios, sino también de los negocios y habitantes de barrios afectados por las medidas. Por ejemplo, Gerrard et al. (2001) evaluaron las actitudes de los negocios ante un cobro de estacionamiento en Cambridge, Norwich y York, encontrando que, si bien los usuarios percibían una potencial reducción en la congestión y polución, el 72% de los encuestados esperaban un impacto económico negativo de la política debido a la disminución de consumidores. Por su parte, Enoch & Ison (2006) analizaron la implementación de una licencia de estacionamiento en Perth, Australia, hallando que la búsqueda de parqueo se había extendido a las zonas aledañas a las antiguas áreas de estacionamiento, generando mayor tráfico en las mismas.

Con el fin de maximizar los beneficios e incrementar la efectividad de este instrumento de política pública, el BID (2013) publicó la [Guía Práctica: Estacionamiento y Políticas de Reducción de Congestión en América Latina](#), donde se presentan recomendaciones y lineamientos detallados para la gestión de la demanda de estacionamiento.

5.2.6. Impuestos especiales a estacionamientos públicos

Los estacionamientos públicos han proliferado en muchas de las ciudades de ALC al diversificar sus esquemas de pago y atraer a un gran número de clientes. A partir de ello, muchas personas pagan tarifas mensuales o cuotas máximas por día, suficientemente asequibles para que moverse en vehículo particular sea viable. Los estacionamientos públicos no sólo promueven el uso del transporte privado, sino que también, en muchas ciudades, ocupan espacios urbanos que podrían ser aprovechados para actividades que benefician a la sociedad, como parques, servicios públicos o vivienda. En este sentido, exigir que paguen impuestos especiales es una forma de limitar su presencia en la ciudad y con ello sus externalidades negativas como el fomento a la congestión vial. [La Guía Práctica: Estacionamiento y Políticas de Reducción de Congestión en América Latina](#) (BID, 2013) presenta recomendaciones y lineamientos al respecto.

5.2.7. Tarifación vial

La tarifación vial (TVi) es una política para la reducción de externalidades negativas (ambientales, sociales y económicas) producidas por el uso del vehículo particular, consistente en aplicar tarifas que incrementen el costo de los viajes (Crotte et al., 2018). En este sentido, un cambio en los costos asociados al uso del automóvil tiene un efecto en el número, frecuencia y distancia de los viajes que se realizan en este modo. Los tipos de TVi son: punto fijo (parquímetros), vialidades específicas, cordón, distancia, velocidad y/o tiempo, y mixto. De acuerdo con Lopez-Ghio et al. (2018), la tarifación por congestión se considera la medida más efectiva para llegar a un óptimo social, pues los conductores internalizan el costo que la congestión le genera a la sociedad. Al internalizar esta externalidad, se logran cambios en el comportamiento de los individuos, incentivando que los viajes se realicen en horas de menor congestión o en otros medios de transporte.

Ciudades como Singapur en 1975, Oslo en 1990, Durham en 2002, Londres en 2003, Estocolmo en 2007 y Milán en 2012, ya la implementaron. Como resultado de la medida, en Singapur los volúmenes de tráfico y de emisiones disminuyeron en un 15% y las velocidades promedio aumentaron de 30-35 km/h a 40-45 km/h, generando asimismo ingresos anuales por US\$ 100 millones. En Estocolmo, el volumen de tráfico se redujo en un 20%, los retrasos en el tráfico en un 30-50% y las emisiones de CO₂ en un 14%, generando ingresos por US\$ 155 millones al año. El esquema de precios del cordón de Londres también ha tenido éxito en reducir la congestión (disminución del 30%), mejorar la calidad del aire y la salud pública (las emisiones de CO₂ disminuyeron en un 16% y las PM₁₀ en un 15,5%) y crear una fuente de financiamiento a largo plazo para futuras mejoras de transporte (ingresos netos anuales de US\$ 182,1 millones) (BID, 2020a; Lehe, 2019).

A pesar de que los beneficios potenciales de los cargos por congestión han sido ampliamente señalados en la literatura, su tasa de adopción a nivel mundial es limitada. Algunos autores señalan que los desafíos de implementación y la baja aceptabilidad de esta política se explican por preocupaciones sobre los aspectos de costo político, equidad, y complejidad para ejecutar este tipo de políticas y la incertidumbre sobre los efectos de la medida y el uso de los ingresos generados (Gu et al., 2018; Lopez-Ghio et al., 2018). Desde el punto de vista político, se duda sobre cobrar al público por algo que siempre ha sido gratis, como usar las calles, aunque sería lo más adecuado, y por la resistencia que podría generarse en la población (King et al., 2007). Desde el punto de vista de la equidad, se ha argumentado que esta política perjudicaría a los usuarios de auto más pobres y beneficiaría a los ricos, pues estos tienen mayor valor del tiempo que el aumento en los costos financieros de conducir. No obstante, Basso & Silva (2014) argumentan que el tarifcar por congestión sería una medida progresiva si los sistemas de transporte público mejoraran con los recursos provenientes de la tarifa, y permitieran cubrir adecuadamente la nueva demanda.

Ortúzar (2013) realizó una revisión exhaustiva de las principales críticas a la implementación de TVi en las ciudades de ALC, tales como la baja aceptabilidad de la política, el costo de oportunidad, la inelasticidad del usuario al cobro, la tecnología de implementación insuficiente, la violación de la privacidad, el destino de los impuestos y la justicia de la política. En su análisis, el autor presenta también una detallada respuesta a las críticas anteriores y argumenta que, para lograr introducir la TVi con apoyo mayoritario de la ciudadanía sería necesario convencer al público y a los formadores de política de las siguientes cuatro afirmaciones: (i) es necesario tomar acciones para restringir los actuales niveles de tránsito; (ii) las alternativas a la tarificación vial son inefectivas o insuficientes; (iii) la tarificación vial es una medida práctica y efectiva, especialmente mediante los avances tecnológicos para el monitoreo del tráfico (véase sección 5.1.5); y (iv) es posible resolver las preocupaciones relacionadas con la equidad del proyecto. Ortúzar resalta que esto último es especialmente importante, dado que el contexto regional presenta niveles de ingreso y distribución de la riqueza muy diferentes a los países de los que se cuenta con más información respecto de la adopción y efectos de medidas como la TVi.

La implementación progresiva de este tipo de políticas puede ayudar a mejorar la aceptación pública, como en el caso de Estocolmo, donde la medida se introdujo por primera vez en 2006 a modo de prueba. Al final de este período, se realizó un referéndum para elegir si la medida se mantenía o eliminaba, habiendo ganado la continuidad de su aplicación. En el caso de Milán, se comenzó aplicando una restricción a la circulación para reducir las emisiones en la zona central, para pasar luego a aplicar un cargo por congestión. Adicionalmente, los cargos por congestión deben conceptualizarse como un componente dentro de una política de transporte más amplia (instrumentos de oferta y demanda), que deberían incluir, en primer lugar, acciones para mejorar la calidad y la accesibilidad de los servicios de transporte público. La transparencia y la rendición de cuentas en el uso de los ingresos también se señala como un factor clave de éxito en el caso de Londres; mientras que la redistribución de los ingresos es fundamental para evitar que la política genere ganancias para los grupos de mayores ingresos y pérdidas para los grupos de menores ingresos (Cohen, 1987; Else, 1986).

Estudios recientes para la región analizan la aplicabilidad de una tarifa de cobro por congestión en la Ciudad de México, Santiago y Bogotá (Lopez-Ghio et al., 2018). Con la implementación de un peaje promedio al día entre US\$ 1,91 y US\$ 3,33 en el área seleccionada y según la ciudad considerada, se obtendrían importantes beneficios en el aumento de la velocidad promedio de circulación en la zona, que rondaría los 6 km/h en las tres ciudades. La medida generaría una reducción de la congestión cercana a 28%, la cual estaría en línea con la observada en países desarrollados que han implementado este instrumento. Tras su implementación, el cobro por congestión permitiría obtener importantes recursos, que oscilarían entre US\$ 154.000 y US\$ 611.000 netos al día en promedio según la ciudad, y que podrían reinvertirse en el mismo sistema de transporte de la ciudad. La recaudación anual de esta tarifa sería más significativa para Ciudad de México y Santiago, donde equivaldría a 97% y 40% del impuesto de circulación de vehículos, o permitiría financiar 53 km y 19,5 km de infraestructura en los sistemas de transporte, respectivamente. En el caso de Bogotá, un recargo de \$0,33/km le otorgaría un financiamiento suficiente para cubrir hasta un 15% de los costos actuales del sistema integrado de transporte (Calatayud & Muñoz, 2020).

Un caso específico de TVi es el relacionado con las compañías de redes de transporte. Estudios recientes sugieren que tales compañías están contribuyendo a un aumento de las distancias recorridas en automóvil y a la congestión: los

120 - Capítulo 5. Políticas públicas reducir la congestión vial

datos para San Francisco, Boston y la ciudad de Washington señalan que los vehículos de viajes a pedido representan el 13%, el 8% y el 7% respectivamente de todas las VMT en esas ciudades, y una tercera parte de esos porcentajes corresponden a distancias recorridas por vehículos vacíos (Fehr & Peers, 2019). Para el caso de ALC, Tirachini & Gomez-Lobo (2020) también evidencian un incremento de VMT en el caso de Santiago. Los potenciales efectos adversos de este tipo de servicios exigen la adopción de medidas de políticas (Calatayud & Muñoz, 2020). Bajo un marco regulatorio permisivo, hacia 2030 los kilómetros de viaje de los vehículos y las emisiones de CO₂ en ALC podrían incrementarse un 6% y un 15%, respectivamente (ITF, 2019). En cambio, con una regulación eficiente que requiera altas tasas de ocupación en los trayectos de viajes a pedido, los servicios compartidos podrían contribuir a reducir el total de kilómetros recorridos en un 24% y las emisiones de CO₂ en un 3% (ITF, 2019). En consonancia con las políticas implementadas por ciudades en otras regiones, algunas ciudades de ALC han comenzado a cobrar a las compañías de redes de transporte por el uso de la infraestructura vial. Sao Paulo impone una tarifa inicial sobre la base de una estimación de las VMT, también conocida con el nombre de “créditos”, que pueden ser utilizados por su flota de vehículos de pasajeros en un período de dos meses, más un recargo si se superan esos créditos. En Ciudad de México se aplica un cargo adicional de un 1,5% por viaje a los servicios de movilidad compartidos. La efectividad de estas políticas resta aún por ser evaluada.

En la publicación [Tarificación vial: Una política para la reducción de externalidades negativas producidas por el congestionamiento vial](#) (Crotte et al., 2018) se describen en detalle las modalidades de tarificación vial, experiencias exitosas en el mundo, tecnología para identificación de vehículos y cobros, entre otros. Asimismo, se brindan lineamientos y recomendaciones para su implementación en ALC.

5.3. Políticas que promueven el uso del transporte público y el transporte activo

Estas políticas tienen como **objetivo aumentar el número de personas que se moviliza en modos de transporte más sostenibles**, incluyendo acciones tales como: (i) mejora de la disponibilidad y calidad del transporte público; (ii) estacionamiento “*park and ride*”; (iii) infraestructura para bicicletas y peatones; (iv) transporte escolar; (v) transporte institucional; (vi) sistemas de vehículos compartidos; y (vii) oferta de transporte para personas con discapacidades.

5.3.1. Mejora de la disponibilidad y calidad de transporte público

Un aspecto clave para reducir la congestión en las ciudades es incentivar el cambio modal hacia el transporte público. En contraste con otros modos de transporte, el transporte público tiene la capacidad de mover a un gran número de personas, producto de la capacidad de carga de sus vehículos, brindando una solución eficiente para la movilidad en ciudades medianas y grandes y en megaciudades. En efecto, un corredor de alta capacidad puede transportar aproximadamente 40.000 pasajeros por hora. Para alcanzar el mismo volumen por automóvil se requerirían más de 20 carriles paralelos, lo cual es geográficamente imposible en contextos urbanos. Sin embargo, como se evidenció en el Capítulo 1, la calidad de los sistemas de transporte público en la región de ALC es limitada, afectando la experiencia de viaje de las personas que lo utilizan y haciendo que otras prefieran no usarlo. Así, las medidas de atracción de viajes hacia el transporte público, principalmente de las personas que se movilizan en automóviles, deben apuntar a mejorar la calidad de este.

Esto demanda acciones en diferentes dimensiones: disponibilidad de los servicios, accesibilidad universal y al transporte, información, tiempos de viaje, atención al cliente, comodidad, seguridad e impacto ambiental (Rodríguez et al., 2020), así como el reconocimiento de patrones de movilidad diferenciados según el género de los usuarios (Sánchez de Madariaga, 2013) y condiciones de viaje distintas a las del usuario típico (p. ej., personas con movilidad reducida) (Olivares et al., 2019). Por ejemplo, el desarrollo de sistemas de transporte masivos, como los sistemas urbanos de ferrocarriles –incluidos metros– o los sistemas de *Bus Rapid Transit* (BRT por sus siglas en inglés), ha demostrado mejorar la calidad de los servicios de transporte mediante la reducción de los tiempos de viaje, con impactos positivos en cuanto al acceso a oportunidades de empleo (Martínez et al., 2020; Scholl, Martínez, et al., 2018; Scholl, Oviedo, et al., 2018) y reducción de emisiones (Bel & Holst, 2018; Chenyihsu & Whalley, 2012; Gramsch et al., 2013) y de siniestros de tráfico. Asimismo, la mejora del confort, la limpieza y la seguridad del transporte público ha sido efectiva para incrementar el número de viajes: en el caso de Chicago, el aumento fue de 5%, equivalente a 15 millones de viajes adicionales por día, luego de un largo periodo de caída en el uso del metro (Foote, 2004).

Otro aspecto clave es la provisión de información acerca de los servicios, incluyendo horarios y demoras de autobuses y metro, que frecuentemente es evaluada más positivamente por los usuarios, frente a aspectos como nivel de servicios y tiempos de transferencia (Dell’Olio et al., 2011). Una evaluación para Nueva York sobre los efectos de la información en tiempo real, proporcionada a través de dispositivos web y móviles, revela un aumento del número de pasajeros por ruta de aproximadamente 1,7% por día de la semana (Brakewood et al., 2015). Un análisis sobre la implementación de la política de datos abiertos de *Transport for London* muestra que genera beneficios económicos anuales de hasta US\$ 175 millones para los usuarios, la ciudad y la propia institución (Deloitte, 2017).

