Mejoramiento y Actualización del Modelo de Asignación de viajes del Sistema Transantiago

25 de octubre de 2018

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 1-1

2 RECOPILACION DE ANTECEDENTES 2-6

2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 2-7

2.2 REVISIÓN DE BASES DE DATOS 2-34

2.3 RESUMEN 2-70

3 AJUSTES METODOLÓGICOS 3-72

3.1 HORA DE MODELACIÓN 3-73

3.2 ZONIFICACIÓN 3-76

3.3 VALIDACIÓN DE RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN 3-78

4 DEFINICION DE LA HORA DE MODELACIÓN 4-83

4.1 DEFINICIÓN DE HORA DE MODELACIÓN SEGÚN LA DEMANDA 4-83

4.1 ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS 4-94

4.1.1 Análisis del acceso y egreso a modos bip! según la EOD Santiago 2012 4-94

4.1.2 Análisis del acceso y egreso a Metro según la EOD de Metro 2014 4-99

5 ZONIFICACION 5-101

5.1 INTRODUCCIÓN 5-101

5.2 DEFINICIÓN DE ZONAS DE INTERMODALIDAD 5-105

5.3 CLASIFICACIÓN DE PARADEROS Y MANZANAS SEGÚN COMPORTAMIENTO DE VIAJE Y USO DE SUELO 5-110

5.4 AGRUPACIÓN DE MANZANAS EN ZONAS SEGÚN LOCALIZACIÓN Y COMPORTAMIENTO DE VIAJE O USO DE SUELO 5-115

5.5 CREACIÓN DE CENTROIDES Y ARCOS DE ACCESO 5-118

6 ESTIMACION DE LA MATRIZ DE VIAJES 6-120

6.1 INTRODUCCIÓN 6-120

6.2 ANÁLISIS DE INPUTS Y DE METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BAJADA 6-121

6.3 OBTENCIÓN DE MATRIZ BASE DE BIPS 6-126

6.4 INCORPORACIÓN DE EVASION 6-132

6.5 INCORPORACIÓN DE BOLETOS EDMONSON 6-139

6.6 OBTENCIÓN DE MATRIZ OD PUNTA MAÑANA ZONA 777 6-141

6.7 CREACIÓN DE LA MATRIZ A NIVEL ZONAL 6-147

7 CONSTRUCCIÓN MODELO DE ASIGNACIÓN PUNTA MAÑANA 7-149
7.1 INTRODUCCIÓN 7-149
7.2 MODOS Y VEHÍCULOS 7-150
7.3 ARCOS Y NODOS 7-151
7.4 ZONAS Y CONECTORES 7-159
7.5 MATRIZ 7-162
7.6 ITINERARIOS DE SERVICIOS DE BUSES-METRO-METROTREN 7-162
7.7 VELOCIDADES 7-163
7.8 CONDICIONES OPERACIONALES 7-165
7.9 FUNCIÓN OBJETIVO Y PARAMETROS DE ASIGNACION 7-173
7.10 TARIFICACION 7-175
7.11 RESULTADOS 7-178
8 CALIBRACION MODELO DE ASIGNACIÓN PUNTA MAÑANA 8-181
8.1 INTRODUCCIÓN 8-181
8.2 PROCESO DE CALIBRACIÓN 8-185
8.3 RESULTADOS ASIGNACIÓN DE CALIBRACIÓN 8-213
9 ESCENARIOS DE MODELACIÓN PUNTA MAÑANA 9-242
9.1 INTRODUCCIÓN 9-242
9.2 ESCENARIO BASE Julio 2018 9-242
9.3 ESCENARIOS DE MODELACIÓN 9-264
10 Fuente: Proyecto DTPM EMME ®ESCENARIOS DE MODELACIÓN CAMBIOS TARIFARIOS 10-312
10.1 Sensibilidad sobre el Escenario PO Julio 2018 10-312
10.2 Sensibilidad sobre el Escenario L3+Ajustes de Malla 10-317
11 ESTIMACIÓN MATRIZ FUERA DE PUNTA 11-322
11.1 INTRODUCCIÓN 11-322
11.2 INCORPORACIÓN DE EVASION 11-330
11.3 INCORPORACIÓN DE BOLETOS EDMONSON 11-335
11.4 OBTENCIÓN DE MATRIZ OD FUERA PUNTA ZONA 777 11-337
11.5 CREACIÓN DE LA MATRIZ A NIVEL ZONAL 11-341
12 CONSTRUCCIÓN MODELO FUERA DE PUNTA 12-343
12.1 INTRODUCCIÓN 12-343
12.2 MODOS Y VEHICULOS 12-344

12.3 ARCOS Y NODOS 12-345
12.4 ZONAS Y CONECTORES 12-346
12.5 MATRIZ 12-347
12.6 ITINERARIOS DE SERVICIOS 12-347
12.7 VELOCIDADES 12-348
12.8 CONDICIONES OPERACIONALES 12-351
12.9 FUNCIÓN OBJETIVO Y PARÁMETROS DE ASIGNACIÓN 12-351
12.10 TARIFICACIÓN 12-352
12.11 RESULTADOS 12-353

13 CALIBRACIÓN MODELO FUERA DE PUNTA 13-368
13.1 INTRODUCCIÓN 13-368
13.2 PROCESO DE CALIBRACIÓN 13-368
13.3 RESULTADOS ASIGNACIÓN DE CALIBRACIÓN 13-380

14 ESCENARIOS FUERA DE PUNTA MAÑANA 14-401
14.1 INTRODUCCIÓN 14-401
14.2 Escenario Base PO Julio 2018 FP – E4 14-401
14.3 Escenario PO Julio 2018 FP + Línea 3 – E5 14-433
14.4 Escenario Ajuste Malla Buses L3 – E6 14-461

15 ESTIMACION DE LA MATRIZ DE VIAJES L6 15-493
15.1 INTRODUCCIÓN 15-493
15.2 ANÁLISIS DATOS DE ENTRADA 15-494
15.3 ESTIMACIÓN DE MATRIZ DE VIAJES L6 PUNTA MAÑANA 15-501
15.4 ESTIMACIÓN DE MATRIZ DE VIAJES L6 FUERA DE PUNTA 15-515

16 MODIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN 16-530
16.1 INTRODUCCIÓN 16-530
16.2 AUTOMATIZACIÓN DE INPUTS 16-531
16.3 PROYECTO EMME ® 16-533
16.4 AUTOMATIZACION RESUMEN DE RESULTADOS 16-539

17 CAPACITACIÓN 17-542

18 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 18-546

Índice de Figuras

Figura 1-1: Esquema de desarrollo del estudio 1-2
Figura 1-2: Diagrama de Tareas Contrato Original 1-4
Figura 2-1: Distribución de Orígenes y Destino Matriz Modelo Marzo 2011 EMME – TS 2-11
Figura 2-2: Macros de Asignación Modelo Actual 2-12
Figura 2-3: Parámetros de atractividad Punta Mañana 2-19
Figura 2-4: Parámetros de atractividad Punta Tarde 2-19
Figura 2-5: Parámetros de atractividad en la calibración por afluencia de pasajeros (FO1). 2-20
Figura 2-6: Parámetros de atractividad en la calibración por cargas de pasajeros (FO2) 2-20
Figura 2-7: Distribución de inversiones Plan Maestro 2025 2-21
Figura 2-8: Modelo de estimación de bajada 2-24
Figura 2-9: Flujo de módulos del procesamiento de datos. 2-26
Figura 2-10: Método de rectificación de ruta. 2-27
Figura 2-11: Método de proyección de puntos. 2-27
Figura 2-12: Comparación del mapa real de localización de paraderos con el mapa comercial de la red de Metro S.A. 2-33
Figura 2-13: Cálculo del costo angular 2-33
Figura 2-14: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Tiempo promedio de viaje [min] en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje der). 2-42
Figura 2-15: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Distancia promedio de viaje en ruta [km] en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje der). 2-43
Figura 2-16: Ejemplo de problema de asignación de parada de subida 2-47
Figura 2-17: Red vial y nodos - DTPM 2-51
Figura 2-18: Arcos con inconsistencia de nodos 2-52
Figura 2-19: Arcos bidireccionales – Red vial DTPM 2-54
Figura 2-20: Arcos clase metro – Red vial DTPM 2-55
Figura 2-21: Mapa cobertura de corredores STPS 2-56
Figura 2-22: Mapa cobertura de autopistas 2-57
Figura 2-23: Mapa cobertura arcos sin Tipo 2-58
Figura 2-24: Cobertura de Paradas STPS 2-59
Figura 2-25: Cobertura paradas según archivo stops 2-60
Figura 2-26: Cobertura de estaciones de Metro 2-60
Figura 2-27: Cobertura Rutas STPS 2-61
Figura 2-28. Cobertura Rutas STPS -Punta Mañana 2-62
Figura 2-29. Cobertura Rutas STPS -Fuera Punta Mañana 2-62
Figura 2-30. Cobertura Líneas de Metro 2-63
Figura 2-31: Cobertura de arcos con velocidad asignada 2-65
Figura 2-32. Cobertura Mediciones Evasión 2-67
Figura 2-33. Estaciones de Metrotren 2-68
Figura 2-34. Transacciones Metrotren (Dic 2016-Mayo 2017) 2-69
Figura 2-35. Estaciones de Metrotren y transacciones por estación 2-70
Figura 3-1: Diagrama de Tareas 3-73
Figura 3-2: Centro de masa de hora más cargada por zona 3-75
Figura 3-3: Diagrama de flujo del proceso de zonificación 3-76
Figura 3-4: Flujo Calibración del Modelo 3-79

Figura 4-1: Demanda observada cada 15 minutos por hora de inicio, medio y fin de viaje 4-84
Figura 4-2: Enfoque carga del sistema, número de personas viajando cada minuto 4-85
Figura 4-3: Comparación Viajes OD Comuna por enfoque respecto de hora media (sup-izq: Hora inicio; sup-der: Hora fin; inf-izq: Hora promedio; inf-der: Carga sistema) 4-89
Figura 4-4: % viajes por comuna de origen para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje 4-90
Figura 4-5: % viajes por comuna de destino para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje 4-90
Figura 4-6: % viajes por comuna de destino, origen Santiago Centro, para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje 4-91
Figura 4-7: % viajes por comuna de destino, origen Puente Alto, para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje 4-91
Figura 4-8: % viajes por comuna de destino, origen Las Condes, para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje 4-92
Figura 4-9: % viajes por comuna de destino, origen Providencia, para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje 4-92
Figura 4-10: Distribución de los viajes en día laboral normal cuya hora media se encuentra en punta mañana (PMA: 6.30 - 8.30 horas) 4-95
Figura 4-11: Tiempo de acceso a bus promedio por comuna origen 4-96
Figura 4-12: Tiempo de espera en bus promedio por comuna origen 4-97
Figura 4-13: Tiempo de acceso a metro promedio por comuna origen 4-97
Figura 4-14: Tiempo de acceso a metro promedio por línea inicio de etapa 4-98
Figura 4-15: Distancia euclidiana de acceso a metro por comuna origen 4-98
Figura 4-16: Distancia euclidiana de egreso en metro por comuna destino 4-99
Figura 5-1: Diagrama de metodología de zonificación 5-102
Figura 5-2: Manzanas que componen las zonas de intermodalidad 5-108
Figura 5-3: Diagrama del proceso de clasificación de los paraderos de bus según su comportamiento de viaje 5-110
Figura 5-4: Clasificación de los paraderos de bus (atributo TIPOPARADERO) 5-112
Figura 5-5: Diagrama del proceso de caracterización de las manzanas según el comportamiento de viaje o uso de suelo 5-113
Figura 5-6: Clasificación de las manzanas (atributo TIPOMANZANA): a) a partir de datos de uso de suelo; b) resultado de la aplicación de la metodología: comportamiento de viaje dominante (TIPOPARADERO) y uso de suelo 5-115
Figura 5-7: Frecuencia de zonas 777 según su número de manzanas 5-116
Figura 5-8: Zonificación 5-118
Figura 6-1: Tiempo de viaje promedio día laboral por comuna de origen, viajes 1 etapa (superior) y de 2 y 3 etapas (inferior) 6-122
Figura 6-2: Distancia de viaje promedio día laboral por comuna de origen, según número de etapas de viaje 6-123
Figura 6-3: Número de viajes originados por zona 777 en la hora más cargada, según hora media ponderada de viajes (eje vertical) y número de zona (eje horizontal) 6-127
Figura 6-4: % de aumento de viajes originados por zona 777 respecto de viajes entre 7:30-8:30, según hora media ponderada de viajes (eje vertical) y número de zona (eje horizontal) 6-129
Figura 6-5: Distribución de viajes por hora media de viaje, matrices con y sin corrección 6-130
Figura 6-6: Aumento de viajes en zonas corregidas antes (escala verde) y después (escala naranja) de la banda de hora más cargada del sistema (7:30-8:30) 6-131
Figura 6-7: Viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 de matriz OD base ...6-132
Figura 6-8: Flujo incorporación evasión a la matriz de viajes 6-133

Figura 6-9: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial 6-135
Figura 6-10: Evasión versus demanda – Fiscalización 2016 6-137
Figura 6-11: Evasión versus demanda – DICTUC 2012 6-137
Figura 6-12: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión sistemática 6-139
Figura 6-13: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de boletos Edmonson 6-140
Figura 6-14: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson 6-142
Figura 6-15: Generación (izq) y atracción (der) de viajes a nivel de zona 777, matriz OD PM actualizada 6-143
Figura 6-16: Transbordos por parada de buses, matriz OD PM actualizada 6-145
Figura 6-17: Transbordos por parada de Metro, matriz OD PM actualizada 6-145
Figura 6-18: Tiempo de viaje en vehículo desde todas las comunas a Santiago, Providencia, Las Condes y Estación Central 6-146
Figura 6-19: Ejemplo esquemático de generación de la matriz de viajes a nivel zonal 6-147
Figura 7-1: Resumen Información Modelo de asignación 7-150
Figura 7-2: Red vial DTPM Mayo 2017 7-153
Figura 7-3: Red vial y servicios PO 06/05/2017 7-153
Figura 7-4: Red vial y límites de zonas censales 7-154
Figura 7-5: Ejemplo de desagregación de arcos (Autopista del sol) 7-155
Figura 7-6: Comparativa red original y red simplificada 7-156
Figura 7-7: Comparativa nodos red original y simplificada 7-156
Figura 7-8: Red de Metro 7-158
Figura 7-9: Red de Metrotren 7-159
Figura 7-10: Zonas Modelo 7-161
Figura 7-11: Conectores 7-161
Figura 7-12: Velocidades Red Vial 7-164
Figura 7-13: Captura de pantalla módulo journey level 7-177
Figura 7-14: Gráfico de convergencia 7-179
Figura 8-1: Flujo Calibración del Modelo 8-181
Figura 8-2: Comparativo de penalidades por transbordo en minutos equivalentes del tiempo de viaje en vehículo 8-189
Figura 8-3: Gráfico de comparación de asignación de conteos 8-194
Figura 8-4: Gráfico Asignación de conteos a la red 8-195
Figura 8-5: Gráfico Volumen de conteos en arcos 8-196
Figura 8-6: Gráfico de ajuste de flujos y demanda por iteración. 8-197
Figura 8-7: Comparativo Flujos y Demanda Modelados vs flujos medidos y matriz a priori. 8-198
Figura 8-8: Ajuste lineal conteos por comuna 8-207
Figura 8-9: Ajuste Flujos vs Aforos Rango 12.000-5.000 8-207
Figura 8-10: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 5.000-3.000 8-208
Figura 8-11: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 3.000-2.000 8-208
Figura 8-12: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 2.000-1.500 8-209
Figura 8-13: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 1.500-1.000 8-209
Figura 8-14: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 1.000-600 8-210
Figura 8-15: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 600-0 8-210
Figura 8-16: Comparación Matriz A priori- Matriz ajustada-orígenes 8-211
Figura 8-17: Comparación Matriz A priori- Matriz ajustada-orígenes por Comuna 8-211
Figura 8-18: Comparación Matriz A priori- Matriz ajustada-destinos 8-212
Figura 8-19: Comparación Matriz A priori- Matriz calibrada-ajustada por Comuna 8-212

Figura 8-20: Subidas y Bajadas escenario de modelación buses – Escenario Ajuste Matriz 8-214
Figura 8-21: Subidas y Bajadas escenario de modelación Metro y Metrotren – Escenario Ajuste Matriz...8-214
Figura 8-22: Flujos modelados en la red buses – Escenario Ajuste Matriz..... 8-215
Figura 8-23: Flujos modelados en la red Metro y Metrotren – Escenario Ajuste Matriz 8-215
Figura 8-24: Flujos Peatonales modelados en la red vial – Escenario Ajuste Matriz 8-216
Figura 8-25: Subidas por Estación Metro comparadas..... 8-218
Figura 8-26: Afluencia Línea 2 8-218
Figura 8-27: Imagen. Afluencia Línea 4A 8-219
Figura 8-28: Imagen. Afluencia Línea 4 8-219
Figura 8-29: Afluencia Línea 5 8-220
Figura 8-30: Perfil de Carga L1I..... 8-221
Figura 8-31: Perfil de Carga L1R 8-221
Figura 8-32: Perfil de Carga L2I..... 8-222
Figura 8-33: Perfil de Carga L2R 8-222
Figura 8-34: Perfil de Carga L4AI 8-223
Figura 8-35: Perfil de Carga L4AR..... 8-223
Figura 8-36: Perfil de Carga L4I..... 8-224
Figura 8-37: Perfil de Carga L4R 8-224
Figura 8-38: Perfil de Carga L5I..... 8-225
Figura 8-39: Perfil de Carga L5R 8-225
Figura 8-40: Comparación de Estación Buses comparadas-Escenario 10 8-226
Figura 8-41: Perfil de carga Servicio B26I..... 8-229
Figura 8-42: Perfil de carga Servicio B26R..... 8-229
Figura 8-43: Perfil de carga Servicio F23R..... 8-230
Figura 8-44: Perfil de carga Servicio 502I..... 8-230
Figura 8-45: Perfil de carga Servicio F08R..... 8-231
Figura 8-46: Perfil de carga Servicio 350I..... 8-231
Figura 8-47: Perfil de carga Servicio 516I..... 8-232
Figura 8-48: Perfil de carga Servicio F23I 8-232
Figura 8-49: Perfil de carga Servicio F09I 8-233
Figura 8-50: Perfil de carga Servicio 350R..... 8-233
Figura 8-51: Comparación de Transbordos Metro a nivel de estación 8-235
Figura 8-52: Comparación transbordos buses a nivel de parada..... 8-237
Figura 8-53: Tiempos de caminata – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes . 8-239
Figura 8-54: Tiempos de espera – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes..... 8-240
Figura 8-55: Tiempos de viaje – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes..... 8-241
Figura 9-1: Red Metro Modelo..... 9-243
Figura 9-2: Comparación Flujo entre Escenarios Mayo 2017 y Julio 2018 - Buses 9-245
Figura 9-3: Comparación Flujo entre Escenarios Mayo 2017 y Julio 2018 - Buses 9-245
Figura 9-4: Afluencia Línea 1..... 9-247
Figura 9-5: Afluencia Línea 2..... 9-248
Figura 9-6: Imagen. Afluencia Línea 4A..... 9-248
Figura 9-7: Afluencia Línea 4..... 9-249
Figura 9-8: Afluencia Línea 5..... 9-249
Figura 9-9: Afluencia Línea 6..... 9-250
Figura 9-10: Perfil de Carga L1I..... 9-251
Figura 9-11: Perfil de Carga L1R 9-251
Figura 9-12: Perfil de Carga L2I..... 9-252
Figura 9-13: Perfil de Carga L2R 9-252
Figura 9-14: Perfil de Carga L4AI 9-253

Figura 9-15: Perfil de Carga L4AR 9-253
Figura 9-16: Perfil de Carga L4I 9-254
Figura 9-17: Perfil de Carga L4R 9-254
Figura 9-18: Perfil de Carga L5I 9-255
Figura 9-19: Perfil de Carga L5R 9-255
Figura 9-20: Perfil de Carga L6I 9-256
Figura 9-21: Perfil de Carga L6R 9-256
Figura 9-22: Servicios con mayores modificaciones e influencia Línea L6. 9-258
Figura 9-23: Perfil de Carga 9-259
Figura 9-24: Perfil de Carga 9-259
Figura 9-25: Perfil de Carga 9-260
Figura 9-26: Mapa Servicios Nuevos Escenario Julio 2018 9-261
Figura 9-27: Perfil de Carga 9-262
Figura 9-28: Perfil de Carga 9-262
Figura 9-29: Perfil de Carga 9-263
Figura 9-30: Perfil de Carga 9-263
Figura 9-31: Red Metro Modelo 9-265
Figura 9-32: Tramo y paraderos Corredor Independencia 9-266
Figura 9-33: Perfil de Carga L1I 9-269
Figura 9-34: Perfil de Carga L1R 9-269
Figura 9-35: Perfil de Carga L2I 9-270
Figura 9-36: Perfil de Carga L2R 9-270
Figura 9-37: Perfil de Carga L4AI 9-271
Figura 9-38: Perfil de Carga L4AR 9-271
Figura 9-39: Perfil de Carga L4I 9-272
Figura 9-40: Perfil de Carga L4R 9-272
Figura 9-41: Perfil de Carga L5I 9-273
Figura 9-42: Perfil de Carga L5R 9-273
Figura 9-43: Perfil de Carga L6I 9-274
Figura 9-44: Perfil de Carga L6R 9-274
Figura 9-45: Perfil de Carga L3I 9-275
Figura 9-46: Perfil de Carga L3R 9-275
Figura 9-48: Perfil de Eje Alameda 9-276
Figura 9-49: Perfil de Eje Departamental 9-277
Figura 9-50: Perfil de Eje La Florida 9-277
Figura 9-51: Perfil de Eje Providencia 9-278
Figura 9-52: Perfil de Eje Pajaritos 9-278
Figura 9-53: Servicios Modificados Escenario 2 Ajuste L3 9-280
Figura 9-54: Comparación Flujo entre Escenarios Base Julio18 y E2V – Metro 9-281
Figura 9-55: Comparación Flujo entre Escenarios Base Julio18 y E2V – Buses 9-282
Figura 9-56: Afluencia Línea 1 9-284
Figura 9-57: Afluencia Línea 2 9-285
Figura 9-58: Imagen. Afluencia Línea 4A 9-286
Figura 9-59: Afluencia Línea 4 9-287
Figura 9-60: Afluencia Línea 5 9-288
Figura 9-61: Afluencia Línea 6 9-289
Figura 9-62: Afluencia Línea 3 9-290
Figura 9-63: Perfil de Carga L1I 9-291
Figura 9-64: Perfil de Carga L1R 9-291
Figura 9-65: Perfil de Carga L2I 9-292
Figura 9-66: Perfil de Carga L2R 9-292

Figura 9-67: Perfil de Carga L4AI 9-293
Figura 9-68: Perfil de Carga L4AR 9-293
Figura 9-69: Perfil de Carga L4I 9-294
Figura 9-70: Perfil de Carga L4R 9-294
Figura 9-71: Perfil de Carga L5I 9-295
Figura 9-72: Perfil de Carga L5R 9-295
Figura 9-73: Perfil de Carga L6I 9-296
Figura 9-74: Perfil de Carga L6R 9-296
Figura 9-75: Perfil de Carga L3I 9-297
Figura 9-76: Perfil de Carga L3R 9-297
Figura 9-77: Comparación de Etapas según Servicio de Buses 9-298
Figura 9-78: Servicios con mayores modificaciones e influencia Línea L3. 9-299
Figura 9-79: Mapa Servicios Nuevos Escenario E2V 9-300
Figura 9-80: Perfil de Carga 308cI 9-301
Figura 9-81: Perfil de Carga 307cI 9-302
Figura 9-82: Perfil de Carga 104cR 9-303
Figura 9-83: Perfil de Carga B12cR 9-304
Figura 9-84: Perfil de Eje Alameda 9-305
Figura 9-85: Perfil de Eje Departamental 9-306
Figura 9-86: Perfil de Eje La Florida 9-307
Figura 9-87: Perfil de Eje Providencia 9-308
Figura 9-88: Perfil de Eje Pajaritos 9-309
Figura 11-1: Dispersión de la cantidad de viajes OD por Comuna 11-325
Figura 11-2: Porcentaje de viajes por comuna de Origen para 3 matrices de 1 hora 11-326
Figura 11-3: Porcentaje de viajes por comuna de Destino para 3 matrices de 1 hora 11-326
Figura 11-4: Distribución del destino de viajes originados en Santiago Centro 11-327
Figura 11-5: Distribución del destino de viajes originados en Providencia 11-327
Figura 11-6: Distribución del destino de viajes originados en Las Condes 11-328
Figura 11-7: Viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 de matriz OD base 11-329
Figura 11-8: Flujo incorporación evasión a la matriz de viajes 11-330
Figura 11-9: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial 11-333
Figura 11-10: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión sistemática 11-335
Figura 11-11: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de boletos Edmonson 11-337
Figura 11-12: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson 11-338
Figura 11-13: Generación (izq) y atracción (der) de viajes a nivel de zona 777, matriz OD FP actualizada 11-339
Figura 11-14: Ejemplo esquemático de generación de la matriz de viajes a nivel zonal 11-341
Figura 12-1: Resumen Información Modelo de asignación 12-344
Figura 12-2: Red Vial Fuera Punta Mañana 12-346
Figura 12-3: Velocidades Red Vial – red fuera de punta 12-349
Figura 12-4: Velocidades Red Metro – red fuera de punta 12-349
Figura 12-5: Subidas y Bajadas Escenario Base - buses 12-354
Figura 12-6: Subidas y Bajadas Escenario Base - Metro 12-354
Figura 12-7: Flujos modelados en la red buses – Escenario Base 12-355
Figura 12-8: Flujos modelados en la red metro y metrotren – Escenario Base 12-355
Figura 12-9: Flujos Peatonales modelados en la red vial – Escenario Base 12-356

Figura 12-10: Afluencia Línea 1 12-357
Figura 12-11: Afluencia Línea 2 12-358
Figura 12-12: Imagen. Afluencia Línea 4A 12-358
Figura 12-13: Imagen. Afluencia Línea 4 12-359
Figura 12-14: Afluencia Línea 5 12-359
Figura 12-15: Perfil de Carga L1 12-360
Figura 12-16: Perfil de Carga L2 12-361
Figura 12-17: Perfil de Carga L4A 12-361
Figura 12-18: Perfil de Carga L4 12-362
Figura 12-19: Perfil de Carga L5 12-362
Figura 12-20: Comparación de Etapas de Buses comparadas-Escenario Base 12-363
Figura 12-21: Diferencia etapas observadas vs modeladas. 12-366
Figura 13-1: Flujo Calibración del Modelo 13-368
Figura 13-2: Gráfico de comparación de asignación de conteos 13-373
Figura 13-3: Gráfico Asignación de conteos a la red 13-374
Figura 13-4: Gráfico Volumen de conteos en arcos 13-375
Figura 13-5: Gráfico de ajuste de flujos y demanda por iteración. 13-376
Figura 13-6: Comparativo Flujos y Demanda Modelados vs flujos medidos y matriz a priori. 13-377
Figura 13-7: Comparativo Viajes Matriz A priori vs Matriz Ajustada. 13-377
Figura 13-8: Subidas y Bajadas escenario de modelación buses – Escenario Ajuste Matriz 13-381
Figura 13-9: Subidas y Bajadas escenario de modelación Metro y Metrotren – Escenario Ajuste Matriz 13-382
Figura 13-10: Flujos modelados en la red buses – Escenario Ajuste Matriz 13-382
Figura 13-11: Flujos modelados en la red Metro y Metrotren – Escenario Ajuste Matriz 13-383
Figura 13-12: Flujos Peatonales modelados en la red vial – Escenario Ajuste Matriz 13-384
Figura 13-13: Subidas por Estación Metro comparadas 13-385
Figura 13-14: Afluencia Línea 1 13-386
Figura 13-15: Afluencia Línea 2 13-386
Figura 13-16: Imagen. Afluencia Línea 4A 13-387
Figura 13-17: Imagen. Afluencia Línea 4 13-387
Figura 13-18: Afluencia Línea 5 13-388
Figura 13-19: Perfil de Carga L1I 13-388
Figura 13-20: Perfil de Carga L1R 13-389
Figura 13-21: Perfil de Carga L2I 13-389
Figura 13-22: Perfil de Carga L2R 13-390
Figura 13-23: Perfil de Carga L4AI 13-390
Figura 13-24: Perfil de Carga L4AR 13-391
Figura 13-25: Perfil de Carga L4I 13-391
Figura 13-26: Perfil de Carga L4R 13-392
Figura 13-27: Perfil de Carga L5I 13-392
Figura 13-28: Perfil de Carga L5R 13-393
Figura 13-29: Comparación de Etapas Buses A Priori vs Matriz Ajustada 13-394
Figura 13-30: Etapas por servicio estimadas matriz A Priori vs Matriz Ajustada 13-397
Figura 13-31: Tiempos de caminata – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes ... 13-398
Figura 13-32: Tiempos de espera – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes .. 13-399
Figura 13-33: Tiempos de viaje – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes 13-400
Figura 14-1: Red Metro Modelo 14-402
Figura 14-2: Comparación Flujo entre Escenarios Mayo 2017 y Julio 2018 – Metro 14-404
Figura 14-3: Comparación Flujo entre Escenarios Mayo 2017 y Julio 2018 – Buses 14-405
Figura 14-4: Afluencia Línea 1 14-407

