

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.2.1. Objetivo general . . . . .	2
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	2
1.3. Alcances . . . . .	2
<b>2. Antecedentes Específicos</b>	<b>3</b>
2.1. Sistema de transporte público en Santiago . . . . .	3
2.2. Normas de emisiones para vehículos diésel pesados . . . . .	5
2.3. Matrices Origen-Destino . . . . .	6
2.3.1. Buses . . . . .	8
2.3.2. Metro . . . . .	9
2.3.3. Estación de bus . . . . .	9
2.4. Estimación de velocidad comercial promedio . . . . .	9
2.5. Emisiones Contaminantes . . . . .	13
2.5.1. Emisiones en motores diésel . . . . .	14
2.5.2. Sistemas de control de emisiones diésel . . . . .	16
2.5.3. Inventarios de Emisiones . . . . .	19
2.5.4. COPERT 4 . . . . .	21
<b>3. Metodología</b>	<b>26</b>
3.1. Actividades . . . . .	26
3.2. Recursos Disponibles . . . . .	28
<b>4. Estudio, pre-procesamiento y utilización de datos</b>	<b>29</b>
4.1. Bases de datos . . . . .	29
4.1.1. COPERT 4 . . . . .	29
4.1.2. <i>diccionarioPatentes</i> . . . . .	30
4.1.3. <i>rutaTramada</i> . . . . .	30
4.1.4. <i>secuenciaParadas</i> en servicio-sentido . . . . .	31
4.1.5. <i>diccionarioServicio</i> . . . . .	31
4.1.6. <i>velocidadesFull</i> . . . . .	32
4.1.7. <i>perfilCarga</i> . . . . .	32
4.2. Pre-procesamiento de datos . . . . .	32
4.2.1. Filtro sobre datos de velocidad . . . . .	32

4.2.2.	Correspondencia entre bases de datos velocidadesFull y perfilCarga . . . . .	33
4.3.	Utilización de datos: implementaciones . . . . .	34
4.3.1.	Implementación 1: caso base . . . . .	34
4.3.2.	Implementación 2: efecto de la pendiente . . . . .	34
4.3.3.	Implementación 3: efecto de la carga . . . . .	35
4.3.4.	Implementación 4: final . . . . .	35
<b>5.</b>	<b>Resultados y Discusiones</b>	<b>37</b>
5.1.	Factores de emisión . . . . .	37
5.1.1.	Efecto de las variables de entrada . . . . .	37
5.1.2.	Comparación de tecnologías . . . . .	38
5.2.	Emisiones de la flota completa de buses . . . . .	47
5.2.1.	Distribución temporal de emisiones . . . . .	47
5.2.2.	Distribución espacial de emisiones . . . . .	49
5.3.	Emisiones del servicio 506I . . . . .	57
5.3.1.	Distribución temporal de emisiones . . . . .	58
5.3.2.	Distribución temporal de emisiones por pasajero . . . . .	63
5.3.3.	Distribución espacial de emisiones . . . . .	66
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>70</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>72</b>
<b>A.</b>	<b>Emisiones calculadas para la flota completa</b>	<b>74</b>
A.1.	Distribución temporal . . . . .	74
A.2.	Distribución espacial . . . . .	77
<b>B.</b>	<b>Emisiones del servicio 506I</b>	<b>80</b>
B.1.	Distribución temporal . . . . .	80