Un factor crítico a mejorar en las ciudades de ALC es la asequibilidad del transporte público (BID, 2020b). Una medida usualmente adoptada con este objetivo es la provisión de subsidios. Al respecto, la literatura ha demostrado que los subsidios a la demanda generalmente son más efectivos que los subsidios a la oferta, en cuanto permiten una mayor focalización de las transferencias a grupos específicos de beneficiarios (p. ej., adultos mayores, personas con discapacidad) (Serebrisky et al., 2009). Un caso de éxito en la región se refiere al mecanismo de subsidios implementado en Bogotá desde 2014, que tiene un enfoque similar a un programa de transferencias directas de efectivo (Guzman et al., 2017). Este esquema, basado en el Sistema Nacional de Beneficiarios (SISBEN), focaliza los subsidios en aquellos miembros de hogares que tienen ingresos por debajo de la línea de la pobreza, usando una tarjeta inteligente personalizada, que les brinda hasta 30 viajes por mes a una tarifa promedio de US\$ 0,30²³, en comparación con una tarifa promedio de US\$ 0,55 (Gwilliam, 2017). Este subsidio incrementó los viajes mensuales de los beneficiarios en 56% (Rodríguez et al., 2017) y aumentó los ingresos por hora de los trabajadores informales (Rodríguez et al., 2016), impactando positivamente en la accesibilidad al transporte y la equidad de los beneficiarios (Guzman et al., 2017). Lo anterior confirma que, además de medidas universales para la reducción de la tarifa básica de transporte público, es necesario implementar políticas dirigidas a reducir el número de viajes suprimidos de los hogares de bajos ingresos (Falavigna & Hernandez, 2016).

Si bien las inversiones necesarias para mejorar la calidad del transporte público en ALC son significativas, también lo son los beneficios sociales, ambientales y económicos derivados de estas. Un instrumento clave para la obtención de los recursos necesarios para tales inversiones es la tarificación vial (ver sección 5.2.7). A la vez de proporcionar recursos, la reducción de congestión esperada a partir de la TVi contribuye a mejorar la operación, nivel de servicio y, en consecuencia, la calidad del transporte público. Otras fuentes de recursos son tratadas en detalle en la publicación [Mejores prácticas internacionales de fondeo y financiamiento para el transporte público urbano](#) (Crotte et al., 2017).

5.3.2. Carriles exclusivos para transporte público

Uno de los principales factores por los cuales una persona decide utilizar un modo de transporte sobre otro es el tiempo de viaje. En este sentido, para promover una sustitución modal del vehículo particular al transporte público, es importante que los servicios de transporte público tengan tiempos de viaje iguales o menores a los del vehículo particular. Una medida para lograr esto es mediante la instalación de carriles exclusivos para el transporte público que eviten que los autobuses se vean afectados por la congestión vial. Basso & Silva (2014) evidencian que en Santiago y Londres la designación de carriles exclusivos para autobuses generó importantes aumentos en los niveles de servicio del transporte público y reducción de su tarifa, sin tener que inyectar fondos públicos. En el caso de Bogotá, Hidalgo & Huizenga (2013) encontraron que el establecimiento de carriles exclusivos para Transmilenio redujo el tiempo de viaje en 52%, generando ahorros para los usuarios valorados en US\$ 1.793 millones. Sin embargo, a pesar de que muchos de los servicios de BRT de la región de ALC ya cuentan con este tipo de infraestructura, del sistema vial de las 29 mayores áreas metropolitanas de ALC, menos de 1% es de dedicación exclusiva para el transporte público (Estupiñan et al., 2018).

23. La política fue modificada en marzo de 2017 incorporando los siguientes cambios: (i) aplica para personas con puntuación en el SISBEN de 0 a 30,56 puntos (antes aplicaba a personas entre 0 y 40 puntos); y (ii) aplica para una canasta de 30 viajes por mes (antes cubría 40 viajes por mes) (Veeduría Distrital Bogotá, 2017).

5.3.3. Estacionamiento "Park and Ride"

El vehículo particular puede representar una alternativa adecuada para los viajes de primera y última milla, especialmente en ciudades con topografías y climas extremos. Para que esto sea viable, es importante reconocer la naturaleza multimodal de los distintos viajes y las necesidades de cada modo de transporte. Los estacionamientos tipo "Park and Ride (P&R)" (estacionarse y súbbase) representan una alternativa para que los usuarios de transporte público que realizan su primera y última milla en vehículos particulares puedan estacionar sus vehículos en las colindancias de estaciones de transporte público masivo, y que la parte más larga de su viaje se realice en transporte público. Esto disminuye la intensidad de uso de los vehículos particulares y su estacionamiento sobre la vía pública, promoviendo la reducción del congestionamiento vial y la reapropiación del espacio público por otros modos de transporte.

No obstante, la literatura sugiere que el éxito de esta política depende de un diseño apropiado para el contexto en que es implementado. Si se planifica correctamente, con un estacionamiento suficientemente seguro y bien iluminado, puede reducir los niveles de congestión mientras que también permite que los no usuarios de transporte público se familiaricen con este modo de transporte (Blainey et al., 2012). Otros estudios indican que el éxito dependerá también de una efectiva coordinación e integración con las políticas urbanas, así como también de la provisión de una alternativa de transporte público de alta calidad (Batty et al., 2015). Moore et al. (2019) analizaron el impacto de un piloto de P&R en Tennessee, Estados Unidos, estimado que las 44 estaciones de P&R usadas en el estudio disminuyeron en 68% las millas recorridas en automóvil diarias (VMT) por los trabajadores que hicieron parte de la muestra. Asimismo, se redujo el consumo de energía en un 92% y el uso de gasolina en un 84%.

Ahora bien, Meek et al. (2011) evaluaron una de las aplicaciones más antiguas de P&R implementada en el Reino Unido, reportando un resultado contraproducente en el número de VMT, con un aumento de 14%. A partir de allí se ha derivado una importante discusión sobre modificaciones al tradicional P&R. En efecto, esta medida puede tener la desventaja de que un viaje completo en transporte público pueda cambiarse a un viaje en dos etapas (auto y transporte público), incentivando el incremento de VMT. Así, Batty et al (2015) señalan que el P&R es más efectivo para servicios de metro y trenes urbanos que para autobuses. Por su parte, la congestión podría trasladarse a las zonas aledañas al estacionamiento masivo. Al respecto, Liu et al. (2018) proponen el "Remote Parking & Ride (RP&R)", en el que el estacionamiento no se sitúa en las principales estaciones de transporte público, sino en los suburbios con menores costos para los usuarios del automóvil, suministrando al mismo tiempo un servicio de buses que conecte estos estacionamientos con las estaciones principales de transporte público. Los resultados de su simulación prometen beneficios significativos para la mitigación de la congestión en las áreas metropolitanas.

5.3.4. Infraestructura para bicicletas y peatones

La construcción de infraestructura para bicicletas y peatones genera una demanda inducida de este tipo de usuarios, promoviendo la sustitución modal del vehículo particular. El estudio de Song et al. (2017) para el Reino Unido, donde evaluaron la distancia a nuevas facilidades de infraestructura para caminar y montar en bicicleta (medida de uso potencial) y el uso efectivo de esta infraestructura, demostró que existe una asociación significativa entre estas medidas y el cambio modal del automóvil a modos activos.

Cabe resaltar que la infraestructura para ciclistas no solo consiste en ciclocarriles, sino también en cicloestacionamientos en estaciones de transporte público y sitios de interés, espacio para bicicletas en autobuses urbanos, centros de trabajo equipados con regaderas, y sistemas públicos de bicicletas. Respecto a esto último, la evidencia internacional demuestra que los programas enfocados en desarrollar sistemas de bicicletas públicas compartidas aumentan la frecuencia con la que se usa una bicicleta personal o compartida (Ricci, 2015; Ríos Flores et al., 2015). Por ejemplo, los sistemas de bicicleta compartida redujeron el uso del automóvil en aproximadamente 90.000 km anuales en Melbourne y Minneapolis/St. Paul, y 243.291 km para Washington, D.C. (Fishman et al., 2014).

Asimismo, la infraestructura peatonal va más allá de banquetas, incluye espacios de descanso y recreación, y zonas arboladas que disminuyan la temperatura. Pucher & Dijkstra (2003) destacan que en los Países Bajos y Alemania los cruces bien iluminados para peatones, las islas de refugio, los cruces elevados, además de señales visibles y activas crearon un entorno de seguridad que incentivaron caminar y el uso de la bicicleta. El diseño de este tipo de infraestructura debe reconocer que los peatones, ciclistas y usuarios de otros vehículos de micromovilidad son los más vulnerables de la vialidad, por lo tanto, su seguridad debe ser prioritaria. Además, se debe considerar la diversidad de usuarios que tiene una vialidad, por lo que todas las intervenciones deben hacerse de acuerdo con principios de accesibilidad universal. El Departamento Británico de Transporte estimó que en aquellos barrios en donde se registró una infraestructura peatonal apropiada, el número de muertes por atropellamientos fue 53% menor. Por su parte, el estudio de Pucher & Dijkstra (2003) demuestra que los ambientes que no son seguros para los peatones y los ciclistas desincentivan el uso de estos modos.

Para conocer más sobre el tema, se recomienda consultar la [Guía para planeación e implementación de sistemas públicos de bicicletas en LAC](#) (Crotte & Arvizu, 2018) y [Guía de vías Emergentes para Ciudades Resilientes](#) (Aguirre Benítez et al., 2020).

5.3.5. Transporte escolar

El segundo motivo de viaje más común en muchas de las ciudades de ALC es el estudio. Los estudiantes de ciertas edades, específicamente los menores de 18 años, en muchos casos, dependen de otra persona para trasladarse a su lugar de estudio. Este fenómeno propicia la congestión vial cuando el modo de transporte que utilizan es el vehículo particular. En este sentido, la implementación de servicios de transporte escolar resulta una mejor práctica para facilitar a todos los alumnos los traslados desde sus casas a sus lugares de estudio. El transporte escolar no sólo beneficia a los estudiantes, sino también a todas las otras personas que realizan viajes de acompañamiento/cuidado para dejar a los estudiantes en sus sitios de estudio. Cabe mencionar que este tipo de transporte puede ser solución solo si los estudiantes viajan dentro de su propia zona de residencia. Este es el caso de las escuelas públicas de Estados Unidos, donde la matriculación en las escuelas depende de la ubicación de la residencia de los estudiantes.

5.3.6. Transporte institucional

Existen diversas actividades económicas, como las industriales y corporativas, que emplean a un gran número de personas y, por lo tanto, atraen un gran número de viajes. Para evitar que un alto porcentaje de estas personas utilicen vehículos particulares, contribuyendo a la congestión vial de la ciudad, o pierdan largos periodos de tiempo y dinero al usar otros modos de transporte, se recomienda la implementación de servicios de transporte institucional. La implementación de rutas y horarios debe ser cuidadosamente diseñadas para que responda a las necesidades de los empleados. Es considerado una buena práctica que el costo de este servicio sea absorbido en su totalidad por las instituciones o que se cobre una tarifa a los empleados para que el servicio sea autosuficiente mas no recaudatorio.

Otra iniciativa institucional para el desincentivo del uso del automóvil consiste en cobrar por estacionar en los edificios de la organización. El estudio de Guzman et al. (2020) evidencia que un incremento sustancial del costo de estacionamiento constituye un desincentivo efectivo para reducir el uso del vehículo particular en los viajes al trabajo, logrando una importante migración hacia el transporte público, *carpooling*, bicicleta y caminata.

5.3.7. Sistemas de vehículos compartidos

Muchos de los vehículos particulares pasan la mayor parte del tiempo detenidos, ocupando una gran cantidad de espacio tanto público como privado. Esto genera externalidades negativas para la ciudad, entre ellas contribuir a la congestión vial y al sobre costo de muchas infraestructuras por dotar espacios de estacionamiento. Por lo tanto, los esquemas de automóviles compartidos son considerados una buena práctica para disminuir los impactos negativos que tienen los vehículos particulares, al generar una economía compartida y un mayor aprovechamiento del vehículo,

124 - Capítulo 5. Políticas públicas reducir la congestión vial

reduciendo considerablemente la demanda por estacionamiento. Es más, estudios recientes señalan que los sistemas de vehículos compartidos posponen o desincentivan la decisión de comprar un automóvil por parte de quienes no lo poseen (Aguilera & Cacciari, 2020). También contribuyen a la decisión de vender uno o más automóviles por parte de los ya propietarios (Cervero et al., 2007; Nijland & van Meerkerk, 2017).

Ahora bien, desde el punto de vista de eficiencia global de la movilidad urbana, es importante mencionar que los automóviles compartidos deben ser una alternativa de movilidad para primera y última milla (complementaria a otros modos sostenibles), o casos especiales que requieren de las características que ofrece un vehículo, mas no para realizar viajes largos, ya que eso no impulsa la disminución de la congestión vial.

5.3.8. Oferta de transporte para personas con discapacidades

Los usuarios del transporte son variados y van desde personas jóvenes hasta gente con discapacidades que limitan radicalmente su capacidad y autonomía para moverse. Muchas de estas personas, producto de las fallas de diseño de sistemas de transporte público en términos de accesibilidad universal o de la presencia de aceras planas y homogéneas en la ciudad para caminar cómodamente, se ven obligadas a limitar su movilidad a vehículos particulares. En este sentido, repensar los sistemas y modos de transporte para que sean incluyentes y accesibles universalmente, puede motivar a que las personas con discapacidades puedan utilizar modos de transporte más sostenibles.

Para conocer más sobre este tema, se recomienda la publicación [Accesibilidad e inclusión en el transporte: Análisis en ciudades latinoamericanas \(BID, 2019 & 2020\)](#).

5.4. Planificación integrada de la movilidad y el uso del suelo

Los paradigmas de planeación urbana han variado a lo largo del tiempo, con la finalidad de responder a las cambiantes necesidades sociales, económicas y ambientales de las ciudades. La agenda urbana contemporánea busca transformar a las ciudades en entornos sostenibles y resilientes. Para ello, es importante pasar de ciudades de grandes extensiones y bajas densidades, a ciudades a escalas y necesidades humanas. La movilidad y los usos de suelo tienen un papel fundamental en ello, ya que enfocarse en promover ciudades más sostenibles y resilientes implica pensar en **mover personas y no vehículos**. Para ello, es importante planear la ciudad desde un enfoque sistemático, que genere una red de conectividad a partir de usos de suelo mixto y una red de transporte integrada y eficiente. De esta manera, se promueve que la población, en su integridad, tenga acceso a las diversas oportunidades que ofrecen sus ciudades.

La planificación integrada de los sistemas de transporte y del uso del suelo es un elemento clave para controlar la acelerada expansión de la mancha urbana (Suzuki et al., 2013). En este contexto, una política poco utilizada en la región es el Desarrollo Orientado al Transporte (DOT), que prioriza un modelo de planificación y desarrollo de las ciudades alrededor de nodos del sistema de transporte público (motorizado y no motorizado) (Martínez Salgado, 2018). Las experiencias de Curitiba, Denver y Hong Kong, por ejemplo, han demostrado que este tipo de políticas contribuyen a lograr ciudades densas, compactas y multimodales, resultando en una reducción de la congestión y un incremento en el número de pasajeros de los sistemas de transporte público, las oportunidades para el desarrollo conjunto de infraestructura entre el sector público y privado, el número de viviendas asequibles, el valor del suelo y las rentas inmobiliarias (BID, 2020a; Medina-Ramírez & Veloz-Rosas, 2013).