Figura 14-5: Afluencia Línea 2 14-408
Figura 14-6: Imagen. Afluencia Línea 4A 14-409
Figura 14-7: Afluencia Línea 4 14-410
Figura 14-8: Afluencia Línea 5 14-411
Figura 14-9: Afluencia Línea 6 14-412
Figura 14-10: Perfil de Carga L1I 14-413
Figura 14-11: Perfil de Carga L1R 14-413
Figura 14-12: Perfil de Carga L2I 14-414
Figura 14-13: Perfil de Carga L2R 14-414
Figura 14-14: Perfil de Carga L4AI 14-415
Figura 14-15: Perfil de Carga L4AR 14-415
Figura 14-16: Perfil de Carga L4I 14-416
Figura 14-17: Perfil de Carga L4R 14-416
Figura 14-18: Perfil de Carga L5I 14-417
Figura 14-19: Perfil de Carga L5R 14-417
Figura 14-20: Perfil de Carga L6I 14-418
Figura 14-21: Perfil de Carga L6R 14-418
Figura 14-22: Servicios con mayores modificaciones e influencia Línea L6 14-420
Figura 14-23: Mapa Servicios Nuevos Escenario Julio 2018 14-421
Figura 14-24: Perfil de Carga G23R 14-422
Figura 14-25: Perfil de Carga D17vR 14-423
Figura 14-26: Perfil de Carga D17vI 14-424
Figura 14-27: Perfil de Carga I25R 14-425
Figura 14-28: Perfil de Eje Alameda 14-426
Figura 14-29: Perfil de Eje Departamental 14-427
Figura 14-30: Perfil de Eje La Florida 14-428
Figura 14-31: Perfil de Eje Providencia 14-429
Figura 14-32: Perfil de Eje Pajaritos 14-430
Figura 14-33: Red Metro Modelo 14-433
Figura 14-34: Comparación Flujo entre Escenarios Julio 2018 y Julio 2018+L3- Metro 14-435
Figura 14-35: Comparación Flujo entre Escenarios Julio 2018 y Julio 2018+L3- Buses 14-436
Figura 14-36: Afluencia Línea 1 14-438
Figura 14-37: Afluencia Línea 2 14-439
Figura 14-38: Imagen. Afluencia Línea 4A 14-440
Figura 14-39: Afluencia Línea 4 14-441
Figura 14-40: Afluencia Línea 5 14-442
Figura 14-41: Afluencia Línea 6 14-443
Figura 14-42: Afluencia Línea 3 14-444
Figura 14-43: Perfil de Carga L1I 14-445
Figura 14-44: Perfil de Carga L1R 14-445
Figura 14-45: Perfil de Carga L2I 14-446
Figura 14-46: Perfil de Carga L2R 14-446
Figura 14-47: Perfil de Carga L4AI 14-447
Figura 14-48: Perfil de Carga L4AR 14-447
Figura 14-49: Perfil de Carga L4I 14-448
Figura 14-50: Perfil de Carga L4R 14-448
Figura 14-51: Perfil de Carga L5I 14-449
Figura 14-52: Perfil de Carga L5R 14-449
Figura 14-53: Perfil de Carga L6I 14-450
Figura 14-54: Perfil de Carga L6R 14-450
Figura 14-55: Perfil de Carga L3I 14-451

Figura 14-56: Perfil de Carga L3R 14-451
Figura 14-57: Servicios con mayores modificaciones y área de influencia Línea L3. 14-453
Figura 14-58: Perfil de Eje Alameda 14-454
Figura 14-59: Perfil de Eje Departamental 14-455
Figura 14-60: Perfil de Eje La Florida 14-456
Figura 14-61: Perfil de Eje Providencia 14-457
Figura 14-62: Perfil de Eje Pajaritos 14-458
Figura 14-63: Red Metro Modelo 14-462
Figura 14-64: Comparación Flujo entre Escenarios Julio 2018 +L6+L3 y E6(E2V) – Malla L3 - Metro 14-464
Figura 14-65: Comparación Flujo entre Escenarios Julio 2018 +L6+L3 y E6(E2V) – Malla L3- Buses 14-465
Figura 14-66: Afluencia Línea 1 14-467
Figura 14-67: Afluencia Línea 2 14-468
Figura 14-68: Imagen. Afluencia Línea 4A 14-469
Figura 14-69: Afluencia Línea 4 14-470
Figura 14-70: Afluencia Línea 5 14-471
Figura 14-71: Afluencia Línea 6 14-472
Figura 14-72: Afluencia Línea 3 14-473
Figura 14-73: Perfil de Carga L1I 14-474
Figura 14-74: Perfil de Carga L1R 14-474
Figura 14-75: Perfil de Carga L2I 14-475
Figura 14-76: Perfil de Carga L2R 14-475
Figura 14-77: Perfil de Carga L4AI 14-476
Figura 14-78: Perfil de Carga L4AR 14-476
Figura 14-79: Perfil de Carga L4I 14-477
Figura 14-80: Perfil de Carga L4R 14-477
Figura 14-81: Perfil de Carga L5I 14-478
Figura 14-82: Perfil de Carga L5R 14-478
Figura 14-83: Perfil de Carga L6I 14-479
Figura 14-84: Perfil de Carga L6R 14-479
Figura 14-85: Perfil de Carga L3I 14-480
Figura 14-86: Perfil de Carga L3R 14-480
Figura 14-87: Mapa Servicios Nuevos E6 –Malla L3 14-482
Figura 14-88: Perfil de Carga 207eR 14-483
Figura 14-89: Perfil de Carga 207eI 14-484
Figura 14-90: Perfil de Carga 308cI 14-485
Figura 14-91: Perfil de Eje Alameda 14-486
Figura 14-92: Perfil de Eje Departamental 14-487
Figura 14-93: Perfil de Eje La Florida 14-488
Figura 14-94: Perfil de Eje Providencia 14-489
Figura 14-95: Perfil de Eje Pajaritos 14-490
Figura 15-1: Etapas de viaje por día y media hora 15-494
Figura 15-2: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Tiempo promedio de viaje [min] en día laboral, según comuna de origen de viaje (eje der) 15-496
Figura 15-3: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Tiempo promedio de viaje [min] en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje der) 15-497
Figura 15-4: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Distancia promedio de viaje en ruta [km] en día laboral, según comuna de origen de viaje (eje der) 15-498

Figura 15-5: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Distancia promedio de viaje en ruta [km] en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje der) 15-499
Figura 15-6: Viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 de matriz OD base, PM 15-502
Figura 15-7: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, PM 15-503
Figura 15-8: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión sistemática, PM 15-504
Figura 15-9: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de boletos Edmonson, PM 15-505
Figura 15-10: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson 15-506
Figura 15-11: Generación (izq) y atracción (der) de viajes a nivel de zona 777, matriz OD PM actualizada 15-507
Figura 15-12: Viajes PM totales y deltas edmonson y evasión por comuna, para agosto 2017 y noviembre 2017 15-509
Figura 15-13: Generación de viajes a nivel de zona 777, matriz OD PM Agosto 2017 (izquierda) y Noviembre 2017 (derecha) 15-512
Figura 15-14: Atracción de viajes a nivel de zona 777, matriz OD PM Agosto 2017 (izquierda) y Noviembre 2017 (derecha) 15-513
Figura 15-15: Viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 de matriz OD base, FP 15-516
Figura 15-16: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, FP 15-517
Figura 15-17: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión sistemática, FP 15-518
Figura 15-18: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de boletos Edmonson, FP 15-519
Figura 15-19: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson 15-520
Figura 15-20: Generación (izq) y atracción (der) de viajes a nivel de zona 777, matriz OD FP actualizada 15-521
Figura 15-21: Viajes FP totales y deltas edmonson y evasión por comuna, para agosto 2017 y noviembre 2017 15-523
Figura 15-22: Generación de viajes a nivel de zona 777, matriz OD FP Agosto 2017 (izquierda) y Noviembre 2017 (derecha) 15-526
Figura 15-23: Atracción de viajes a nivel de zona 777, matriz OD FP Agosto 2017 (izquierda) y Noviembre 2017 (derecha) 15-527
Figura 16-1: Secuencia de procesos para creación del modelo y asignación de escenarios 16-530
Figura 16-2: Especificaciones de asignación de tránsito 16-534
Figura 16-3: Personalización de la función de congestión 16-535
Figura 16-4: Especificaciones para traversal transit analysis 16-535
Figura 16-5: Ejemplo de archivo de salida de transbordos 16-536
Figura 16-6: Selección de tabla(s) de archivos de salida 16-537
Figura 16-7: Secuencia Asignación Project Toolbox 16-537
Figura 16-8: Ejemplo Network Calculation 16-538
Figura 16-9: Secuencia Asignación Transbordos entre UN, Project Toolbox 16-539
Figura 17-1: Imágenes Capacitación INRO 17-544

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Características de la Red Vial EMME 2011 – TS 2-10
Tabla 2-2: Características de los Trazados EMME 2011 – TS 2-10
Tabla 2-3: Resumen de Etapas, Escenario EMME TS Marzo 2011 2-15
Tabla 2-4: Niveles de Servicio, Escenario EMME TS Marzo 2011 2-15
Tabla 2-5: Resumen de Etapas por Unidad de Negocio, Escenario EMME TS Marzo 2011 2-16
Tabla 2-6: Porcentaje de estimación de bajada desagregado por tipo de parada de subida 2-25
Tabla 2-7: Campos y descripción de tabla etapas 2-36
Tabla 2-8: Campos y descripción de tabla viajes 2-38
Tabla 2-9: Número de viajes, tarjetas y tasa de viajes por tarjeta, análisis por fecha 2-41
Tabla 2-10: Número y % de viajes según etapas de viaje, análisis por fecha 2-41
Tabla 2-11: Problemas de información en tablas de etapas y viajes 2-44
Tabla 2-12: Número y porcentaje de transacciones agrupados según distancia entre posición GPS de validación y posición de parada de subida, tabla etapas TB8 2-46
Tabla 2-13: Boletos Edmonson del 23 a 29 de Mayo del 2016 2-47
Tabla 2-14: Arcos sin nodos definidos 2-51
Tabla 2-15: Tipos de arcos según clase 2-53
Tabla 2-16: Corredores STPS– Red vial DTPM 2-56
Tabla 2-17: Caracterización de Nodos - DTPM 2-58
Tabla 3-1: Resumen Validaciones y fuentes a utilizar 3-82
Tabla 4-1: Enfoques de obtención de matrices OD 4-86
Tabla 4-2: Consideraciones de los enfoques de obtención de matrices OD 4-87
Tabla 4-3: Resumen de matrices OD por enfoque 4-88
Tabla 4-4: Viajes observados, estimados y expandidos, agrupados por hora de inicio de viaje y periodo de 15 minutos. 4-93
Tabla 4-5: Análisis de los viajes en día laboral normal cuya hora media es en punta mañana (PMA: 6.30 - 8.30 horas) 4-94
Tabla 4-6: Estaciones con mayor tiempo de egreso en metro observado 4-100
Tabla 5-1: Resumen de los dos procesos de K-means aplicados en la metodología de zonificación 5-105
Tabla 5-2: Nombre e ID de las zonas de intermodalidad 5-109
Tabla 5-3: Re-clasificación de paraderos de los clusters 1 y 4 a los clusters 2 y 3 5-112
Tabla 6-1: Viajes con problemas en tiempo de subida – Punta Mañana 6-124
Tabla 6-2: Viajes con problemas en tiempo de subida – Fuera de Punta 6-124
Tabla 6-3: Características de matriz corregida 6-128
Tabla 6-4: Número de zonas corregidas y viajes adicionales, agrupadas por % de aumento de viajes, detalle anterior y posterior a la banda 7:30-8:30 6-129
Tabla 6-5: Detalle de las fuentes de información de evasión en modo bus 6-136
Tabla 6-6: Detalle de variación de viajes por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson 6-141
Tabla 6-7: Detalle de matriz actualizada, número de etapas de viaje por operador 6-144
Tabla 6-8: Transbordos entre combinaciones de tipo de transporte 6-144
Tabla 6-9: Nivel de Servicio, matriz OD Punta Mañana 6-146
Tabla 7-1: Modos Modelo de asignación 7-150
Tabla 7-2: Tipos de vehículo modelo de asignación 7-151
Tabla 7-3: Número de nodos y Arcos de Red DTPM y Red Intervenida. 7-152
Tabla 7-4: Cantidad de nodos y Arcos Red DTPM, Red Intervenida y Red de Modelación. 7-157
Tabla 7-5: Descripción de tipos de arcos del modelo 7-160

Tabla 7-6: Zonas y Arcos Acceso 7-162
Tabla 7-7: Cantidad de servicios por modo 7-163
Tabla 7-8: Resumen Estimación Velocidades Arco-Sentido 7-163
Tabla 7-9: Resumen Capacidad y Frecuencia por servicio y Modo 7-166
Tabla 7-10: Parámetros de asignación 7-174
Tabla 7-11: Estructura Tarifaria Mayo 2017 7-175
Tabla 7-12: Etapas Escenario Base por UN 7-179
Tabla 8-1: Valor Penalidades 8-182
Tabla 8-2: Valor pesos tiempos por tipo 8-182
Tabla 8-3: Parámetros de asignación escenarios de modelación 8-186
Tabla 8-4: Comparativo de Valores Subjetivos del Tiempo diferentes Estudios 8-186
Tabla 8-5: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori 8-187
Tabla 8-6: Parámetros de asignación escenarios de modelación 8-188
Tabla 8-7: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori 8-190
Tabla 8-8: Parámetros de asignación escenarios de modelación 8-190
Tabla 8-9: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori 8-191
Tabla 8-10: Parámetros Función de Congestión en Segmentos 8-192
Tabla 8-11: Parámetros Función de Congestión en Intervalo 8-192
Tabla 8-12: Parámetros de asignación escenarios de modelación 8-197
Tabla 8-13: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori 8-199
Tabla 8-14: Ajuste general conteos 8-199
Tabla 8-15: Resultados modificación conectores y velocidades 8-201
Tabla 8-16: Resultados modificación oferta buses por ICF no truncado 8-202
Tabla 8-17: Resultados modificación asociación nodo-parada 8-203
Tabla 8-18: Resultados modificación matriz a priori 8-204
Tabla 8-19: Resultados ajuste matriz a priori modificada 8-205
Tabla 8-20: Ajuste general conteos 8-205
Tabla 8-21: Ajuste Asignación vs Ajuste de la matriz a priori 8-206
Tabla 8-22: Parámetros de asignación escenarios de modelación 8-213
Tabla 8-23: Resultados Globales 8-213
Tabla 8-24: Resultados Etapas por Unidad de Negocio 8-216
Tabla 8-25: Transbordos entre Modos 8-217
Tabla 8-26: Principales Transbordos entre Unidades de Negocio 8-217
Tabla 8-27: Ajuste Afluencia por Línea 8-220
Tabla 8-28: Comparación de partición de flujo bus Metro 8-234
Tabla 8-29: Transbordos por estación de Metro, 20 estaciones con más flujo 8-236
Tabla 8-30: Transbordos por paradero, 20 paradas con más flujo 8-238
Tabla 8-31: Comparación de Niveles de servicio (min) 8-238
Tabla 9-1: Resumen Modificaciones 9-243
Tabla 9-2: Frecuencia y capacidad Metro 9-244
Tabla 9-3: Resultados Globales 9-244
Tabla 9-4: Resultados Etapas por Unidad de Negocio 9-246
Tabla 9-5: Transbordos entre Modos 9-246
Tabla 9-6: Etapas de servicios con mayor modificación. 9-257
Tabla 9-7: Comparación de Niveles de servicio (min) 9-264
Tabla 9-8: Frecuencia y capacidad Metro 9-265
Tabla 9-9: Resumen Modificaciones 9-266
Tabla 9-10: Resultados Globales 9-267
Tabla 9-11: Resultados Etapas por Unidad de Negocio 9-267
Tabla 9-12: Transbordos entre Modos 9-268
Tabla 9-13: Comparación de Niveles de servicio (min) 9-279

Tabla 9-14: Resumen Modificaciones 9-279
Tabla 9-15: Resultados Globales 9-280
Tabla 9-16: Resultados Etapas por Unidad de Negocio 9-283
Tabla 9-17: Transbordos entre Modos 9-283
Tabla 9-18: Comparación de Niveles de servicio (min) 9-309
Tabla 9-19: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Caminata 9-310
Tabla 9-20: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Caminata 9-310
Tabla 9-21: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo espera 9-310
Tabla 9-22: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo espera 9-311
Tabla 9-23: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Vehículo 9-311
Tabla 9-24: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Vehículo 9-311
Tabla 9-25: Resumen Modificaciones ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9-26: Frecuencia y capacidad Metro ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9-27: Resultados Globales ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9-28: Resultados Etapas por Unidad de Negocio ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9-29: Transbordos entre Modos ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9-30: Comparación de Niveles de servicio (min) ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9-31: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Caminata ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9-32: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Caminata ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9-33: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo espera ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9-34: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo espera ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9-35: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Vehículo ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9-36: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Vehículo ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 10-1: Escenarios Tarifarios 10-312
Tabla 10-2: Resultados generales 10-313
Tabla 10-3: Etapas por Unidad de Negocio 10-314
Tabla 10-4: Transbordos entre modos 10-314
Tabla 10-5: Viajes 10-315
Tabla 10-6: Tiempos de viaje 10-315
Tabla 10-7: Elasticidades 10-316
Tabla 10-8: Ingresos 10-316
Tabla 10-9: Escenarios Tarifarios 10-317
Tabla 10-10: Resultados generales 10-318
Tabla 10-11: Etapas por Unidad de Negocio 10-319
Tabla 10-12: Transbordos entre modos 10-319
Tabla 10-13: Viajes 10-320
Tabla 10-14: Tiempos de viaje 10-320
Tabla 10-15: Elasticidades 10-321
Tabla 10-16: Ingresos 10-321
Tabla 11-1: Comparación período Fuera de Punta Mañana versus Fuera de Punta Tarde 11-323
Tabla 11-2: Comparación de matriz de una hora representativa versus matriz promedio 11-324
Tabla 11-3: Detalle de las fuentes de información de evasión en modo bus 11-334
Tabla 11-4: Detalle de variación de viajes por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson 11-338
Tabla 11-5: Detalle de matriz actualizada, número de etapas de viaje por operador 11-339
Tabla 11-6: Transbordos entre combinaciones de tipo de transporte 11-340
Tabla 11-7: Nivel de Servicio, matriz OD Punta Mañana 11-340
Tabla 12-1: Modos Modelo de asignación 12-344
Tabla 12-2: Tipos de vehículo modelo de asignación 12-345
Tabla 12-3: Cantidad de nodos y Arcos Red de Modelación Fuera de Punta. 12-346
Tabla 12-4: Zonas y Arcos Acceso 12-347

Tabla 12-5: Cantidad de servicios por modo 12-348
Tabla 12-6: Resumen Estimación Velocidades Arco-Sentido 12-348
Tabla 12-7: Parámetros de asignación 12-352
Tabla 12-8: Estructura Tarifaria Mayo 2017 12-352
Tabla 12-9: Resultados Globales 12-353
Tabla 12-10: Resultados Etapas por Unidad de Negocio 12-356
Tabla 12-11: Transbordos entre Modos 12-357
Tabla 12-12: Comparación de Niveles de servicio (min) 12-367
Tabla 13-1: Parámetros de asignación escenarios de modelación 13-369
Tabla 13-2: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori 13-370
Tabla 13-3: Parámetros de asignación escenarios de modelación 13-371
Tabla 13-4: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori 13-372
Tabla 13-5: Parámetros de asignación escenarios de modelación 13-376
Tabla 13-6: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori 13-379
Tabla 13-7: Ajuste general conteos 13-379
Tabla 13-8: Parámetros de asignación escenarios de modelación 13-380
Tabla 13-9: Resultados Globales 13-380
Tabla 13-10: Resultados Etapas por Unidad de Negocio 13-384
Tabla 13-11: Transbordos entre Modos 13-385
Tabla 13-12: Comparación de Niveles de servicio (min) 13-398
Tabla 14-1: Resumen Modificaciones 14-402
Tabla 14-2: Frecuencia y capacidad Metro 14-403
Tabla 14-3: Resultados Globales 14-403
Tabla 14-4: Resultados Etapas por Unidad de Negocio 14-406
Tabla 14-5: Transbordos entre Modos 14-406
Tabla 14-6: Etapas de servicios con mayor modificación. 14-419
Tabla 14-7: Comparación de Niveles de servicio (min) 14-430
Tabla 14-8: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Caminata 14-431
Tabla 14-9: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Caminata 14-431
Tabla 14-10: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo espera 14-431
Tabla 14-11: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo espera 14-432
Tabla 14-12: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Vehículo 14-432
Tabla 14-13: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Vehículo 14-432
Tabla 14-14: Frecuencia y capacidad Metro 14-433
Tabla 14-15: Resultados Globales 14-434
Tabla 14-16: Resultados Etapas por Unidad de Negocio 14-437
Tabla 14-17: Transbordos entre Modos 14-437
Tabla 14-18: Etapas de servicios con mayor modificación. 14-452
Tabla 14-19: Comparación de Niveles de servicio (min) 14-458
Tabla 14-20: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Caminata 14-459
Tabla 14-21: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Caminata 14-459
Tabla 14-22: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo espera 14-459
Tabla 14-23: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo espera 14-460
Tabla 14-24: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Vehículo 14-460
Tabla 14-25: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Vehículo 14-460
Tabla 14-26: Resumen Modificaciones 14-461
Tabla 14-27: Frecuencia y capacidad Metro 14-462
Tabla 14-28: Resultados Globales 14-463
Tabla 14-29: Resultados Etapas por Unidad de Negocio 14-465
Tabla 14-30: Transbordos entre Modos 14-466
Tabla 14-31: Etapas de servicios con mayor modificación. 14-481

Tabla 14-32: Comparación de Niveles de servicio (min) 14-490
Tabla 14-33: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Caminata 14-491
Tabla 14-34: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Caminata 14-491
Tabla 14-35: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo espera 14-491
Tabla 14-36: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo espera 14-492
Tabla 14-37: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Vehículo 14-492
Tabla 14-38: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Vehículo 14-492
Tabla 14-39: Resumen Modificaciones ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-40: Frecuencia y capacidad Metro ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-41: Resultados Globales ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-42: Resultados Etapas por Unidad de Negocio ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-43: Transbordos entre Modos ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-44: Etapas de servicios con mayor modificación. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-45: Comparación de Niveles de servicio (min) ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-46: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Caminata ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-47: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Caminata ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-48: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo espera ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-49: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo espera ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-50: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Vehículo ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 14-51: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Vehículo ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 15-1: Número de viajes, tarjetas y tasa de viajes por tarjeta, análisis por fecha 15-494
Tabla 15-2: Número y % de viajes según etapas de viaje, análisis por fecha para días laborales 15-495
Tabla 15-3: Boletos Edmonson PM octubre 2017 15-500
Tabla 15-4: Boletos Edmonson FP octubre 2017 15-501
Tabla 15-5: Detalle de variación de viajes por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson 15-506
Tabla 15-6: Detalle de matriz actualizada, número de etapas de viaje por operador 15-508
Tabla 15-7: Transbordos entre combinaciones de tipo de transporte 15-508
Tabla 15-8: Viajes de matrices PM agosto 2017 y noviembre 2017 15-509
Tabla 15-9: Viajes PM totales y deltas edmonson y evasión por comuna, para agosto 2017 y noviembre 2017 15-511
Tabla 15-10: Comparación del número de etapas de viaje por operador, matrices agosto 2017 y noviembre 2017, PM 15-514
Tabla 15-11: Comparación entre el número de transbordos entre combinaciones de tipo de transporte de noviembre y agosto 2017, PM 15-515
Tabla 15-12: Detalle de variación de viajes por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson 15-520
Tabla 15-13: Detalle de matriz FP noviembre actualizada, número de etapas de viaje por operador .. 15-522
Tabla 15-14: Transbordos entre combinaciones de tipo de transporte 15-522
Tabla 15-15: Viajes de matrices FP agosto 2017 y noviembre 2017 15-523
Tabla 15-16: Viajes FP totales y deltas edmonson y evasión por comuna, para agosto 2017 y noviembre 2017 15-525
Tabla 15-17: Comparación del número de etapas de viaje por operador, matrices agosto 2017 y noviembre 2017, FP 15-528
Tabla 15-18: Comparación entre el número de transbordos entre combinaciones de tipo de transporte de noviembre y agosto 2017, FP 15-529
Tabla 18-1: Resultados Globales Punta Mañana ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 18-2: Resultados Globales Fuera de Punta ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Informe Final realizado por la empresa Cityplanning en el contexto del Servicio, requerido por la Secretaría Ejecutiva del Directorio de Transporte Público Metropolitano (en adelante DTPM), que toma el nombre de "Mejoramiento y actualización del modelo de asignación de viajes del sistema Transantiago".

El contexto de este Servicio de Apoyo está dado por la propias funciones de la Secretaría Ejecutiva del Directorio de Transporte Público Metropolitano (en adelante DTPM), en particular la referida a "*Supervisar los contratos, participar en instancias de estudios, análisis y mejoramiento del transporte público.*" *y la de "Proponer a las autoridades del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones estudios, planes de licitación de transporte público y las condiciones administrativas, económicas y financieras de dichas licitaciones, así como también el programa presupuestario que se requiera para el cumplimiento del Plan de Transporte Urbano de donde se deriva el Sistema de Transporte Público de Santiago*".

El objetivo del Servicio es el mejoramiento y actualización del Modelo de asignación de viajes de transporte público desarrollado en plataforma EMME®, para así, apoyar a la autoridad en la toma de decisiones estratégicas asociadas a la definición y ajuste de los planes operacionales que se deben evaluar y sancionar en la DTPM.

Esta sección presenta la metodología general y el diagrama de flujo de trabajo.

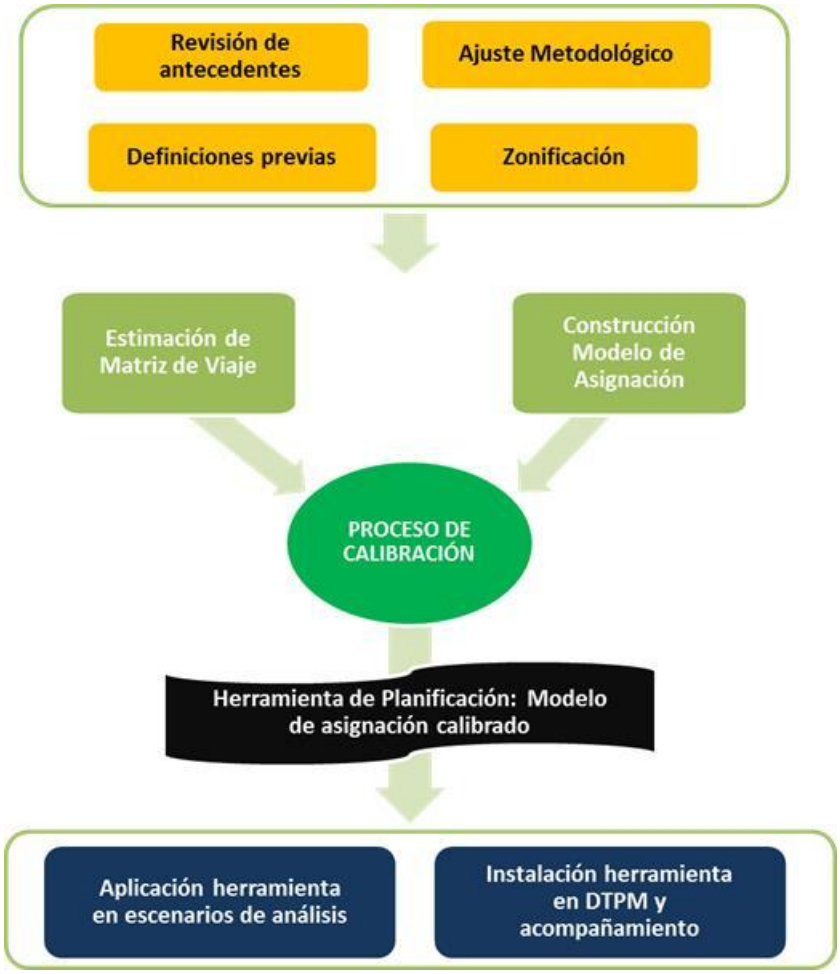
Para cumplir con el objetivo del servicio, se plantea una metodología que considera un conjunto de procesos secuenciales que se inician con la revisión de los antecedentes disponibles de interés, seguida por el análisis y la preparación de la información de entrada (red, oferta y demanda), así como de los datos observados para la fase de calibración-validación. Una vez logrado lo anterior, el modelo es apto para la simulación de escenarios y el personal será capacitado para el uso de la herramienta.

En efecto, a continuación se presenta el marco metodológico general con que el equipo consultor propuso desarrollar el servicio. Para lo anterior, primeramente se plantea hacer una identificación y análisis de las tareas planteadas en las bases de licitación, desde donde surge una clasificación o (des)agregación en Etapas, basadas principalmente en el cumplimiento de los objetivos específicos, las características de las tareas que se deben abordar, las actividades mínimas consideradas en las bases de licitación, entre otros.

Posterior al desarrollo metodológico antes mencionado, fue construido y calibrado un modelo de asignación de transporte público correspondiente al periodo fuera de punta mañana, basado en el modelo de asignación del periodo punta mañana.

El esquema general del estudio y la agrupación en Etapas se muestra en la siguiente figura. En ella se pueden identificar las tareas definidas en las bases de licitación, que han sido agrupadas en 3 Etapas, distinguidas en color en la Figura.

Figura 1-1: Esquema de desarrollo del estudio



Fuente: Elaboración propia

Las etapas identificadas son:

Análisis Inicial: esta primera Etapa abarca la revisión y análisis de los antecedentes existentes listados en el artículo 8° de las bases de licitación y otros que el consultor considere relevantes para el desarrollo del estudio. Además, se muestran las metodologías de calibración de matrices y asignación de viajes disponibles en EMME ®, de modo de exponer a la contraparte técnica claramente cuáles son los supuestos y cómo se estructuran dichos métodos en la herramienta.

Posteriormente, en conjunto con la contraparte, se realiza un ajuste metodológico a la luz de los antecedentes antes revisados y se valida con la contraparte técnica aspectos iniciales del estudio como son la definición del año base, la metodología propuesta para la zonificación y la hora representativa de la modelación, pues son aspectos iniciales necesarios a considerar para comenzar el trabajo conducente al desarrollo de un *Modelo de asignación de viajes en transporte público de buses y metro calibrado para el periodo punta mañana, que como ya se ha mencionado, tendrá su símil para el periodo fuera de punta mañana*.

Desarrollo: esta segunda etapa considera la estimación de las matrices de viajes para los periodos punta mañana y fuera de punta, la construcción de los modelos de asignación que considera: la construcción de las redes de modelación, la automatización que permitirá obtener los inputs de los modelos, así como sus posteriores actualizaciones; y la generación de los procesos necesarios para rescatar los resultados de cada corrida. Dichos procesos son generados de tal manera que se resguarde la necesaria compatibilidad entre un Sistema de Información Geográfica (SIG) estándar, y los modelos de asignación de viajes que fueron implementados, permitiendo, por ejemplo, la exportación automática de archivos entre uno y otro software.

Todo lo anterior entrega los elementos necesarios para desarrollar un proceso de calibración que culmina con modelos de asignación calibrados para los periodos punta mañana y fuera de punta, con un conjunto de procesos y herramientas automatizadas que permiten desarrollar actualizaciones, modelar escenarios y extraer resultados con la mayor eficacia, considerando los plazos acotados del proceso de generación y aprobación de los Programas de Operación.