# Índice de Figuras

2.1. Códigos alfanuméricos de servicios. Fuente: [1] . . . . .	4
2.2. Ejemplo pintura carrocería de los buses e información de recorrido. Fuente: [2]	5
2.3. Proyección de pulsos GPS sobre los caminos. Fuente:[3]. . . . .	10
2.4. Ejemplo de resultados de simplificación de ruta, con verde la ruta simplificada sobre la ruta azul original. Fuente: [4] . . . . .	10
2.5. Diagrama tiempo-espacio para un sistema de buses. Fuente:[3]. . . . .	11
2.6. Procedimiento de interpolación basado en datos GPS. Fuente:[3]. . . . .	12
2.7. Método de reconciliación propuesto en la aplicación de enfoques bottom-up y top-down durante la construcción de un inventario de emisiones urbano. Fuente: [5] . . . . .	20
2.8. Diagrama de flujo de aplicación de la metodología para la línea de base. Fuente:[5]	23
3.1. Diagrama de flujo de la metodología utilizada. . . . .	27
4.1. Diagrama de relación entre las bases de datos utilizadas. . . . .	36
5.1. Factores de emisión calculados a partir de la implementación 1 - caso base. .	39
5.2. Factores de emisión calculados a partir de la implementación 2 - efecto de la pendiente. . . . .	40
5.3. Factores de emisión calculados a partir de la implementación 3 - efecto de la carga. . . . .	41
5.4. Comparación de factores de emisión de las patentes FLXR-55 y FLXB-40 calculados a partir de la implementación 1 - caso base. . . . .	44
5.5. Comparación de factores de emisión de las patentes FLXB-40, CJRH-14 y XA-4095 calculados a partir de la implementación 1 - caso base. . . . .	45
5.6. Comparación de factores de emisión de MP para buses Euro III, con y sin filtro calculados a partir de la implementación 1 - caso base. . . . .	46
5.7. Emisiones totales para cada día de la semana en estudio, calculadas mediante las implementaciones 1 y 2. . . . .	50
5.7. Emisiones totales para cada día de la semana en estudio, calculadas mediante las implementaciones 1 y 2 (continuación). . . . .	51
5.8. Emisiones totales cada 30 minutos para la semana completa en estudio, calculadas mediante las implementaciones 1 y 2. . . . .	52
5.8. Emisiones totales cada 30 minutos para la semana completa en estudio, calculadas mediante las implementaciones 1 y 2 (continuación). . . . .	53
5.9. Emisiones totales por comuna para el día 14 de Marzo de 2016, calculadas mediante la implementación 1. . . . .	54

5.9. Emisiones totales por comuna para el día 14 de Marzo de 2016, calculadas mediante la implementación 1 (continuación). . . . .	55
5.10. Porcentaje de contribución de las comunas a la emisión total de contaminantes, para el día 14 de Marzo de 2016. Cálculo realizado mediante la implementación 1. . . . .	56
5.11. Distribución de velocidades del servicio 506I durante la semana en estudio. . . . .	57
5.12. Distribución de pendientes de la ruta del servicio 506I. . . . .	57
5.13. Emisiones totales para cada día de la semana en estudio, calculadas mediante las implementaciones 1, 2, 3 y 4. . . . .	59
5.13. Emisiones totales para cada día de la semana en estudio, calculadas mediante las implementaciones 1, 2, 3 y 4 (continuación). . . . .	60
5.14. Emisiones totales del servicio 506I cada 30 minutos del día 14-03-2016, calculadas mediante las implementaciones 1, 2, 3 y 4. . . . .	61
5.14. Emisiones totales del servicio 506I cada 30 minutos del día 14-03-2016, calculadas mediante las implementaciones 1, 2, 3 y 4 (continuación). . . . .	62
5.14. Emisiones totales del servicio 506I cada 30 minutos del día 14-03-2016, calculadas mediante las implementaciones 1, 2, 3 y 4 (continuación). . . . .	63
5.15. Emisiones promedio por pasajero del servicio 506I como función del tiempo de inicio de la expedición. Las emisiones son calculadas mediante la implementación 1. . . . .	64
5.15. Emisiones promedio por pasajero del servicio 506I como función del tiempo de inicio de la expedición. Las emisiones son calculadas mediante la implementación 1 (continuación). . . . .	65
5.15. Emisiones promedio por pasajero del servicio 506I como función del tiempo de inicio de la expedición. Las emisiones son calculadas mediante la implementación 1 (continuación). . . . .	66
5.16. Ejemplo de emisiones en ruta de la patente FLXD-45 realizando un recorrido del servicio 506I, con horario de inicio 17:00 el día 18-03-2016. . . . .	67
5.16. Ejemplo de emisiones en ruta de la patente FLXD-45 realizando un recorrido del servicio 506I, con horario de inicio 17:00 el día 18-03-2016 (continuación). . . . .	68
5.16. Ejemplo de emisiones en ruta de la patente FLXD-45 realizando un recorrido del servicio 506I, con horario de inicio 17:00 el día 18-03-2016 (continuación). . . . .	69
A.1. Emisiones totales de CO en Las Condes, Cerrillos y Pudahuel el día 14-03-2016 calculadas mediante las implementaciones 1. . . . .	74
A.1. Emisiones totales de CO en Las Condes, Cerrillos y Pudahuel el día 14-03-2016 calculadas mediante las implementaciones 1 (continuación). . . . .	75
A.2. Emisiones totales de NO <sub>x</sub> en Las Condes, Cerrillos y Pudahuel el día 14-03-2016 calculadas mediante las implementaciones 1. . . . .	76
A.3. Emisiones totales por comuna el día 14-03-2016 calculadas mediante las implementaciones 1. . . . .	77
A.3. Emisiones totales por comuna el día 14-03-2016 calculadas mediante las implementaciones 1 (continuación). . . . .	78
A.3. Emisiones totales por comuna el día 14-03-2016 calculadas mediante las implementaciones 1 (continuación). . . . .	79