La elaboración e implementación de planes maestros de movilidad urbana es otra medida para facilitar la planificación integral. Estos instrumentos consolidan una visión de largo plazo para el desarrollo de sistemas de transporte sostenibles. Para ello, suelen incorporar acciones para lograr un uso más eficiente del espacio vial, priorizando al transporte público como modo para desplazamientos expeditos, confiables y seguros (Arsenio et al., 2016; Lefevre et al., 2019), promoviendo también la coordinación de las políticas de transporte y uso del suelo. La experiencia de ciudades europeas muestra que estos instrumentos están correlacionados con cambios modales a favor de una mayor participación del transporte público y activo (Bueno et al., 2019).

Para mayores detalles sobre el nuevo paradigma de planeación propuesto desde la accesibilidad urbana y lineamientos de política para las ciudades de ALC, véase puede consultarse la publicación [¿Qué implica la accesibilidad en el diseño e implementación de políticas públicas urbanas?: Concepto, instrumentos para su evaluación y su rol en la planificación de la movilidad urbana](#) (Hansz et al., 2018).

5.5. Políticas para la gestión de la logística urbana

Todos los días, millones de productos se movilizan en las ciudades de ALC. En efecto, las actividades económicas y sociales que tienen lugar en una ciudad normalmente requieren del aprovisionamiento de un variado conjunto de bienes. Supermercados, farmacias y tiendas de primera necesidad, negocios de venta de productos varios, hoteles y restaurantes, centros de salud, empresas de construcción, administración pública y habitantes en general constituyen los principales demandantes de bienes y, por consiguiente, de actividades logísticas. En los últimos años, la logística urbana ha cobrado especial importancia debido al incremento del comercio electrónico. En contraposición a las compras realizadas físicamente en tiendas y grandes superficies, las nuevas tendencias en materia de consumo requieren de la realización de entregas de productos directamente a los consumidores, en menores cantidades pero con mayor frecuencia. Esto supone un incremento del número de viajes para la distribución de mercancías, particularmente en zonas de alta densidad, espacio limitado y creciente congestión vehicular (Calatayud & Montes, 2021). Teniendo en cuenta que, en el decenio 2020-2030, las proyecciones de crecimiento del comercio electrónico para ALC giran en torno al 650%, será clave implementar medidas que mitiguen el impacto de este incremento en los ya altos niveles de congestión vial de ALC y lograr una **integración sostenible entre movilidad de personas y de bienes** (BID, 2020b). Dentro de estas medidas, se destacan: (i) entrega de mercancías fuera de las horas punta; (ii) asignación de áreas especiales para carga y descarga; y (iii) cobro por congestión y/o estacionamiento.

5.5.1. Entrega de mercancías fuera de las horas punta

La entrega de mercancías fuera de las horas punta es una política que ha sido testeada en varias ciudades del mundo, a fin de evitar que los vehículos dedicados a la logística circulen en horas de mayor demanda de infraestructura y contribuyan a incrementar la congestión vial. Para poder ser efectiva, esta política requiere que los negocios tengan personal disponible para recibir las mercaderías y se cumplan con estándares sonoros bajos, especialmente para las que se realizan de noche. Estudios en Nueva York y Sao Paulo evidencian que, dependiendo de la magnitud del cambio en las horas de entrega, este tipo de medidas son efectivas para reducir la contaminación ambiental, alcanzando disminuciones entre 45-67% (Holguín-Veras & Sánchez-Díaz, 2016). Otros beneficios económicos derivados de estas medidas incluyen la reducción de los costos operativos y multas de estacionamiento; de los niveles de inventario, gracias a entregas más seguidas; y del estrés y horas de trabajo de los conductores (Holguín-Veras et al., 2020). Pilotos realizados en la ciudad de Bogotá mostraron que estos programas podrían reducir en 32% los costos por viaje, 42% las emisiones de CO₂ y 60% el tiempo de descarga (SdM, 2016).

5.5.2. Asignación de áreas especiales para carga y descarga

Dedicar zonas de las vías para la carga y descarga constituye una solución de infraestructura de bajo costo y fácil implementación para facilitar las operaciones logísticas (Merchán & Blanco, 2016). Asimismo, ayuda a prevenir el estacionamiento en doble fila u otras formas de estacionamiento ilícito que generan congestión y obstaculizan la movilidad de los peatones y otros usuarios viales (McLeod & Cherrett, 2011), influyendo positivamente en los flujos de tráfico y en la eficiencia de la logística urbana (Sosik et al., 2019). Por ejemplo, un estudio realizado en Oslo concluye que la implementación de bahías de carga reduce en 5% las emisiones de monóxido de carbono, en 3% hidrocarburos y en 4% las emisiones de óxidos de nitrógeno (Sosik et al., 2019). Pilotos realizados en Querétaro, México, mostraron que el tiempo de tránsito y estacionamiento de los vehículos de entrega podría reducirse en un 30% con un mejor uso de las áreas de carga/descarga (Calatayud & Millan, 2019). La literatura sugiere que la principal limitación de las bahías de carga y descarga radica en reservar el área de parqueo y la fiscalización para garantizar que no se exceda el tiempo máximo permitido de estacionamiento, y que el espacio reservado no sea utilizado por otros vehículos. La

126 - Capítulo 5. Políticas públicas reducir la congestión vial

utilización de herramientas de inteligencia artificial y video detección pueden contribuir a mejorar la fiscalización (Miranda-Moreno et al., 2020). El piloto desarrollado conjuntamente por el BID y la alcaldía de Bogotá mostró que el uso efectivo de las bahías de carga y descarga en la ciudad se ve obstaculizado por el uso inapropiado que las motocicletas hacen de dichos espacios, proporcionando información crítica para una mejor gestión de los flujos de tráfico y el estacionamiento en el espacio urbano.

5.5.3. Cobros por congestión y/o estacionamiento

Estas regulaciones buscan corregir, a través de precios, las externalidades negativas de la logística urbana. Las medidas basadas en instrumentos de mercado como los cobros por congestión y/o parqueo, acompañadas de innovaciones tecnológicas para hacer un uso más eficiente del espacio urbano (aceras, estacionamientos, etc.), han demostrado ser exitosas en reducir la congestión urbana. Un piloto realizado en Washington, D.C. que evaluó la efectividad de implementar precios dinámicos de estacionamiento en zonas comerciales de carga, resultó en una reducción de 7 minutos para encontrar espacio de estacionamiento, reducción de la congestión y la contaminación, y mejora de la seguridad. El número de vehículos estacionados en doble fila disminuyó en 43% y las multas en 55%. Otros ejemplos sobre la gestión "inteligente" del espacio público se han observado en Ámsterdam, Barcelona y Helsinki con sistemas de reserva que ofrecen información en tiempo real sobre los espacios de estacionamiento (BID, 2020a; Calatayud & Millan, 2019).

5.6. Consideraciones para la implementación en ALC

La congestión vial genera desafíos económicos, sociales y ambientales para las ciudades y sus habitantes. En este sentido, es indispensable reducir el uso del vehículo particular mediante estrategias como: impulsar el transporte público, incrementar el costo de poseer y conducir un automóvil, fomentar el uso de otros modos de transporte y reducir la necesidad de viajar. En este capítulo, hemos presentado las medidas de política frecuentemente utilizadas para la reducción de la congestión. En general, estas medidas pueden clasificarse en **cinco categorías**: (i) instrumentos de gestión de tráfico; (ii) políticas que restringen el uso del vehículo particular; (iii) políticas que promueven el uso del transporte público, el transporte activo y el transporte compartido; (iv) planificación integrada de la movilidad y el uso del suelo; y (v) políticas para la gestión de la logística urbana. Asimismo, hemos incluido evidencia empírica acerca de su efectividad y hemos mencionado la facilidad o dificultad para ser implementadas.

Entre estas medidas, cabe ahora reflexionar sobre cuáles deberían ser implementadas por las grandes ciudades y las megaciudades de ALC aquí estudiadas y en qué secuencia deberían implementarse para que sean efectivas. Ante todo, reducir la congestión de manera permanente depende de **una mejor coordinación entre la planificación del uso del suelo y la planificación del transporte**. Las políticas para promover la densificación y el uso óptimo del suelo son cruciales para impedir que la extensión territorial, cuando las nuevas zonas no están dotadas de sistemas de transporte masivo, derive en un aumento de las millas recorridas. En este sentido, los planificadores deberían exigir, por ejemplo, que el desarrollo en una determinada localización alcance una densidad mínima y contenga infraestructura específica y suficiente para asegurar un transporte sostenible, así como promover el desarrollo orientado al transporte público. También deberían instaurar mecanismos para capturar los aumentos de los valores inmobiliarios provenientes de mejoras en el transporte. Para que todo esto ocurra, las ciudades necesitan **departamentos de planificación sólidos** con facultades adecuadas para asegurar su cumplimiento.

Paralelamente, debería **mejorarse la calidad, accesibilidad y flexibilidad del sistema de transporte público y activo**, para proporcionar un servicio eficiente, confiable y con capacidad de respuesta para acomodar las diversas demandas de los ciudadanos. La pregunta que se deriva de esto es: ¿cómo generar los recursos necesarios para estas inversiones? La experiencia internacional muestra que se requiere contar con **estructuras estables de fondeo** para los sistemas de transporte público (BID, 2020). Sin embargo, los países de ALC suelen financiar sus sistemas a través de los ingresos tarifarios y han evidenciado mayor dificultad para desarrollar fuentes alternativas, como las herramientas de captura del valor del suelo y los cargos por uso de la infraestructura (Ariza et al., 2018). Las mejores prácticas

internacionales sugieren que una buena planificación financiera para los sistemas de transporte requiere de cuatro componentes principales: objetivos de largo plazo cuantificables, mecanismos de fondeo alineados con principios estratégicos de movilidad, mecanismos institucionales de control y seguimiento para estimar las brechas de fondeo, y gestión de recursos que garantice el flujo de recursos en el largo plazo (Ariza et al., 2018). Estos elementos están alineados con los ejercicios de planificación estratégica mencionados en el párrafo anterior. Un ejemplo interesante en la región respecto a la implementación de instrumentos de fondeo alternativo proviene de Bogotá y Cali, las cuales están utilizando el pago para eximirse del “pico y placa” para recaudar fondos adicionales para financiar sus sistemas de transporte público.

Este ejemplo nos lleva a la tercera medida a implementar. Una fuente importante de recursos para realizar las mejoras del transporte público puede provenir de la **tarificación adecuada del uso de la infraestructura vial** por parte del vehículo particular, taxis o similares y vehículos de carga, incluyendo los espacios de estacionamiento, bahías de carga y descarga, cordones de las aceras y las calles mismas. Esto se basa en la idea de la infraestructura como un servicio que debe pagarse mediante tarifas que cubran los costos para proporcionarla y que reflejen su valor para los usuarios (Calatayud & Muñoz, 2020). Al asignarse los ingresos por tarifas a la mejora de los sistemas de transporte público, se mejoraría también la equidad en la asignación de recursos: se eliminan los subsidios para los usuarios de automóviles privados que tienen ingresos más altos y los recursos se utilizan para mejorar la calidad del transporte público más utilizado por la población de menores ingresos. Las nuevas tecnologías de Internet de las Cosas, digitalización e inteligencia artificial facilitan la aplicación de este concepto, dado que permiten el monitoreo del cumplimiento de las medidas, así como el ajuste de las tarifas en tiempo real a las condiciones de la demanda de infraestructura. El pago por el uso de la infraestructura se une así a **otras medidas ya presentes** y que han sido efectivas en reducir el uso del vehículo particular en el mediano plazo, como las restricciones al estacionamiento, y en mejorar el flujo de tráfico, como la utilización de ciclos semafóricos adaptativos y sincronizados.

Sin embargo, fijar las tarifas adecuadas para las decisiones de movilidad no es tarea fácil. Hay numerosas externalidades involucradas y el debate puede generar malestar social, como se ha visto en París (desatado por un aumento del impuesto al diésel) en 2018, Ecuador (subida del precio de los combustibles) y Santiago de Chile (aumento del precio del metro) en 2019. Por sí mismos, los incrementos de precios pueden penalizar a los ciudadanos de bajos ingresos o a quienes carecen de otras opciones de movilidad. Por ello, es esencial considerar la **secuencia de las medidas** de políticas (ver Tabla 5.3) y **combinar la fijación de estos nuevos precios con otras medidas**. Por ejemplo, Londres incrementó sustancialmente su flota de autobuses antes de implementar la tarificación vial. Otra medida importante es el **subsidio al transporte público para ciudadanos de bajos ingresos**, para quienes la movilidad consume una parte importante del ingreso mensual. Los casos de Estocolmo y Londres muestran que debe también considerarse pilotear soluciones como la TVI y realizar una consulta pública antes de su implementación a gran escala. Ello puede contribuir a aumentar el conocimiento de los ciudadanos acerca de los beneficios proporcionados por las medidas y ayudar a los responsables de las políticas públicas a realizar los ajustes necesarios para incrementar la efectividad de estas (Calatayud & Muñoz, 2020). Otra manera de generar apoyo a estas políticas es brindar flexibilidad a los usuarios en cuando a la tarifa a pagar según el horario y modo de viaje. Las propuestas más innovadoras, aunque no testeadas aún, incluyen sistemas de puntos o créditos de millas para recorrer en vehículo particular, que los individuos pueden utilizar según su preferencia, y pueden vender o comprar a otros usuarios (Basso et al., 2020).

Dado que el espacio urbano, especialmente en el caso de las ciudades grandes y megaciudades, suele incluir a más de un nivel de gobierno, la **coordinación entre las agencias** de planificación y movilidad de todos los niveles es crítica para desarrollar e implementar planes integrales de uso del suelo y transporte que sean efectivos en incrementar la sostenibilidad y reducir los niveles de congestión vial. Para reforzar esta coordinación, existen experiencias internacionales (p. ej. Madrid y Londres) y regionales (p. ej. Lima) donde se ha dado paso a una agencia de transporte a nivel metropolitano, que tiene las prerrogativas de planificación, regulación y supervisión de los servicios de transporte público, con el fin último de proveer a los usuarios una experiencia de transporte integrada e independiente de las divisiones administrativas que puedan existir en una metrópoli. Al respecto, las mejoras derivadas de la creación de la autoridad de transporte de Madrid propiciaron un incremento en el uso del transporte público de 45,8% (Vassallo et al., 2019).