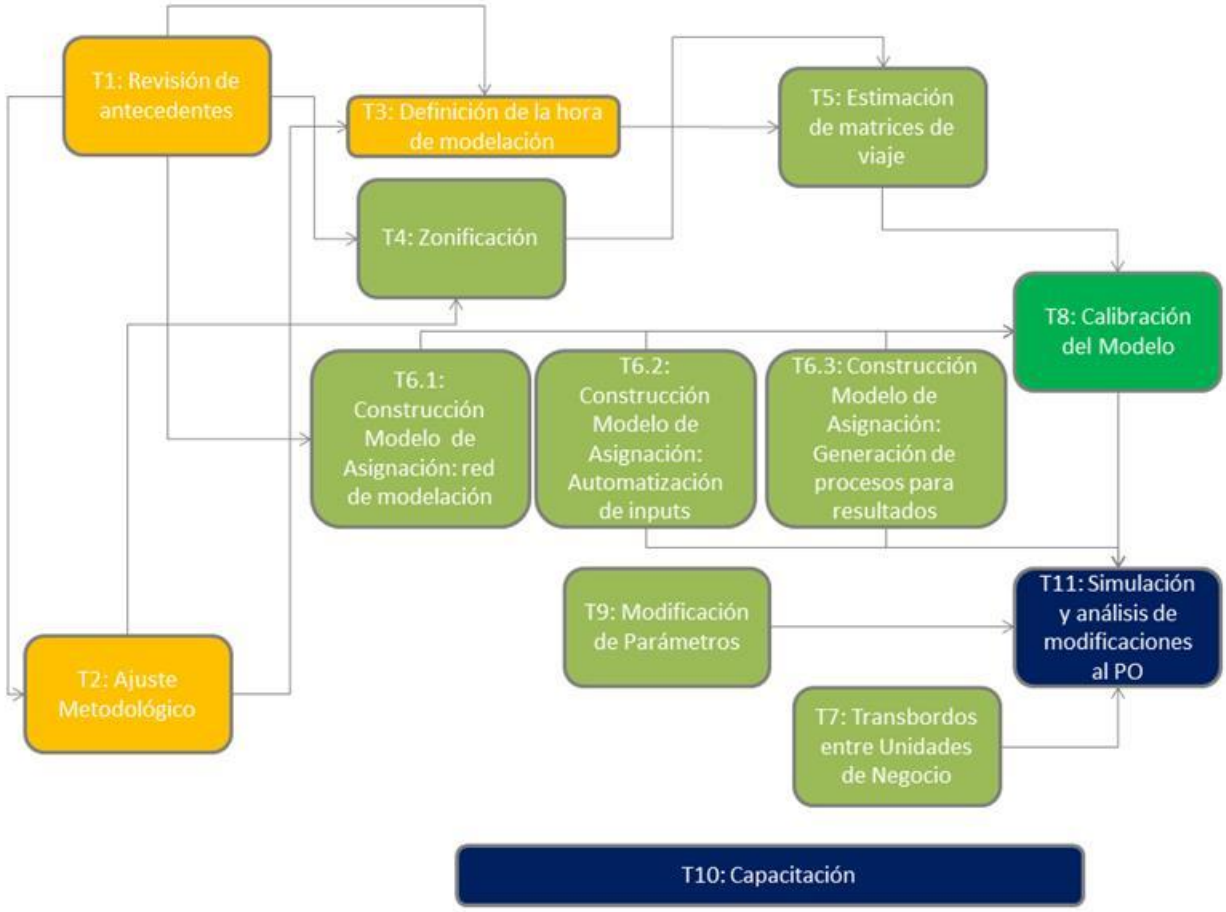
Cabe destacar que, como proceso adicional asociado a uno de los objetivos específicos adicionados, se propuso dejar preparados los archivos para la incorporación de un tercer modo al sistema de transporte público mayor, como podría ser el modo tranvía, el teleférico o el modo tren. Sin embargo, este tercer modo fue incorporado en el desarrollo del presente estudio, quedando así el modo metrotren como parte del sistema de transporte público modelado.

Ejecución e implementación: esta tercera etapa del estudio considera la aplicación de la herramienta a distintos escenarios de análisis a acordados con la contraparte técnica, y el desarrollo de un proceso de transferencia tecnológica que considera la instalación de la herramienta al DTPM, capacitación de sus profesionales.

Durante esta etapa se propuso adicionalmente a lo solicitado en las bases de licitación, aumentar la cantidad de escenarios a evaluados, los que fueron definidos por la contraparte técnica.

En el siguiente diagrama se puede ver la relación que tienen las tareas involucradas en el estudio.

Figura 1-2: Diagrama de Tareas Contrato Original



Fuente: Elaboración Propia

Los recientes cambios que ha experimentado el Sistema de Transporte Público Metropolitano, como el nuevo servicio Nos-Express y la mejora de oferta de Metrotren y su integración al sistema Transantiago; así como la puesta en marcha de la Línea 6 de Metro y la eliminación del boleto Edmondson; sumado a la pronta puesta en Marcha de la Línea 3 de Metro, hicieron recomendable realizar ajustes metodológicos y actualizaciones no consideradas en el contrato inicial, pero necesarias para que el Modelo de Asignación a ser entregado no esté obsoleto, y sea efectivamente útil en el proceso de planificación y mejoramiento de la red de servicios de transporte. Producto de esto, se procedió a generar una modificación contractual que considera las siguientes actividades adicionales:

i. Repetición de la estimación de matriz de viajes punta mañana con información de estimación de bajada de Agosto de 2017
ii. Actualización de la Rezonificación a la luz de la información de Agosto de 2017.
iii. Generación de Matriz de viajes con L6 funcionando (PMA y FP)
iv. Incorporación de L3-L6 de Metro (PMA y FP)
v. Actualización PO vigente (PMA y FP)

vi. Simulaciones de Escenarios adicionales a aplicar en punta y fuera de punta. Los escenarios evaluados finalmente en este contexto en ambos periodos fueron:
   - E1: Evaluación PO Julio 2018 + Línea 3 de Metro + Corredor Independencia.
   - E2: E1 + Ajuste de Malla de Buses por operación de Línea 3 de Metro.

El presente informe corresponde a la última entrega de la asesoría, donde se consolida el desarrollo de las tareas desarrolladas a lo largo del desarrollo del estudio para cumplir con los objetivos requeridos por el mandante.

Este informe se conforma por los siguientes capítulos:

- Recopilación de antecedentes
  - Revisión Bibliográfica
  - Revisión de Bases de Datos
- Ajustes Metodológicos
  - Hora de Modelación
  - Zonificación
  - Validación de Resultados
- Definición de la Hora de Modelación
- Zonificación
- Estimación de la Matriz de Viajes
- Construcción Modelo de Asignación Punta Mañana
- Calibración Modelo Asignación Punta Mañana
- Escenarios de Modelación Punta Mañana
- Escenarios de Modelación Punta Mañana con Cambios Tarifarios
- Estimación Matriz Fuera de Punta
- Construcción Modelo Fuera de Punta
- Calibración Modelo Fuera de Punta
- Escenarios de Modelación Fuera de Punta
- Estimación de Matriz de Viajes con Línea 6 – Noviembre 2017
  - Matriz de Viajes Punta Mañana
  - Matriz de Viajes Fuera de Punta
- Modificación de los parámetros de operación
  - Automatización de Inputs
  - Proyecto EMME
  - Automatización de Resultados
- Capacitación
- Conclusiones y recomendaciones

2 RECOPILACION DE ANTECEDENTES

La revisión de antecedentes realizada en el desarrollo de este estudio se concentró en identificar, caracterizar y diagnosticar la pertinencia y calidad de la información disponible para caracterizar el sistema de transporte público de la ciudad de Santiago.

Como consecuencia, la revisión de los antecedentes fue posible ajustar la metodología de manera de adaptarla a los datos disponibles y a su calidad, lo que será abordado en el capítulo 3 del presente informe.

En el caso del presente proyecto, la obtención del Modelo de Asignación de Viajes de Transporte Público de Santiago en el Periodo de Punta Mañana exige un conjunto de tareas que, de manera general están relacionadas con la generación de la red, la introducción de la oferta disponible en ese periodo, la introducción de la demanda y su comportamiento como usuario, así como la calibración y validación del modelo con datos observados.

En consecuencia, fue imperativo analizar los estudios, investigaciones y datos que guardan relación con los anteriores aspectos, previo a la aplicación de la metodología diseñada en cada tarea. Complementariamente, este capítulo presenta un análisis cualitativo de los datos en cuanto a sus características de naturaleza, recolección, cuantía y antigüedad que concluyen la idoneidad de la información. Los análisis en detalle necesarios para la ejecución de las diversas tareas fueron expuestos en cada sección correspondiente a la propia tarea.

Bajo las anteriores consideraciones, el capítulo que se presenta a continuación se estructura en dos secciones:

- Revisión bibliográfica: se describe la metodología de estudios anteriores e investigaciones con el fin de identificar los aportes metodológicos que pudieran considerarse en este proyecto, así como los principales resultados y conclusiones que pudieran servir como punto de partida y/o de comparación en alguna de las tareas del mismo.
- Revisión de las bases de datos: se presentan las características de los datos que de alguna manera tienen incidencia en el uso que se hará de ellos en el contexto del presente proyecto, en el diseño de las metodologías o incluso en la interpretación de resultados o conclusiones.

2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 "Análisis estratégico para el mejoramiento del sistema de transporte público de la ciudad de Santiago." Coordinación Transantiago – FDC, 2010.

En el contexto de este estudio, se realizaron 3 Órdenes de Trabajo que se describen a continuación:

a) Orden de Trabajo N1

En esta primera Orden de Trabajo, se actualizaron las variables operacionales (trazados, frecuencias, tarifas, capacidades) del Modelo DIRTP (modelo de DISEÑO del sistema de transporte público) proveniente de un estudio previo a las características vigentes en el 13° Plan de Operaciones de Marzo 2010. En el contexto de este trabajo se densificó la red en algunos sectores y se desagregó la matriz existente.

b) Orden de Trabajo N2:

El objetivo de esta orden de trabajo fue generar una matriz de viajes en transporte público más actualizada (año 2010) y con mayor nivel de desagregación espacial en sectores específicos, que la que estaba disponible y que representaba la situación probable de demanda al año 2007.

En términos generales, la metodología para la construcción de la nueva matriz toma como base inicial, la matriz observada del año 2001 (que fue obtenida de una encuesta masiva a usuarios de buses y metro) y sobre ésta se estructuran una serie de procedimientos de proyección para obtener las matrices al año 2010 y 2015: i) proyección de crecimiento derivada de modelaciones realizadas con ESTRAUS para los períodos 2001 – 2010 y 2001 – 2015; ii) enriquecimiento de la zonificación y los viajes en la periferia de la ciudad a través de información de conteos en paraderos proporcionados por Transantiago, y otros conteos disponibles; e iii) uso de la metodología de estimación de matrices de viajes en transporte público para obtener la matriz final. Esta última consideró como matriz a priori, la matriz construida por los procedimientos enumerados en puntos i e ii, más conteos de buses y metro.

Finalmente se procedió a asignar la matriz en el modelo DIRTP y se reportaron los resultados de manera comparativa con los obtenidos en la OT anterior y con información proveniente del Mandante.

La desagregración de las zonas generada en el contexto de este estudio corresponde a la "zonificación 777" que tiene 847 zonas, que es utilizada hasta hoy para efectos de agregación de distintos análisis en DTPM.

c) Orden de Trabajo N3:

Como primer trabajo, de esta Orden de Trabajo, se reportan los principales resultados del análisis de distintas estructuras tarifarias del sistema de transporte público de Santiago (Transantiago). Estas estructuras tarifarias fueron proporcionadas y definidas por la Contraparte Técnica y consideran tarifas diferenciadas por tipo de servicio (buses alimentadores, buses troncales y metro) y tarifas de transbordo, ya sea entre distintos tipos de servicio como también entre distintas líneas de un mismo tipo de servicio.

Además, se realizaron simulaciones de modificación del parámetro asociado a la penalidad de transbordo usando, como punto de partida, las redes de la Orden de Trabajo N°2, con el objetivo e reproducir de mejor manera el número de Bips promedio.

Para ello, en una primera instancia se redujo el valor asociado a la penalidad de transbordo (PT), obteniéndose un número de Bips promedio por viaje muy similar al valor observado (1,48 modelado versus 1,52 observado) para un valor PT de 5 minutos. Sin embargo, este incremento en el número promedio de BIPS/viaje no produjo un impacto significativo en términos de la relación de BIPS en servicios alimentadores y troncales. En efecto, mientras la relación (n° etapas troncales/n° etapas alimentadores) observada era de 1,8, ésta se mantuvo en torno al valor 3, en todas las simulaciones realizadas.

Por otro lado, el informe menciona que no se cuenta con el valor promedio observado de Bips por viaje corregido por la evasión. Si se considera que el número promedio de BIPS/viaje evadido debería ser menor que 1,52 (es muy probable que, entre los viajes evadidos, el número de ellos con una sola etapa sea mayor que para los viajes validados). Dado lo anterior, indican que se podría considerar que la estimación de 1,48 BIPS/viaje (modelado) es razonable.

Como parte del trabajo se eliminaron los viajes inyectados que se producen desde y hacia zonas externas. Si bien esto tuvo un efecto en disminuir el número de etapas en los servicios troncales, también generó una reducción del número de etapas en alimentadores, y no produjo modificación alguna del número promedio de BIPS/viaje, además de desmejorar los perfiles de carga de metro (especialmente los de la Línea 1).

Finalmente, al combinar la eliminación de viajes que se producen desde y hacia zonas externas con un valor de penalidad de transbordo de 5 minutos, el número promedio de BIPS/viaje sigue siendo 1,48 (el mismo que al usar PT = 5 y con viajes externos) y las diferencias entre porcentajes de etapas de viaje por Unidad de Negocio empeoran respecto de la situación PT=10 y sin viajes externos. A partir de las pruebas realizadas, es posible concluir que, si bien éstas permitieron ajustar algunos indicadores, en particular el número promedio de BIPS/viaje, no fue posible mejorar la proporción de etapas en cada tipo de servicio (alimentador, troncal) entregada por el modelo. El problema de la subestimación de los viajes de servicios alimentadores en las modelaciones proviene, principalmente, del nivel de agregación de las zonas de DIRTP. Un número importante de viajes que en la realidad se realizan en alimentador, en las modelaciones corresponden a viajes de caminata en los arcos de acceso que conectan el centroide de la zona hasta el paradero. Al llegar al paradero, circulan alimentadores y troncales y, dado que estos últimos generalmente presentan una

mayor frecuencia (y también una mayor capacidad), los usuarios tienden a preferir estos servicios. Se concluye así **que la única manera de mejorar este problema, es desagregar aquellas zonas en las cuales se produzca este efecto.**

Finalmente, se realizó una comparación utilizando modelaciones basadas en el uso de DIRTP (modelo de DISEÑO del sistema de transporte público), para el Período Punta Mañana usando, por un lado, la matriz de viajes generada en la Orden de Trabajo N°2 antes descrita y, por otro lado, la matriz de viajes entre paraderos reportada en el estudio de la empresa LOGIT a partir de información de Bips.

Específicamente, la matriz de viajes generada por la empresa LOGIT correspondió a una matriz de viajes que se producen entre paraderos utilizando el algoritmo de estimación de bajada reportado por Munizaga y Palma (2012) y corregida por evasión, la que fue agregada a la zonificación definida en la red DIRTP (847 zonas) para efectos de asignación y comparación.

El análisis consideró dos modelaciones basadas en el uso de DIRTP, para el período Punta Mañana: una primera modelación usando la matriz generada en la Orden de Trabajo N°2 y una segunda modelación, utilizando la matriz de viajes entre paraderos.

El análisis de las matrices de viaje (matriz generada en la OT2 y matriz de viajes generada por la empresa LOGIT y agregada a la zonificación DIRTP), permitió concluir que, si bien a nivel de total de viajes son muy diferentes (604.000 viajes versus 468.000, respectivamente) las estructuras son similares.

2.1.2 "Modelación y optimización del sistema de transporte público de Santiago." LOGIT, 2011.

El estudio se constituyó en dos fases a saber:

- Fase I. Red de oferta y matrices de demanda del sistema, calibración del modelo de transporte y recomendaciones de ajuste operacional:
- Fase II. Evaluación operacional y financiera de escenarios

La Fase II no tiene relación directa con el presente estudio, por lo que no será descrita. Por su parte, dentro de las tareas de la Fase I se detalla lo siguiente:

- Perfiles de carga en las rutas del sistema y matrices origen-destino
- Recomendaciones de ajustes de planes operacionales
- Red de modelación calibrada para punta mañana
- Red de modelación calibrada para punta tarde y entrepunta

Las matrices del estudio fueron generadas a partir de información de bips de marzo 2009. La estimación de paradero de bajada fue un desarrollo realizado a partir de una versión preliminar de la metodología de Munizaga y Palma (2012) y corregida por diferentes factores por el consultor. Dicha matriz fue agregada a la zonificación generada para el efecto.

La zonificación contiene 2916 zonas, como conjunto de paraderos.

Asimismo, se desarrollaron y calibraron modelos para punta mañana, fuera de punta y punta tarde en la herramienta EMME. Para el caso de punta mañana, el modelo fue mejorado y dispuesto en la web de DTPM en el 2011.

El objetivo de la modelación Punta Mañana era la asignación de pasajeros a cada uno de los servicios que componían el transporte público mayor de la ciudad, es decir, en este modelo se consideró:

- ✓ Malla de Servicios ofrecidos por metro y buses
- ✓ Matriz que dé cuenta de los viajes en la hora más cargada de la punta mañana
- ✓ Tarifas

Este modelo de asignación de viajes corresponde a un modelo de asignación de equilibrio de transporte público, que considera la restricción de capacidad de los vehículos. El área de estudio está comprendida por las zonas de los servicios troncales, alimentadores y metro de la ciudad de Santiago. Fue aplicado para la Punta Mañana en el corte temporal Marzo 2011 y contiene las siguientes características.

La **Red Vial** caracterizada por arcos y nodos y la malla de servicios ingresada se muestran en las Tablas a continuación.

Tabla 2-1: Características de la Red Vial EMME 2011 – TS

Modo	Elemento	Modelo	Plan Marzo 2011
Bus	Arcos Red Vial	54.890	-
	Arcos Acceso (Zona-Parada)	24.221	-
	Nodos Red	19.877	-
	Nodos Conectores (Paradas)	12.060	10.704
Metro	Arcos Red Metro	398	-
	Arcos Acceso (Zona-Estación)	246	-
	Arcos Transbordo Metro	280	-
	Nodos Red Metro	216	-
Bus - Metro	Arcos de Transbordo Bus – Metro	4.960	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-2: Características de los Trazados EMME 2011 – TS

Modo	Elemento	Modelo	Plan Marzo 2011
Bus	Servicios	692	689
	Paradas por Servicio	27.949	28.524
	Nodos Conectores (Paradas)	12.059	10.704
Metro	Líneas	24	24
	Estaciones por Línea	414	362
	Arcos Red Metro	398	398

Fuente: Elaboración propia

Las frecuencias correspondían a Marzo 2011 y la capacidad fue reducida según la capacidad real de los buses.

La **demanda** del periodo Punta Mañana en el modelo de EMME, está caracterizada a partir de una matriz que contiene 2.916 zonas. Cada una de estas zonas representa un conjunto de paradas y/o estaciones de acceso al sistema de transporte público modelado. En promedio cada zona representa 4 paradas. Sin embargo, existen zonas que representan solo 1 parada, mientras que hay otras que pueden llegar a representar 15 paradas y/o estaciones de acceso.

Por su parte, la matriz tiene un total de 525.373 viajes/hora, cuya distribución tanto de origen, como de destino se muestra a continuación.

Figura 2-1: Distribución de Orígenes y Destino Matriz Modelo Marzo 2011 EMME – TS



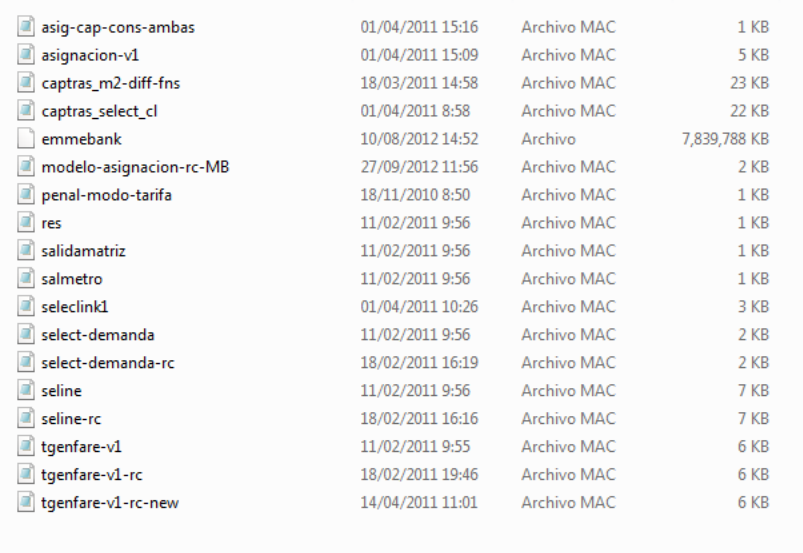
Fuente: Elaboración propia

La matriz de viajes Origen-Destino utilizada en el modelo, es una base que fue creada con información del año 2009, obtenida a partir de la distribución espacial de los "bips" realizados por los usuarios en Punta Mañana. La información anterior fue procesada, de manera de considerar la evasión existente en el sistema. **Por lo anteriormente expuesto es que esta matriz refleja la dinámica de los inicios y fines de viaje dentro del sistema de transporte público, y no necesariamente la movilidad de los usuarios desde el lugar de origen inicial y destino final de su viaje.**

El modelo de asignación que dispone actualmente el DTPM utiliza el método CAPTRAS para realizar la asignación de la matriz de viajes al sistema modelado, considerando la restricción de capacidad de los vehículos. Este método corresponde a una asignación de equilibrio que considera el disconfort de los usuarios en los vehículos, utilizando funciones de congestión en el vehículo (CONGTRAS). El algoritmo usado para obtener los flujos de pasajeros corresponde al Método de Promedios Sucesivos (Method Succesive Averages - MSA).

En particular, en el modelo que dispone actualmente el Mandante, la asignación se realiza a partir de una serie de macros anidadas. Estas macros se van ejecutando secuencialmente y tienen por objetivo, caracterizar los costos del sistema, definir funciones de velocidad en la red, asignar con restricción de capacidad (CAPTRAS) y generar una serie de reportes con los principales resultados obtenidos.

Figura 2-2: Macros de Asignación Modelo Actual



asig-cap-cons-ambas	01/04/2011 15:16	Archivo MAC	1 KB
asignacion-v1	01/04/2011 15:09	Archivo MAC	5 KB
captras_m2-diff-fns	18/03/2011 14:58	Archivo MAC	23 KB
captras_select_cl	01/04/2011 8:58	Archivo MAC	22 KB
emmebank	10/08/2012 14:52	Archivo	7,839,788 KB
modelo-asignacion-rc-MB	27/09/2012 11:56	Archivo MAC	2 KB
penal-modo-tarifa	18/11/2010 8:50	Archivo MAC	1 KB
res	11/02/2011 9:56	Archivo MAC	1 KB
salidamatriz	11/02/2011 9:56	Archivo MAC	1 KB
salmetro	11/02/2011 9:56	Archivo MAC	1 KB
seleclink1	01/04/2011 10:26	Archivo MAC	3 KB
select-demanda	11/02/2011 9:56	Archivo MAC	2 KB
select-demanda-rc	18/02/2011 16:19	Archivo MAC	2 KB
seline	11/02/2011 9:56	Archivo MAC	7 KB
seline-rc	18/02/2011 16:16	Archivo MAC	7 KB
tgenfare-v1	11/02/2011 9:55	Archivo MAC	6 KB
tgenfare-v1-rc	18/02/2011 19:46	Archivo MAC	6 KB
tgenfare-v1-rc-new	14/04/2011 11:01	Archivo MAC	6 KB

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describen las macros usadas en el proceso actual de asignación:

Macro base: modelo-asignacion-rc.mac

La corrida del modelo de asignación con consideraciones de capacidad se realiza a través de esta macro. Esta macro gobierna el proceso completo de asignación.

Ejecución ~<**modelo-asignacion-rc.mac**

Macro: asignacion-v1.mac

Esta macro es parte de la macro base y realiza la corrida del modelo basado en estrategias, sin restricción de capacidad.

Ejecución: ~<asignacion-v1.mac mf22 500 580 0 80 0

La macro requiere de 6 parámetros, de demanda y tarifas:

%1% matriz de demanda Punta Mañana
%2% Tarifa de bus en Pesos
%3% Tarifa de metro en Pesos
%4% Tarifa transferencia bus - bus
%5% Tarifa transferencia bus - metro
%6% Tarifa transferencia metro - bus

Macro: penal-modo-tarifa.mac

Establece el cálculo de tiempo de viaje en la variable ul2 para el modo tarifa "i".

Ejecución: ~<penal-modo-tarifa.mac

Macro: tgenfare-v1.mac

Esta macro corre sobre una copia del escenario asignado sin restricción de capacidad, su función es calcular los siguientes parámetros de costo generalizado:

- Embarques del sistema
- Embarques metro
- Embarques bus
- Demanda total sin transferencia
- Tasa de transbordo
- Pasajeros en metro sin transferencia
- Tarifa media pesos
- Tiempo medio de viaje en vehículo (min)
- Tiempo medio de caminata (min)
- Tiempo medio de espera (min)
- Distancia media de viaje en vehículo (km)
- Velocidad media en vehículo

Ejecución: ~<tgenfare-v1.mac mf22 2

La macro requiere dos parámetros:

~/ %1% matriz viajes transporte público hora punta am
~/ %2% ~# Penalidad de caminata r21=2

Macro: salidamatriz.mac

Incluida dentro de la macro anterior. Exporta las matrices de viajes y de tarifas.

Ejecución: ~<salidamatriz.mac %1% tarifasmatpub%s%.txt

%1% matriz de viajes
%2% salida de matriz de tarifas

Macro: seline.mac

Esta macro, distribuida por INRO, se usa para calcular la demanda de metro sin transferencia, requiere de 3 parámetros: matriz, selección del modo y matriz de resultados.

Ejecución: ~<seline.mac mf22 mod=m mf99

Incluye 3 argumentos:
%1%: matriz de viajes
%2%: modo para el cual se va a calcular la demanda; m = metro
%3%: matriz auxiliar para guardar las iteraciones, ésta debe existir en el banco de datos.

Macro: select-demanda.mac

Usada para determinar los tipos de transbordos que se dan en el sistema.

Ejecución: ~<select-demanda.mac mf22

Incluye 1argumento:
%1% : matriz de viajes

Macro: asig-cap-cons-ambas.mac

La segunda parte del proceso es la asignación con consideración de capacidad de transporte. Ésta es realizada en una copia del escenario asignado sin restricción de capacidad. La macro requiere de dos parámetros, la matriz de demanda y la penalidad de caminata:

Ejecución: ~<asig-cap-cons.mac mf22 2

Macro: ~captras_m2-diff-fns.mac

Esta macro está incluida dentro de la macro anterior. Su función es realizar la asignación con consideración de capacidad. La forma base de esta macro es distribuida por INRO (www.inro.ca).

Ejecución: ~<captras_m2.mac 01 15 0.0001 %1% * @penal 2 %2% %ms1%

Argumentos:
%1% selección de opción de asignación
%2% número de iteraciones
%3% parámetro de convergencia
%4% matriz de viajes
%5% penalización en nodos
%6% peso de tiempo de espera
%7% peso de tiempo de caminada
%8% valor de tiempo en min/pesos

Macros: res.mac y salmetro.mac

Estas macros generan salidas básicas del modelo de asignación. La primera macro genera la tabla resumen del modelo de asignación con las variables básicas de embarques, tiempo, longitudes y carga máxima por ruta.

La macro "salmetro.mac" realiza una estimación de la demanda de metro por estación tomando valores directamente de la red.

Macros: ~<tgenfare-v1-rc.mac, seline-rc.mac y select-demanda-rc.mac

De la misma forma que para la asignación por estrategias sin restricción de capacidad, existe la versión de macros de cálculo de parámetros con consideración de capacidad de transporte. En este caso, las macros tienen dos letras adicionales "-rc" que significa restricción de capacidad.

La utilización de estas macros es similar, en términos generales ellas usan el parámetro de intervalo percibido "@phdwy" en vez del intervalo básico de ruta hdwy.

A continuación un resumen de Resultados de la Asignación base marzo 2011 TS:

Tabla 2-3: Resumen de Etapas, Escenario EMME TS Marzo 2011

Etapas (subidas)	Escenario Base
Etapas Totales	902.660
Total Etapas Asignadas Bus	550.988
- Total Etapas Troncal	373.412
- Total Etapas Alimentador	177.576
Total Etapas Asignadas Metro	351.672

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-4: Niveles de Servicio, Escenario EMME TS Marzo 2011

Indicadores Niveles de Servicio	Valor
Tiempo Medio de Viaje en Vehículo (min)	32,19
Tiempo Medio de Espera (min)	8,47
Tiempo Medio de Caminata (min)	5,39
Tiempo Medio de Viaje Total (min)	46,04
Tiempo Total de Viaje en vehículo (hrs.)	281.819
Tiempo Total en Espera (hrs.)	74.144
Tiempo Total en Caminata (hrs.)	47.174
Tiempo Total de Viaje Sistema (hrs.)	403.138
Carga Promedio del Sistema	0,293
N° Líneas (sentido) de Buses con sobrecarga	11
N° Líneas (sentido) de Metro con sobrecarga	-
Participación de las Líneas con Sobrecarga	1,5%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-5: Resumen de Etapas por Unidad de Negocio, Escenario EMME TS Marzo 2011

Unidad de Negocio	Etapas (subidas)	Kilómetros
T1	75.031	10.882
T2	105.270	16.041
T3	33.029	6.491
T4	105.606	18.340
T5	54.476	9.271
B	20.649	4.516
C	15.548	4.158
D	14.266	3.608
E	16.177	2.930
F	35.620	5.452
G	16.326	4.253
H	10.694	2.086
I	30.745	5.951
J	17.551	4.565
Metro	242.699	4.849

Fuente: Elaboración propia

Cityplanning ha utilizado desde el 2012 el modelo con estas macros de asignación. Sin embargo, en los últimos años el software ha presentado una serie de mejoras que permiten por ejemplo, la extracción directa de resultados desde una asignación con restricción de capacidad, o definir un sistema tarifario integrado sin la necesidad de construir arcos a los que asociar las tarifas, entre otros.

Las mejoras que la herramienta EMME ha desarrollado hasta ahora permiten definir un proceso de asignación como una compilación de herramientas disponibles, sin la necesidad de utilizar macros externas al programa. Esto genera un proceso más intuitivo, mejora en los tiempos de procesamiento, y minimiza los riesgos de la intervención de los usuarios en la herramienta de asignación.

2.1.3 "Elaboración de indicadores de desempeño del sistema de transporte público de Santiago." Coordinación Transantiago – DICTUC, 2010.

Este estudio ejecutó un total de 10 Órdenes de Trabajo que tenían por objetivo recolectar información operacional del sistema.