B.1. Correlación entre emisiones totales cada 30 minutos y número de buses en servicio para el periodo completo de estudio. Las emisiones son calculadas mediante la implementación 1. . . . .	80
B.1. Correlación entre emisiones totales cada 30 minutos y número de buses en servicio para el periodo completo de estudio. Las emisiones son calculadas mediante la implementación 1 (continuación). . . . .	81
B.1. Correlación entre emisiones totales cada 30 minutos y número de buses en servicio para el periodo completo de estudio. Las emisiones son calculadas mediante la implementación 1 (continuación). . . . .	82
B.2. Correlación entre emisiones promedio cada 30 minutos y velocidad promedio para el periodo completo de estudio. Las emisiones son calculadas mediante la implementación 1. . . . .	83
B.2. Correlación entre emisiones promedio cada 30 minutos y velocidad promedio para el periodo completo de estudio. Las emisiones son calculadas mediante la implementación 1 (continuación). . . . .	84
B.2. Correlación entre emisiones promedio cada 30 minutos y velocidad promedio para el periodo completo de estudio. Las emisiones son calculadas mediante la implementación 1 (continuación). . . . .	85
B.3. Emisiones promedio y emisiones promedio por pasajero del servicio 506I como función del tiempo de inicio de la expedición. Las emisiones son calculadas mediante las implementaciones 1. . . . .	85
B.3. Emisiones promedio y emisiones promedio por pasajero del servicio 506I como función del tiempo de inicio de la expedición. Las emisiones son calculadas mediante las implementaciones 1 (continuación). . . . .	86
B.3. Emisiones promedio y emisiones promedio por pasajero del servicio 506I como función del tiempo de inicio de la expedición. Las emisiones son calculadas mediante las implementaciones 1 (continuación). . . . .	87

# Índice de Tablas

2.1. Detalle de empresas del Transantiago. . . . .	4
2.2. Estándares de emisiones Europeos para motores diésel pesados: prueba en estado estacionario . . . . .	6
4.1. Campos de la base de datos <i>diccionarioPatentes</i> . . . . .	30
4.2. Campos de la base de datos <i>rutaTramada</i> . . . . .	30
4.3. Campos de la base de datos <i>secuenciaParadas</i> . . . . .	31
4.4. Campos de la base de datos <i>diccionarioServicio</i> . . . . .	31
4.5. Campos de la base de datos <i>velocidadesFull</i> . . . . .	32
4.6. Campos de la base de datos <i>perfilCarga</i> . . . . .	33
5.1. Clasificación de buses del Transantiago según norma de emisiones, tamaño del bus y existencia de filtro. . . . .	42
5.2. Comparación de factores de emisión de un bus Euro II [6] con buses Euro III y V usados en el presente estudio. Los factores de emisión desplegados son para una velocidad de 20 km/h. . . . .	43
5.3. Comparación de emisiones anuales entre el inventario USACH2013 [7] y los resultados del presente estudio. . . . .	47
5.4. Comparación de emisiones anuales entre el inventario USACH2013 [7] y los resultados del presente estudio extrapolando los fines de semana. . . . .	48