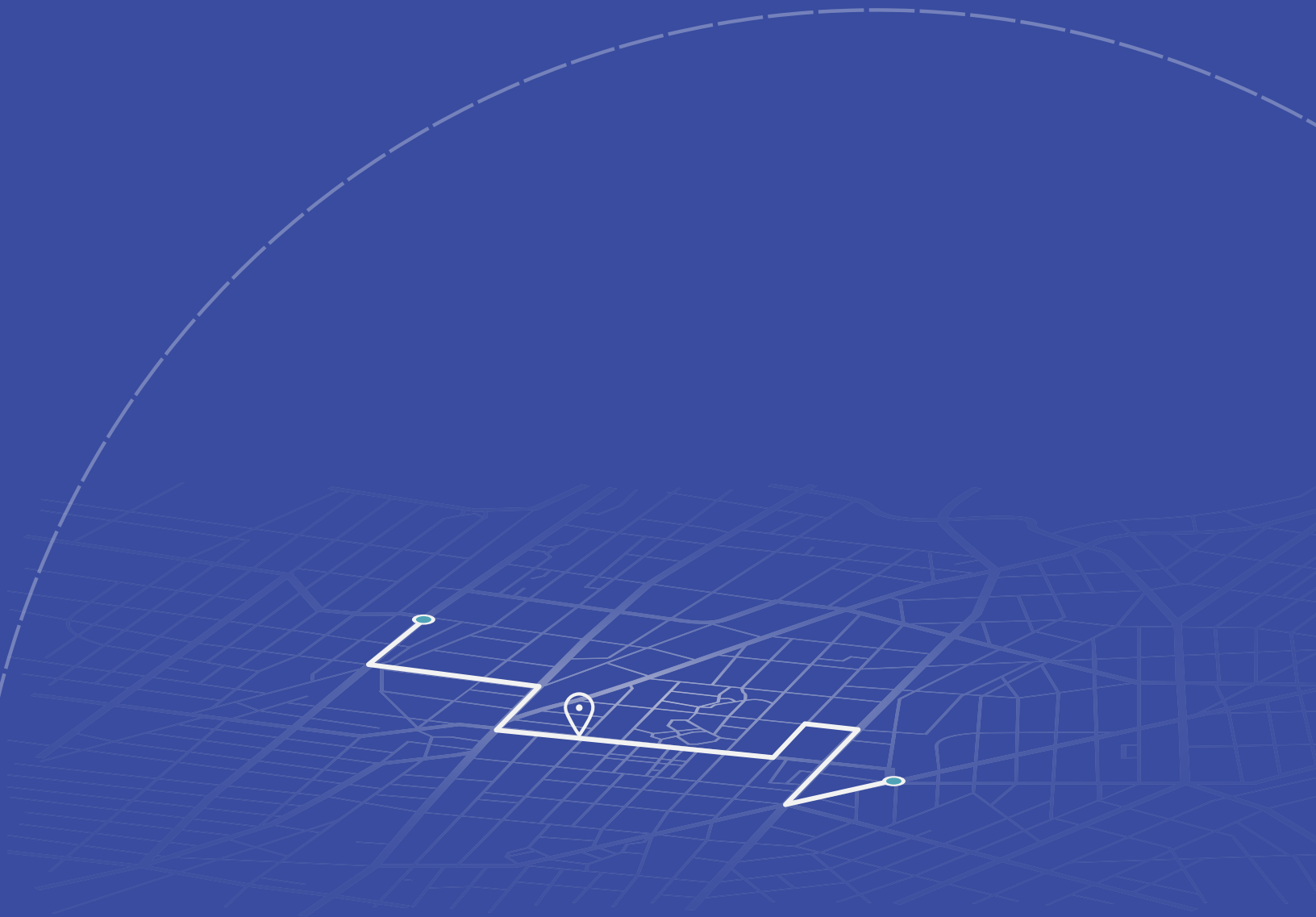
128 - Capítulo 5. Políticas públicas reducir la congestión vial

Finalmente, cabe destacar la existencia de **medidas externas al sector transporte** que también pueden contribuir a fijar precios adecuados. Un ejemplo evidente es eliminar los subsidios a la compra de automóviles, que son parte de algunas políticas industriales de la región. Dichos subsidios incentivan la motorización y generan una competencia desleal para el transporte público y activo.

La Tabla 5.3 Secuenciación de políticas públicas para la reducción de la congestión presenta las medidas recomendadas para reducir la congestión en las grandes ciudades y las megaciudades de ALC analizadas, incluyendo una orientación sobre la secuenciación de las mismas en cuanto a su implementación en el corto, mediano y largo plazo. Además de las mencionadas en los párrafos anteriores, se presentan medidas relacionadas con la **adopción de tecnologías** para la mejora de la gestión de tráfico y la planificación de la logística urbana.

Tabla 5.3 Secuenciación de políticas públicas para la reducción de la congestión			
	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo (2030)
Mejora del transporte público, activo y compartido	<ul style="list-style-type: none"> Mejora de la calidad del transporte público y activo (frecuencia, limpieza, confort, seguridad) Asignación de espacio vial al transporte público y activo Fuentes de fondeo alternativas para el transporte público Digitalización de servicios y provisión de información en tiempo real 	<ul style="list-style-type: none"> Integración de los servicios de transporte público, activo y compartido Incremento en la accesibilidad y mejora de la asequibilidad del transporte público Promoción de <i>carpooling</i> en instituciones para reducir viajes. 	
Desincentivo del uso del automóvil	<ul style="list-style-type: none"> Cobro por estacionamiento Restricción de estacionamientos Restricción vehicular con pago para su exoneración 	<ul style="list-style-type: none"> Tarificación vial Reevaluación de subsidios a la compra de automóviles 	<ul style="list-style-type: none"> Tarificación vial dinámica y plena implementación de infraestructura como servicio
Gestión del tráfico	<ul style="list-style-type: none"> Pacificación y acceso de vías Carriles de alta ocupación Fiscalización de normas de tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> Gestión del tráfico en tiempo real Reducción de la demanda de viajes Provisión de infraestructura 	
Gestión de la logística urbana	<ul style="list-style-type: none"> Asignación de bahías de carga y descarga Pilotos de medidas de gestión de tráfico 	<ul style="list-style-type: none"> Entrega de mercancías fuera de horas punta Cobros por congestión Gestión inteligente de bahías de carga y descarga 	
Planificación integrada	<ul style="list-style-type: none"> Planificación integrada del uso del suelo y transporte (incluyendo logística) Fortalecimiento de la capacidad institucional (e.g. digital y logística) Fortalecimiento de la coordinación interinstitucional y sector privado, académico y sociedad civil 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo orientado del transporte Densificación y usos mixtos de suelo Autoridades metropolitanas de transporte 	

CONCLUSIONES



130 - Conclusiones

En este estudio se estiman por primera vez, los costos directos e indirectos de la congestión en diez ciudades principales de ALC. Para ello, partimos de la estimación de la demora agregada a nivel de ciudad, por habitante y por usuario de automóvil. Nuestros resultados indican que, en términos absolutos, las ciudades con mayores demoras son las que poseen la mayor cantidad de habitantes, siendo estas: Sao Paulo (21,8 millones de habitantes y 1.195 millones de horas perdidas en 2019) y Ciudad de México (21,6 millones de habitantes y 1.080 millones de horas perdidas). Por su parte, San Salvador, la ciudad con menor número de habitantes entre las diez analizadas (1,1 millones), fue la ciudad con menor número de horas perdidas en congestión, alcanzando 58 millones de horas en 2019.

Ahora bien, al estimar la demora por habitante y viajero, el posicionamiento de las ciudades cambia significativamente. Así, en 2019, los habitantes de Montevideo, por ejemplo, perdieron 68% más de tiempo en congestión que los de Ciudad de México, aun cuando la población de la capital mexicana es 11 veces mayor que la de Montevideo. Lo mismo ocurre con San Salvador, donde sus habitantes perdieron 52 horas parados en el tráfico en 2019, por encima de megaciudades como Bogotá (32 horas), Río de Janeiro (34 horas) y Buenos Aires (34 horas). De igual manera, si tomamos en cuenta solamente a los usuarios de vehículos privados, San Salvador fue la ciudad con mayores pérdidas por congestión, ascendiendo a 364 horas por usuario. Esta cifra es 3,2 y 3,3 veces mayor que las pérdidas de los usuarios de vehículos privados en Sao Paulo y Ciudad de México, respectivamente.

El valor del tiempo en cada ciudad posee un importante impacto en cuanto a las pérdidas generadas por la congestión. Así, si bien en Ciudad de México se perdieron 1.080 millones de horas en 2019, frente a los 508 millones de Buenos Aires, el valor de cada hora perdida en Buenos Aires es mayor. En consecuencia, mientras que la demora costó US\$ 1.950 millones a Ciudad de México, el costo para Buenos Aires fue 158% mayor, ascendiendo a US\$ 2.790 millones. Lo mismo puede señalarse para Santiago (US\$ 1.630 millones) respecto a Río de Janeiro (US\$ 1.214 millones) y Bogotá (US\$ 627 millones). Es interesante mirar estos costos en comparación con el nivel de riqueza de las ciudades. Así, las pérdidas por congestión en 2019 representaron: 2% del PIB de Montevideo; 1,9% de Sao Paulo; 1,8% de Buenos Aires; 1,6% de Santiago; 1,6% de Lima; 1,2 de Río de Janeiro; 1% de Santo Domingo; 0,9% Bogotá; 0,9% México; y 0,8% de San Salvador. Para tener una proporción de lo que implican estas pérdidas, a modo de ejemplo, a Buenos Aires y Ciudad de México la congestión les cuesta respectivamente 3 y 3,8 veces lo que el gobierno local invierte en educación. La inversión de Sao Paulo en salud equivale al 63% de lo que le cuesta la congestión. Del mismo modo, la inversión de Bogotá en atención a la población vulnerable equivale a dos tercios de lo que pierde en congestión.

A nivel individual, el costo de la congestión por persona en 2019 fue mayor en las ciudades de Montevideo (US\$ 328), Santiago (US\$ 242) y Buenos Aires (US\$ 185). Si se considera el costo por usuario de vehículo particular, las mayores pérdidas se dieron en Montevideo (US\$ 876), Santiago (US\$ 638) y Buenos Aires (US\$ 411). Nuevamente, la diferencia en el valor del tiempo explica los menores costos para ciudades como San Salvador y Sao Paulo, a pesar de que la demora sea mayor en tales ciudades; y si miramos cuánto cuesta la congestión al día, Montevideo y Santiago son las ciudades que presentan las cifras más desalentadoras: en un día laboral, los conductores pierden en congestión US\$ 2,4 y US\$ 1,7, respectivamente. Esta cifra es preocupante si se considera que el salario mediano por hora es de US\$ 3,7 y US\$ 3,4 respectivamente. Entre todas las urbes analizadas, Santiago de Chile tuvo el registro del máximo costo de la congestión en 2019 en un día, alcanzando una pérdida de más de US\$ 6 por conductor. Esto se registró el día 18 de octubre, fecha en que ocurrieron diferentes cierres viales y de transporte público por manifestaciones en la ciudad. San Salvador y Santo Domingo son las ciudades que poseen la mayor volatilidad relativa entre las ciudades analizadas. Finalmente, si se compara el tiempo perdido en congestión con el número de horas semanales trabajadas por persona, puede observarse que un automovilista en San Salvador, por ejemplo, pierde en congestión el equivalente al 16% de las horas trabajadas. En Bogotá y Santo Domingo, esas cifras corresponden al 9% y 3%, respectivamente.

Con relación a los costos indirectos de la congestión, analizamos aquí la relación con el nivel de siniestralidad de tráfico en las ciudades seleccionadas. Nuestros hallazgos sugieren que, si la demora agregada en un día laboral promedio se redujera un 10%, entonces los incidentes de tráfico disminuirían 13% en Sao Paulo; 10% en Ciudad de México; 5% en Buenos Aires y Río de Janeiro; 4% en Santiago; 3% en Bogotá y Lima; y 1% en Santo Domingo, Montevideo y San Salvador. Particularmente, esto significa que, si la congestión en 2019 hubiera sido un 10% menor, la cantidad de incidentes de tráfico reportados se habría reducido en un 7,3% promedio para la región. Esto equivale a una reducción de más de 137.500 incidentes de tráfico. La mayor proporción de esta reducción habría tomado lugar en Ciudad de México y Sao Paulo, con 53.130 y 49.960 incidentes de tráfico menos respectivamente; seguidos por Bogotá (15.130); Río de Janeiro (5.900); Santiago (4.400); Buenos Aires (4.150); Lima (3.820); San Salvador (410); Montevideo (320); y Santo Domingo (280).

En síntesis, la congestión en las ciudades analizadas genera importantes pérdidas económicas y sociales, tanto para sus habitantes como para las ciudades mismas. Las tendencias generales de la movilidad en la región, con el aumento de la tasa de motorización y la reducción en el uso del transporte público, unido al incremento de la población en las áreas urbanas, no hace entrever que los niveles de congestión hoy presentes se reviertan en el futuro cercano. Es más, la desconfianza hacia el transporte público provocada por la pandemia de COVID-19 podría incrementar el uso del vehículo particular. Existen ya algunos indicios de este cambio en ciudades como Shanghai y Madrid. En este último caso, el transporte público pasó de ser el modo más utilizado en la época prepandemia, a ser el tercero (25% de los viajes), después del vehículo particular (44%) y el transporte activo (32%) (El País, 2020).

En este contexto, el diseño de políticas públicas efectivas será clave para avanzar hacia una movilidad más eficiente y sostenible en nuestras ciudades. Así, en último capítulo de la publicación, incluimos una batería de instrumentos utilizados a nivel internacional para lograr una mejor gestión de la congestión vial y mitigación de sus riesgos. Estas soluciones pueden agruparse en cinco categorías: (i) instrumentos de gestión de tráfico; (ii) políticas que restringen el uso del vehículo particular; (iii) políticas que promueven el uso del transporte público, el transporte activo y el transporte compartido; (iv) planificación integrada de la movilidad y el uso del suelo; y (v) políticas para la gestión de la logística urbana.

Es importante resaltar que, para que las iniciativas de reducción de la congestión sean exitosas, deben estar contenidas dentro de un marco integral que, por un lado, promueva la mejora de los modos de transporte alternativos al vehículo particular y, por otro, desincentiven el uso del automóvil. Sobre todo, las medidas deben estar contenidas en un plan integrado de uso del suelo y del transporte, que fomente ciudades más sostenibles y resilientes, focalizadas en mover personas y no vehículos. Para ello, es importante planear la ciudad desde un enfoque sistémico, que genere una mayor accesibilidad a oportunidades de trabajo, salud y educación, a partir de usos de suelo mixto y una red de transporte integrada y eficiente.

Asimismo, el nivel de aceptación y de efectividad de las medidas dependerá de su adecuada secuenciación. La experiencia internacional demuestra que la mejora de la calidad, accesibilidad y flexibilidad del sistema de transporte público y activo es clave para proporcionar un servicio eficiente y confiable, que atraiga viajes otrora realizados en automóvil. Así, la mejora de la calidad debe comenzar previo a la implementación de medidas como la tarificación vial y debe continuar paralelamente a ella, ahora apalancada en los recursos provenientes de la TVi. Por su parte, la reducción de congestión esperada a partir de la aplicación de la TVi reforzará la mejora de la calidad de los servicios de transporte público, los cuales ahora podrán operar con mayor previsibilidad y velocidad.

En general, debe cambiarse el paradigma de que el uso de la infraestructura vial —incluyendo los espacios de estacionamiento, bahías de carga y descarga, cordones de las aceras y las calles mismas— es gratuito. En cambio, la infraestructura es un servicio que debe pagarse mediante tarifas que cubran los costos para proporcionarla y que reflejen su valor para los usuarios (Calatayud y Muñoz, 2020). Al asignarse los ingresos por tarifas a la mejora de los sistemas de tránsito, se mejoraría también la equidad en la asignación de recursos: se eliminan los subsidios para los usuarios de automóviles privados que tienen ingresos más altos y los recursos se utilizan para mejorar la calidad del transporte público más utilizado por la población de menores ingresos. Otro aspecto para considerar es pilotear las soluciones antes de su implementación a gran escala. Esto puede contribuir a aumentar el conocimiento de los ciudadanos acerca de los beneficios proporcionados por las medidas y ayudar a los responsables de las políticas públicas a realizar los ajustes necesarios para incrementar la efectividad de las mismas.