En este contexto, se realizaron dos tipos de trabajos:

- Medición de niveles de servicio en paradas y zonas pagas, tiempos de viaje entre pares OD para dos cortes temporales
- Medición de evasión y perfiles de carga por servicio para todos los servicios del sistema.

El desarrollo de las mediciones de niveles de servicio en paraderos y zonas pagas, e indicadores de tiempos de viaje se realizó en cortes desde el año 2008 hasta noviembre de 2012, permitiendo con ello tener una evolución de dichas variables en el sistema.

El objetivo principal de las tareas de esta Orden de Trabajo, es caracterizar los servicios de todas las Unidades de Negocio del sistema. El objetivo general de este estudio fue construir el perfil de carga de distintos servicios de buses de Transantiago en ciertos periodos del día laboral (6:30 y las 20:30), y realizar una estimación del nivel de evasión de la Unidad de Negocio. **Esta información constituye una fotografía de todo el sistema en términos de su ocupación, evasión, perfiles de carga para todo el día, siendo su fecha de actualización el único problema.**

2.1.4 "Calibración de los parámetros de atractividad de Metro." Sectra, 2010.

Este estudio data de 2011 y fue encargado por la Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA) a Steer Davies Gleave con el objetivo de "mejorar la representación de la mayor valoración del modo Metro frente a Bus que tienen los usuarios, en relación a los aspectos no cuantificables del viaje, como son la comodidad, seguridad, confiabilidad, etc.". Dicha percepción diferente del usuario según el modo que utiliza, se introdujo en el modelo estratégico de cuatro etapas para la ciudad de Santiago en el software ESTRAUS, a través de parámetros de atractividad a los modos bus y metro, en este caso diferentes para cada línea de metro y período horario, y proporcionales a la longitud de los viajes (medidos en minutos por kilómetro). De esta manera, en el proceso de asignación, la elección entre bus y metro considera la diferente atractividad según las posibilidades que ofrece cada viaje.

Como criterio de calibración de tales parámetros se exigió la reproducción de los viajes en modo metro y del número de etapas acorde con la realidad del momento. En términos de la demanda observada de metro, por un lado se calibró con los datos de afluencia de metro por estación, los cuales no están desagregados por sentido. Alternativamente, se calibró a partir de las cargas por línea-sentido.

Para la calibración de los parámetros se dispuso de dos fuentes de información de demanda de metro, lo que dio lugar a sendas funciones objetivo:

- La afluencia de pasajeros por estación. Esta fuente no disgrega por sentido y no considera los transbordos, y los valores son comparados en la función objetivo con las subidas por estación que estima el modelo en cada asignación del proceso iterativo.
- Las cargas de pasajeros por arco, línea y sentido. Esta información es comparada en cada iteración con los flujos resultantes de la asignación del modelo estratégico.

En ambos casos se disponía del dato segregado por período horario: punta mañana y punta tarde. Por otro lado, las dos redes de simulación disponibles para el estudio representaban el año 2010; el caso punta mañana partía del modelo DIRTP con 847 zonas considera la línea 5 de Metro hasta Maipú, lo que no está considerado en la punta tarde, que además proviene del modelo MAITE con 630 zonas.

Tras la descripción de los datos disponibles de demanda de metro se actualizaron a 2011 las redes de simulación en los siguientes aspectos:

- Servicios de metro por línea.
- Extensión de la línea 5 hasta Maipú en el período punta tarde.

- Frecuencias y capacidades por línea, sentido y servicio de metro.
- Tarifas de bus y metro en los horarios simulados.

Para poder comparar el impacto del paso de una constante de atractividad única para metro a parámetros por línea y sentido proporcionales a la longitud del viaje, en cada período se simuló sobre la red actualizada en primer lugar la constante de atractividad de la versión antigua del modelo.

Como parte del estudio, el consultor desarrolló el proceso de estimación de los parámetros de atractividad a partir de un algoritmo iterativo de optimización de la función objetivo en cada caso derivadas de las dos fuentes de información mencionadas disponibles. El proceso de calibración diseñado sigue el algoritmo de Hooke & Jeeves y parte de unos valores iniciales de los parámetros, los cuales varían iterativamente. En cada actualización se efectúa la asignación que permite evaluar la función objetivo. Las dos funciones objetivo evalúan las diferencias cuadráticas o absolutas (según se le indique al programa) entre los valores observados y los estimados. En el caso de la afluencia a metro se computan los valores por estación de metro y también en las estaciones de metrotrén entre Alameda y Nos. Por otro lado, los diversos servicios ofertados por línea fueron codificados separadamente. En el caso de la calibración basada en las cargas por arco, se procesó la información para repartir los valores entre los servicios expresos con secuencia de estaciones no consecutivas y, alternativamente, para agregar la demanda de aquellos servicios que sirven a un mismo conjunto de estaciones.

Se probaron distintas calibraciones. Además de la mencionada con la constante de atractividad del modelo antiguo, se probaron parámetros asociados a la longitud del viaje pero únicos por línea. Se observó un comportamiento significativamente diferente por sentido en la línea 4A y se probó a calibrar con un parámetro por sentido, lo que llevó a un mejor ajuste.

La introducción de parámetros de atractividad proporcionales a la longitud del viaje mejoró el ajuste de la demanda modelada con respecto a los valores observados en comparación con el modelo original, que asumía un valor constante de atractividad. Por otro lado, tras el cambio a los nuevos parámetros se obtuvieron los siguientes resultados:

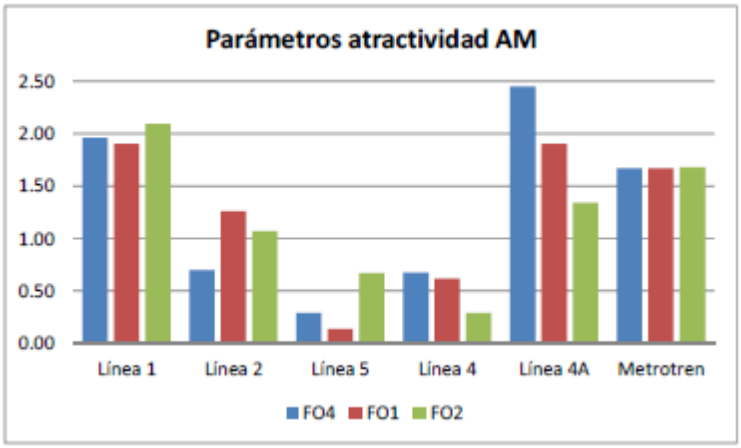
- Como era de esperar, la longitud promedio de viaje resultante de la simulación es mayor que en el caso anterior de una atractividad constante.
- El tiempo de acceso promedio es menor en todas las simulaciones probadas con los nuevos parámetros en comparación con el modelo con la atractividad constante.
- El tiempo de acceso promedio es mayor en todas las simulaciones probadas con los nuevos parámetros en comparación con el modelo con la atractividad constante.
- La velocidad media de viaje es más baja en todas las simulaciones probadas con los nuevos parámetros en comparación con el modelo con la atractividad constante.

Como conclusión de interés en el marco de este proyecto se tiene que la asociación de la longitud del viaje a la atractividad del modo metro mejora el ajuste de la demanda modelada con respecto a la observada. El resto de conclusiones están asociadas a los

propios valores de parámetros obtenidos en las simulaciones con el fin de identificar las líneas y períodos más o menos atractivos para la demanda de metro.

- Parámetros de atractividad obtenidos para el período AM por línea según la función objetivo (afluencias absolutas (FO4), afluencias cuadráticas (FO1) o cargas cuadráticas (FO2)):

Figura 2-3: Parámetros de atractividad Punta Mañana

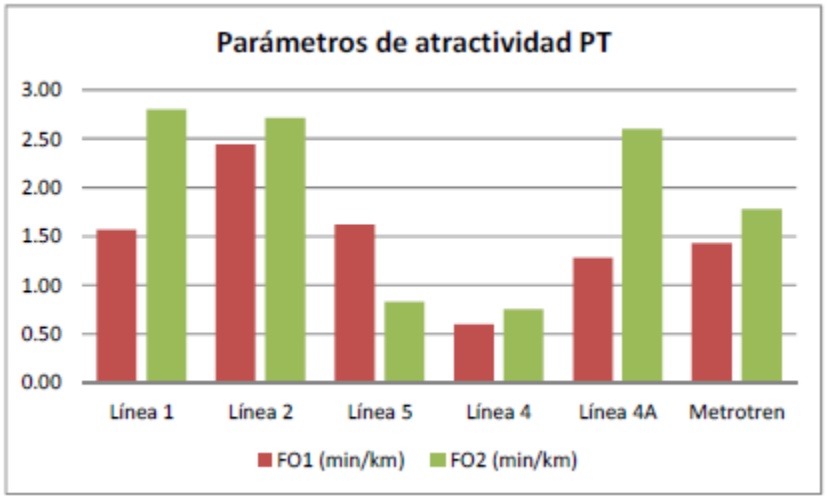


Fuente: "Calibración de los parámetros de atractividad de Metro." Sectra, 2010

Las líneas 1 y 4A son las más atractivas y las líneas 4 y 5 las menos, según los parámetros obtenidos de las simulaciones.

- Parámetros de atractividad obtenidos para el período PT por línea según la función objetivo (afluencias cuadráticas (FO1) o cargas cuadráticas (FO2)):

Figura 2-4: Parámetros de atractividad Punta Tarde

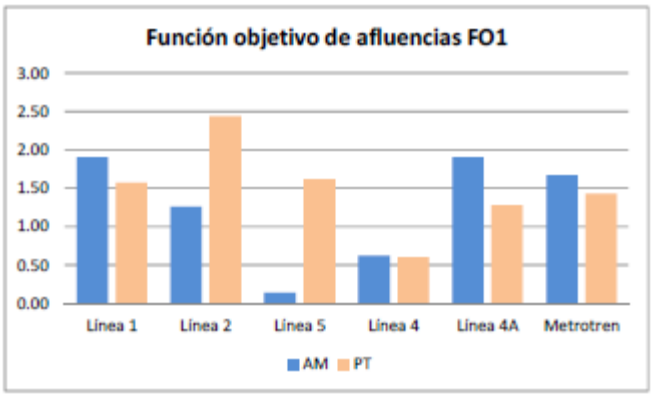


Fuente: "Calibración de los parámetros de atractividad de Metro." Sectra, 2010

En PT la línea 2 se añade como una de las más atractivas, junto a la 1 y 4A que también lo resultaron en AM.

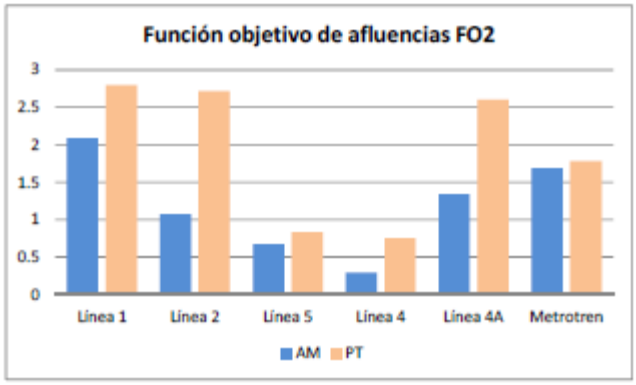
- Comparación por período de los parámetros de atractividad obtenidos por línea según la función objetivo (afluencias cuadráticas (FO1) o cargas cuadráticas (FO2)):

Figura 2-5: Parámetros de atractividad en la calibración por afluencia de pasajeros (FO1).



Fuente: "Calibración de los parámetros de atractividad de Metro." Sectra, 2010

Figura 2-6: Parámetros de atractividad en la calibración por cargas de pasajeros (FO2)



Fuente: "Calibración de los parámetros de atractividad de Metro." Sectra, 2010

La atractividad de todas las líneas es mayor en PT bajo la función objetivo de cargas (FO2), mientras que la misma conclusión no puede ser generalizada en el caso de la calibración por afluencia de pasajeros (FO1).

En cualquier caso, de los resultados se desprende la necesidad de considerar parámetros independientes por período de modelación. Además, el informe concluye que, tal y como ocurrió con la línea 4A, la consideración de parámetros diferentes por sentido mejora el ajuste y por tanto es recomendable asumir atractividades diferentes por línea, sentido y período.

2.1.5 "Plan Maestro de Transporte de Santiago 2025." Sectra, 2013.

El documento presenta el Plan Estratégico diseñado en 2013 por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones para la ciudad de Santiago para el horizonte 2025, y que tiene el objetivo de gestionar las necesidades de movilidad considerando el creciente desarrollo urbano y del parque vehicular en la ciudad. En otras palabras, el Plan busca evitar el "colapso vial que se

generaría si no se ejecutan los proyectos necesarios", los cuales se caracterizan por su eficiencia y sostenibilidad.

Como objetivos específicos se busca lo siguiente:

- Eficiencia: mejor movilidad y menos emisiones y accidentes
- Equidad: accesibilidad homogénea en la ciudad y protección de los modos vulnerables como caminata y bicicleta.
- Sustentabilidad: ambiental, económica y social.
- Seguridad: diseños que reduzcan accidentes y costos asociados.

El análisis considera la Provincia de Santiago junto a las comunas de Puente Alto, Pirque, Colina, Lampa, San Bernardo, Calera de Tango, la Provincia de Talagante y las comunas de San José del Maipo, Tiltil, Buin, Paine y Melipilla. El documento informa de que los más de 100 proyectos contenidos en el plan generarán los siguientes beneficios:

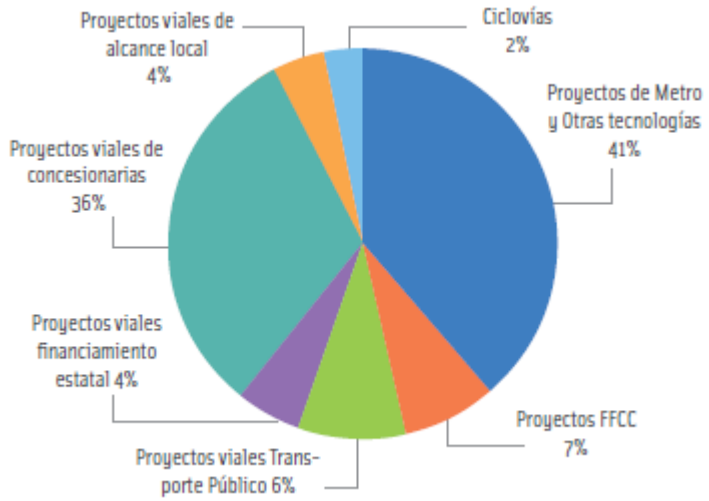
- Media hora promedio en el tiempo de viaje al día por persona
- 100 litros de combustible por vehículo al año

Junto a ello, se espera que el transporte público tenga una mayor representación en el reparto modal de la ciudad: 44% de la demanda en transporte público y 56% en privado.

El Plan contempla proyectos de todos los sectores del transporte: público, privado y no motorizado y, específicamente, propone estructurar el desarrollo "en torno a corredores de transporte masivo: metro, tren suburbano y bus de alto rendimiento en vías dedicadas".

Considerando lo anteriormente expuesto, el Plan propone la siguiente distribución de inversiones:

Figura 2-7: Distribución de inversiones Plan Maestro 2025



Fuente Plan Maestro de Transporte 2025

Con el fin de evaluar los impactos de los proyectos con horizonte 2025 el documento compara dicho horizonte con un escenario base. Como escenario base, el Plan incluye las líneas 3 y 6

de Metro además de las actuales, el tren Expreso Rancagua además de concesiones, proyectos viales y de transporte público.

Como horizonte 2025 se resumen los siguientes proyectos:

- Proyectos de metro, pre-metro, trenes de cercanía y tecnologías: nuevas líneas y de metro y extensión de las actuales, trenes de cercanía, pre-metro o tren ligero, teleférico.
- Proyectos viales para transporte público: corredores, vías exclusivas y segregadas.
- Proyectos viales.
- Proyectos de concesiones: nuevas vías tarificadas.
- Proyectos viales de alcance local: proyectos que mejoran la accesibilidad y comunicación intracomunal, generalmente ubicados en sectores periféricos de Santiago.
- Proyectos de ciclovías.

De manera específica, estos y otros proyectos de transporte público podrán ser evaluados en el modelo de asignación a transporte público desarrollado en el presenta estudio. Esto permitirá evaluar su impacto en la ciudad y eventualmente, diseñar otras medidas derivadas de ello.

2.1.6 "Metodología de asignación de subidas reportadas al transporte público a zonas de modelación estratégica." Sectra.

Este documento constituye la minuta en la que se describe la metodología que aplica la Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA) para generar una matriz de viajes entre zonas de modelación estratégica a partir de subidas reportadas en la red de transporte público. El proceso considera la Zonificación Estratégica ESTRAUS, compuesta por 690 zonas o polígonos.

La minuta detalla en primer lugar la secuencia metodológica aplicada para la red de bus y, posteriormente, para la red de metro.

El proceso para asignar la demanda de bus de paradero a zona estratégica es el siguiente:

1- Buffer de paraderos considerando 50 m y unión (dissolve) de buffers que se superponen.
2- Obtención del centroide en cada unión de buffers.
3- Intersección de cada unión de buffers con las zonas ESTRAUS. La demanda de los paraderos en cada buffer o unión de buffers se asigna a cada zona ESTRAUS en la misma proporción que la del área que ha resultado en cada zona.

El proceso para asignar la demanda de metro de estación a zona estratégica es el siguiente:

1- Desagregación espacial de la ciudad en polígonos Thiessen.
2- Buffer de estaciones de metro considerando 600 m y unión (dissolve) de buffers que se superponen.
3- Intersección de la(s) unión(es) de buffers de manera secuencial con:

3.1- Los polígonos Thiessen
3.2- Las zonas ESTRAUS

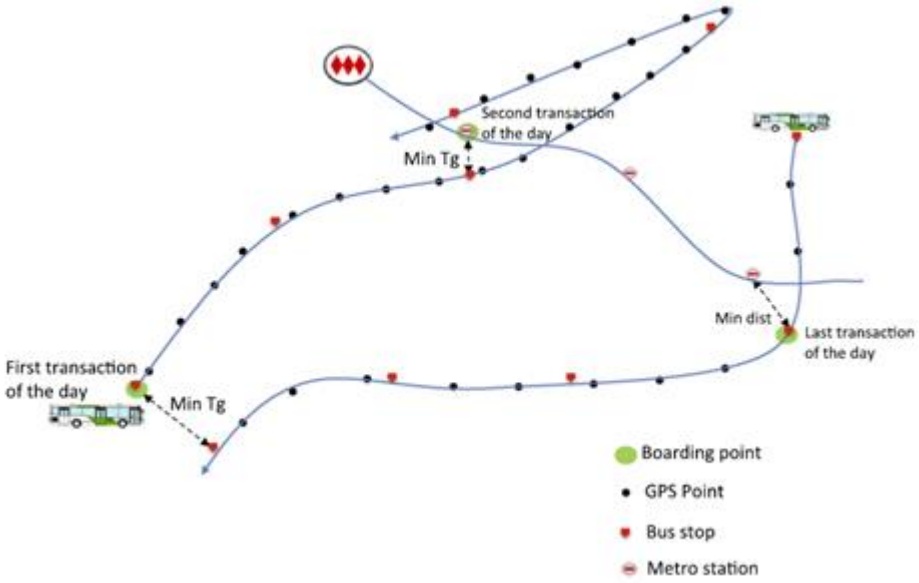
Finalmente, una vez que cada zona estratégica ESTRAUS está asociada a la red de paraderos y a la red de metro, para la asignación de las subidas a las zonas estratégicas se recomienda un método mixto que asume una densidad domiciliaria homogénea por zona, y que, en primer lugar calcula el número de hogares presente en las secciones de cada buffer asociadas a cada zona y, posteriormente reparte los viajes en la misma proporción que la de hogares.

En conclusión, la metodología descrita en la minuta se basa en una zonificación previa representada por las 690 zonas ESTRAUS y tiene un enfoque espacial que difiere sensiblemente en el caso de Metro con respecto a bus debido al diferente radio de influencia de los respectivos modos: en el bus se aplica buffer espacial de 50 m y en Metro de 600 m. En el documento no se aporta justificación de estos valores de influencia; sin embargo sirven como referencia en el presente proyecto de cara al proceso de zonificación y creación de la matriz OD de viajes.

2.1.7 "Estimation of a disaggregate multimodal public transport origin-destination matrix from passive Smart card data from Santiago, Chile." Munizaga M.A., Palma C., 2012. Transportation Research C 24, 12, 9-18.

Este documento presenta una metodología para estimar matrices origen destino de transporte público utilizando principalmente 3 fuentes de datos: los registros de pago del sistema automático de recolección de tarifa (tarjeta bip), los registros de posicionamiento GPS de buses e información geocodificada de la red de transporte público. Debido a que el sistema de transporte considera validación solo en la subida, es necesario estimar el lugar/hora de descenso. La metodología propone estimar el lugar de descenso siguiendo la secuencia de transacciones de cada tarjeta bip! y considerando el punto de subida (parada, zona paga o estación de metro). Se asume que cada tarjeta corresponde a un usuario, que el punto de descenso se encuentra en el entorno de la siguiente transacción y que el punto de descenso de la última transacción se encuentra en el entorno de la primera transacción del día.

Figura 2-8: Modelo de estimación de bajada



Fuente: Munizaga y Palma (2012)

Después de estimar lugar/hora de descenso, se destaca la diferencia entre viajes y etapas de viaje. La identificación de viajes supone que el máximo tiempo de trasbordo es de 30 minutos, luego de lo cual se supone que el punto de descenso es destino. Además se asume que dos transacciones realizadas en metro o en el mismo servicio son viajes diferentes, porque no parece probable descender del vehículo y abordar el mismo servicio posteriormente, a menos que se realice una actividad en la ventana de tiempo intermedia. Por último, se asume que el máximo tiempo de viaje es de 2 horas. El documento reconoce 3 casos de viajes no identificados por la metodología que deberían ser considerados: 1) viajes con origen y sin destino estimado, 2) viajes sin origen ni destino y 3) viajes no detectados en las transacciones (evasión). La metodología considera correcciones cuando hay pérdida parcial de información (destino de etapa/viaje), pero no puede corregir cuando hay pérdida total de información. Para el primer caso se asume que la distribución de viajes sin destino es la misma observada en otros viajes con destino estimado y con igual origen (espacial-temporal). Es decir, se construye factores de expansión que se aplican a viajes identificados, para que representen el total de viajes observados en una misma zona-periodo de origen. Un procedimiento similar es aplicado en el caso que se desconoce lugar de origen y destino de viaje, aplicando factores de expansión a viajes que se realicen en el mismo periodo, es decir, solo se considera la agregación temporal. No existe información suficiente para incorporar los viajes identificados en el tercer caso, puesto que su distribución espacial y temporal no es homogénea. Además, el documento describe dos tipos de sesgos en la matriz por esta causa, aquel que omite viajes completos y el que omite parte del viaje, puesto que se valida alguna(s) de las etapas de viaje.

La metodología es implementada y aplicada a la ciudad de Santiago, con datos de una semana de operación de marzo de 2009 y una semana de junio de 2010. Como resultado, la metodología alcanza un nivel de estimación de lugar/hora de bajada de etapa sobre el 80% en ambos sets de datos. Al desagregar esta cifra por tipo de parada de subida, se observa

diferencias importantes en el % de estimación, como se muestra en la siguiente tabla de resultados:

Tabla 2-6: Porcentaje de estimación de bajada desagregado por tipo de parada de subida

	March 2009		June 2010	
	Transactions	% Success	Transactions	% Success
Bus	22,546,517	81.7	23,614,012	84.5
Metro	11,383,047	89.0	12,470,020	89.4
Bus station	2127,170	67.1	2034,917	72.2

Fuente: Munizaga y Palma (2012).

Por su contenido, este documento se considera central en la compresión de las bases de datos fuentes para la construcción de matriz a priori y para ajustes metodológicos como la hora de modelación y zonificación.

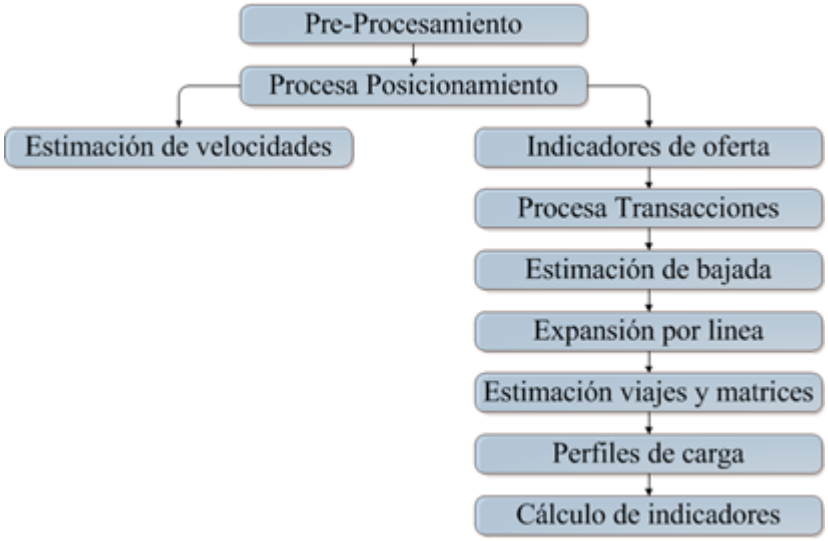
2.1.8 "Descripción del Sistema ADATRAP." Proyecto FONDEF D10I1002 Tecnología Avanzada para Ciudades del Futuro. 2016. Munizaga A., Zúñiga M., Ibarra R., Cruzat R., Espinoza R.

Este documento es un manual del software de análisis de datos ADATRAP v2.9, que en su introducción señala como objetivo "explotar la información geotemporalmente referenciada de buses de Transantiago y la información de pago de la tarjeta bip! para generar estimaciones de velocidades y viajes, y monitorear el desempeño del transporte público". La metodología se basa en varios trabajos de investigación publicados entre los años 2011 y 2014. Los contenidos del manual son la descripción de los archivos de entrada y los archivos de salida, la descripción de los procesos aplicados a los datos y la instalación y configuración requerida de programas.

Los archivos de entrada son los posicionamientos GPS de buses, las transacciones de pago realizadas con la tarjeta bip!, la asignación de servicio a vehículo (reporte 1.96 y 2.2), la red de paradas del sistema, la secuencia de paradas de los servicio-sentido, la zonificación de la ciudad, el diccionario de zonas pagas y sus validadores, diccionario de estaciones de metro y grafo de la red, diccionario de contratos, nombre de estaciones de metro, diccionario de tipo de transacciones y diccionario de servicio-sentido-variante.

El software se compone de una serie de programas principalmente secuenciales (considerando que en general, la salida de cada programa es input del siguiente) que se presentan y relacionan según se muestra en la siguiente imagen:

Figura 2-9: Flujo de módulos del procesamiento de datos.



Fuente: Manual de referencia ADATRAP v2.9.

Los procesos del programa toman los inputs y mediante los programas descritos en la figura anterior se generan, entre otros archivos, las tablas de etapas y viaje de la matriz OD, los indicadores de oferta y calidad de servicio, las velocidades por tramo y los perfiles de carga.

El manual ADATRAP explica los procesos aplicados a los datos para la obtención de varios de los archivos de utilidad en las diferentes etapas de este proyecto, razón por la cual el documento es central en la comprensión de la información y la evaluación de cómo será utilizada en las distintas fases.

2.1.9 "Commercial bus speed diagnosis based on GPS-monitored data." Cortes C., Gibson J., Gschwender A., Munizaga M.A., Zuñiga M., 2011. Transportation Research C 19, 4, 695-707.

En este documento se presentan las bases metodológicas de la estimación de velocidades tramificadas cada 500 metros a partir de registros GPS, que serán utilizadas para caracterizar las velocidades del sistema en el modelo de asignación.

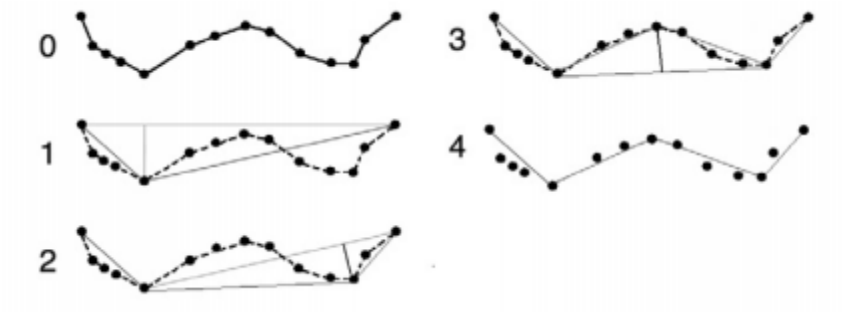
La metodología propone la utilización de los registros GPS de cada bus, en los que se registran la posición e instante cada 30 segundos, en caso que el bus esté en movimiento. Si el bus está detenido el registro de posición se realiza cada 5 minutos. Por otro lado, se considera la utilización de un registro entregado por el DTPM, en el que se asocia a cada bus la ruta que está realizando en una determinada hora, diferenciando servicios expresos y cortos. Ambas tablas son asociadas para obtener pulsos GPS asociadas a rutas de servicios.

Se consideran 2 procedimientos, primero la metodología para la rectificación de las rutas. Segundo, un método que permite proyectar los pulsos GPS a las rutas de buses rectificadas.

La metodología de rectificación de rutas utilizada es el procedimiento diseñado por Douglas and Peucker (1973) que permite representar una ruta con el mínimo número de puntos GPS

posible, con una banda de error ε. El procedimiento se inicia con los 2 pulsos extremos de la ruta, para luego de manera recursiva seleccionar el punto que presente la mayor distancia de la proyección ortogonal respecto al tramo rectificado, generando así un nuevo tramo. Esto se repite para cada tramo hasta que la máxima distancia ortogonal entre los puntos y los tramos generados sea menor al valor de ε establecido. Gráficamente se muestra en la siguiente figura.

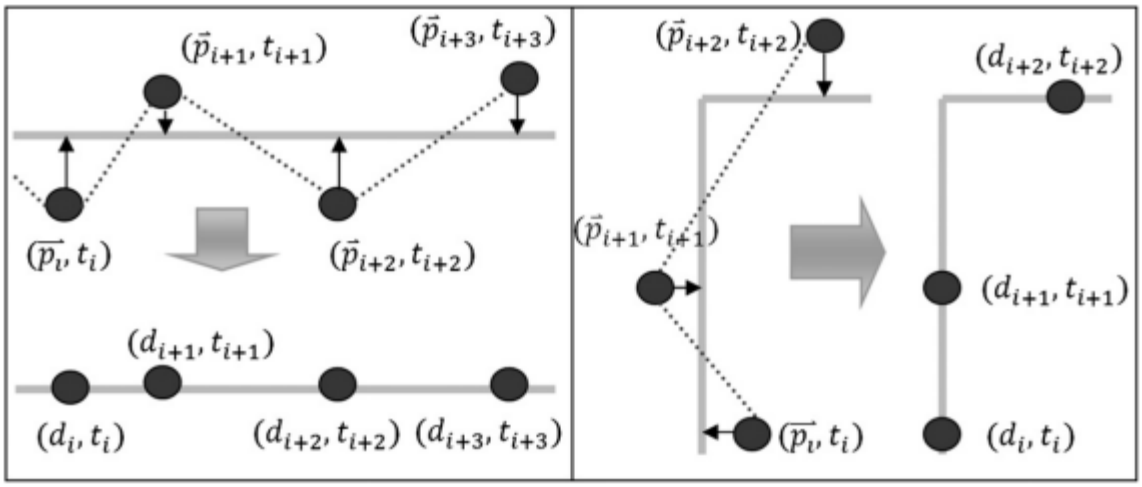
Figura 2-10: Método de rectificación de ruta.



