

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Contexto	2
1.2.1. Sistema de transporte público en Santiago	2
1.2.2. Sistema de transporte público en Gatineau	3
2. Revisión Bibliográfica	4
2.1. Irregularidad de buses y consecuencias	4
2.1.1. Irregularidad de buses que operan por frecuencia	5
2.1.2. Irregularidad de buses que operan por itinerario programado	5
2.2. Factores que afectan el apelsonamiento de buses	7
2.3. Soluciones para el apelsonamiento de buses	11
2.4. Medidas de apelsonamiento de buses	11
2.4.1. Indicadores discretos	12
2.4.2. Indicadores continuos	13
2.4.2.1. Indicadores continuos de tipo estadísticos	14
2.4.2.2. Indicadores continuos de tipo percentil extremo	16
2.5. Conclusiones	16
3. Generación y análisis de datos	19
3.1. Caso Santiago	19
3.1.1. Descripción del caso de estudio	19
3.1.2. Generación de datos para los buses	22
3.1.2.1. Expediciones e intervalos de tiempo	22
3.1.2.2. Frecuencia o flujo de buses programado	29
3.1.2.3. Velocidad comercial	29
3.1.2.4. Subidas y bajadas	32
3.1.2.5. Incidentes	34
3.1.2.6. Tipo de bus	35
3.1.2.7. Tiempo de semáforos	35
3.2. Caso Gatineau	36
3.2.1. Descripción del caso de estudio	36
3.2.2. Generación de datos para los buses	40
3.2.2.1. Expediciones e intervalos de tiempo	40
3.2.2.2. Frecuencia o flujo de buses programado	44
3.2.2.3. Subidas y bajadas	44

4. Modelación	48
4.1. Variables dependientes	48
4.2. Variables independientes	55
4.2.1. Variables independientes: semáforos	55
4.2.2. Variables independientes: infraestructura de la vía	57
4.2.3. Variables independientes: operación de los buses	58
4.2.4. Variables independientes: entorno de los buses	60
5. Resultados y análisis	63
5.1. Modelación caso Santiago	63
5.1.1. Modelos para los servicio 506 y 506e	63
5.1.2. Modelos para los servicios 506, 506e y 206	71
5.2. Modelación caso Gatineau	78
5.2.1. Modelos para Rapibus	79
5.3. Análisis de parámetros	82
5.3.1. Semáforos	82
5.3.2. Infraestructura de la vía	82
5.3.3. Operación de los buses	83
5.3.4. Entorno de los buses	84
5.3.5. Importancia relativa de los parámetros	85
6. Conclusiones y recomendaciones	88
6.1. Conclusiones	88
6.2. Recomendaciones prácticas	92
6.3. Recomendaciones metodológicas y trabajo futuro	93
Bibliografía	94
Anexos	96
A. Validaciones por tipo de usuario	97
A.1. Tramo de Rapibus en dirección norte	97
A.2. Tramo de Rapibus en dirección sur	99
B. Modelos	101
B.1. Modelo autoregresivo con servicios 506 y 506e	101
B.2. Primera estimación de modelos con servicios 506 y 506e	101

Índice de Tablas

2.1. Factores que afectan el apelsonamiento de buses	9
2.2. Referencia valores IPO e IPH. Adaptado de Byon <i>et al.</i> (2011).	14
2.3. Cuadro esquemático valores IPO e IPH. Adaptado de Li <i>et al.</i> (2013)	15
2.4. Resumen de indicadores de confiabilidad	18
3.1. Zonas paga	20
3.2. Tramos de los servicios 506 y 506e	21
3.3. Tramos del servicio 206	22
3.4. Tabla cruce_paraderos	22
3.5. Registros y expediciones filtradas	25
3.6. Cortes espacio-temporales filtrados	25
3.7. Registro frecuencias de DTPM	29
3.8. Definición de rango de condición de servicio. Fuente: Cortés <i>et al.</i> (2011)	30
3.9. Número de registros de incidentes entre 15-04-2013 y 19-04-2013	35
3.10. Datos provenientes del sistema AFC en Gatineau	41
3.11. Tramo de expedición 84 e instantes de pasadas por paraderos	41
3.12. Error de la aproximación de distancia recorrida en cada paradero	42
3.13. Registros y expediciones filtradas	42
4.1. Descripción estadística de indicadores y sus transformaciones en caso Santiago	55
4.2. Descripción estadística de indicadores y sus transformaciones en caso Gatineau	55
4.3. Porcentaje de casos indicados por variables independientes de tipo dummy relacionadas a semáforos	57
4.4. Descripción estadística de variables independientes relacionadas a semáforos del caso Santiago	57
4.5. Descripción estadística de variables independientes relacionadas a semáforos del caso Gatineau	57
4.6. Porcentaje de casos indicados por variables independientes de tipo dummy relacionadas a infraestructura de la vía	58
4.7. Descripción estadística de la variable independiente de la variable distancia entre paraderos caso Santiago	58
4.8. Descripción estadística de la variable independiente de la variable distancia entre paraderos caso Gatineau	58
4.9. Porcentaje de casos indicados por las variables de distribución de tipo de buses	59
4.10. Descripción estadística de variables independientes relacionadas a la operación de los buses caso Santiago	60