Finalmente, dado que el espacio urbano, especialmente en el caso de las ciudades grandes y megaciudades, suele incluir a más de un nivel de gobierno, la coordinación entre las agencias de planificación y movilidad de todos los niveles es crítica para desarrollar e implementar planes integrales de uso del suelo y transporte que sean efectivos en incrementar la sostenibilidad y reducir los niveles de congestión vial. Este objetivo también requiere coordinar con agencias por fuera del sector transporte. Las políticas de subsidio a los combustibles y a la compra de automóviles, son ejemplos de algunas de las medidas externas al sector que incentivan la motorización y generan una competencia desleal para el transporte público y activo, redundando en detrimento de una movilidad más eficiente globalmente y sostenible para el medioambiente.

Referencias



Referencias

- AfDB, ADB, EBRD, & BID. (2019). Creating Livable Cities: Regional Perspectives. In *Creating Livable Cities: Regional Perspectives*. Inter-American Development Bank. Recovered from: <https://doi.org/10.18235/0001939>
- Aguilera, A., & Cacciari, J. (2020). Living with fewer cars: review and challenges on household demotorization. *Transport Reviews*, 40(6), 796–809. Recovered from: <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1772405>
- Aguirre Benítez, K. L., Lazalde Arreola, H. E., Garduño Benítez, A., & Cruz Javier, A. (2020). Guía de vías emergentes para ciudades resilientes. In *Guía de vías emergentes para ciudades resilientes*. Recuperado de: <https://doi.org/10.18235/0002824>
- Antón-Sarabia, A., & Hernández-Trillo, F. (2019). Internalizando externalidades: El impuesto a la gasolina en Guatemala. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*. Recuperado de: <https://doi.org/10.21919/remef.v14i1.356>
- Ariza, K., Gordillo, F., Mojica, C., & Hollnagel, J. (2018a). Casos de financiación del transporte público: restos y buenas prácticas. In *Inter American Development Bank - IDB*. Recuperado de: https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/_TN_Financiacion_Version_Final_.pdf
- Ariza, K., Gordillo, F., Mojica, C., & Hollnagel, J. (2018b). *Casos de financiación del transporte público: Retos y buenas prácticas*.
- Arnold, E. D. (1998). Report Ramp Metering: A Review of the Literature. *Virginia Transportation Research Council*.
- Arsenio, E., Martens, K., & Di Ciommo, F. (2016). Sustainable urban mobility plans: Bridging climate change and equity targets? *Research in Transportation Economics*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2016.04.008>
- Asensio, J., Gómez-Lobo, A., & Matas, A. (2014). How effective are policies to reduce gasoline consumption? Evaluating a set of measures in Spain. *Energy Economics*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.011>
- Auchincloss, A. H., Weinberger, R., Aytur, S., Namba, A., & Ricchezza, A. (2015). Public Parking Fees and Fines: A Survey of U.S. Cities. *Public Works Management and Policy*. Recovered from: <https://doi.org/10.1177/1087724X13514380>
- Bagloee, S. A., (Avi) Ceder, A., Sarvi, M., & Asadi, M. (2019). Is it time to go for no-car zone policies? Braess Paradox Detection. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121(January), 251–264. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.01.021>
- Banister, D., & Marshall, S. (2000). *Encouraging Transport Alternatives: good practice in reducing travel* (L. S. Office (ed.)). Recovered from: <https://trid.trb.org/view/667180>
- Barrett, J. (2010). *The Impact of Transportation Infrastructure on the Value of Time*. University of California. Davis.
- Barth, M., & Boriboonsomsin, K. (2008). Real-World Carbon Dioxide Impacts of Traffic Congestion. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2058(1), 163–171. Recovered from: <https://doi.org/10.3141/2058-20>
- Basso, L. J., & Silva, H. E. (2014). Efficiency and substitutability of transit subsidies and other urban transport policies. *American Economic Journal: Economic Policy*, 6(4), 1–33. Recovered from: <https://doi.org/10.1257/pol.6.4.1>
- Batty, P., Palacin, R., & González-Gil, A. (2015). Challenges and opportunities in developing urban modal shift. *Travel*

134 - Referencias

- Behaviour and Society*, 2(2), 109–123. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2014.12.001>
- Beesley, M. E. (1965). The Value of Time Spent in Travelling: Some New Evidence. *Economica*, 32(126), 174. Recovered from: <https://doi.org/10.2307/2552547>
- Bel, G., & Holst, M. (2018). Evaluation of the impact of Bus Rapid Transit on air pollution in Mexico City. *Transport Policy*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.01.001>
- BID. (2013). *Guía práctica: Estacionamiento y políticas de reducción de congestión en América Latina*. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Guía-práctica-Estacionamiento-y-políticas-de-reducción-de-congestión-en-América-Latina.pdf>
- BID. (2014). *Mega-Cities y Infrastructure in Latin America: What its People Think*. Washington, D.C
- BID. (2016a). *Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles: indicadores*. Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles: Indicadores. Recuperado de: https://mydata.iadb.org/w/hg7w-u675/kvtm-6rc9?cur=Mf7VNIV1W2_&from=ISsKB2Bz
- BID. (2016b). *Urban Development and Housing Sector Framework Document*.
- BID. (2018). *En Busca de Rutas Seguras*. Washington, D. C.: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: <https://www.iadb.org/es/mejorandovidas/en-busca-de-rutas-seguras>
- BID. (2020a). *Documento de Marco Sectorial de Transporte*. Recuperado de: <https://www.iadb.org/es/acerca-del-bid/documentos-de-marco-sectorial>
- BID. (2020b). From Structures to Services: The Path to Better Infrastructure in Latin America and the Caribbean. In *From Structures to Services: The Path to Better Infrastructure in Latin America and the Caribbean*. Inter-American Development Bank. Recovered from: <https://doi.org/10.18235/0002506>
- Blackman, A., Osakwe, R., & Alpizar, F. (2010). Fuel tax incidence in developing countries: The case of Costa Rica. *Energy Policy*, 38(5), 2208–2215. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.007>
- Blainey, S., Hickford, A., & Preston, J. (2012). Barriers to Passenger Rail Use: A Review of the Evidence. In *Transport Reviews*. Recovered from: <https://doi.org/10.1080/01441647.2012.743489>
- Bonilla, J. A. (2019). The More Stringent, the Better? Rationing Car Use in Bogotá with Moderate and Drastic Restrictions. *World Bank Economic Review*, 33(2), 516–534. Recovered from: <https://doi.org/10.1093/wber/lhw053>
- Braess, D. (1968). Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung. *Unternehmensforschung Operations Research - Recherche Opérationnelle*, 12(1), 258–268. Recovered from: <https://doi.org/10.1007/BF01918335>
- Brakewood, C., Macfarlane, G. S., & Watkins, K. (2015). The impact of real-time information on bus ridership in New York City. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.01.021>
- Brida, J. G., Riaño, E., & Aguirre, S. Z. (2011). Residents' attitudes and perceptions towards cruise tourism development: A case study of Cartagena de Indias (Colombia). *Tourism and Hospitality Research*, 11(3), 181–196. Recovered from: <https://doi.org/10.1177/1467358411415153>

- Brownfield, J., Graham, A., Eveleigh, H., Maunsell, F., Ward, H., Robertson, S., & Allsop, R. (2003). *Congestion and accident risk*. Recovered from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.219.1945&rep=rep1&type=pdf>
- Buehler, R., Pucher, J., & Altshuler, A. (2017). Vienna's path to sustainable transport. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(4), 257-271. Recovered from: <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1251997>
- Bueno, P. C., Vassallo, M., & Bueno, P. C. (2019). *Transport Challenges in February*.
- Bull, A., & Thomson, I. (2002). *Urban traffic congestion: its economic and social causes and consequences*. Recovered from: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/10867>
- Cai, H., & Xie, S. (2011). Traffic-related air pollution modeling during the 2008 Beijing Olympic Games: The effects of an odd-even day traffic restriction scheme. *Science of the Total Environment*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.01.025>
- Calatayud, A., & Millan, M. F. (2019). ALC 2030: Construyendo las cadenas de suministro del futuro. In *ALC 2030: Construyendo las cadenas de suministro del futuro*. Inter-American Development Bank. Recovered from: <https://doi.org/10.18235/0001969>
- Calatayud, A., & Montes, L. (2021). *Logística en América Latina y el Caribe: oportunidades, desafíos y líneas de acción. Monografía del Banco Interamericano de Desarrollo, Washington DC, forthcoming*.
- Calatayud, A., & Muñoz, J. C. (2020). El camino hacia un mejor transporte. In *De estructuras a servicios* (p. 245-280). Inter-American Development Bank. Recuperado de: <https://flagships.iadb.org/es/DIA2020/de-estructuras-a-servicios>
- Cantillo, V., & Ortúzar, J. de D. (2014). Restricción vehicular según número de patente: Una política de transporte errónea. *DYNA (Colombia)*, 81(188), 75-82. Recuperado de: <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n188.40081>
- Cassidy, M. J., Jang, K., & Daganzo, C. F. (2010). The smoothing effect of carpool lanes on freeway bottlenecks. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(2), 65-75. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2009.11.002>
- Cebr. (2014). *The future economic and environmental costs of gridlock in 2030* (Issue July). Recovered from: [https://www.ibtta.org/sites/default/files/documents/MAF/Costs-of-Congestion-INRIX-Cebr-Report\(3\).pdf](https://www.ibtta.org/sites/default/files/documents/MAF/Costs-of-Congestion-INRIX-Cebr-Report(3).pdf)
- Cervero, R., Golub, A., & Nee, B. (2007). City CarShare longer-term travel demand and car ownership impacts. *Transportation Research Record*. Recovered from: <https://doi.org/10.3141/1992-09>
- Chang, G. L., & Xiang, H. (2003). The relationship between congestion levels and accidents. In *State Highway Administration*.
- Chenyihsu, Y., & Whalley, A. (2012). Green infrastructure: The effects of urban rail transit on air quality. *American Economic Journal: Economic Policy*, 4(1), 58-97. Recovered from: <https://doi.org/10.1257/pol.4.1.58>
- Christiansen, P., Engebretsen, Ø., Fearnley, N., & Usterud Hanssen, J. (2017). Parking facilities and the built environment: Impacts on travel behaviour. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 198-206. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.025>

136 - Referencias

- COAMSS-OPAMSS. (2010). *Política de movilidad urbana 2010*. file:///C:/Users/fbedoyamaya/Downloads/Politica_de_Movilidad_Urbana.pdf
- COAMSS-OPAMSS. (2020). *Política de movilidad urbana 2020-2025*. Recuperado de: https://opamss.org.sv/wp-content/uploads/2020/12/2.Politica_Metropolitana_Movilidad_Urbana.pdf?t=1607105072
- Cohen, Y. (1987). Commuter Welfare Under Peak-Period Congestion: Who Gains and Who Loses? *International Journal of Transport Economics*, 14(3), 239-266.
- Crotte, A., & Arvizu, C. (2018). *Guía para planeación e implementación de sistemas públicos de bicicletas en LAC* (A. Crotte, C. Arvizu, & X. Ocampo (eds.)). Recuperado de: <https://doi.org/10.18235/0002395>
- Crotte, A., Arvizu, C., Taddia, A. P., Diez-Roux, E., & Garduño, J. (2017). *Mejores prácticas internacionales de fondeo y financiamiento para el transporte público urbano*. Recuperado de: <https://doi.org/10.18235/0000805>
- Crotte, A., Garduño, J., & Arvizu, C. (2018). *Tarificación vial: Una política para la reducción de externalidades negativas producidas por el congestionamiento vial*. Recuperado de: <https://doi.org/10.18235/0002239>
- Crotte, A., Graham, D. J., & Noland, R. B. (2011). The role of metro fares, income, metro quality of service and fuel prices for sustainable transportation in Mexico City. *International Journal of Sustainable Transportation*, 5(1), 1-24. Recovered from: <https://doi.org/10.1080/15568310903050073>
- Daganzo, C. (1997). *Fundamentals of transportation and traffic operations* (30th ed.).
- Daganzo, C. F., & Cassidy, M. J. (2008). Effects of high occupancy vehicle lanes on freeway congestion. *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(10), 861-872. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2008.03.002>
- De Grange, L., & Troncoso, R. (2011). Impacts of vehicle restrictions on urban transport flows: The case of Santiago, Chile. *Transport Policy*, 18(6), 862-869. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.06.001>
- Deacon, R. T., & Sonstelie, J. (1985). Rationing by Waiting and the Value of Time: Results from a Natural Experiment. *Journal of Political Economy*, 93(4), 627-647. Recovered from: <https://doi.org/10.1086/261323>
- Dell'Olivo, L., Ibeas, A., & Cecin, P. (2011). The quality of service desired by public transport users. *Transport Policy*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.08.005>
- Deloitte. (2019). *The 2019 Deloitte City Mobility Index*.
- Dias, C., Miska, M., Masao, K., & Hiroshi, W. (2009). Relationship between congestion and traffic accidents on expressways: an investigation with Bayesian belief networks. *Proceedings of 40th Annual Meeting of Infrastructure Planning (JSCE)*.
- DMRB. (1997). *Design manual for Roads and Bridges, Traffic Flow Ranges for Use in the Assessment of New Rural Roads*.
- Duranton, G., & Puga, D. (2004). Microfoundations of urban agglomeration economies. In J. V. Henderson & J. F. Thisse (Eds.), *Handbook of Regional and Urban Economics* (4th ed.). Elsevier.
- Easley, D., & Kleinberg, J. (2010). Networks, Crowds, and Markets. In *Networks, Crowds, and Markets*. Recovered from: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511761942>