Fuente: "Commercial bus speed diagnosis based on GPS-monitored data." Cortes C., Gibson J., Gschwender A., Munizaga M.A., Zuñiga M., 2011. Transportation Research C 19, 4, 695-707.

Una vez definida la ruta rectificada, los pulsos GPS son proyectados ortogonalmente sobre dicha ruta, tal como lo muestra la siguiente figura.

Figura 2-11: Método de proyección de puntos.



Fuente: "Commercial bus speed diagnosis based on GPS-monitored data." Cortes C., Gibson J., Gschwender A., Munizaga M.A., Zuñiga M., 2011. Transportation Research C 19, 4, 695-707.

Finalmente, la metodología para calcular las velocidades representativas, se basa en la definición de una grilla de tiempo y distancia, para cada ruta. En la que si se desea estimar la velocidad comercial de un determinado periodo de tiempo y tramo de ruta, esta será igual a la suma de la distancia recorrida por cada expedición registrada, sobre la suma del tiempo utilizado por cada expedición para recorrer dicha distancia.

$$\bar{S}_g = \frac{\sum D_i^g}{\sum T_i^g}$$

Donde D_i^g y T_i^g representan la distancia y el intervalo de tiempo que el bus i registró en el periodo del día y tramo de ruta (g) analizado.

Esta metodología permite caracterizar las velocidades comerciales observadas para cada servicio-sentido-variante-tramo, en todos los tipo de día-media hora del sistema de transporte público metropolitano.

2.1.10 "Modelo de inferencia zonal basado en información observada en paraderos de transporte público." Tamblay S., 2015. Tesis de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

El documento data de 2015 y recoge la tesis de Sebastián Jorge Tamblay para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Católica de Chile. La metodología que propone se aplicó a la ciudad de Santiago en el período punta mañana dentro del proyecto D10I1049 que lleva el nombre "Una herramienta táctico-estratégica de gestión y planificación de sistemas de transporte público urbano" para el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF).

El modelo de inferencia zonal propuesto permite estimar una matriz origen-destino zonal para la ciudad a partir de información pasiva de viajes entre paraderos (recolectada por un sistema de pago con tarjeta inteligente). El modelo sigue un enfoque desagregado tipo Logit que estima la probabilidad de que un viaje observado entre dos paraderos haya sido originado en una zona y se dirija a otra.

Para llevar a cabo la estimación, se requiere la siguiente información:

- Información de costo entre pares de paraderos.
- Información de uso del suelo. En la tesis se aplican datos del Servicio de Impuestos Internos relativos al suelo dedicado a cada actividad económica.
- Zonificación. En la aplicación a la ciudad de Santiago, la tesis actualiza la zonificación definida en la EOD 2006 en Santiago, y de 779 zonas formadas por la agregación de manzanas de la EOD, se llega a 1.176. De esta zonificación y las observaciones de la encuesta en paraderos se define el radio de influencia de la red de bus de 250 m y el de metro de 750 m, de manera que los centroides dan acceso directo no solo a los paraderos y estaciones que se localizan dentro de la propia zona sino también a aquellos que aun perteneciendo a otras zonas, están localizados dentro del radio de influencia definido. Para el modelo de elección de paradero, el arco de acceso introduce el costo, que a su vez se calcula como promedio ponderado de las distancias de cada bloque de edificios de la zona al paradero en cuestión.
- Encuesta origen-destino realizada en paraderos. Esta base de datos es necesaria para la estimación de un modelo de elección de paradero y ruta. Esto supone un muestreo de costo sustancialmente menor que una encuesta origen-destino completa de la ciudad.

En consecuencia, previo a la calibración se realizan los siguientes procesos:

- Realización de encuesta origen-destino en paraderos.
- Definición de la zonificación y creación de centroides y arcos de acceso a la red de modelación.

El modelo Logit presenta dos niveles de elección jerarquizada: en el primer nivel se realiza la elección de paradero y en el segundo, la elección de ruta. De la mencionada elección secuencial se deriva directamente el paradero destino. La tesis alerta de que el modelo de elección de ruta es endógeno ya que contempla la comodidad de la ruta y por tanto la atractividad es mayor cuando menos demanda hay pero ello a su vez impacta sobre la propia demanda. Todo ello tiene lugar en un escenario de congestión, por lo que en la aplicación se estiman modelos multinomiales, habiendo calculado previamente las probabilidades asociadas a paraderos y zonas a partir de los flujos resultantes de la asignación de la matriz OD generada a partir de las transacciones bip! en el transporte público integrado.

En términos de los resultados del modelo que son de interés para su consideración en este proyecto, la aplicación de la metodología propuesta en esta tesis evidencia la sensibilidad a la caminata en el origen del viaje en punta mañana y también confirma la potencial generación de viajes en zonas con alta densidad habitacional así como el poder de atracción de viajes del suelo destinado a educación, comercio, salud y oficina.

2.1.11 "Construcción de factores de corrección por evasión para la matriz origen destino de viajes en transporte público en Santiago obtenida a partir de transacciones bip!." Gallegos N., 2016. Tesis de Magister en Ciencias de la Ingeniería mención transporte, Universidad de Chile.

El documento data de 2016 y recoge la tesis de Néstor Antonio Gallegos para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad de Chile. Esta tesis propone una metodología para corregir por evasión del pago la matriz de viajes observada de las transacciones de la tarjeta bip! en la ciudad de Santiago. Además de ello se propone diseñar un proceso para la toma de datos necesarios para la metodología de corrección que es objeto de la investigación.

La tesis parte con la consolidación del estado del arte en términos de generación y modelación para la obtención de matrices origen-destino de viajes, la identificación de los diversos escenarios de evasión de la tarifa y el estado de la práctica con respecto a las políticas contra la evasión y a la medición del fenómeno.

Posteriormente se describe la implicancia del fenómeno de evasión de la tarifa en la matriz OD de viajes generada a partir de las etapas que sí han sido pagadas mediante la tarjeta inteligente. De ello se deriva la necesidad de establecer dos correcciones secuenciales que se basan en la naturaleza de la evasión: parcial o total. Esto exige dos tipos de información: por un lado, por cada estación de Metro, la proporción de viajes que parte en Metro versus la que transborda desde bus, y por otro, las tasas de evasión a nivel paradero o zona. En resumen, la tesis aplica la siguiente información:

- Matrices de etapas y viajes observadas de las transacciones bip!
- Mediciones de evasión por paradero y expedición de manera de obtener el perfil de carga con evasión.
- Encuesta OD de Metro S.A. de 2013.
- Zonificación 777.

La primera fase de la metodología corrige la evasión parcial. Los supuestos de esta corrección son los siguientes:

- La evasión parcial tiene lugar únicamente en etapas en bus previas al acceso de Metro.
- El sesgo se produce en los orígenes de los viajes, que estarían sobreestimados en las estaciones de Metro.
- El sesgo es heterogéneo entre estaciones y horarios.

En consecuencia, la corrección busca reducir la tasa de primera etapa en metro por estación de manera que se reflejen las tasas verdaderas observadas de la EOD de Metro. Para ello se genera y aplica al modelo Furness un factor corrector por estación de la sobreestimación mencionada.

La segunda fase busca corregir la evasión dura, definida bajo los siguientes supuestos:

- Cada evasor tiene la misma estructura de viaje que algún pasajero regular.
- Los pasajeros que evaden el pago en todo su viaje no utilizan Metro ni zona paga.
- Al llegar a un paradero, si es que hay fiscalizadores en él, los evasores cambiarán a otro paradero de la misma zona 777.

La corrección por evasión dura se basa en las tasas de evasión por zona 777 observadas de las mediciones de perfil de carga con evasión y aplica un algoritmo iterativo para la expansión de los valores en la matriz de viajes que solo se componen de etapas en bus.

De la aplicación del proceso de corrección destacan las siguientes dos conclusiones de la tesis:

- La evasión parcial en bus, en etapas previas a Metro es reducida (5%).
- La evasión dura (en todas las etapas del viaje en bus) resultó en 34% y se evidencia mayor en viajes intracomunales y aquellos entre pares origen-destino sin opción de Metro.

La metodología de la tesis describe una forma de corregir la deformación presente en la matriz de viajes observada de las transacciones bip! y que está causada por la ausencia de homogeneidad en el fenómeno de evasión. En consecuencia, este documento constituye una referencia de interés en este proyecto que será tomada en cuenta en el proceso de construcción de la matriz de viajes a priori.

2.1.12 "What is behind fare evasion in urban bus systems? An econometric approach.". Guarda P., Galilea P., Paget-Seekins L., Ortúzar J.D., 2016. Transportation Research A, 84, 55-71.

La investigación expuesta en este artículo busca explicar las condiciones en las que se genera la evasión al pago de manera específica en el sistema Transantiago, que es el caso de aplicación de la metodología. Mediante modelos Poisson y Binomial Negativa, los autores explican la tasa de evasión por paradero y bus.

De las estimaciones se obtiene que la evasión aumenta con las siguientes variables:

- el total de subidas
- la cantidad de pasajeros que suben por puertas traseras
- la cantidad de puertas del bus
- la tasa de ocupación
- el intervalo entre buses
- la escasez de recursos económicos.

Los resultados permiten evaluar el grado de exposición a la evasión por paradero y bus según las condiciones observadas en el paradero (demanda paradero-servicio y características de la oferta y del bus). Como se desprende de lo anteriormente expuesto, la aplicación de la metodología exige la disponibilidad de mediciones de alta calidad y detalle que involucran importantes recursos. Por otro lado, los resultados de la investigación concluyen que la evasión depende de las características específicas del bus y de las condiciones de operación de dicho móvil, por lo que la tasa de evasión es variable entre buses y paraderos de un mismo servicio-sentido, lo que supone una estimación poco estable.

Con todo, el conocimiento revelado por la investigación analizada constituye un necesario punto de partida en el presente proyecto en materia de evasión ya que este fenómeno es una demanda obviamente no observada en las transacciones de la tarjeta bip! de los modos de transporte público integrados, pero que sí está contenida en las mediciones de demanda que serán aplicadas para la calibración del modelo. En consecuencia, el conocimiento del fenómeno de la evasión al pago es clave para garantizar la calidad del modelo de asignación de la demanda total del servicio de transporte público.

2.1.13 "Decreasing fare evasion without fines? A microeconomic analysis." Guarda P., Galilea P., Handy S., Muñoz J.C., Ortúzar J.D. Thredbo 14 conference on competition and ownership issues in land passenger transport, September 1-3, 2015, Santiago, Chile.

Este documento es un avance del anteriormente comentado y, además de exponer los resultados del artículo anterior obtenidos del modelo de evasión por paradero y bus, propone una metodología para el diseño de una estrategia de inspección del pago del pasaje según el presupuesto destinado a ello. Adicionalmente, los autores aplican un análisis coste-beneficio con el que determinan la rentabilidad de la medida.

Como avance sobre el anterior artículo, en esta ocasión se añade el resultado de que la tasa de evasión se reduce en el entorno a estaciones intermodales y estaciones de metro, lo que resulta de interés para su consideración en el proceso de corrección de la matriz de viajes por evasión y en el proceso de zonificación.

2.1.14 "What is behind fare evasion? The case of Transantiago." Guarda P., Galilea P., Paget-Seekins L., Ortúzar J.D. XVII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte. 13-15 Octubre 2015, Chile.

Este artículo reporta la misma investigación que los anteriores dos, y, por consiguiente, su interés en el marco de este proyecto es el descrito previamente.

2.1.15 "A topological route choice model for metro." Raveau S., Muñoz J.C., de Grange L. 2011. Transportation Research A, 45, 138-147.

La investigación descrita en este artículo presenta un modelo de elección de ruta en transporte público que considera variables novedosas que miden otros aspectos además de los tradicionales costos del viaje.

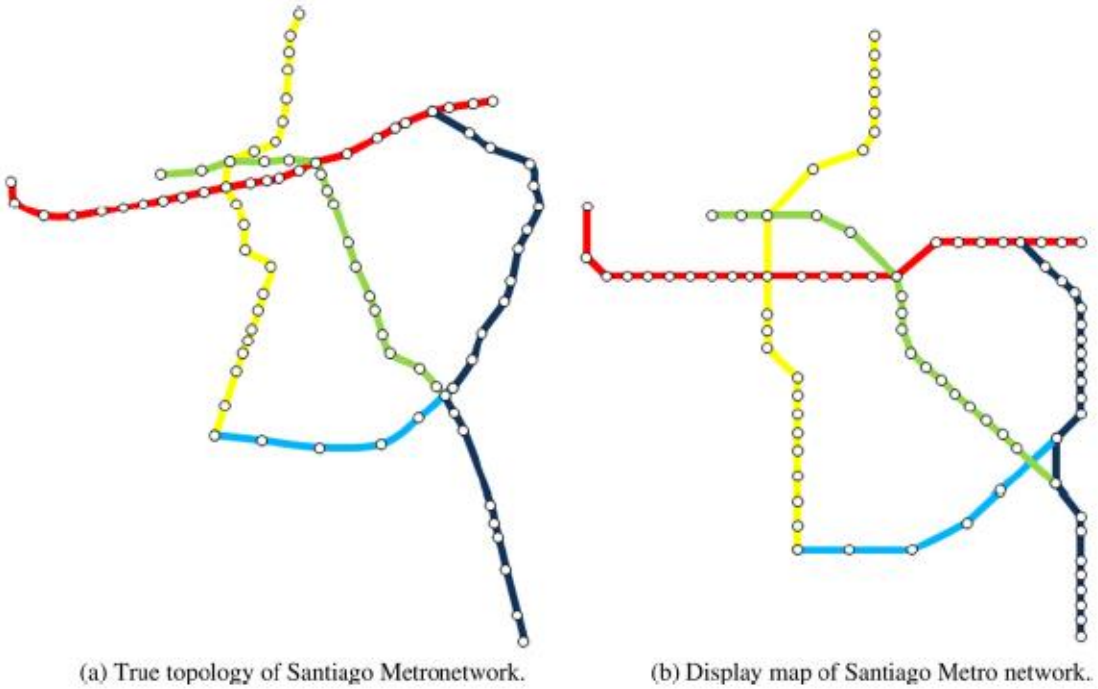
Para la estimación del modelo, los autores aplicaron datos de una encuesta origen-destino en Metro tomados en las horas punta de mañana y tarde, resultando una muestra de 92.800 pasajeros. De todos estos viajes recogidos, únicamente se consideraron los que disponían de más de una ruta posible.

De manera interesante en el marco de este proyecto, el modelo exhibido en el artículo fue aplicado a Metro de Santiago. Para la estimación del modelo se construyen diversos tipos de variables:

- Relativas al costo: tiempo en vehículo, de caminata y de espera, y el conocimiento de la red.
- Relativas a la comodidad de la ruta: el número de transbordos, el desnivel acumulado que se debe superar, la disponibilidad de escaleras mecánicas, la tasa de ocupación, la posibilidad de encontrar asiento, la imposibilidad de abordar.
- Relativas a la topología de la red.

El aporte original de esta investigación está en este último grupo de variables. Los autores buscan cuantificar el impacto de la distorsión de la localización de las estaciones en un mapa comercial con respecto a la realidad. En el caso de estudio que consiste en Metro de Santiago, en el artículo se expone gráficamente el concepto:

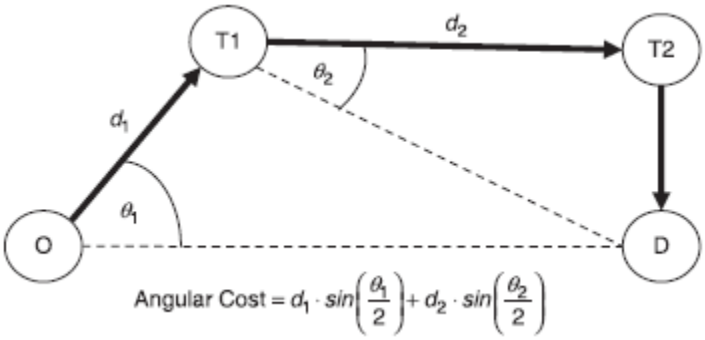
Figura 2-12: Comparación del mapa real de localización de paraderos con el mapa comercial de la red de Metro S.A.



Fuente: "A topological route choice model for metro." Raveau S., Muñoz J.C., de Grange L. 2011. Transportation Research A, 45, 138-147.

Para medir el efecto de la anterior distorsión en la elección, se añade como variable el "costo angular", topológico de la red, obtenido de la siguiente manera a partir de la representación de las líneas en el mapa comercial:

Figura 2-13: Cálculo del costo angular



Fuente: "A topological route choice model for metro." Raveau S., Muñoz J.C., de Grange L. 2011. Transportation Research A, 45, 138-147.

Junto al costo angular, incorporaron otras variables topológicas relativas a lo directa que sea la ruta desde su origen a su destino:

- Acercamiento al origen: variable binaria que toma valor 1 si la estación de transbordo está más cerca del origen que la anterior en la misma ruta.

- Alejamiento del destino: variable binaria que toma valor 1 si la estación de transbordo está más lejos del destino que la estación anterior en la ruta.

La principal aportación de esta investigación reside en su conclusión principal: las variables explicativas de la elección de ruta van más allá de una optimización de los tradicionales atributos tangibles. Los autores obtienen que la percepción de la ruta según su definición topológica (la descripción geométrica del trazado en el mapa de red) tiene también un impacto en la estrategia de viaje que es mayor cuanto mayor es el número de alternativas de ruta. En el caso de Metro de Santiago, esto ocurre concretamente en la zona de conexión de las líneas 1, 2 y 5, y, en última instancia, implica desviaciones de flujos con respecto a los esperados en base a un modelo tradicional de elección de ruta, lo que será tenido en cuenta durante el proceso de calibración y validación del modelo en este proyecto.

2.2 REVISIÓN DE BASES DE DATOS

Este acápite reporta la descripción de las bases de datos entregadas por el Mandante para el desarrollo del presente estudio, así como las consideraciones que se deberán tener en el uso de estas debido a sus características tales como: estado de actualización, desagregación, metodología de recolección, entre otros.

Finalmente, para cada base de datos revisada y analizada se describe el uso que le fue dado en el contexto del desarrollo del estudio.

2.2.1 Modelo Emme para Punta Mañana año 2011

La información disponible en este modelo es fundamental para las definiciones que deberán ser resueltas a lo largo del estudio. Principalmente a lo que se refiere a:

Red Vial de Modelación. Los resultados de asignación de demanda que entrega actualmente este modelo, está condicionado en parte, por la forma en que está representada la red vial de modelación.

Considerando el uso que le hemos dado a este modelo desde el año 2012, periodo en el que ha sido utilizado en diversas evaluaciones de iniciativas de transporte público, podemos caracterizar la red vial de modelación como:

- Una red vial simplificada.

De acuerdo a los límites del software con respecto al número de nodos y arcos permitidos, es necesario que la red de modelación sea una red vial simplificada de la red vial "real". Sin embargo, los límites de la licencia del software permiten presentar adecuadamente la totalidad de la cobertura del STPS vigente desde el 2011, quedando margen para un aumento en la cobertura del sistema.

Actualmente la red vial presenta deficiencias con respecto a la caracterización de paradas del STPS, ya que desde el 2011 no ha sido actualizado la asociación entre paradas y nodos, lo que impide realizar análisis a nivel de paradas.

Por otro lado, existe una serie de arcos que representan los mismos tramos de red vial, pero que al parecer fueron construidos de manera paralela para representar tramos de servicios de buses con paradas diferidas, lo que no permite ciertos análisis globales de los resultados de asignación a nivel de arco. Lo anterior, afecta particularmente el proceso de calibración, en caso que existan aforos en dichos arcos paralelos.

- Conectores

La red de modelación tiene definidos una serie de conectores que se pueden agrupar en 3 tipos. Los que conectan las zonas Origen-Destino a la red vial, particularmente a las paradas. En segundo lugar los que conectan directamente paradas de buses con estaciones de metro. Y en tercer lugar, arcos que conectan distintos andenes de metro, que pueden representar combinaciones de línea o permiten los cambios de andén.

Con respecto a lo descrito anteriormente, se consultaron los criterios a partir de los cuales fueron definidos estos 3 tipos de conectores, tanto en forma como cantidad, en los informes técnicos entregados sobre el desarrollo de este modelo. Sin embargo, no existen referencias sobre los criterios utilizados en el proceso de creación de conectores.

- Centroides

Fueron considerados como parte del análisis para la definición y validación de los nuevos centroides definidos en el proceso de zonificación realizada en el presente estudio.

Matriz de Demanda. Al igual que los centroides, la matriz del modelo (2011) fue considerada para efectos de comparación y validación de la matriz estimada para el periodo de punta mañana en el presente estudio.

Funciones de Velocidad. El modelo utiliza 2 funciones de velocidad, una que se utiliza en los servicios correspondientes a buses y la otra para los servicios de metro. Estas funciones fueron redefinidas de acuerdo a los datos de velocidades dispuestos en el presente estudio.

Penalidades. Las penalidades del modelo corresponden a penalidades de transbordo entre las distintas combinaciones de modo. Esto es:

- 5 minutos entre bus-bus
- 1.9 minutos en metro-metro
- 2 minutos entre bus-metro.

Valor Subjetivo del Tiempo. El valor subjetivo del tiempo en el modelo correspondiente al año 2011 es 0.07692 (min/$). Este valor fue actualizado, considerando las modificaciones tarifarias que el sistema ha registrado desde el año 2011 y posteriormente ajustado de acuerdo a los valores reportados en otros estudios de demanda consultados.

Parámetros BPR y Frecuencia Efectiva. Los parámetros de la función BPR y de frecuencia efectiva calibrados en el modelo 2011, fueron utilizados en el modelo actualizado.

Es importante señalar, que el informe técnico referente a la metodología utilizada para el desarrollo del modelo de asignación de transporte público del 2011, no presenta información detallada relacionada a la calibración misma del modelo, ni de sus parámetros. Debido a esto es que se consideró realizar ajustes específicos a los parámetros de acuerdo a los resultados obtenidos de la calibración de la matriz y no fueron modificados a priori, a excepción del valor subjetivo del tiempo, el que fue actualizado en primera instancia de acuerdo a los cambios tarifarios registrados en el STPS.

2.2.2 Tablas de etapas y de viajes de la matriz OD

Las tablas de etapas y viajes de la matriz OD son dos archivos generados por el software ADATRAP v2.9, basado en varios trabajos de investigación publicados entre 2011 y 2014. Las tablas se construyen utilizando principalmente 3 fuentes de datos: los registros de pago del sistema automático de recolección de tarifa (tarjeta bip), los registros de posicionamiento GPS de buses e información geocodificada de la red de transporte público. Las tablas contienen, respectivamente, información de las etapas de viaje y de los viajes realizados en el sistema de transporte público de Santiago durante una semana de mayo de 2016. La tabla de etapas se compone de 30.455.280 transacciones (filas) y los campos (columnas) respecto de las cuales se señala su utilidad para el proyecto (indispensable: si se considera necesaria para una o más tareas del proyecto; deseable: si se considera favorable para un mejor desarrollo del proyecto):

Tabla 2-7: Campos y descripción de tabla etapas

Nombre del campo	Utilidad	Descripción
Tiempo	Indispensable	Fecha y hora de la transacción
Id	Indispensable	Número identificador de la tarjeta bip
Pago	Indispensable	Pago asociado a la transacción
x_subida	Indispensable	Coordenada X de la transacción (UTM WSG84)
y_subida	Indispensable	Coordenada Y de la transacción (UTM WSG84)
tipo_transporte	Indispensable	Tipo de lugar de validación (bus, metro, zona paga)
serviciosentidovariante	Indispensable	Servicio-Sentido-Variante asignado por reporte 2.2
tipo_dia	Indispensable	Tipo de día de la transacción (Laboral, Sábado, Domingo)
Nviaje	Indispensable	Identificador correlativo del viaje
Netapas	Indispensable	Identificador correlativo de la etapa respecto de cada viaje
x_bajada	Indispensable	Coordenada X de la bajada estimada (UTM WSG84)
y_bajada	Indispensable	Coordenada Y de la bajada estimada(UTM WSG84)
t_bajada	Indispensable	Fecha y hora estimada de bajada
par_subida	Indispensable	Código del paradero de subida asignado
par_bajada	Indispensable	Código del paradero de bajada estimado
comuna_subida	Indispensable	Comuna del paradero de subida
comuna_bajada	Indispensable	Comuna del paradero de bajada
diseno_777_subida	Indispensable	Zona777 del paradero de subida
diseno_777_bajada	Indispensable	Zona777 del paradero de bajada
distonroutesubidabajada	Deseable	Distancia en ruta entre subida y bajada

Nombre del campo	Utilidad	Descripción
disteuclidsubidabajada	-	Distancia euclidiana entre subida y bajada
distonrouteparsubidaparbajada	Deseable	Distancia en ruta entre paradas de subida y bajada
disteuclidparsubidaparbajada	-	Distancia euclidiana entre paradas de subida y bajada
serv_un_zp2	Indispensable	Servicio-Sentido-Variante + estimación de servicio en ZP
sitio2	Indispensable	Lugar de validación (patente, id validador o estación metro)
tiempo2	Indispensable	Fecha y hora de transacción + tiempo de espera caso ZP
media_hora	Indispensable	Media hora de hora de transacción
tiempo_trasbordo	Indispensable	Tiempo de trasbordo en minutos
dist_trasbordo	Indispensable	Distancia de trasbordo en metros
tiempo_caminata	Indispensable	Tiempo de caminata en minutos
tiempo_espera	-	Tiempo de espera en minutos
tiempo_etapa	Indispensable	Tiempo de la etapa en minutos
tiempo_espera_estimado	-	S/I
Adulto	Indispensable	1 si es tarjeta estudiante, 0 sino
factor_expansion_etapa	Indispensable	Valor de expansión de la etapa
nBusesAnteriores	-	Número de buses que pasaron por el paradero desde la hora estimada de bajada
tiempo_busanterior	-	Fecha y hora de pasada del bus anterior al tomado
1erbusanterior	-	Tiempo del primer bus antes del tomado
2dobusanterior	-	Tiempo del segundo bus antes del tomado
3erbusanterior	-	Tiempo del tercer bus antes del tomado
Tipocorte	Deseable	Tipo de corte que define la etapa/viaje
Propósito	-	Propósito del viaje de la etapa

Fuente: Elaboración propia, información basada en Manual ADATRAP v2.9

En una primera revisión de la información se constata que las columnas 1erbusanterior, 2dobusanterior y 3erbusanterior de la tabla etapas no tienen datos (todas las filas presentan valor NULL). Además, la columna tiempo_espera_estimado no tiene descripción de lo que representa su contenido en el Manual de ADATRAP v2.9. Finalmente, las columnas comuna_subida y comuna_bajada mezclan texto (nombres de comunas) y números (20 números diferentes entre 3 y 41). Las filas con número corresponden a todas las etapas realizadas en metro. Se propuso al mandante corregir estas columnas reemplazando los números por la comuna correspondiente a la estación de metro de subida/bajada respectivamente.