4.11. Descripción estadística de variables independientes relacionadas a la operación de los buses caso Gatineau	60
4.12. Procentaje de casos indicados por la variable congestión	61
4.13. Descripción estadística de variables independientes relacionadas a la demanda en el caso Gatineau	62
4.14. Descripción estadística de variables independientes relacionadas a la demanda e incidentes en el caso Santiago	62
5.1. Estimación inicial de modelos de servicios 506 y 506e	66
5.2. Estimación final de modelos de servicios 506 y 506e	69
5.3. Modelos autoregresivos de servicios 506 y 506e	71
5.4. Estimación inicial de modelos de servicios 506, 506e y 206	73
5.5. Estimación final de modelos de servicios 506, 506e y 206	75
5.6. Modelos finales modificados de servicios 506, 506e y 206	78
5.7. Estimaciones iniciales de Rapibus	79
5.8. Estimaciones finales de Rapibus	81
5.9. Importancia relativa de factores que afectan el apelonamiento de buses	87

Índice de Ilustraciones

3.1. Ruta servicio 506-506e	20
3.2. Ruta servicio 206	20
3.3. Avenida Manuel Antonio Matta, Santiago, Chile	21
3.4. Gráfico de trayectoria 506	24
3.5. Gráfico de trayectoria 506e	25
3.6. Intervalo promedio 506	27
3.7. Coeficiente de variación 506	27
3.8. Intervalo promedio 506e	27
3.9. Coeficiente de variación 506e	28
3.10. Intervalo promedio 206	28
3.11. Coeficiente de variación 206	28
3.12. Diagrama tiempo-espacio para las trayectorias de buses. Fuente: Cortés <i>et al.</i> (2011)	30
3.13. Velocidad servicio 506	31
3.14. Velocidad servicio 506e	31
3.15. Velocidad servicio 206	32
3.16. Total subidas por servicio	33
3.17. Total subidas servicio 506	33
3.18. Total subidas servicio 506e	34
3.19. Total subidas servicio 206	34
3.20. Porcentaje de buses articulados por servicio	35
3.21. Frecuencia programada por servicio en tramo dirección sur	36
3.22. Frecuencia programada por servicio en tramo dirección norte	37
3.23. Paraderos del Rapibus, Gatineau	37
3.24. Ruta servicio 100	38
3.25. Ruta servicio 200	38
3.26. Ruta servicio 400	38
3.27. Ruta servicio 800	39
3.28. Tipo de paradero según cantidad de sectores de detención	40
3.29. Intervalo promedio dirección norte	43
3.30. Intervalo promedio dirección sur	43
3.31. Coeficiente de variación de intervalo dirección norte	44
3.32. Coeficiente de variación de intervalo dirección sur	44
3.33. Desviación estandar de intervalo dirección norte	44

3.34. Desviación estandar de intervalo dirección sur	44
3.35. Validaciones por semana y periodo de una hora	46
3.36. Validaciones por semana y paraderos en tramo dirección norte, entre las 14:00 y las 18:30 horas	46
3.37. Validaciones por semana y paraderos en tramo dirección sur, entre las 6:00 y las 9:30 horas	47
4.1. Resultado de simulación de indicadores discretos	50
4.2. Resultado de simulación de indicadores continuos	50
4.3. Indicador discreto de apelsonamiento de buses para los servicios 506 y 506e	52
4.4. Indicador continuo de apelsonamiento de buses para los servicios 506 y 506e	52
4.5. Indicador continuo y discreto del servicio 206	53
4.6. Indicador continuo y discreto del tramo Rapibus en Gatineau	53
5.1. Probabilidad acumulada residuales del modelo indicador continuo	64
5.2. Densidad de residuos del modelo indicador continuo	64
5.3. Probabilidad acumulada residuales del modelo indicador discreto	65
5.4. Densidad de residuos del modelo indicador discreto	65
A.1. Validaciones de adultos por semana y paraderos en tramo dirección norte, entre las 14:00 y las 18:30 horas	97
A.2. Validaciones de estudiantes por semana y paraderos en tramo dirección norte, entre las 14:00 y las 18:30 horas	98
A.3. Validaciones de adultos mayores por semana y paraderos en tramo dirección norte, entre las 14:00 y las 18:30 horas	98
A.4. Validaciones de adultos por semana y paraderos en tramo dirección sur, entre las 6:00 y las 9:30 horas	99
A.5. Validaciones de estudiantes por semana y paraderos en tramo dirección sur, entre las 6:00 y las 9:30 horas	99
A.6. Validaciones de adultos mayores por semana y paraderos en tramo dirección sur, entre las 6:00 y las 9:30 horas	100