- El País. (2020). Apuesta por el volante en Madrid. Revisado el 29 de septiembre del 2020. *El País*. Recuperado de: <https://elpais.com/espana/madrid/2020-09-10/apuesta-por-el-volante-en-madrid.html>
- Eliasson, J. (2004). Car drivers' valuations of travel time variability, unexpected delays and queue driving. *Proceedings of the European Transport Conference*.
- Else, P. K. (1986). No entry for congestion taxes? *Transportation Research Part A: General*, 20(2), 99-107. Recovered from: [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(86\)90036-1](https://doi.org/10.1016/0191-2607(86)90036-1)
- Enoch, M., & Ison, S. (2006). Levying Charges on Private Parking: Lessons from Existing Practice. *World Transport Policy and Practice*.
- Eskeland, G. S., & Feyzioglu, T. (1995). Rationing can backfire: The "day without a car" in Mexico City. In *Controlling Automobile Air Pollution* (Issue December 1995). Recovered from: <https://doi.org/10.4324/9781351161084-10>
- Estupiñan, N., Scorcia, H., Navas, C., Zegras, C., Rodríguez, D., Vergel-Tovar, E., Gakenheimer, R., Soraya, I., Otero, A., & Vasconcellos, / Eduardo. (2018). Transporte y Desarrollo en América Latina. In *CAF Andean Development Bank* (Vol. 1, Issue 1). CAF. Recovered from: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1186>
- European Commission. (2020). *Handbook on the external costs of transport*. Recovered from: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9781f65f-8448-11ea-bf12-01aa75ed71a1>
- Falavigna, C., & Hernandez, D. (2016). Assessing inequalities on public transport affordability in two latin American cities: Montevideo (Uruguay) and Córdoba (Argentina). *Transport Policy*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.09.011>
- Fehr & Peers. (2019). *Estimated TNC share of VMT in six US metropolitan Regions*. Recovered from: <https://www.fehrandpeers.com/what-are-tncs-share-of-vmt/>
- Fezzi, C., Bateman, I. J., & Ferrini, S. (2014). Using revealed preferences to estimate the value of travel time to recreation sites. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67(1), 58-70. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2013.10.003>
- Fishman, E., Washington, S., & Haworth, N. (2014). Bike share's impact on car use: Evidence from the United States, Great Britain, and Australia. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, 13-20. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.05.013>
- FMI. (2019). *IMF Data - International Financial Statistics*. Recovered from: <https://data.imf.org/?sk=4c514d48-b6ba-49ed-8ab9-52b0c1a0179b>
- Foote, P. J. (2004). Making buses better in Chicago: Strategic implementation of customer-derived performance measures from 1995 to 2001. *Transportation Research Record*. Recovered from: <https://doi.org/10.3141/1884-03>
- Gallego, F., Montero, J. P., & Salas, C. (2013). The effect of transport policies on car use: Evidence from Latin American cities. *Journal of Public Economics*, 107, 47-62. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2013.08.007>
- Gerrard, B., Still, B., & Jopson, A. (2001). The impact of road pricing and workplace parking levies on the urban economy: Results from a survey of business attitudes. *Environment and Planning A*, 33(11), 1985-2002. Recovered from: <https://doi.org/10.1068/a3412>

138 - Referencias

- Giovanis, E. (2018). The relationship between teleworking, traffic and air pollution. *Atmospheric Pollution Research*, 9(1), 1-14. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.06.004>
- Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (2019a). *Construir el Paseo del Bajo*. Recuperado de: <https://www.buenosaires.gob.ar/compromisos/paseo-del-bajo-conectar-illia-au-la-plata>
- Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (2019b). *Paseo del Bajo*. Recuperado de: <https://www.buenosaires.gob.ar/desarrollourbano/desarrollo/paseo-del-bajo>.
- Golden, T. D., & Veiga, J. F. (2005). The impact of extent of telecommuting on job satisfaction: Resolving inconsistent findings. *Journal of Management*, 31(2), 301-318. Recuperado de: <https://doi.org/10.1177/0149206304271768>
- Gomes, G., & Horowitz, R. (2006). Optimal freeway ramp metering using the asymmetric cell transmission model. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(4), 244-262. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2006.08.001>
- Gómez-Lobo, A., & Price, J. J. (2020). *La enfermedad de Costos de Baumol y el Transporte Público*.
- Goodall, N., & Lee, E. (2019). Comparison of Waze crash and disabled vehicle records with video ground truth. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 1, 100019. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100019>
- Goodwin, P. (2004). The economic costs of road traffic congestion. *UCL (University College London), The Rail Freight Group: London, UK*.
- Gramsch, E., Le Nir, G., Araya, M., Rubio, M. A., Moreno, F., & Oyola, P. (2013). Influence of large changes in public transportation (Transantiago) on the black carbon pollution near streets. *Atmospheric Environment*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.006>
- Grant-Muller, S., & Laird, J. (2007). Costs Of Congestion: Literature Based Review Of Methodologies And Analytical Approaches. *Scottish Executive, Edinburgh*. Recovered from: <https://doi.org/10.7559/63067>
- Green, C. P., Heywood, J. S., & Navarro, M. (2016). Traffic accidents and the London congestion charge. *Journal of Public Economics*, 133, 11-22. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2015.10.005>
- Gu, Z., Liu, Z., Cheng, Q., & Saberi, M. (2018). Congestion pricing practices and public acceptance: A review of evidence. *Case Studies on Transport Policy*, 6(1), 94-101. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.01.004>
- Guerra, E., Caudillo, C., Monkkonen, P., & Montejano, J. (2018). Urban form, transit supply, and travel behavior in Latin America: Evidence from Mexico's 100 largest urban areas. *Transport Policy*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.06.001>
- Guo, Z. (2013a). Does residential parking supply affect household car ownership? The case of New York City. *Journal of Transport Geography*, 26, 18-28. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.08.006>
- Guo, Z. (2013b). Home parking convenience, household car usage, and implications to residential parking policies. *Transport Policy*, 29, 97-106. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.04.005>

- Gutiérrez Puebla, J., Benítez, C., García Palomares, J. C., Romanillos Arroyo, G., Rubinstein, E., Leño, J. M., Ribeiro, K. M., Scholl, L., Moya Gómez, B., & Condeço Melhorado, A. (2020). *Cómo aplicar Big Data en la planificación del transporte: El uso de datos de GPS en el análisis de la movilidad urbana*. Recuperado de: <https://doi.org/10.18235/0002487>
- Guzman, L A, Oviedo, D., & Rivera, C. (2017). Assessing equity in transport accessibility to work and study: The Bogotá region. *Journal of Transport Geography*, 58, 236–246. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.12.016>
- Guzman, Luis A., Arellana, J., & Alvarez, V. (2020). Confronting congestion in urban areas: Developing Sustainable Mobility Plans for public and private organizations in Bogotá. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 134(February), 321–335. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.02.019>
- Hansz, M., Hernández, D., & Rubinstein da Silva, E. (2018). ¿Qué implica la accesibilidad en el diseño e implementación de políticas públicas urbanas?: Concepto, instrumentos para su evaluación y su rol en la planificación de la movilidad urbana. Recovered from: <https://doi.org/10.18235/0001469>
- Holguín-Veras, J., Amaya Leal, J., Sanchez-Díaz, I., Browne, M., & Wojtowicz, J. (2020). State of the art and practice of urban freight management Part II: Financial approaches, logistics, and demand management. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.036>
- Holguín-Veras, J., & Sánchez-Díaz, I. (2016). Freight Demand Management and the Potential of Receiver-Led Consolidation programs. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.06.013>
- Hughes, J. E., & Kaffine, D. (2019). WHEN SHOULD DRIVERS BE ENCOURAGED TO CARPOOL IN HOV LANES? *Economic Inquiry*. Recovered from: <https://doi.org/10.1111/ecin.12728>
- INRIX. (2018). *Scorecard - INRIX*. Recovered from: <https://inrix.com/scorecard/>
- ITDP. (2020). *Post-Pandemic, Chinese Cities Gradually Reopen Transport Networks - Institute for Transportation and Development Policy*. Transport Matters. Recovered from: https://www.itdp.org/2020/03/26/post-pandemic-chinese-cities-gradually-reopen-transport-networks/?utm_source=Sustainable+Transport+e-bulletin&utm_campaign=3e3683b70d-Mid_Summer_2017_eBulletin_COPY_01&utm_medium=email&utm_term=0_fca8d7a24c-3e3683b70d-13572
- ITF. (2019). *Assessing incentives to reduce congestion in Israel*.
- Jeon, H., Lee, J., & Sohn, K. (2018). Artificial intelligence for traffic signal control based solely on video images. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*. Recovered from: <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1394192>
- Kelly, A., & Clinch, P. (2006). Influence of varied parking tariffs on parking occupancy levels by trip purpose. *Transport Policy*, 13(6), 487–495. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2006.05.006>
- Khan, A. M. (2001). Reducing traffic density: The experience of Hong Kong and Singapore. *Journal of Urban Technology*, 8(1), 69–87. Recovered from: <https://doi.org/10.1080/10630730120052181>
- King, D., Manville, M., & Shoup, D. (2007). The political calculus of congestion pricing. *Transport Policy*, 14(2), 111–123. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2006.11.002>

140 - Referencias

- Kirk, A. (2014). *Defending the "incredible GDP" map*. Visualising Data. Recovered from: <https://www.visualisingdata.com/2014/02/defending-the-incredible-gdp-map/>
- Knödel, W. (2013). *Graphentheoretische methoden und ihre anwendungen*. Springer. Recovered from: <https://www.springer.com/de/book/9783642951220>
- Kruger, D., Miller, C., Baker, M., & Joubert, F. (2007). Costs of Urban Congestion in Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1994(1), 94–100. Recovered from: <https://doi.org/10.3141/1994-13>
- Lefevre, B., Ducci, J., Vera, F., Slack, E., Valenzuela, L., Davis, D. E., Rojas, F. M., Harkness, A., Ramirez, A., Rihm, A., Orellana, A., Robertson, C., Valenzuela, E., Astaburuaga, F., Carvalho, G., Cienfuegos, I., Robinson, J., Muñoz, J. C., Bresciani, L. E., ... Mashini, D. (2019). *Construyendo gobernanza metropolitana*. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/es/construyendo-gobernanza-metropolitana>
- Lehe, L. (2019). Downtown congestion pricing in practice. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 100(May 2018), 200–223. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.01.020>
- Liu, Z., Chen, X., Meng, Q., & Kim, I. (2018). Remote park-and-ride network equilibrium model and its applications. *Transportation Research Part B: Methodological*, 117, 37–62. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.08.004>
- Lopez-Ghio, R., Bocarejo, J. P., & Blanco Blanco, A. (2018). Políticas de tarificación por congestión: Efectos potenciales y consideraciones para su implementación en Bogotá, Ciudad de México y Santiago. *Políticas de Tarificación Por Congestión: Efectos Potenciales y Consideraciones Para Su Implementación En Bogotá, Ciudad de México y Santiago*. Recuperado de: <https://doi.org/10.18235/0001116>
- Ma, H., & He, G. (2016). Effects of the post-olympics driving restrictions on air quality in Beijing. *Sustainability (Switzerland)*. Recovered from: <https://doi.org/10.3390/su8090902>
- Martinez, D. F., Mitnik, O. A., Salgado, E., Scholl, L., & Yañez-Pagans, P. (2020). Connecting to Economic Opportunity: the Role of Public Transport in Promoting Women's Employment in Lima. *Journal of Economics, Race, and Policy*. Recovered from: <https://doi.org/10.1007/s41996-019-00039-9>
- McKinsey. (2018). *Elements of success: Urban transportation systems of 24 global cities*.
- McLeod, F., & Cherrett, T. (2011). Loading bay booking and control for urban freight. *International Journal of Logistics Research and Applications*. Recovered from: <https://doi.org/10.1080/13675567.2011.641525>
- Medina-Ramírez, S., & Veloz-Rosas, J. (2013). *Desarrollo orientado al transporte*. Recuperado de: <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Desarrollo-Orientado-al-Transporte.pdf>
- Meek, S., Ison, S., & Enoch, M. (2011). Evaluating alternative concepts of bus-based park and ride. *Transport Policy*, 18(2), 456–467. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.09.006>
- Merchán, D., & Blanco, E. (2016). Desafíos para la movilidad de carga en zonas de alta congestión. *Economía Industrial*.
- Millard-Ball, A., Weinberger, R. R., & Hampshire, R. C. (2014). Is the curb 80% full or 20% empty? Assessing the impacts of San Francisco's parking pricing experiment. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 63, 76–92. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.02.016>

- Miller, S., & Vela, M. (2013). *Are Environmentally Related Taxes Effective?* Recovered from: <https://publications.iadb.org/en/are-environmentally-related-taxes-effective>
- Montero, J. P., Basso, L., & Sepúlveda, F. (2020). A practical approach for curbing congestion and air pollution: Driving restrictions with toll and vintage exemptions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, En revisión*.
- Moore, A. M., Curran, S. J., Lapsa, M. V., & Bittler, A. D. (2019). Geoanalysis of park-and-ride facilities for future laboratory-wide commuting program. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 3*, 100025. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100025>
- Moovit. (2019). *Moovit Insights*. Recovered from: https://moovitapp.com/insights/en/Moovit_Insights_Public_Transit_Index-transfer-count
- Newell, G. F. (1993). A simplified theory of kinematic waves in highway traffic, part II: Queueing at freeway bottlenecks. *Transportation Research Part B, 27*(4), 289–303. Recovered from: [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(93\)90039-D](https://doi.org/10.1016/0191-2615(93)90039-D)
- Nijland, H., & van Meerkerk, J. (2017). Mobility and environmental impacts of car sharing in the Netherlands. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.02.001>
- Noland, R. B. (2001). Relationships between highway capacity and induced vehicle travel. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 35*(1), 47–72. Recovered from: [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(99\)00047-6](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00047-6)
- OECD/ITF. (2007). Managing urban traffic congestion. In *Managing Urban Traffic Congestion* (Vol. 9789282101). Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). Recovered from: <https://doi.org/10.1787/9789282101506-en>
- OIT. (2015). *Organización internacional del trabajo*. Organización Internacional Del Trabajo. Recuperado de: <https://www.ilo.org/global/lang--es/index.htm>
- Ortúzar, J. de D. (2013). *Tarificación por congestión y medio ambiente en Santiago: viabilidad técnica y política*.
- Parry, I., & Strand, J. (2012). International fuel tax assessment: An application to Chile. *Environment and Development Economics*. Recovered from: <https://doi.org/10.1017/S1355770X11000404>
- Parry, I. W. H., & Small, K. A. (2009). Should urban transit subsidies be reduced? *American Economic Review, 99*(3), 700–724. Recovered from: <https://doi.org/10.1257/aer.99.3.700>
- Parry, I. W. H., & Timilsina, G. R. (2010). How should passenger travel in Mexico City be priced? *Journal of Urban Economics*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.jue.2010.03.009>
- Pigou, A. (1920). *The Economics of Welfare* (Macmillan & Co (ed.)).
- Pucher, J., & Dijkstra, L. (2003). Promoting Safe Walking and Cycling to Improve Public Health: Lessons from The Netherlands and Germany. *American Journal of Public Health, 93*(9), 1509–1516. Recovered from: <https://doi.org/10.2105/AJPH.93.9.1509>
- Retallack, A. E., & Ostendorf, B. (2019). Current understanding of the effects of congestion on traffic accidents. In *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Recovered from: <https://doi.org/10.3390/ijerph16183400>