La tabla de viajes se basa en la tabla de etapas. Contiene información abundante y bastante detallada de la matriz de viajes en transporte público, necesaria para la definición de la hora más cargada, de la zonificación y para la construcción de la matriz a priori. La tabla de viajes contiene 21.670.390 viajes (filas) con los siguientes campos (columnas) respecto de las cuales se señala su utilidad para el proyecto:

Tabla 2-8: Campos y descripción de tabla viajes

Nombre del campo	Utilidad	Descripción
Id	Indispensable	Número identificador de la tarjeta bip
Nviaje	Indispensable	Identificador correlativo del viaje
Netapa	Indispensable	Identificador correlativo de la etapa respecto de cada viaje
Etapas	Indispensable	Concatenación de servicio(s)/línea de metro de las etapas de viaje
nEtapasSinBajada	Indispensable	Número de etapas sin bajada del viaje
ultimaEtapaConBajada	Indispensable	1 si la última etapa tiene bajada estimada, 0 sino
tviaje(seg)	Indispensable	Tiempo total de viaje en segundos
tviaje(min)	-	Tiempo total de viaje en minutos
dviajeEuclideana(mts)	-	Distancia euclidiana del viaje (subida 1era etapa-bajada última etapa)
dviajeEnRuta(mts)	Indispensable	Distancia total, suma de las distancias en ruta de las etapas
ParaderoSubida	Indispensable	Paradero de subida de la primera etapa
ParaderoBajada	Indispensable	Paradero de bajada de la última etapa
ComunaSubida	Indispensable	Comuna del paradero de subida de la primera etapa
ComunaBajada	Indispensable	Comuna del paradero de bajada de la última etapa
diseno777Subida	Indispensable	Zona 777 del paradero de subida de la primera etapa
diseno777Bajada	Indispensable	Zona 777 del paradero de bajada de la última etapa
TiempoSubida	Indispensable	Fecha y hora de subida de la primera etapa
TiempoBajada	Indispensable	Fecha y hora de bajada de la última etapa
PeriodoSubida	Indispensable	Periodo de subida de la primera etapa
PeriodoBajada	Indispensable	Periodo de bajada de la última etapa
TipoDia	Indispensable	Tipo día de la fecha de la transacción de la primera etapa (Laboral, Sábado, Domingo)
MediaHora	Indispensable	Media hora de la hora de la transacción de la primera etapa
Contrato	-	Contrato de la transacción
FactorExpansion	Indispensable	Expansión del viaje por viajes sin estimación de bajada
TiempoMedioDeViaje	Indispensable	Fecha y hora media entre tiempo subida y tiempo bajada
PeriodoMedioDeViaje	Indispensable	Periodo del tiempo medio de viaje
MediaHoraMedioDeViaje	Indispensable	Media hora del tiempo medio del viaje
TipoDiaMedioDeViaje	Indispensable	Tipo de día del tiempo medio del viaje (Laboral, Sábado, Domingo)
t_1era_etapa	Deseable	Tiempo primera etapa en minutos
d_1era_etapa	Deseable	Distancia primera etapa en metros
tespera_1era_etapa	Deseable	Tiempo de espera primera etapa en minutos
ttrasbordo_1era_etapa	Indispensable	Tiempo de trasbordo de la primera etapa en minutos
tcaminata_1era_etapa	Indispensable	Tiempo de caminata de la primera etapa en minutos
t_2da_etapa	Deseable	Tiempo de la segunda etapa en minutos

Nombre del campo	Utilidad	Descripción
d_2da_etapa	Deseable	Distancia de la segunda etapa en metros
tespera_2da_etapa	Deseable	Tiempo de espera segunda etapa en minutos
ttrasbordo_2da_etapa	Indispensable	Tiempo de trasbordo de la segunda etapa en minutos
tcaminata_2da_etapa	Indispensable	Tiempo de caminata de la segunda etapa en minutos
t_3era_etapa	Deseable	Tiempo de la tercera etapa en minutos
d_3era_etapa	Deseable	Distancia de la tercera etapa en metros
tespera_3era_etapa	Deseable	Tiempo de espera de la tercera etapa en minutos
ttrasbordo_3era_etapa	Indispensable	Tiempo de trasbordo de la tercera etapa en minutos
tcaminata_3era_etapa	Indispensable	Tiempo de caminata de la tercera etapa en minutos
t_4ta_etapa	Deseable	Tiempo de la cuarta etapa en minutos
d_4ta_etapa	Deseable	Distancia de la cuarta etapa en metros
tespera_4ta_etapa	Deseable	Tiempo de espera de la cuarta etapa en minutos
ttrasbordo_4ta_etapa	Indispensable	Tiempo de trasbordo de la cuarta etapa en minutos
tcaminata_4ta_etapa	Indispensable	Tiempo de caminata de la cuarta etapa en minutos
op_1era_etapa	-	Operador de la primera etapa
op_2da_etapa	-	Operador de la segunda etapa
op_3era_etapa	-	Operador de la tercera etapa
op_4ta_etapa	-	Operador de la cuarta etapa
tipoop_1era_etapa	-	Tipo de operador de la primera etapa
tipoop_2da_etapa	-	Tipo de operador de la segunda etapa
tipoop_3era_etapa	-	Tipo de operador de la tercera etapa
tipoop_4ta_etapa	-	Tipo de operador de la cuarta etapa
serv_1era_etapa	Indispensable	Servicio-sentido-variante primera etapa
serv_2da_etapa	Indispensable	Servicio-sentido-variante segunda etapa
serv_3era_etapa	Indispensable	Servicio-sentido-variante tercera etapa
serv_4ta_etapa	Indispensable	Servicio-sentido-variante cuarta etapa
Linea_metro_subida_1era_etapa	Indispensable	Línea de metro de la estación de la primera etapa
Linea_metro_subida_2da_etapa	Indispensable	Línea de metro de la estación de la segunda etapa
Linea_metro_subida_3era_etapa	Indispensable	Línea de metro de la estación de la tercera etapa
Linea_metro_subida_4ta_etapa	Indispensable	Línea de metro de la estación de la cuarta etapa
Linea_metro_bajada_1era_etapa	Indispensable	Línea de metro de la estación de bajada primera etapa
Linea_metro_bajada_2da_etapa	Indispensable	Línea de metro de la estación de bajada segunda etapa
Linea_metro_bajada_3era_etapa	Indispensable	Línea de metro de la estación de bajada tercera etapa
Linea_metro_bajada_4ta_etapa	Indispensable	Línea de metro de la estación de bajada cuarta etapa
ParaderoSubida_1era	Indispensable	Paradero de subida primera etapa

Nombre del campo	Utilidad	Descripción
ParaderoSubida_2da	Indispensable	Paradero de subida segunda etapa
ParaderoSubida_3era	Indispensable	Paradero de subida tercera etapa
ParaderoSubida_4ta	Indispensable	Paradero de subida cuarta etapa
TiempoSubida_1era	Indispensable	Fecha y hora de subida primera etapa
TiempoSubida_2da	Indispensable	Fecha y hora de subida segunda etapa
TiempoSubida_3era	Indispensable	Fecha y hora de subida tercera etapa
TiempoSubida_4ta	Indispensable	Fecha y hora de subida cuarta etapa
Zona777Subida_1era	Indispensable	Zona777 subida primera etapa
Zona777Subida_2da	Indispensable	Zona777 subida segunda etapa
Zona777Subida_3era	Indispensable	Zona777 subida tercera etapa
Zona777Subida_4ta	Indispensable	Zona777 subida cuarta etapa
ParaderoBajada_1era	Indispensable	Paradero de subida primera etapa
ParaderoBajada_2da	Indispensable	Paradero de bajada segunda etapa
ParaderoBajada_3era	Indispensable	Paradero de bajada tercera etapa
ParaderoBajada_4ta	Indispensable	Paradero de bajada cuarta etapa
TiempoBajada_1era	Indispensable	Fecha y hora de bajada primera etapa
TiempoBajada_2da	Indispensable	Fecha y hora de bajada segunda etapa
TiempoBajada_3era	Indispensable	Fecha y hora de bajada tercera etapa
TiempoBajada_4ta	Indispensable	Fecha y hora de bajada cuarta etapa
Zona777Bajada_1era	Indispensable	Zona777 bajada primera etapa
Zona777Bajada_2da	Indispensable	Zona777 bajada segunda etapa
Zona777Bajada_3era	Indispensable	Zona777 bajada tercera etapa
Zona777Bajada_4ta	Indispensable	Zona777 bajada cuarta etapa
TipoTransporte_1era	Indispensable	S/I
TipoTransporte_2da	Indispensable	S/I
TipoTransporte_3era	Indispensable	S/I
TipoTransporte_4ta	Indispensable	S/I
Tespera_estimada_1era	Indispensable	S/I
Tespera_estimada_2da	Indispensable	S/I
Tespera_estimada_3era	Indispensable	S/I
Tespera_estimada_4ta	Indispensable	S/I
Escolar	Deseable	1 si es escolar 0 sino
tviaje_en_vehiculo(mts)	Indispensable	Tiempo de viaje en vehículo
TipoCorteEtapaViaje	Indispensable	Tipo de corte etapa/viaje
Proposito	Deseable	Propósito del viaje
dViajeEnBus		Distancia de viaje en bus

Fuente: Elaboración propia, información basada en Manual ADATRAP v2.9

En la tabla viajes, las columnas TipoTransporte_1er, TipoTransporte_2da, TipoTransporte_3era, TipoTransporte_4ta, Tespera_estimada_1era, Tespera_estimada_2da, Tespera_estimada_3era y Tespera_estimada_4ta no tienen descripción de su contenido en el Manual de ADATRAP v2.9. Sin embargo, para las columnas de tipo de transporte se infiere, por el contenido de las columnas, que se trata del tipo lugar de validación (bus, metro, zona paga).

Además, las columnas TiempoMedioDeViaje, PeriodoMedioDeViaje, MediaHoraMedioDeViaje, TipoDiaMedioDeViaje, op_1era_etapa, op_2da_etapa, op_3era_etapa, op_4ta_etapa, tipoop_1era_etapa, tipoop_2da_etapa, tipoop_3era_etapa y tipoop_4ta_etapa no tienen datos (todas las filas presentan valor NULL).

La columna escolar señala que vale 1 en caso de tarjeta de estudiante y 0 sino. Sin embargo, se encuentran valores entre 0 y 4.

Por último, la columna tviaje_en_vehiculo(mts) presenta unidad contradictoria con el contenido. Se asume que se trata de tiempo en vehículo y que la unidad es minutos, tal como las columnas de tiempo de otras fases del viaje de la misma tabla.

Con esta información se procede a analizar el contenido de las tablas, especialmente de la tabla de viajes TB9 que es una composición de la tabla de etapas TB8, y que contiene la agregación de interés para el estudio.

La siguiente tabla muestra el número de viajes y tarjetas por fecha, además de la tasa de viajes por tarjeta:

Tabla 2-9: Número de viajes, tarjetas y tasa de viajes por tarjeta, análisis por fecha

Fecha	Viajes	Tarjetas	Viajes/Tarjeta
23-05-2016	3,723,882	1,828,019	2.04
24-05-2016	3,737,614	1,816,248	2.06
25-05-2016	3,772,229	1,823,947	2.07
26-05-2016	3,656,859	1,783,587	2.05
27-05-2016	3,803,931	1,853,526	2.05
28-05-2016	1,975,492	1,073,263	1.84
29-05-2016	1,000,383	590,926	1.69

Fuente: Elaboración Propia

La tabla muestra que en día laboral se observa cerca de 3,8 millones de viajes realizados por 1,8 millones de usuarios, lo que entrega una tasa levemente mayor a 2 viajes por usuario. Esta tasa decrece en fin de semana, con menos de 1,7 viajes por usuario en día domingo. Sin embargo, los viajes pueden conformarse por varias etapas. Para analizar esta composición se muestra la siguiente tabla, que muestra el número y porcentaje de viajes caracterizados por número de etapas de viaje, para cada fecha de la TB9:

Tabla 2-10: Número y % de viajes según etapas de viaje, análisis por fecha

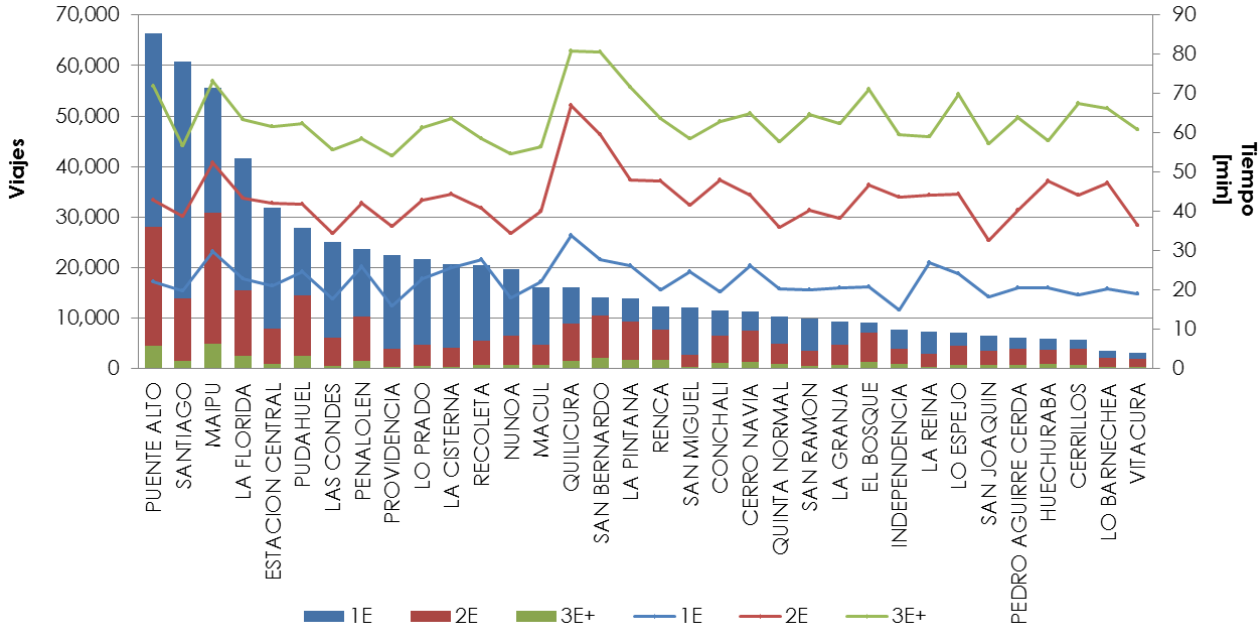
Tipo Día	Fecha	Viajes por n° de etapas de viaje				Total
		1	2	3	4 y más	
Laboral	23-05-16	2,431,463 (65.3%)	1,081,759 (29.0%)	203,204 (5.5%)	7,456 (0.2%)	3,723,882
Laboral	24-05-16	2,429,781 (65.0%)	1,094,813 (29.3%)	205,681 (5.5%)	7,339 (0.2%)	3,737,614
Laboral	25-05-16	2,465,257 (65.4%)	1,095,239 (29.0%)	204,129 (5.4%)	7,604 (0.2%)	3,772,229
Laboral	26-05-16	2,374,186 (64.9%)	1,071,186 (29.3%)	204,111 (5.6%)	7,376 (0.2%)	3,656,859
Laboral	27-05-16	2,515,417 (66.1%)	1,078,610 (28.4%)	201,725 (5.3%)	8,179 (0.2%)	3,803,931
Sábado	28-05-16	1,289,808 (65.3%)	568,734 (28.8%)	112,097 (5.7%)	4,853 (0.2%)	1,975,492
Domingo	29-05-16	663,262 (66.3%)	279,063 (27.9%)	55,697 (5.6%)	2,361 (0.2%)	1,000,383
Promedio Laboral		**2,443,221 (65.3%)**	**1,084,321 (29.0%)**	**203,770 (5.4%)**	**7,591 (0.2%)**	**3,738,903**
Total Semana		**14,169,174 (65.4%)**	**6,269,404 (28.9%)**	**1,186,644 (5.5%)**	**45,168 (0.2%)**	**21,670,390**

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que tanto en día laboral como fines de semana los viajes de una etapa son cerca del 65% del total de viajes, los viajes de dos etapas son cerca del 29% y los viajes de 3 etapas son algo más del 5%. Existe un porcentaje menor de viajes (0,2%) con un alto costo de viaje por número de trasbordos, que van desde los 3 a los 9 trasbordo por viaje.

Concentrándose en un análisis más profundo respecto del periodo de estudio, en cuanto a demanda y características de los viajes, la siguiente gráfica muestra el volumen de viajes agrupados por hora media de viaje, en día laboral y periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje y número de etapas de viaje. Además, se muestra el tiempo promedio de viaje por comuna de origen y según número de etapas de viaje:

Figura 2-14: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Tiempo promedio de viaje [min] en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje der).



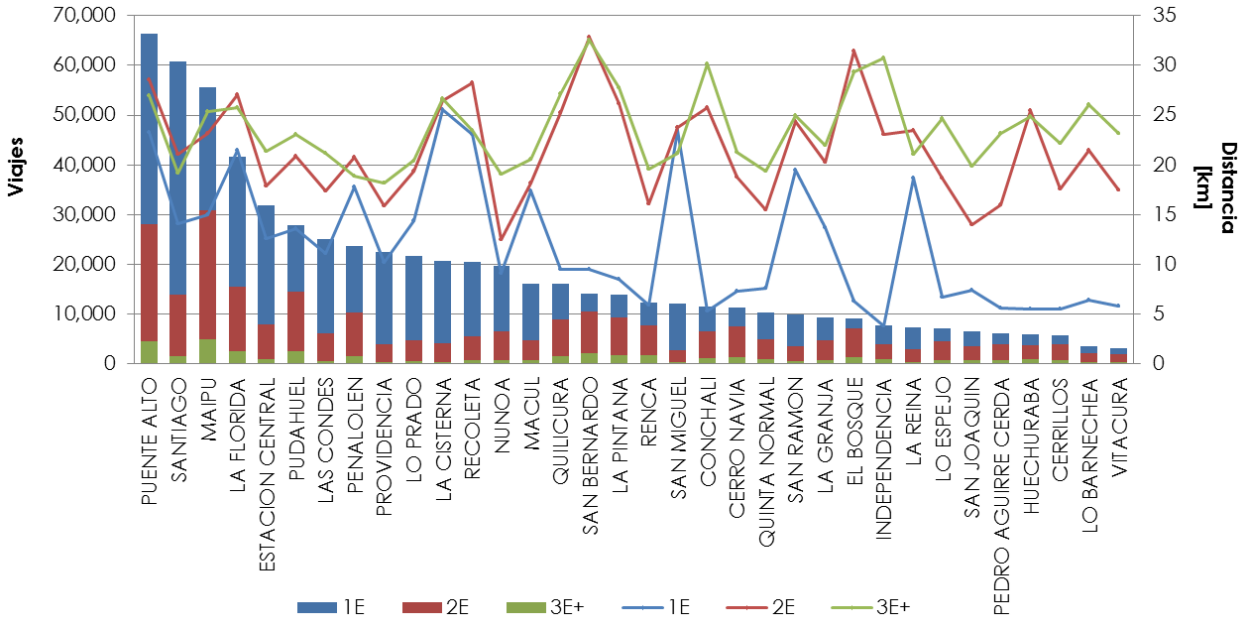
Fuente: Elaboración Propia

Se observa que las comunas con mayor demanda de viaje en origen para día laboral y periodo punta mañana son Puente Alto, Santiago y Maipú, que generan 66 mil, 60 mil y 55 mil viajes, respectivamente. Sin embargo, la distribución de viajes según número de etapas varía fuertemente entre comunas. La comuna con mayor porcentaje de viajes de una etapa es Providencia con un 82,9%, mientras que la comuna con menor porcentaje de viajes de una etapa es El Bosque, con 21,5%.

Respecto a tiempo de viaje, la comuna con mayor tiempo de viaje es San Bernardo, con 54,2 minutos de viaje promedio. A su vez, la comuna con menor tiempo de viaje promedio es Providencia, con un promedio de 19,6 minutos. Notar que el tiempo de viaje se obtiene de la diferencia entre la hora que se realiza la primera transacción y el tiempo estimado de bajada de la última etapa de viaje.

La siguiente gráfica mantiene los resultados de volumen de viaje y muestra la distancia promedio de viaje en ruta por comuna de origen, según número de etapas de viaje:

Figura 2-15: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Distancia promedio de viaje en ruta [km] en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje der).



Fuente: Elaboración Propia

Al analizar la distancia promedio de viaje por comuna de origen, las comunas con viajes más cortos son Ñuñoa y Providencia con 10,4 y 11,1 km de distancia promedio en ruta, respectivamente. Las comunas con mayor distancia promedio de viaje en ruta son San Bernardo y El Bosque con 26,6 y 25,8 km respectivamente.

La estructura de distancia en ruta difiere de la estructura de tiempo de viaje respecto a número de etapas de viaje. Se observa comunas donde el número de etapas de viaje y distancia es proporcional, mientras que existen algunas comunas donde la distancia de viaje es independiente del número de etapas de viaje. Entre ellas se encuentran La Cisterna, San Miguel y La Reina. Esto puede deberse a la conectividad de las zonas y los modos de transporte disponible, etapas cortas de alimentación y fuertes diferencias en conectividad según destino de viaje. Este fenómeno será abordado más adelante puesto que puede relacionarse fuertemente con la estructura de viajes de la matriz en el periodo.

La siguiente tabla muestra un resumen de los problemas de información encontrados en las tablas de etapas y viajes y la respectiva utilidad de la columna en el proyecto:

Tabla 2-11: Problemas de información en tablas de etapas y viajes

Tabla	Columna(s)	Utilidad	Comentario
Etapas	1erbusanterior	-	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Etapas	2dobusanterior	-	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Etapas	3erbusanterior	-	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Etapas	tiempo_espera_estimado	-	No tiene descripción de contenido en el manual de ADATRAP
Etapas	par_subida	Indispensable	Se encuentra etapas donde la parada de subida asignada se encuentra a más de 500m de la posición de la transacción
Etapas	comuna_subida	Indispensable	Para el tipo_transporte Metro, la columna presenta números en vez de nombres de comunas. Será corregido modificando el número por el nombre de la comuna en que se encuentra la estación de metro
Etapas	comuna_bajada	Indispensable	Para el tipo_transporte Metro, la columna presenta números en vez de nombres de comunas. Será corregido modificando el número por el nombre de la comuna en que se encuentra la estación de metro
Viajes	TiempoMedioDeViaje	Indispensable	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	PeriodoMedioDeViaje	Indispensable	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	MediaHoraMedioDeViaje	Indispensable	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	TipoDiaMedioDeViaje	Indispensable	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	op_1era_etapa	-	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	op_2da_etapa	-	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	op_3era_etapa	-	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	op_4ta_etapa	-	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	tipoop_1era_etapa	-	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	tipoop_2da_etapa	-	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	tipoop_3era_etapa	-	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	tipoop_4ta_etapa	-	La columna no contiene datos, presenta valores NULL
Viajes	TipoTransporte_1er	Indispensable	No tiene descripción de contenido en el manual de ADATRAP. Por contenido se asume tipo de lugar de validación 1era etapa (bus, metro, zona paga)

Tabla	Columna(s)	Utilidad	Comentario
Viajes	TipoTransporte_2da	Indispensable	No tiene descripción de contenido en el manual de ADATRAP. Por contenido se asume tipo de lugar de validación 2da etapa (bus, metro, zona paga)
Viajes	TipoTransporte_3era	Indispensable	No tiene descripción de contenido en el manual de ADATRAP. Por contenido se asume tipo de lugar de validación 3era etapa (bus, metro, zona paga)
Viajes	TipoTransporte_4ta	Indispensable	No tiene descripción de contenido en el manual de ADATRAP. Por contenido se asume tipo de lugar de validación 4ta etapa (bus, metro, zona paga)
Viajes	Tespera_estimada_1era	Indispensable	No tiene descripción de contenido en el manual de ADATRAP. Se asume tiempo de espera estimado de la etapa, pero se desconoce forma de cálculo
Viajes	Tespera_estimada_2da	Indispensable	No tiene descripción de contenido en el manual de ADATRAP. Se asume tiempo de espera estimado de la etapa, pero se desconoce forma de cálculo.
Viajes	Tespera_estimada_3era	Indispensable	No tiene descripción de contenido en el manual de ADATRAP. Se asume tiempo de espera estimado de la etapa, pero se desconoce forma de cálculo
Viajes	Tespera_estimada_4ta	Indispensable	No tiene descripción de contenido en el manual de ADATRAP. Se asume tiempo de espera estimado de la etapa, pero se desconoce forma de cálculo
Viajes	escolar	Deseable	Descripción en Manual ADATRAP señala valor 1 si es escolar, 0 sino. Se reportan valores de 0 a 4
Viajes	tviaje_en_vehiculo(mts)	Indispensable	Unidad es contradictoria con descripción. Se asume tiempo en vehículo, en minutos

Fuente: Elaboración propia.

De las columnas con problemas, aquellas que afectan a la correcta estimación de la matriz de demanda son las marcadas como indispensables o deseables. De los problemas de información descritos en la tabla, el único que impacta en los resultados del proyecto es que la parada de subida asignada se encuentra a más de 500 metros de la posición de la validación. Este problema se vuelve aún más complejo en casos mayores a 1000 metros, porque no solo se altera el origen del viaje, sino que también la estructura de viajes (corte por trasbordo/actividad). Aunque se trata de menos de un 2% de los datos, se asocia fuertemente a servicios variantes, por lo que se estima que el problema se encuentra localizado en ciertas zonas. Este problema afecta principalmente la definición de zonificación y la construcción de la matriz a priori.

La corrección de este problema no resulta sencilla, puesto que la modificación del paradero de subida no corrige cambios en la estructura de la matriz, además de cambios en los factores de expansión aplicados a los viajes con estimación de bajada.

Respecto de las columnas comuna_subida y comuna_bajada que presentan valores de números para etapas de metro, serán corregidas internamente modificando el número por el nombre de la comuna en que se encuentra la estación de metro.

Para las columnas Tespera_estimada_1era, Tespera_estimada_2da, Tespera_estimada_3era y Tespera_estimada_4ta se solicitó indicar como son obtenidas estas estimaciones a fin de utilizar apropiadamente las columnas. En cuanto a la columna escolar, la descripción del manual señala que presenta valor 1 para tarjeta estudiante y 0 para tarjeta regular. Sin embargo, presenta valores de 0 a 4, donde el valor 0 se identifica como tarjeta normal al revisar el pago de las validaciones, 1 y 4 presentan transacciones con pago nulo, y los valores 2 y 3 presentan transacciones con pago reducido de estudiante.

Por último, las columnas TiempoMedioDeViaje, PeriodoMedioDeViaje, MediaHoraMedioDeViaje, TipoDiaMedioDeViaje no presentan valores en la tabla. Para el desarrollo del informe se obtiene la columna TiempoMedioDeViaje para los viajes con hora de inicio y fin de viaje. Además se calcula una columna que agrupa los viajes por hora media cada 15 minutos, lo que permite obtener indirectamente la columna MediaHoraMedioDeViaje y PeriodoMedioDeViaje. La columna TipoDiaMedioDeViaje se reemplaza por la columna TipoDia, ya que en los periodos utilizados en el proyecto las columnas no deberían diferir.

La siguiente tabla muestra en detalle el problema, donde se agrupan paradas según la diferencia de distancia entre la posición de cada etapa obtenida de la tabla TB8 y la posición de la parada de subida asignada:

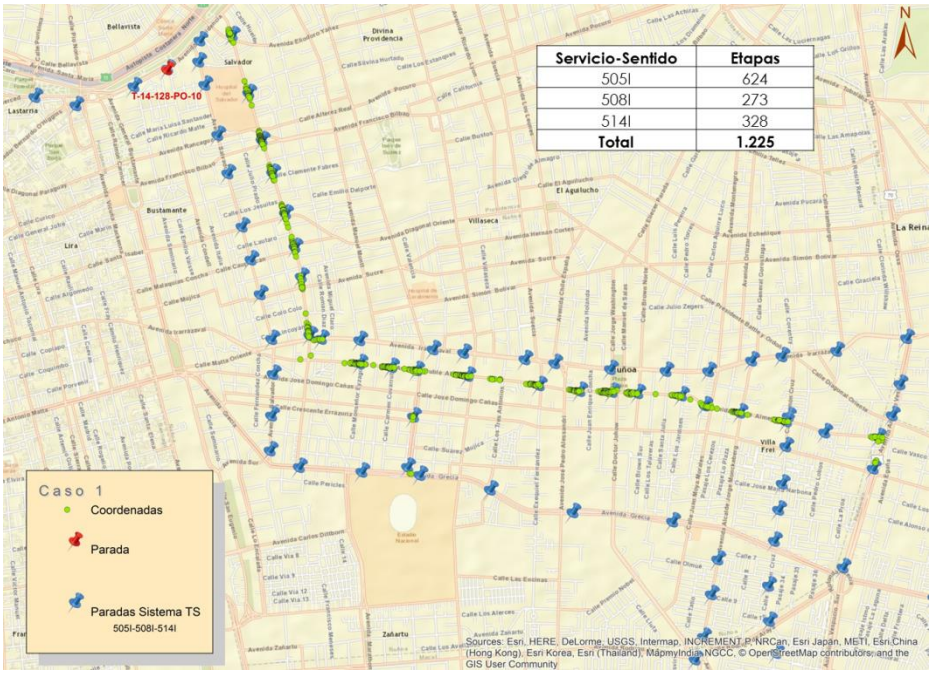
Tabla 2-12: Número y porcentaje de transacciones agrupados según distancia entre posición GPS de validación y posición de parada de subida, tabla etapas TB8

Distancia ParSub PosGPS	Transacciones	% r/total con dato
<=500	2,855,012	98.16%
<=1,000	34,962	1.20%
<=1,500	6,265	0.22%
<=2,000	5,143	0.18%
<=2,500	1,133	0.04%
<=3,000	952	0.03%
<=3,500	559	0.02%
<=4,000	727	0.02%
<=4,500	483	0.02%
>4,500	3,168	0.11%
sin_par_sub	3,964	
sin_posicion	183	
Total general	2,912,551	

Fuente: Elaboración Propia

A modo de ejemplo, la siguiente imagen muestra un caso particular. La parada T-14-128-PO-10, ubicada en Av. Providencia con Av. Condell, tiene asignada 1.225 transacciones (puntos verdes) que se encuentran a más de 500m de distancia. Estas validaciones se realizaron en los servicios 505I, 508I y 514I. En azul se señalan las paradas de estos servicios y se observa que las validaciones no fueron asignadas a la parada más cercana del servicio.

Figura 2-16: Ejemplo de problema de asignación de parada de subida



Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Matriz de boletos Edmonson

La información está desagregada por estación y periodo de 15 minutos. Por lo que se considera suficiente para estimar la matriz de viajes utilizando boleto.

Los boletos registrados durante la semana considerada para la estimación de la matriz, durante el periodo punta mañana de los 5 días laborales normales fueron:

Tabla 2-13: Boletos Edmonson del 23 a 29 de Mayo del 2016

Periodo	Boletos
6:30 AM-6:45 AM	11,702
6:45 AM-7:00 AM	15,122
7:00 AM-7:15 AM	18,416
7:15 AM-7:30 AM	21,726
7:30 AM-7:45 AM	23,766
7:45 AM-8:00 AM	25,654
8:00 AM-8:15 AM	25,798
8:15 AM-8:30 AM	26,774

Fuente: Elaboración propia.

Esta información fue actualizada en concordancia con la fecha de la semana en que fueron procesadas las tablas TB8 y TB9 para la construcción de la matriz de viajes.

2.2.4 Encuesta Origen-Destino (EOD) de viajes en Metro

La Encuesta Origen-Destino de Metro S.A. disponible para este estudio fue realizada durante 2014 a pasajeros que accedieron a Metro para llevar a cabo una etapa de su viaje. Este muestreo tiene como objetivo recoger detalles del viaje como son el origen y destino en la ciudad, el propósito de viaje, las demás etapas de su viaje y modos elegidos y las combinaciones dentro de Metro, entre otros campos que no son observados en las transacciones bip! a partir de las cuales se generan tanto la matriz de Metro como la matriz del sistema integrado bus+Metro. Además, es preciso resaltar que, a diferencia de las transacciones bip!, en el muestreo EOD se asume que entre los viajes interceptados está presente el fenómeno de evasión.

En cuanto a la caracterización general de esta fuente de datos, en el muestreo origen-destino de Metro 2014 se observaron 83.491 etapas realizadas en día laboral (lunes-viernes) y con inicio en los siguientes horarios:

- 7:00 a 10:00
- 13:00 a 15:00
- 17:00 a 20:00

Para fines de este estudio fueron consideradas las etapas en metro observadas con inicio entre las 7:00 y las 8:30 horas, lo que corresponde a 24.833 registros.

Con respecto a la utilidad de esta base de datos en el presente proyecto, es preciso hacer notar que esta fuente de información está limitada por la condición de muestreo (está lejos de ser la población completa y son datos reportados, percibidos por el entrevistado) y, por otro, por la metodología de recolección de la información: por un lado, contiene datos de tan solo aquellos viajes con una etapa en Metro y, por otro, en el periodo punta mañana no se realizaron entrevistas en todas las estaciones de Metro, sino en el 35% de ellas. Junto con la escasa representación de la red, la persona encuestada fue interceptada en el inicio de la etapa en Metro, lo que implica que la base de datos está sesgada en el origen de la etapa en Metro, es decir, no es un muestreo aleatorio en la estación de origen. Esto impide inferir conclusiones de los siguientes análisis que, de otro modo, habrían sido generados para su aplicación en el presente proyecto:

- Matriz de viajes en Metro en PMA, por lo que únicamente es obtenida de las transacciones bip!.
- Obtención de la tasa de viajes por estación de ingreso en Metro con etapa anterior en bus versus el total de viajes que inician etapa en la estación para la corrección por evasión parcial de la matriz observada de las transacciones bip!.
- Descripción del acceso a Metro en el origen del viaje para la estimación del radio de influencia por estación para su consideración en la generación de la matriz OD a asignar a partir de la zonificación.

Sin embargo, asumido el condicionamiento en origen, el destino de la etapa interceptada en Metro sí es aleatorio, lo que permite caracterizar el egreso y el radio de influencia en destino de las estaciones de Metro. Los análisis realizados son expuestos en las tareas en que sean un

aporte, como la definición de la hora de modelación y en el proceso de zonificación. No obstante, los análisis de esta base de datos que complementen cualquier proceso fueron considerados con cautela debido a los previsibles sesgos derivados del muestreo.

2.2.5 Encuesta Origen-Destino (EOD) de viajes de Santiago 2012 – "Actualización y recolección de información del sistema de transporte urbano, Etapa IX". Sectra, 2014

La Encuesta Origen-Destino de viajes de Santiago disponible para este proyecto fue un estudio encargado a la Universidad Alberto Hurtado por el Ministerio de Transportes a través de la Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA). La EOD Santiago 2012 es la base de datos con los viajes en 2012 en hogares de la Región Metropolitana y su radio de influencia que tiene por objeto informar del estado del transporte y el ajuste oferta-demanda, así como conocer el comportamiento de viaje con el fin último de evaluar el impacto de futuros proyectos o políticas.

El proceso de muestreo consiste en la realización de entrevistas personales presenciales a todos los miembros del domicilio en relación a los viajes realizados a lo largo del día y las características del domicilio y socioeconómicas de cada persona en él. El detalle de la información recogida permite conocer aspectos del viaje que otras fuentes omiten, como son las etapas en modos de transporte privados o públicos no integrados, el acceso y egreso desde los modos públicos o las etapas de viaje con pago evadido, que obviamente no es posible observar en las transacciones bip!.

Con respecto a la utilidad de esta base de datos en el presente proyecto, en primer lugar es importante notar la antigüedad de los datos, que fueron tomados en 2012, lo que lleva a esperar desviaciones de la matriz de viajes con respecto a la actualidad causadas por proyectos urbanos recientes y/o cambios en el uso del suelo; no obstante, sí se espera una estabilidad en la matriz de viajes "macro" (a nivel comuna o sector).

Por otro lado, los viajes de la EOD Santiago 2012 son viajes completos en la ciudad, que presentan etapas en todo medio de transporte y combinación entre éstos. Sin embargo, el modelo de asignación de este proyecto solo involucra viajes en transporte público integrado bip!. De esto se deriva que el diseño del cuestionario y la metodología de recolección de datos determinan la factibilidad de la extracción de las etapas en bus/metro y, por tanto, la aplicabilidad de esta fuente de información en el proyecto. En este sentido, la base de datos permite reconstruir la secuencia de etapas en modo bip! de los viajes con alguna etapa en bus/metro. Esto es posible mediante el uso de 3 tablas a partir de las cuales es posible extraer los tramos en modos bus/metro: "Persona", "Viajes" y "Etapa". Cada registro en las dos primeras tablas mencionadas tiene asociado un factor de expansión por día laboral normal que lleva a la estimación de aproximadamente 18 millones de viajes en Santiago en un día laboral que fueron reportados en el Informe Ejecutivo de esta EOD. Por otro lado, en la tabla de etapas se reporta el modo, el origen y el destino por cada registro, así como otros detalles asociados al modo utilizado. Sin embargo, no se reportan la hora de inicio y fin de cada etapa, por lo que únicamente se tiene esta información del viaje completo. De ella es posible

obtener la hora media del viaje completo de manera de identificar los viajes que transcurren en el periodo de punta mañana.

La reconstrucción de los viajes con etapas bip! permite llevar a cabo los siguientes análisis en las tareas correspondientes:

- Descripción del tiempo de espera en primera etapa en bus y de los tiempos de acceso y egreso en bus y metro de los viajes cuya hora media tiene lugar en el periodo punta mañana con el fin de asistir en la definición de la hora de modelación.
- Descripción de las etapas anteriores y posteriores a Metro para la consideración del radio de influencia de este modo en el proceso de zonificación.
- Obtención de la tasa de viajes por estación de ingreso en Metro con etapa anterior en bus versus el total de viajes que inician etapa en la estación para la corrección por evasión parcial de la matriz observada de las transacciones bip!.

Además, la reconstrucción de los viajes con etapas en modo bip! podría aplicarse también para validar las matrices a priori y estimada a nivel comuna y sector en relación al número de viajes totales y la estructura de viajes. No obstante, debido a la importancia de tal aplicación, primeramente se comprobará la validez de la propia información, mediante la comparación de los datos de la EOD 2012 cuya hora media tiene lugar entre las 6:30 y 8:30 horas con los datos de la TB8-Tb9 en relación a la matriz de viajes y las tasas etapas/viaje.

2.2.6 Red Vial

La información entregada con respecto a la red vial, corresponde a la red vial asociado al PO de 06 de mayo de 2017. En relación con esto, el DTPM dispuso en formato TCAD el sistema de transporte público vigente, con la correspondiente red vial, nodos, rutas y paradas.

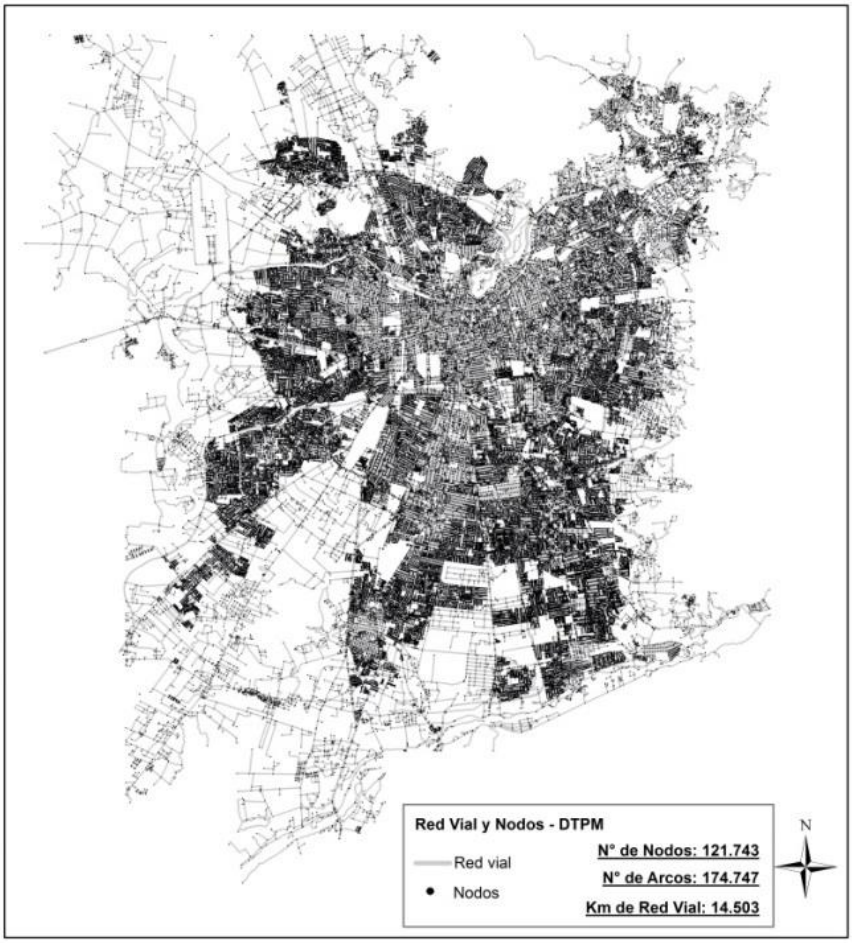
Para la revisión de esta información estos datos fueron exportados a formato de shapefile:

- Nodos (NVIAL_PO_20170506.shp)
- Red vial (Vial_PO_20170506.shp)
- Rutas actualizadas (RTS_PO_20170506.shp)
- Paradas (stop.xlsx)

La red vial cuenta con un atributo de clase para poder diferenciar por tipo de red vial (tales como calle, avenida, carretera, etc.).

A continuación se ejemplifican algunas de las clases de red vial encontrada en el shapefile.

Figura 2-17: Red vial y nodos - DTPM



Fuente: Elaboración propia

Al verificar la red vial en relación con los arcos contenidos en ella y compararlos con shapefile de nodos viales, se ha podido encontrar con 7 arcos viales que no poseen asignación de nodos, cuyos IDs son:

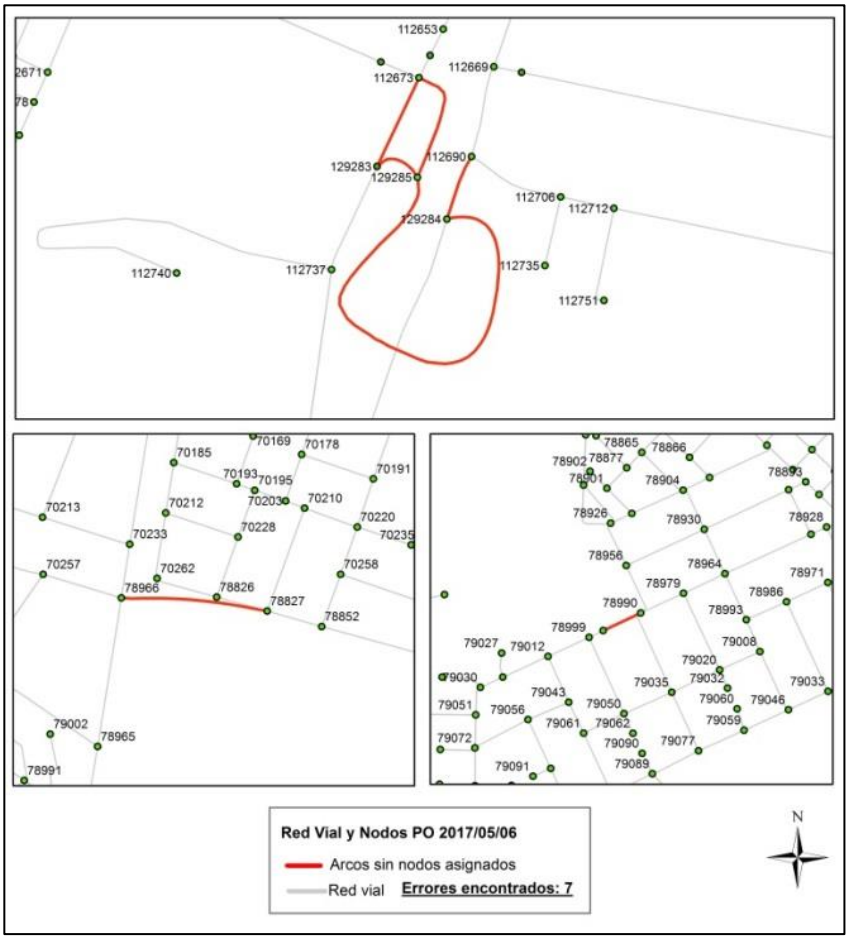
Tabla 2-14: Arcos sin nodos definidos

ID Arcos	
178489	178488
178491	178490
178492	178493
178487	-

Fuente: Elaboración propia

Además se encontraron casos en los que los nodos definidos como inicio fin de arcos no eran consistentes espacialmente con dicha definición. Sin embargo, estas incoherencias son mínimas y fueron corregidas.

Figura 2-18: Arcos con inconsistencia de nodos



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para la elaboración de itinerarios en la red simplificada, es necesario contar las clases de red vial que permiten el tránsito de transporte público asociado a buses. De esta manera, se ejemplifican las siguientes clases:

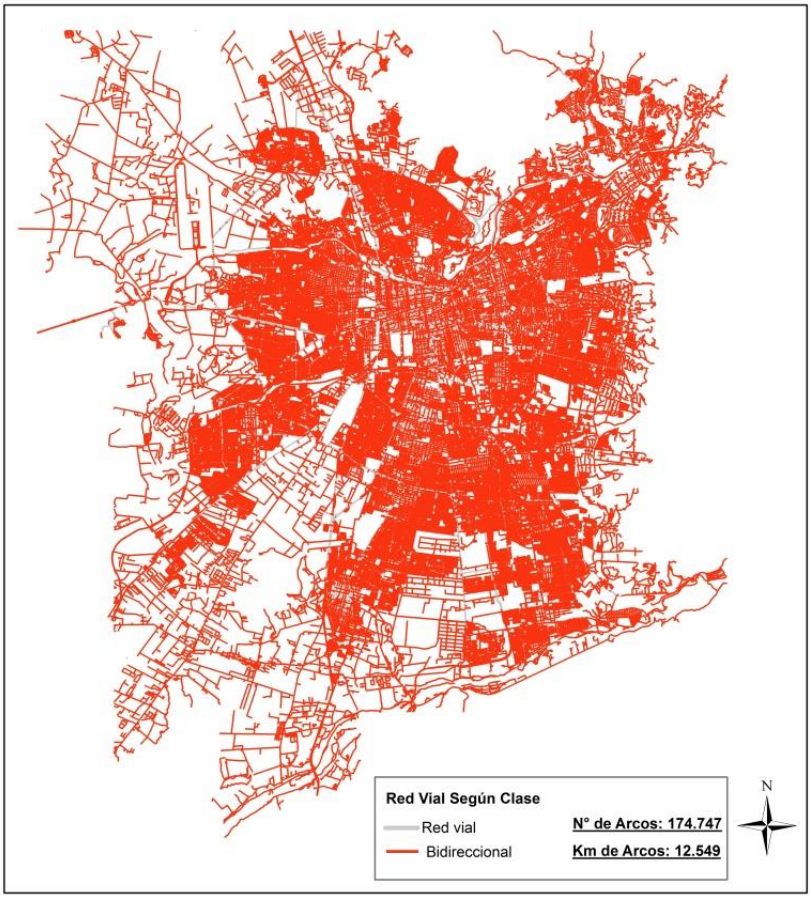
Tabla 2-15: Tipos de arcos según clase

Clase	N° de arcos	Suma de kilómetros
ACCESO	3	0,06
Autop	1	0,71
AVDA	26.708	2.346,88
CALLE	91.190	7.834,78
CARR	1.158	560,26
CORR	27	6,64
CORREDOR	410	106,79
HUELLA	54	11,21
Metro	104	98,53
PASEO	44	3,65
PBN	56	4,86
PSJE	53.601	3.430,24
PSN	16	2,05
PTE	187	11,86
RTDA	539	18,05
SALIDA	1	0,06
Transbordo	8	0,05
TUNEL	2	0,94
Sin información	637	65,40

Fuente: Elaboración propia

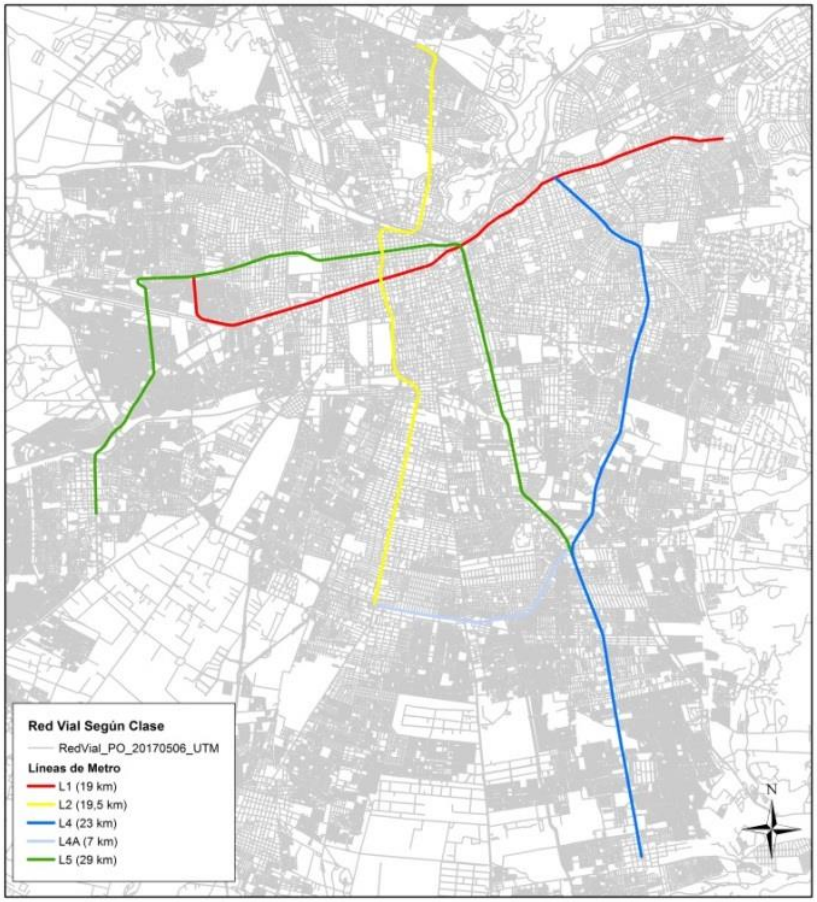
Las ilustraciones que se muestran a continuación se realizaron mediante la reasignación de clases de acuerdo a la base de datos entregada, agrupando atributos con nombres parecidos (por ejemplo, "CORR"-"CORREDOR"), con el fin de representar la representatividad sobre la red vial por clase.

Figura 2-19: Arcos bidireccionales – Red vial DTPM



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-20: Arcos clase metro – Red vial DTPM



Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los corredores viales, se agruparon los atributos "CORR" y "CORREDOR", entre los que se encuentra el corredor de Santa Rosa. Además se agregan los arcos de red vial pertenecientes a las estaciones intermodal de Lo Ovalle, Del Sol y Vespucio Norte.

En la siguiente tabla se consolidaron los datos observados en la base de datos de la red vial, agrupando los corredores de Transantiago, cuya información fue contrastada y validada con la publicada por la Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT).

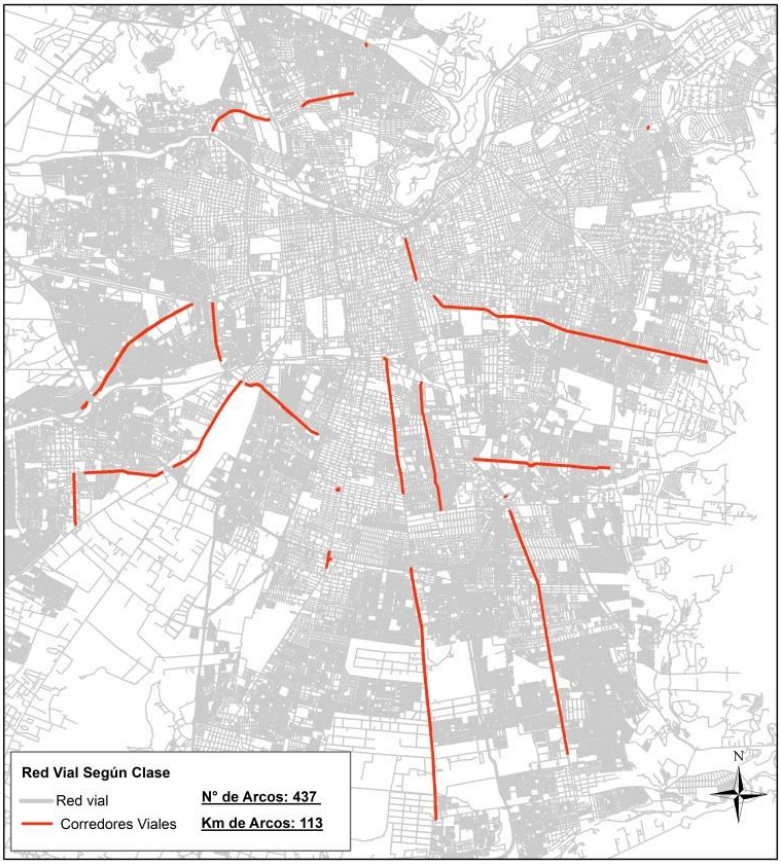
Tabla 2-16: Corredores STPS– Red vial DTPM

Corredores	Distancia (km)
CORREDOR SANTA ROSA	20.89
CORREDOR GRECIA	19.37
CORREDOR DEPARTAMENTAL	16.13
CORREDOR PAJARITOS	12.73
CORREDOR PEDRO AGUIRRE CERDA	12.51
CORREDOR VICUÑA MACKENNA	8.10
CORREDOR CONCHA Y TORO	4.66
CORREDOR JAIME GUZMAN	4.60
CORREDOR LAS INDUSTRIAS	4.51
CORREDOR DORSAL	3.24
CORREDOR LAS REJAS	2.20
TOTAL	**108.94**

Fuente: Elaboración propia

Lo anterior además se expresa en la siguiente figura.

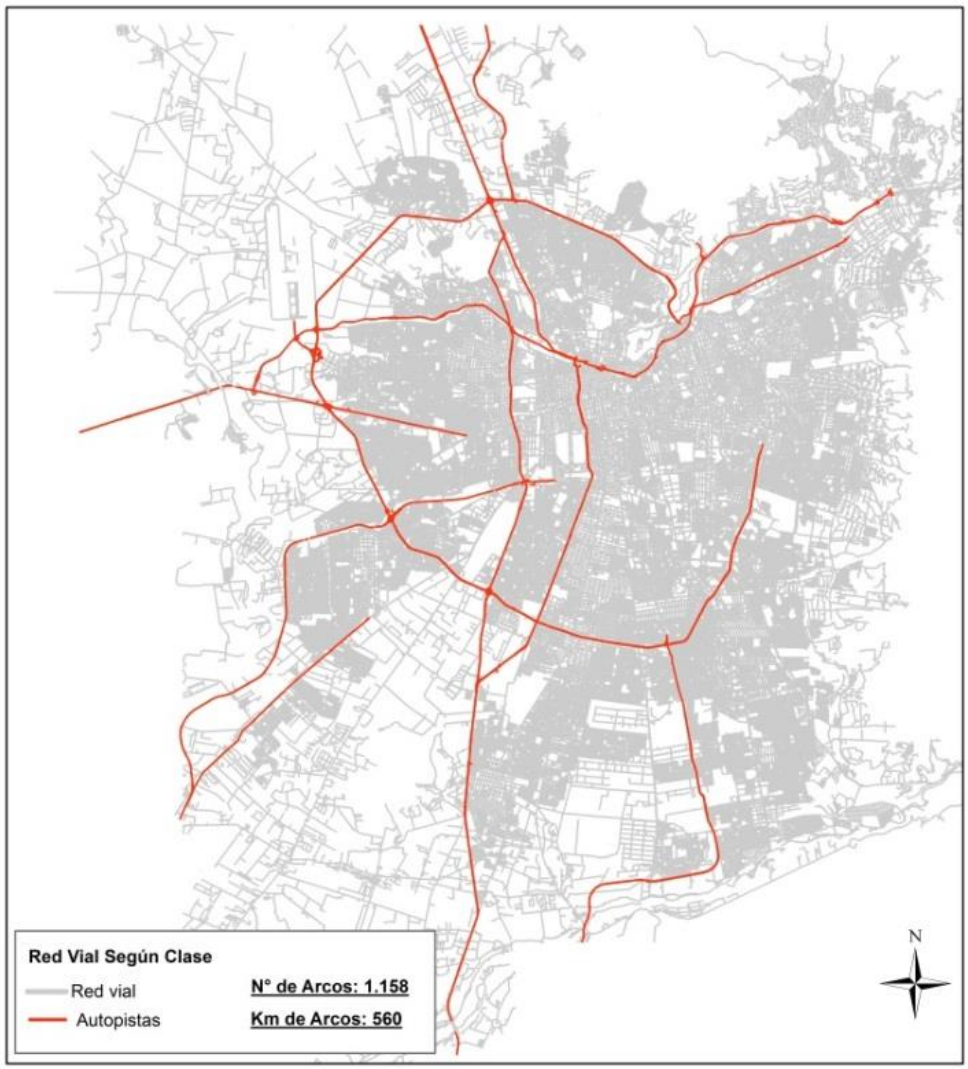
Figura 2-21: Mapa cobertura de corredores STPS



Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las autopistas, están asociadas al atributo Clase de tipo "CARR". A comtinuación se ilustran junto con la cantidad de kilómetros que poseen sobre la red vial.

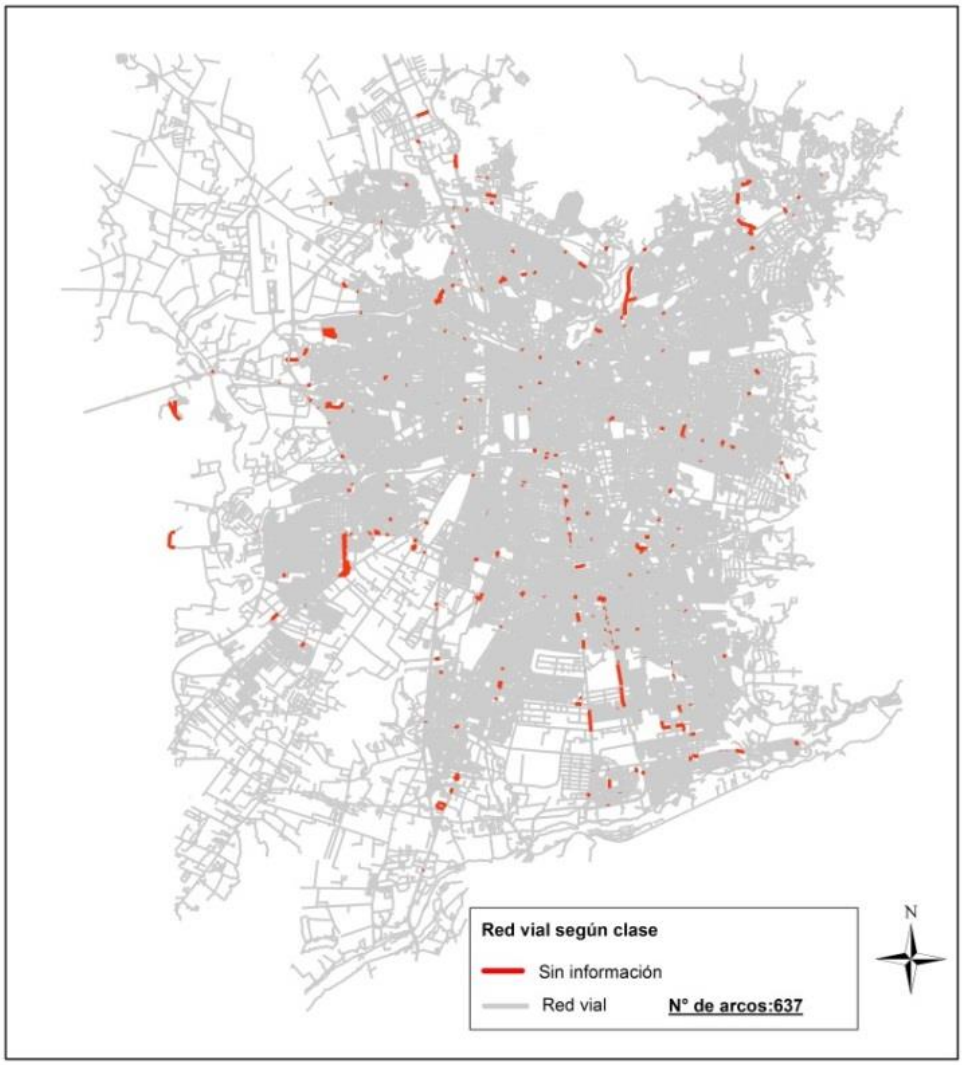
Figura 2-22: Mapa cobertura de autopistas



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la red vial contiene un número considerable de arcos sin clasificación, lo que obligó una revisión detallada de esta para determinar la pertinencia o no de dichos arcos en la construcción de la red vial simplificada.

Figura 2-23: Mapa cobertura arcos sin Tipo



Fuente: Elaboración propia

Al comprobar la información contenida en el archivo de nodos (NVIAL_PO_20170506), se encontró un atributo de nombre "LINEA" dentro del cual se agregan las estaciones de metro para las líneas 1, 2, 4, y 5. Así se tiene la siguiente tabla de número de nodos de acuerdo al tipo que pertenece (metro o red vial)

Tabla 2-17: Caracterización de Nodos - DTPM

ID_Nombre	N° de Nodos
L1	27
L2	22
L4	29
L5	30
Red Vial	121.635

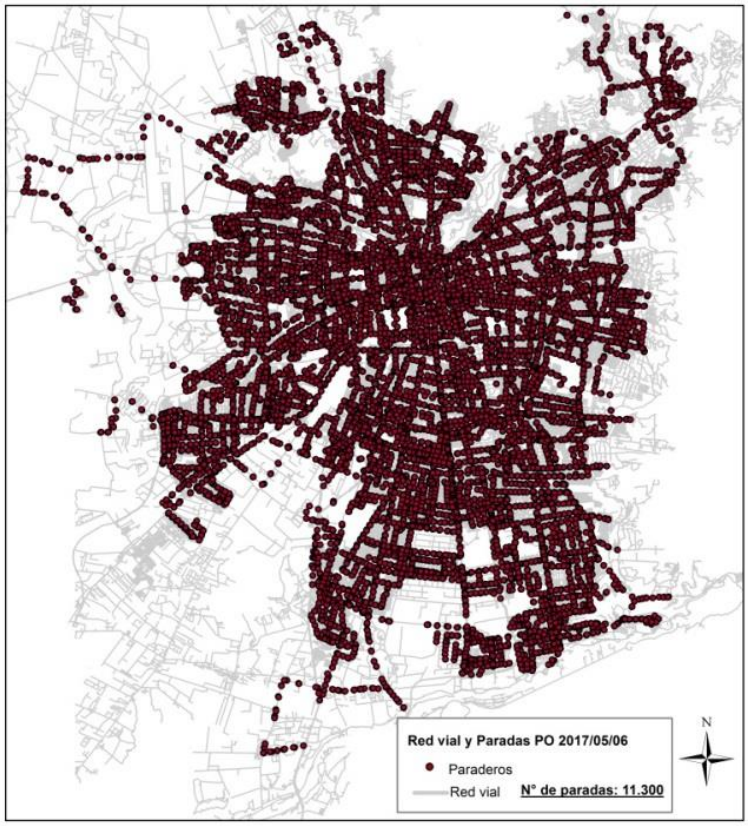
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para efectos de la construcción del STPS en el software EMME y los itinerarios de los servicios de bus, se considera importante agregar a los atributos dentro del shape de red vial alguna tipificación que permita diferenciar las vías correspondientes a ejes reversibles, ya que estas influyen en los sentidos de vías durante el período de punta mañana.