142 - Referencias

- Ricci, M. (2015). Bike sharing: A review of evidence on impacts and processes of implementation and operation. *Research in Transportation Business and Management*, 15, 28–38. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.03.003>
- Rivas, M. E., Suárez-Alemán, A., & Serebrisky, T. (2019). Hechos estilizados de transporte urbano en América Latina y el Caribe | Publications. In *Nota Técnica No. IDB-TN-1640*. Recuperado de: https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Hechos_estilizados_de_transporte_urbano_en_América_Latina_y_el_Caribe_es_es.pdf
- Rodríguez, C., Peralta-Quirós, T., Guzman, L. A., & Reyes, S. A. C. (2017). Accessibility, affordability, and addressing informal services in bus reform. *Transportation Research Record*, 2634, 35–42. Recovered from: <https://doi.org/10.3141/2634-06>
- Rodríguez, P., Rivas, E., & Hollnagel, J. (2020). Quality of urban transport services in Latin American Cities. In *From Structures to Services The Path to Better Infrastructure in Latin America and the Caribbean* (BID).
- Sánchez de Madariaga, I. (2013). From Women in Transport to Gender in Transport: Challenging Conceptual Frameworks for Improved Policymaking. *Journal of International Affairs*, 67(1), 43–65.
- Santos, G., Li, W. W., & Koh, W. T. H. (2004). Transport Policies in Singapore. *Research in Transportation Economics*, 9(04), 209–235. Recovered from: [https://doi.org/10.1016/S0739-8859\(04\)09009-2](https://doi.org/10.1016/S0739-8859(04)09009-2)
- Serebrisky, T., Gómez-Lobo, A., Estupiñán, N., & Muñoz-Raskin, R. (2009). Affordability and subsidies in public urban transport: What do we mean, what can be done? *Transport Reviews*. Recovered from: <https://doi.org/10.1080/01441640902786415>
- Shen, T., Hong, Y., Thompson, M. M., Liu, J., Huo, X., & Wu, L. (2020). How does parking availability interplay with the land use and affect traffic congestion in urban areas? The case study of Xi'an, China. *Sustainable Cities and Society*, 57(June 2019), 102126. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102126>
- Shewmake, S. (2012). Can Carpooling Clear the Road and Clean the Air?: Evidence from the Literature on the Impact of HOV Lanes on VMT and Air Pollution. *Journal of Planning Literature*, 27(4), 363–374. Recovered from: <https://doi.org/10.1177/0885412212451028>
- Shi, J., & Liu, M. (2019). Impacts of differentiated per-lane speed limit on lane changing behaviour: A driving simulator-based study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 93–104. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.10.018>
- Shi, Q., & Abdel-Aty, M. (2015). Big Data applications in real-time traffic operation and safety monitoring and improvement on urban expressways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 380–394. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.02.022>
- Shiaw, M.-S. (2004). Value of leisure time based on individuals' mode choice behavior. *Journal of Advanced Transportation*, 38(2), 147–162. <https://doi.org/10.1002/atr.5670380204>
- Small, K. A., & Chu, X. (2003). Hypercongestion. *Journal of Transport Economics and Policy*, 37(3), 319–352.
- Small, K. A., Verhoef, E. T., & Lindsey, R. (2007). The economics of urban transportation. In *The Economics of Urban Transportation*. Recovered from: <https://doi.org/10.4324/9780203642306>

- Small, K. A., Winston, C., & Yan, J. (2005). Uncovering the distribution of motorists' preferences for travel time and reliability. *Econometrica*, 73(4), 1367–1382. Recovered from: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0262.2005.00619.x>
- Song, Y., Preston, J., & Ogilvie, D. (2017). New walking and cycling infrastructure and modal shift in the UK: A quasi-experimental panel study. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 320–333. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.11.017>
- Sosik, K., Turzeniecka, M., & Iwan, S. (2019). Difficulties affecting distribution process in a city - a forwarder perspective. *Transportation Research Procedia*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.050>
- Suzuki, H., Cervero, R., & Iuchi, K. (2013). Transforming Cities with Transit. In *Transforming Cities with Transit*. Recovered from: <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-9745-9>
- Takayama, Y. (2015). Bottleneck Congestion and Distribution of Work Start Times: The Economics of Staggered Work Hours Revisited. *Transportation Research Procedia*, 7, 499–518. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.06.026>
- Tirachini, A., & Gomez-Lobo, A. (2020). Does ride-hailing increase or decrease vehicle kilometers traveled (VKT)? A simulation approach for Santiago de Chile. *International Journal of Sustainable Transportation*, 14(3), 187–204. Recovered from: <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1539146>
- TomTom. (2019). *Traffic congestion ranking | TomTom Traffic Index*. Tomtom.Com. Recovered from: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/
- U.S Department of transportation. (2012). Traffic Congestion and Reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation. In *Office of operation*. (Issue September). Recovered from: https://ops.fhwa.dot.gov/congestion_report/index.htm
- UKNEA. (2011). *Understanding nature's value of society*. Recovered from: <https://www.gov.uk/guidance/ecosystems-services>
- USCM. (2014). *U.S. Metro Economies*. Recovered from: <https://www.usmayors.org/category/reports/u-s-metro-economies/>
- Vasconcellos, E., & Mendonça, A. (2016). *Observatorio de Movilidad Urbana: Informe 2015-2016*. Recovered from: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/981>
- Vassallo, J. M., Bueno, P. C., & Rivas, M. E. (2019). Transport Challenges in Latin American Cities: Lessons Learnt from Policy Experiences. In *Transport Challenges in Latin American Cities: Lessons Learnt from Policy Experiences*. Inter-American Development Bank. Recovered from: <https://doi.org/10.18235/0001558>
- Venables, A. J. (2007). Evaluating urban transport improvements: Cost-benefit analysis in the presence of agglomeration and income taxation. *Journal of Transport Economics and Policy*, 41(2), 173–188. Recovered from: <https://www.jstor.org/stable/20054012?seq=1>
- Vickrey, W. (2019). Types of Congestion Pricing Models. *Economics of Transportation*. Recovered from: <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2019.100140>
- Vittersø, J., Akselsen, S., Evjemo, B., Julsrud, T. E., Yttri, B., & Bergvik, S. (2003). Impacts of Home-Based Telework on Quality of Life for Employees and Their Partners. Quantitative and Qualitative Results From a European Survey. *Journal of Happiness Studies*, 4(2), 201–233. <https://doi.org/10.1023/A:1024490621548>

144 - Referencias

- VTPi. (2020). *Evaluating Accessibility for Transport Planning Measuring People's Ability to Reach Desired Goods and Activities*.
- Waller, S. T., Ng, M., Ferguson, E., & Nezamuddin, N. (2009). *Speed Harmonization and Peak-period Shoulder Use to Manage Urban Freeway Congestion*. <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/17942>
- Wallis, I., & Lupton, D. (2013). *The costs of congestion reappraised*. NZ Transport Agency. (www.nzta.govt.nz); at www.nzta.govt.nz/resources/research/reports/489
- Wang, C., Quddus, M. A., & Ison, S. G. (2009). Impact of traffic congestion on road accidents: A spatial analysis of the M25 motorway in England. *Accident Analysis and Prevention*, 41(4), 798–808. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.04.002>
- Wang, X., Rodríguez, D. A., Sarmiento, O. L., & Guaje, O. (2019). Commute patterns and depression: Evidence from eleven Latin American cities. *Journal of Transport and Health*, 14, 100607. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.100607>
- Wardman, M. (2001). A review of British evidence on time and service quality valuations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(2–3), 107–128. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(00\)00012-0](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(00)00012-0)
- Waze. (2020). *130 Million Reasons to Say Thanks to Wazers*. Medium. <https://medium.com/waze/130-million-reasons-to-say-thanks-to-wazers-bcc9f9521378>
- Willoughby, C. (2001). Singapore's motorization policies 1960–2000. *Transport Policy*, 8(2), 125–139. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(01\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(01)00003-8)
- Wolff, H. (2014). Value of time: Speeding behavior and gasoline prices. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67(1), 71–88. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2013.11.002>
- Wooldridge, J. M. (2016). *Introductory econometrics: A modern approach*. Nelson Education.
- World Bank. (2013). *Cairo Traffic Congestion Study Final Report*. Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18735>
- World Bank. (2019). *World Development Indicators (WDI) | Data Catalog*. Data Catalog, United Nations World Data Bank. <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-development-indicators>
- World Health Organization. (2007). *Noise and health*. <http://www.euro.who.int/Noise>
- Xu, Y., & González, M. C. (2017). Collective benefits in traffic during mega events via the use of information technologies. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(129). <https://doi.org/10.1098/rsif.2016.1041>
- Yang, J., Purevjav, A.-O., & Li, S. (2020). The Marginal Cost of Traffic Congestion and Road Pricing: Evidence from a Natural Experiment in Beijing. *American Economic Journal: Economic Policy*, 12(1), 418–453. <https://doi.org/10.1257/pol.20170195>
- Yperman, I., Logghe, S., & Immers, B. (2005). The link transmission model: An efficient implementation of the kinematic wave theory in traffic networks. *Proceedings of the 10th EWGT Meeting*, 122–127.

Anexos



Apéndice 1

Desarrollo del modelo de cálculo de la congestión:

Escenario 1:

$$D_{ts} = D_{ts}^{stock} + D_{ts}^{flujo}$$

$$D_{ts} = OR * La_s * \frac{d_{ts}^w}{\Gamma_{ts}} * \sum_{\gamma=1}^{\Gamma_{ts}} \gamma + OR * La_s * \frac{d_{ts}^w}{\Gamma_{ts}} * \sum_{\gamma=1}^{\Gamma_{ts}-1} \gamma + OR * La_s * (\Omega_{ts} - \Gamma_{ts}) * d_{ts}^{max}$$

Desarrollando de forma algebraica se obtiene:

$$D_{ts} = OR * La_s * d_{ts}^w * \left(\frac{1}{\Gamma_{ts}} * \left[(\Gamma_{ts} + 1) * \left(\frac{\Gamma_{ts}}{2} \right) + (\Gamma_{ts} - 1) * \left(\frac{\Gamma_{ts}}{2} \right) \right] + \Omega_{ts} - \Gamma_{ts} \right)$$

$$D_{ts} = OR * La_s * d_{ts}^w * \Omega_{ts}$$

Una vez se llega a esta ecuación, el retraso agregado de área específica será la agregación de los diferentes segmentos en todos los intervalos de tiempo:

$$D = \sum_t^T \sum_s^S D_{ts} \tag{14}$$

Escenario 2:

$$D_{ts} = D_{ts}^{flujo} + D_{ts}^{stock}$$

$$D_{ts} = OR * La_s * \frac{d_{ts}^w}{\Gamma_{ts}} * \sum_{\omega=1}^{\Omega_{ts}-1} \omega + OR * La_s * \frac{d_{ts}^w}{\Gamma_{ts}} * \sum_{\omega=1}^{\Omega_{ts}} \omega + OR * La_s * (\Gamma_{ts} - \Omega_{ts}) * d_{ts}^{max}$$

Desarrollando de forma algebraica se obtiene

$$D_{ts} = OR * La_s * \left(\frac{d_{ts}^w}{\Gamma_{ts}} * \left[(\Omega_{ts} - 1) * \left(\frac{\Omega_{ts}}{2} \right) + (\Omega_{ts} + 1) * \left(\frac{\Omega_{ts}}{2} \right) \right] + (\Gamma_{ts} - \Omega_{ts}) \right)$$

$$D_{ts} = OR * La_s * \left(d_{ts}^w * \frac{\Omega_{ts}}{\Gamma_{ts}} * \Omega_{ts} + \Gamma_{ts} * d_{ts}^{max} - \Omega_{ts} * d_{ts}^{max} \right)$$

Nota: $d_{ts}^{max} = d_{ts}^w * \frac{t}{t_{ts}^{ef}} = d_{ts}^w * \frac{\Omega_{ts}}{\Gamma_{ts}}$

Nota: $\frac{t}{t_{ts}^{ef}} = \frac{t}{L_{ts}} v_{ts}^{ef} = \frac{t}{L_{ts}} * \frac{q_{ts}}{k_{ts}} = \frac{\Omega_{ts}}{\Gamma_{ts}}$

$$D_{ts} = OR * La_s * d_{ts}^{max} * (\Omega_{ts} + \Gamma_{ts} - \Omega_{ts})$$

$$D_{ts} = OR * La_s * d_{ts}^{max} * \Gamma_{ts}$$

De igual forma que en el Escenario 1, se obtendrá el retraso agregado de un área específica como la adición de los diferentes intervalos de tiempo y segmentos:

$$D = \sum_t^T \sum_s^S D_{ts} \tag{15}$$

Derivación algebraica del conteo vehicular

Para efectos de la estimación del flujo agregado, se calibran los valores del k-jota (k^j) o punto de máximo de saturación de uso de las vías igual a $\frac{1}{6} \frac{veh}{m}$ y k-crítico (k^c) o punto de mayor flujo posible de vehículos como $\frac{1}{6}$ del k^j . Con base en esto, se puede calcular q_{ts} de la siguiente manera: q_{ts}^{max} es el mayor flujo posible de vehículos por segundo en la vía y $q^j(k^j)$ es el punto el que el flujo de vehículos se hace nulo como consecuencia del excesivo uso de la vía, es decir:

$$q_{ts}^{max} = V_{ts}^{ff} * k^c$$

$$q^j(k^j) = 0$$

$m_{ts}(q)$ es, por su parte, la pendiente de la función de en su tramo decreciente:

$$m_{ts}(q) = \frac{q^j - q_{ts}^{max}}{k^j - k^c}$$

Una vez se tiene esto, se puede obtener la función de en su parte decreciente,

$$q_{ts} - q^j = m_{ts}(k_{ts} - k^j)$$

$$q_{ts} = m_{ts}k_{ts} - m_{ts}k^j$$

Por otro lado, la función gris se puede calcular fácilmente como:

$$q_{ts} = V_{ts}^{ef} * k_{ts}$$

Finalmente, el valor estimado para q_{ts} se obtendrá a partir de la intersección entre la función gris y el tramo decreciente de la función negra de la Figura 2.3.

$$q_{ts} = \frac{-m_{ts}k^j}{V_{ts}^{ef} - m_{ts}} * V_{ts}^{ef}$$

Posteriormente, se puede estimar el número de vehículos que entrarán al embotellamiento como:

$$\Omega_{ts} = q_{ts} * t \tag{16}$$

Apéndice 2

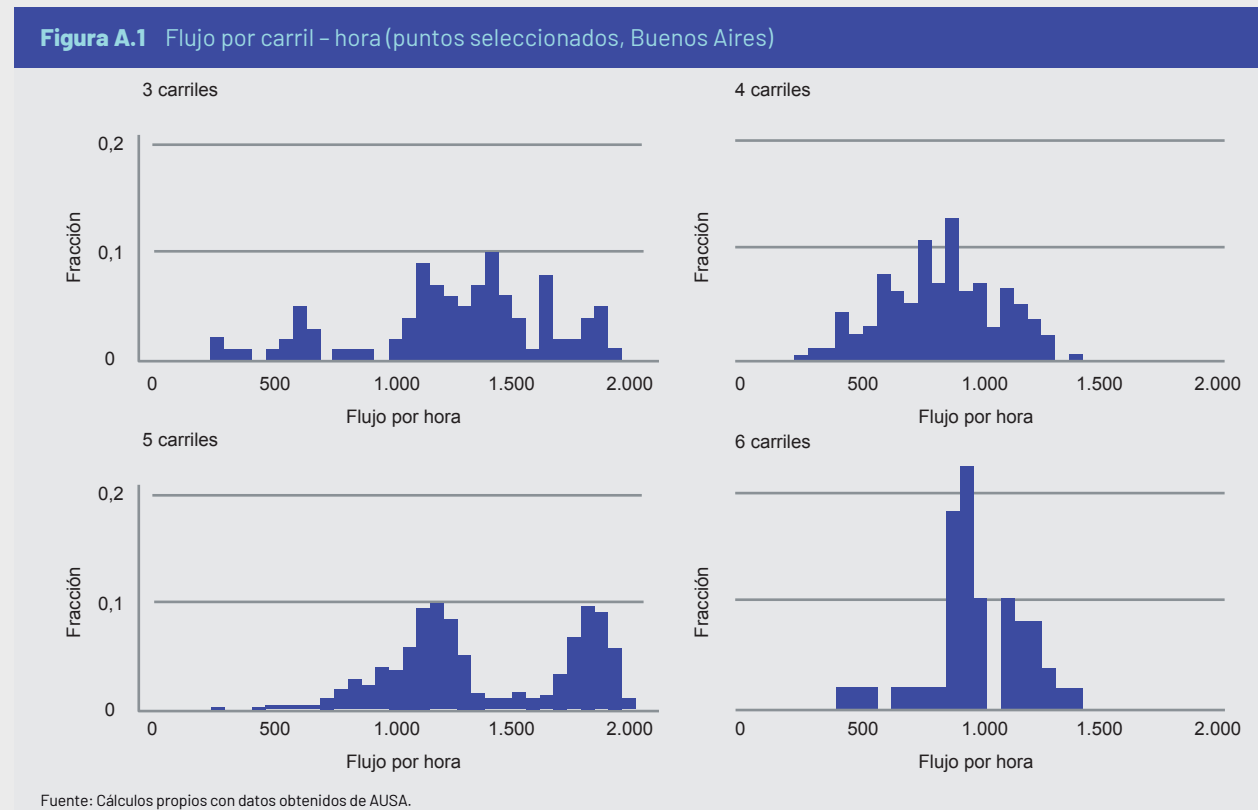
Validación de los datos

En este apartado describimos el proceso para validar el número de vehículos por carril, estimado a través de la relación triangular explicada en el Capítulo 2. En efecto, el principal desafío que presenta la base de datos de Waze es que allí solo se reportan estados de tráfico en situaciones de congestión, con lo cual resulta imposible calibrar una relación triangular siguiendo la metodología tradicional. Es así como se prosiguió a estimar el número de carriles y se aproximó una relación fundamental triangular general para todas las vías de la ciudad.

Con el fin de certificar la validez del modelo de congestión y los datos obtenidos a través Waze, contrastamos las estimaciones de flujo del modelo propuesto para la ciudad de Buenos Aires, con los datos proporcionados por Autopistas de Buenos Aires S.A. (AUSA). Estos datos son capturados por medio de radares, los cuales realizan un conteo vehicular por hora del día, en 27 ubicaciones de las diferentes autopistas urbanas de la Región Metropolitana de la capital argentina.

Debido a posibles errores de captura, se han filtrado los datos obtenidos de AUSA para considerar un mínimo de 200 vehículos y un máximo de 2.500 vehículos de flujo por carril (Varaiya, 2005). Una vez filtrados estos datos, los cruzamos con la información proveniente de Waze, condicionando a: (i) que los embotellamientos registrados por Waze hayan tomado lugar a lo largo de una hora completa, esto con el fin de garantizar que los flujos de ambas bases de datos sean comparables; (ii) que los embotellamientos registrados por Waze intercepten los radares que realizan el conteo vehicular a lo largo de la hora registrada (cruce espacial). Con base en estos criterios, obtuvimos 12 puntos geográficos donde es posible hacer un contraste entre los datos de AUSA y los estimados por nosotros a partir de los datos. Cada punto geográfico contiene alrededor de 150 momentos en promedio, ascendiendo a un total de 1.827 observaciones.

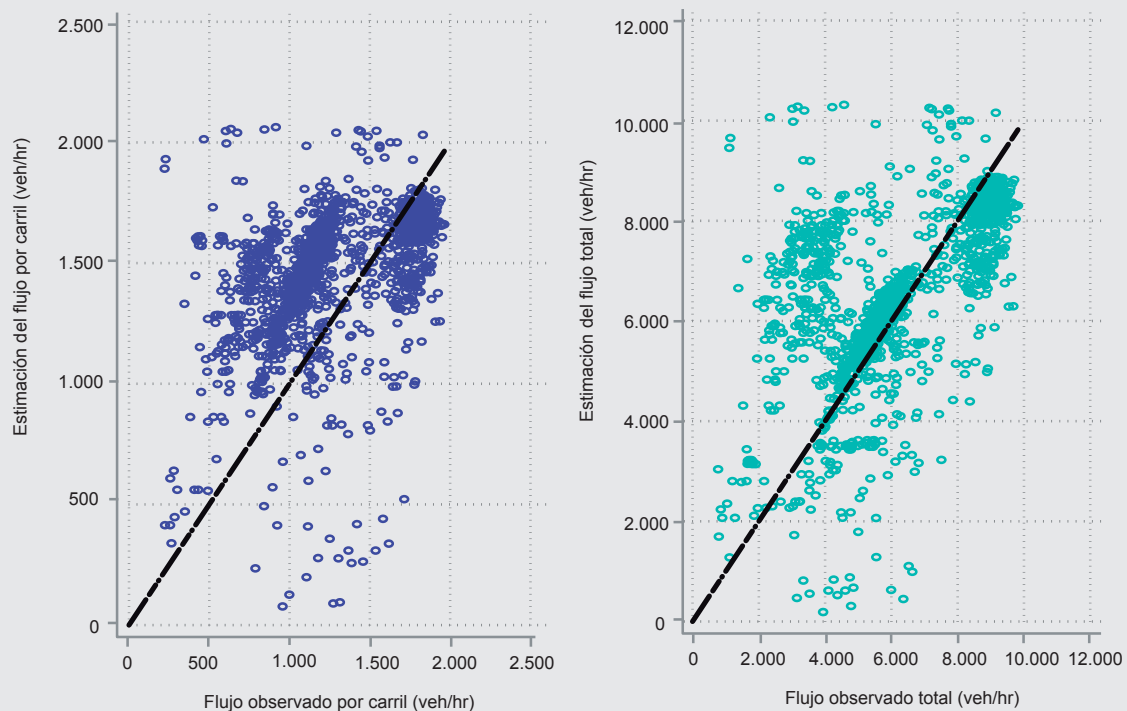
La Figura A.1 representa la distribución del número de vehículos que han sido contados por los datos de AUSA dividido por el número de carriles que presenta la autopista:



150 - Anexos

La Figura A.2 presenta los resultados obtenidos por el modelo propuesto a partir de los datos de Waze, contrastados con los datos observados provenientes de AUSA. En esta gráfica, el eje de las ordenadas representa el valor observado en AUSA, mientras que el de las abscisas es el estimado por el modelo de congestión propuesto. La línea punteada es una función de pendiente 45 grados, es decir, esta representa el ajuste perfecto el valor de flujo de los datos de AUSA y los del modelo aquí propuesto con base a los datos de Waze. En el panel de la izquierda, se presentan los resultados de flujo por carril, pudiéndose apreciar que el ajuste de las estimaciones realizadas con el modelo triangular propuesto replica bastante bien el flujo observado de vehículos por carril mediante los radares de AUSA, pues la mayoría de los flujos calculados se encuentran mayormente entre 1.000 y 2.000 veh/hr, con un flujo máximo entre 1.800-2.100 veh/hr. Ambos valores se alinean bastante con lo propuesto por la teoría (Varaiya, 2005). El coeficiente de predicción del valor observado, con base en los datos de AUSA, asciende a 1,07 y presenta significancia estadística al 1%, además de un R^2 superior a 0,92. El panel de la derecha, por su parte, se presentan los resultados del flujo total considerando los carriles estimados por el modelo de redes neuronales. En este gráfico se observa una dinámica similar a la presentada en el gráfico anterior, con un pequeño margen de diferencia en los puntos centrales de la gráfica. El coeficiente de predicción lineal en este caso es de 1,00 y es estadísticamente significativo al 1%, con un R^2 de 0,92.

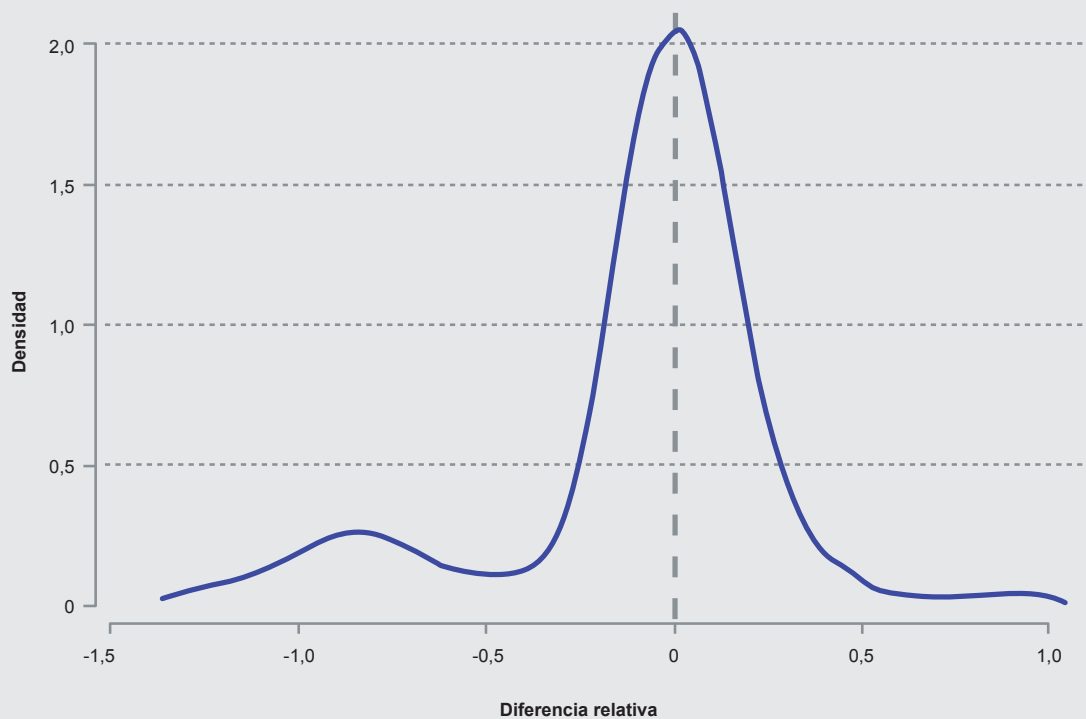
Figura A.2 Comparativo estimado por modelo vs. observado AUSA



Fuente: Cálculos propios con datos de Waze y AUSA.

Con el fin de determinar la calidad del ajuste en un mayor grado, analizamos tanto la tendencia como el sesgo de las estimaciones. Para ello, utilizamos el indicador de ajuste relativo, calculado como la diferencia lineal entre el flujo observado y el estimado, relativo al flujo observado. A partir de este indicador, observamos si existe un desajuste relevante de las estimaciones, que deba ser considerado, o un sesgo evidenciable. La Figura A. 3 presenta la distribución de dicho indicador. En la misma, se muestra que, si bien la media es de $-0,17$, el valor mediano es de $-0,02$. En otras palabras, existe un margen en el cual se puede estar sobreestimando el flujo de vehículos, pero que puede estar guiado por el margen de error de los datos observados, ya que la mediana de este indicador es aproximadamente cero, lo cual da indicios del buen ajuste del modelo de congestión.

Figura A.3 Ajuste relativo



Fuente: Cálculos propios con datos de Waze y AUSA.

Por último, cabe incluir un pequeño comentario respecto a la exactitud de los datos. Como se observa en la Figura A.2, existen puntos donde el modelo subestima el flujo, y otros donde sobrestima el flujo observado en los datos de AUSA. Considerando que no es una tendencia permanente para todas las observaciones, es válido cuestionar la exactitud de los datos de los sensores de AUSA, dado que, si fueran absolutamente exactos, al utilizar el mismo método para todos los datos, debería resultar en una subestimación o sobreestimación de todos los flujos de AUSA. Por otro lado, es aceptable cuestionar el supuesto de que el flujo es homogéneo a lo largo del segmento, y que, por lo tanto, corresponde al flujo observado en el punto específico donde se encuentra el sensor. Más allá de estos cuestionamientos, los análisis de robustez realizados muestran que los flujos calculados por nuestro modelo a partir de los datos de Waze, en especial considerando el número de carriles, son una buena aproximación a la congestión real que se experimenta las calles analizadas.

Apéndice 3

Para la estimación del efecto de los cruceros sobre la congestión en el área portuaria se ha propuesto una aproximación inicial a partir de un análisis ANCOVA para determinar las diferencias en la distribución del retraso total ante la presencia de cruceros. Allí se encuentra que el tiempo medio que se pierde en congestión es superior ante la presencia de al menos un crucero y estadísticamente significativo. Esta diferencia asciende a casi un 20% una vez se controla por los cierres viales, alertas de peligros en la vía y la discriminación entre días laborales.

Una vez se determinadas las diferencias existentes en términos de la congestión ante la presencia de cruceros, se diseña un modelo de panel de datos con efectos fijos por puerto y un proceso autorregresivo del error:

$$D_{NTxI} = Z_{NTxL} + X_{NTxK}\beta_{KxI} + U_{NTxI} \quad (17)$$

$$U_{NTx} = \alpha U_{NT-x} + \epsilon_{NTx} \quad (18)$$

donde los subíndices N , T y L son el número de puertos, periodos de tiempo y efectos no observables por puerto. D representa el vector que contiene la información del retraso agregado en el área portuaria; Z es una matriz de efectos fijos no observables; U representa el término de error asumido independiente e idénticamente distribuido y ϵ el error del proceso autorregresivo. X es una matriz que contiene las variables de control usadas en la regresión, es decir, momento del día mañana tarde; el efecto de ser un día laboral; los cierres viales; peligros en la vía de diversa índole; y, más importante, el número de cruceros que arriban/salen del puerto. A partir de las ecuaciones (17) y (18) se derivan:

$$d_{it} = z_{it}^1 + \dots + z_{it}^l + \beta_0 + \beta_1 x_{lit} + \dots + \beta_k x_{kit} + u_{it}$$

$$d_{it} - \bar{d}_{it} = z_{it}^1 + \dots + z_{it}^l + \beta_0 + \beta_1 x_{lit} + \dots + \beta_k x_{kit} + u_{it} - (z_{it}^1 + \dots + z_{it}^l + \beta_0 + \beta_1 \bar{x}_{lit} + \dots + \beta_k \bar{x}_{kit} + \bar{u}_{it})$$

$$\ddot{d}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ddot{x}_{lit} + \beta_2 \ddot{x}_{2it} + \dots + \beta_k \ddot{x}_{kit} + (\alpha \ddot{u}_{it-1} + \ddot{\epsilon}_{it}) \quad (19)$$

Los dos puntos sobre las variables indican que es la diferencia de la variable observada respecto de la media en el área portuaria (\bar{y}_t), es decir: $(\ddot{y}_t) = y_{it} - \bar{y}_t$.

Congestión urbana en América Latina y el Caribe: características, costos y mitigación