2.2.7 Paraderos de Bus y Estaciones de Metro

El shapefile PO-30-04-2016-Paradas-ser-frec (n° de paradas: 11.332) está georeferenciado y en sus campos están las paradas con sus respectivos códigos y servicios. Sin embargo, no existe una desagregación del orden de paradas por servicio. Es por esto, que fue utilizado el consolidado de paradas 2017-05-06 desde el cual, se obtuvo las paradas actualizadas al último PO junto con la información básica necesaria (n° de paradas 11.300) para construir la red simplificada de modelación.

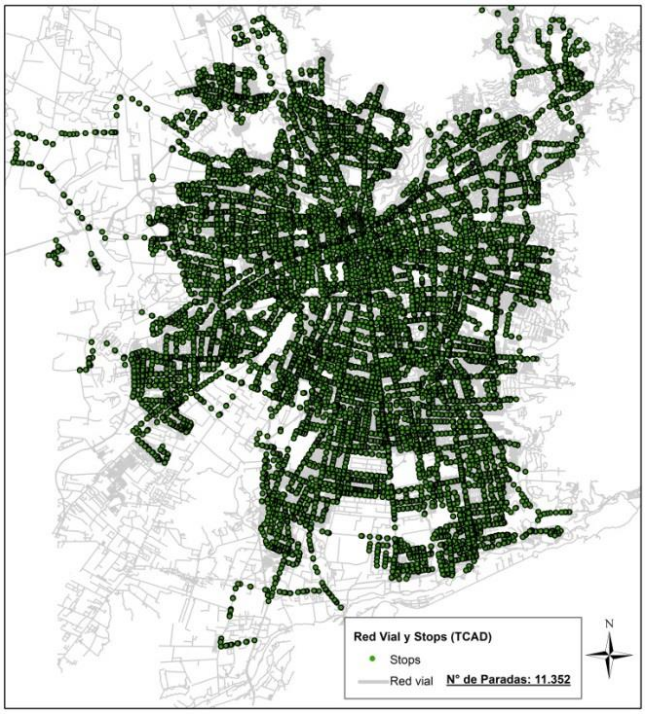
Figura 2-24: Cobertura de Paradas STPS



Fuente: Elaboración propia

También se encuentra el archivo Excel STOPS, en el que se encuentran las paradas ajustadas a la red vial y un campo de IDNODOMC que asigna el nodo más cercano a esa parada, entre otros. Sin embargo, no necesariamente corresponden al eje vial en que se encuentra en la realidad dicho paradero. Por lo que dicha asignación fue corregida.

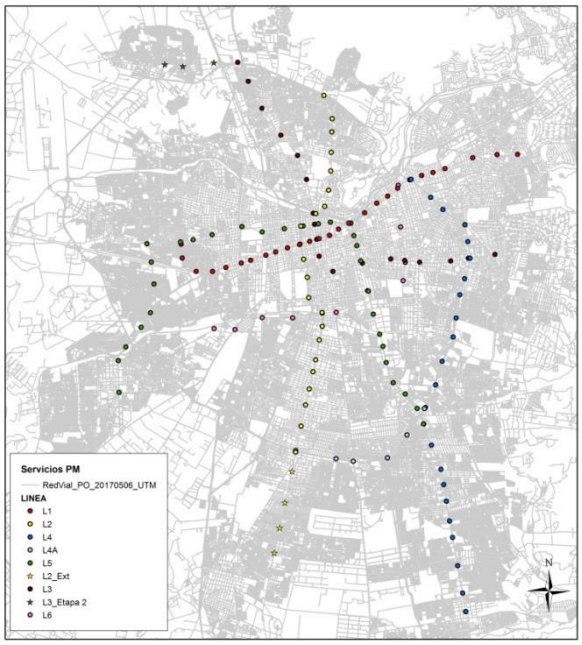
Figura 2-25: Cobertura paradas según archivo stops



Fuente: Elaboración propia

Los shapefiles correspondientes a la red de metro están georreferenciados y se incluyen las estaciones y extensiones de la línea 2 (hasta hospital del Pino), línea 3 (etapa 1 y 2) y línea 6 del metro de Santiago.

Figura 2-26: Cobertura de estaciones de Metro



Fuente: Elaboración propia

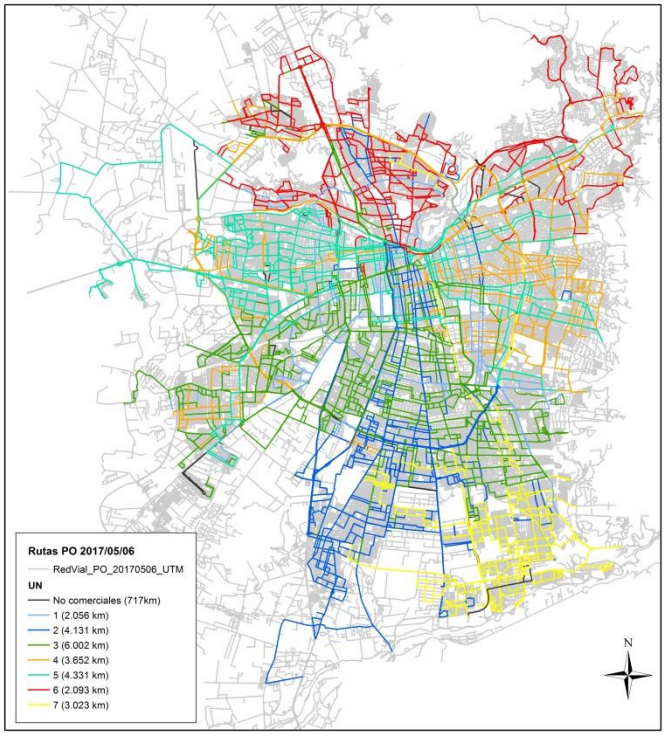
2.2.8 Rutas de los Programas de Operación de buses y líneas de metro

En la revisión de los archivos de rutas de acuerdo al PO con fecha 6 de mayo de 2017, se realizó una comparación con los archivos Excel contenidos en la carpeta de consolidado de trazados entregada, pudiendo verificar que el shapefile se encuentra con los itinerarios actualizados y georeferenciados.

Además, están contenidas todas las rutas con oferta de acuerdo al PO de mayo de 2017, con la salvedad que dentro de los campos de atributos del shapefile, no se encontró la unidad de negocio a la que pertenece cada una de ellas.

En la siguiente imagen se muestra la carga de kilómetros de las rutas por unidades de negocio sobre la red vial, en donde la unidad 3 es la que posee la mayor participación. Es importante señalar, que están las rutas no comerciales informadas en el Plan de Operaciones.

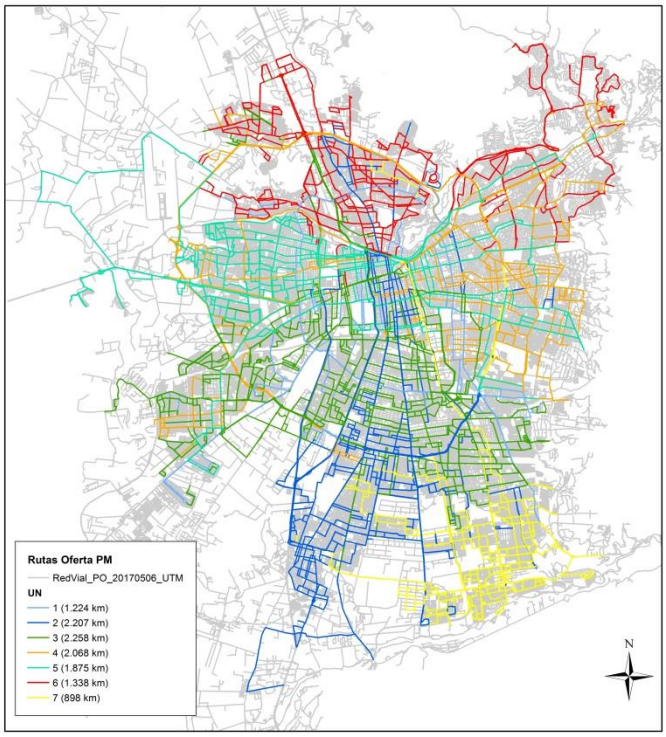
Figura 2-27: Cobertura Rutas STPS



Fuente: Elaboración propia

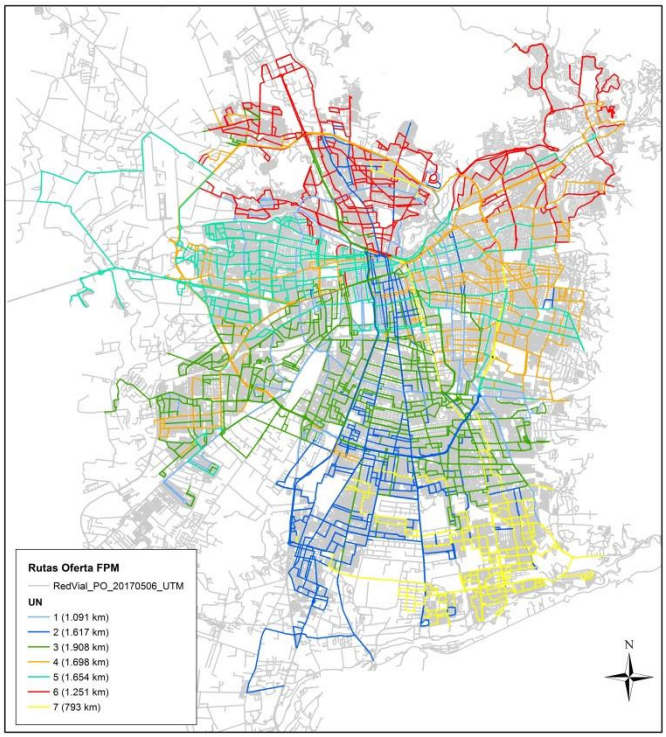
Por otro lado, se ilustran los servicios de acuerdo a la oferta de punta mañana y del perido fuera de punta mañana, desagregado por unidad de negocio junto con la carga de kilómetros que cada uno realiza sobre la red vial.

Figura 2-28. Cobertura Rutas STPS -Punta Mañana



Fuente: Elaboración propia

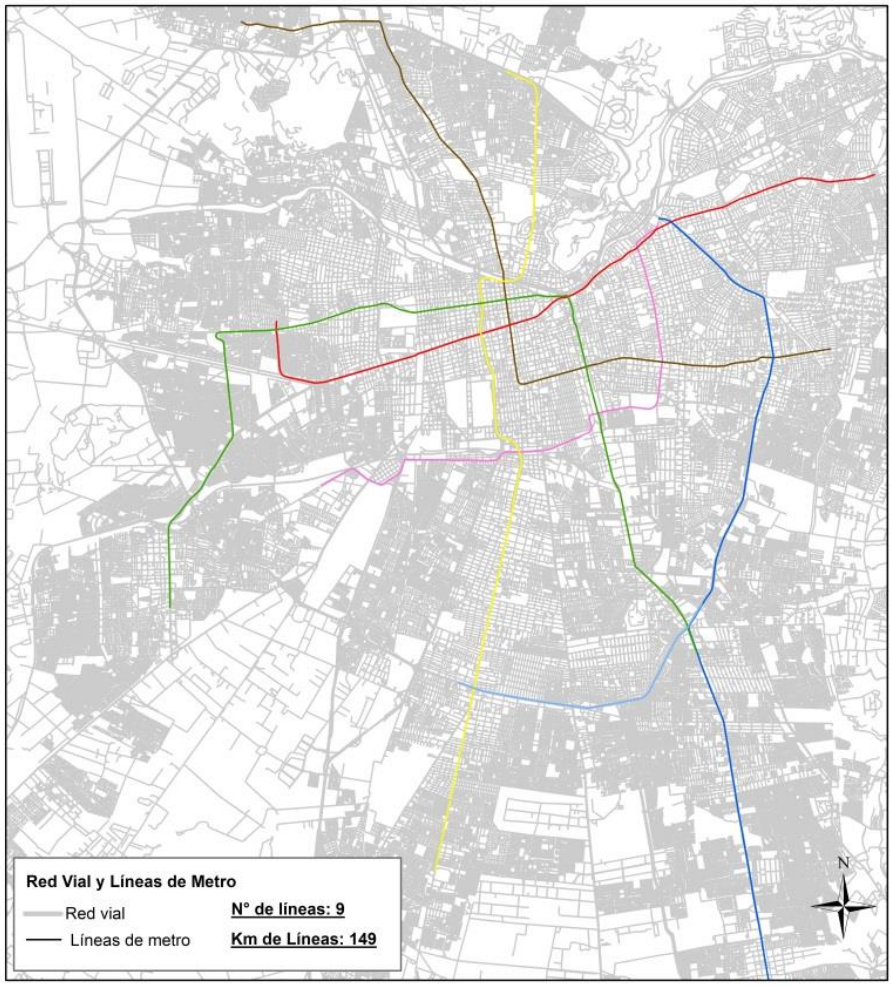
Figura 2-29. Cobertura Rutas STPS -Fuera Punta Mañana



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la información entregada de las líneas de metro contiene un consolidado de servicios actuales de metro. También se dispuso de shapefiles con la extensión de la línea 2 de metro, los tramos de las líneas nuevas 3 (primera y segunda etapa) y línea 6.

Figura 2-30. Cobertura Líneas de Metro



Fuente: Elaboración propia

2.2.9 Programas de Operación oficial de buses

Se dispuso de la información vigente del PO con fecha 6 de Mayo de 2017, que contiene la información de trazados, consolidado de paradas y oferta respectiva para la construcción de los diferentes escenarios considerados en el estudio. Además de los archivos TCAD que contiene la información geográfica actualizada de red vial, servicios de buses y paradas, tal como fue reportado en el punto anterior.

2.2.10 Programas de Operación oficial de Metro

La información referida al Plan de Operaciones de Metro entregada para el desarrollo de este estudio, corresponde a:

- Distancias entre estaciones
- Tiempo entre estaciones
- Tiempos de detención en estaciones

Todas correspondientes a información vigente del año 2017. Sin embargo, para la caracterización de la oferta de Metro en el modelo de asignación fue necesario contar también con:

- Frecuencia de trenes/hora por periodo
- Capacidad promedio o plazas ofertadas por periodo
- Itinerarios de servicios por línea (bucles y/o expresos)

Esta información fue solicitada a Metro por el consultor, previa autorización del mandante.

2.2.11 Indicadores de cumplimiento de frecuencia (ICF)

La información disponible de ICF corresponde a la semana de las transacciones que fue utilizada para estimar la matriz a priori, que posteriormente fue calibrada. Sin embargo, la información requerida para la correcta calibración de la matriz, fue la correspondiente al periodo representativo de la matriz a priori, es decir, al mes de agosto del año 2017, en el que se efectuaron los conteos para la calibración.

Por otro lado, el ICF requerido no debe ser "truncado", ya que este indicador debe caracterizar la oferta efectiva del sistema al momento de registrar los conteos. Así, el registro por servicio-sentido-tipo día-periodo, con las expediciones teóricas según el plan de operación y las expediciones observadas es el que fue utilizado.

Es por lo anterior, que esta información fue requerida al mandante con las características antes mencionadas.

2.2.12 Velocidades por arco

Las velocidades recibidas corresponden a mediciones con corte temporal de Abril 2017 y realizadas por arco entregando atributos de ID de arco vial, periodo, sentido de viaje, servicios expreso o normales y velocidades, destacándose que los períodos informados corresponden a datos medidos cada media hora entre las 6:00 y 9:30 (punta mañana), y 11:00 a 12:00 hrs (fuera punta mañana).

A partir de esta información fue posible estimar las velocidades comerciales por servicio cada media hora, los que fueron utilizados para caracterizar los tiempos de viaje por arco de la red vial en la modelación para el período de punta mañana y fuera de punta mañana.

Al analizar la información en SIG, se puede apreciar que en general la información entregada es acorde con los servicios informados por el programa de operación de Mayo de 2017 y con la red vial entregada por DTPM, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 2-31: Cobertura de arcos con velocidad asignada



Elaboración propia

Considerando que se requiere tener una cobertura de red vial con asignación de velocidades en todos los arcos, se procedió a realizar una estimación de velocidades en arcos de la red vial sin información observada que considere la información de la vialidad aledaña y se comparó el resultado con la información por servicio para asegurar consistencia.

2.2.13 Perfiles de carga y tasas de ocupación

Para el proceso de validación de resultados del modelo de asignación calibrado, se requiere de información de Perfiles de Carga y Tasas de Ocupación observadas. En este contexto, la información disponible para este fin corresponde a la recogida por DICTUC en el proyecto "Elaboración de Indicadores de Desempeño del Sistema de Transporte Público, II Etapa" para los servicios de bus correspondientes al año 2012. Mientras que para los servicios de Metro, se cuenta perfiles de carga correspondientes a Mayo del 2016.

Dado que las mediciones de DICTUC, corresponden principalmente a perfiles de carga realizadas el año 2012, se considera que esta información no es lo suficientemente actual para los objetivos de validación. Es decir, no representa información adecuada para la

validación de los resultados de la asignación de un modelo de transporte público calibrado para el año 2017.

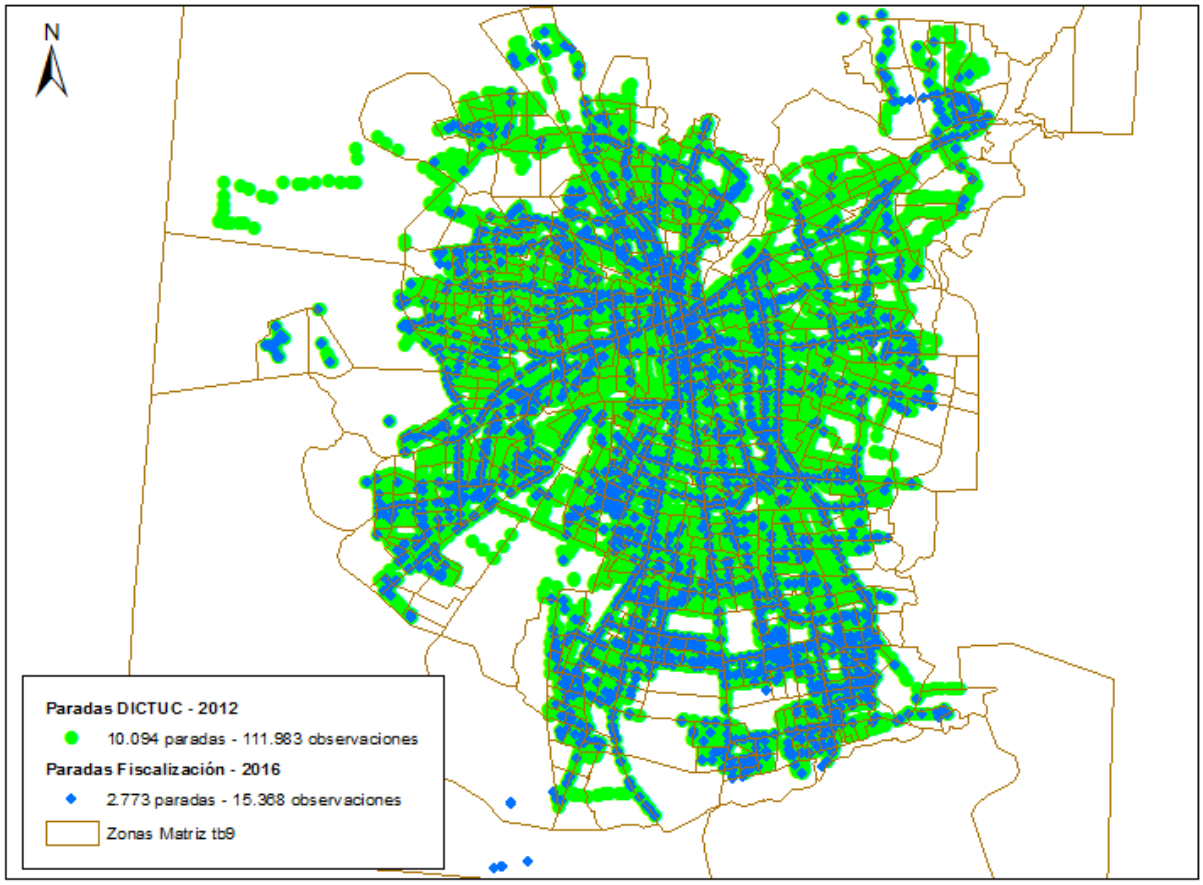
Con respecto a los perfiles de carga de Metro, se solicitó actualizar la información entregada correspondiente al mes de Mayo del 2016, al mes de agosto del 2017, periodo de la matriz calibrada en el modelo. Cabe señalar, que la fuente de los datos es la simulación realizada en CALDAS.

2.2.14 Información de evasión: evasión medida por DICTUC 2011-2012; evasión medida por Programa Nacional de Fiscalización 2013-2015

La información referida a la evasión tiene como objetivo estimar la una matriz de viajes que represente la evasión del sistema. Tal como se planteó en la propuesta, existen 2 tipos de evasión: una considerada como evasión dura (los usuarios no pagan ninguna etapa del viaje, el que es realizado íntegramente en servicios de buses) y una evasión parcial, en la que por distintas razones usuarios evaden una primera etapa en bus, sin embargo la segunda etapa realizada en Metro es pagada, por lo que este tipo de comportamiento responde a una corrección parcial de los viajes que sean estimados con este comportamiento.

Para caracterizar la evasión "dura" es que se requiere de información de evasión detallada a lo menos a nivel de zona utilizada en la tabla de viajes que será estimada. Dentro de la información disponible se contó con mediciones de evasión realizadas el año 2012 en el marco del proyecto "Elaboración de Indicadores de Desempeño del Sistema de Transporte Público, II Etapa", con dicho nivel de detalle. Posterior a esas mediciones, se cuenta con un registro de mediciones realizadas por el Programa de Fiscalización de Transportes para el año 2016, el que tiene por objetivo estimar la tasa de evasión por Unidad de Negocio.

Figura 2-32. Cobertura Mediciones Evasión



Fuente: Elaboración propia

Dado lo anterior, se consideró que la información de evasión no es lo suficientemente actualizada, debido al incremento que esta ha registrado en los últimos años. Sin embargo, fue la única información disponible para el proceso de la estimación de la matriz de viajes a priori.

Con respecto al ajuste en los orígenes de los viajes que registran la primera etapa en metro en las tablas de viajes estimadas a priori, que pueden corresponder a viajes que se inician en otra zona con una primera etapa evadida en bus, es que fue necesario contar con información referente al modo de acceso en la red de metro. Esta información es registrada en las EOD realizadas cada cierto tiempo por Metro.

La base entregada para el desarrollo del presente estudio, corresponde a la EOD de Metro, realizada el año 2014, en la que se cuenta con información registrada en 38 de los 108 casos que resultan de considerar cada combinación de estación+línea de metro.

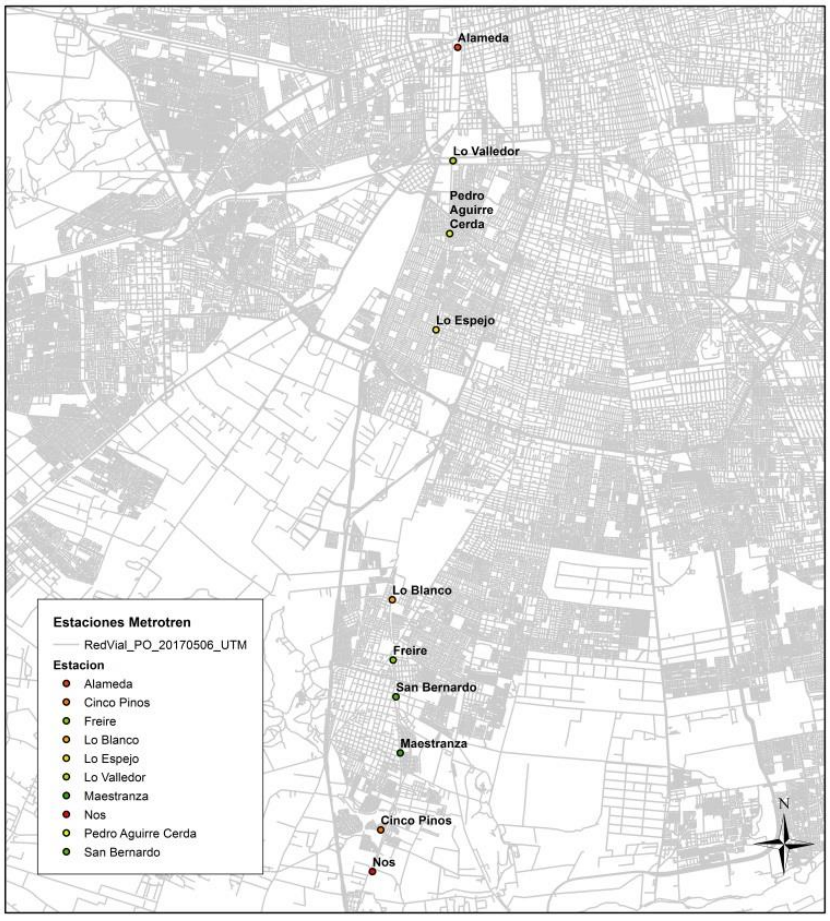
Es por lo anteriormente expuesto, que se evaluará la posibilidad de caracterizar el modo de acceso de todas las estaciones de la red a partir de la información disponible, en la medida que esto represente efectivamente una adecuada caracterización del modo de acceso por estación. En caso contrario, se evaluará utilizar alguna fuente de información adicional que permita lograr el objetivo planteado.

2.2.15 Oferta y demanda de Metrotren

Tras la revisión de la información relacionada con el Metrotren, se ha podido encontrar el Plan de Operaciones Inicial Servicio Alameda-Nos, que entrega información sobre frecuencia y capacidad por horario, tiempos de viaje entre estaciones y las coordenadas geográficas de las estaciones.

No obstante, fue necesario solicitar información referente a la distancia entre estaciones y la red que une a cada una de las estaciones del servicio.

Figura 2-33. Estaciones de Metrotren



Fuente: Elaboración propia

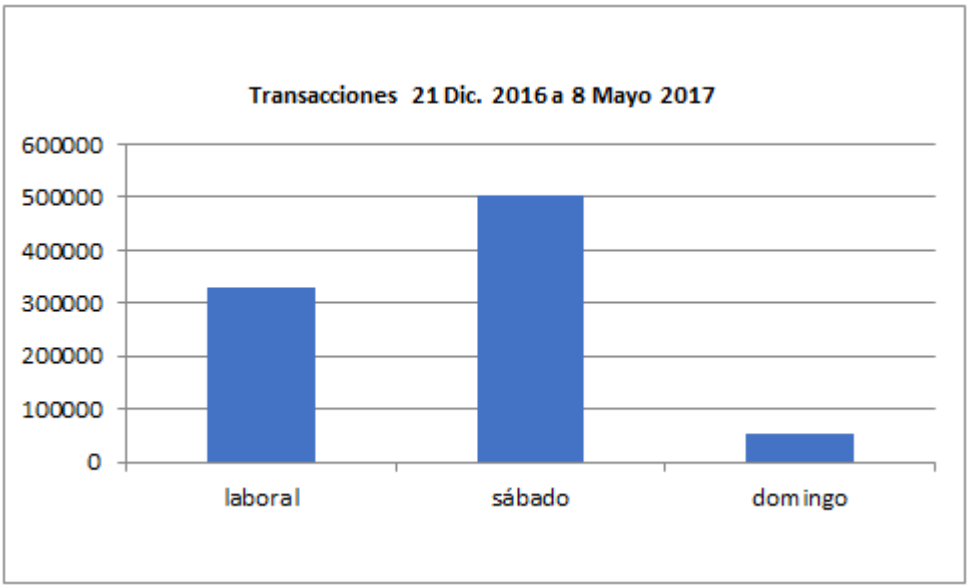
Por otro lado, fueron revisados los archivos que incluyen las transacciones mediante dos archivos Excel, los cuales son:

- trx_metrotren.xlsx
- YDRAY-Trx-Trenes_Entrega2.xlsx

En el primer archivo, se informa las transacciones realizadas desagregada por día, tipo de día (laboral, sábado y domingo) mes y la fecha realizada, cuyo último reporte es el 08/05/2017.

Sin embargo, este nivel de detalle no permite caracterizar la demanda registrada por hora o periodo del día, ni a nivel de estación.

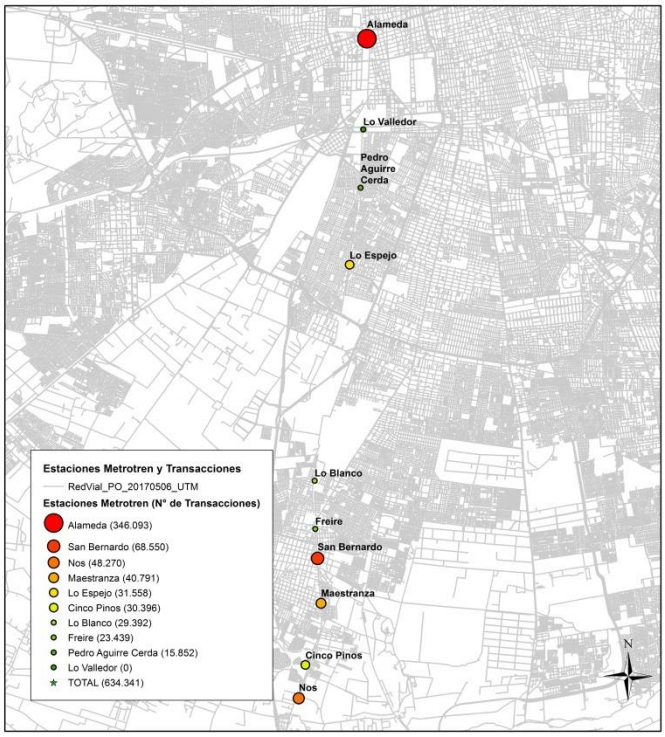
Figura 2-34. Transacciones Metrotren (Dic 2016-Mayo 2017)



Fuente: Elaboración propia

El segundo archivo, contiene las transacciones realizadas por estación de metrotren y la fecha realizada. Para ilustrar lo anterior, se muestra la información disponible mediante la siguiente ilustración.

Figura 2-35. Estaciones de Metrotren y transacciones por estación



Fuente: Elaboración propia

Para la adecuada caracterización de la demanda que significa actualmente el Metrotren en el STPS, fue necesario redefinir la semana de análisis de la demanda posterior a la marcha blanca del servicio. Esto es, al mes de agosto del 2017.

2.3 RESUMEN

Los antecedentes revisados se establecieron tanto en las bases de licitación como en la propuesta técnica, además de otros que sugirieron durante el desarrollo de la propia tarea y del estudio. Las fuentes de información analizadas constituyen aportes a la red de modelación, la oferta, la demanda o a la consecuencia de todo ello, como son las observaciones de cargas del sistema y velocidades, así como aportes metodológicos.

Tras la revisión expuesta es posible concluir que se dispone de una amplia variedad de información que fue aplicada en todas las fases del proceso de actualización del modelo de asignación de transporte público para la ciudad de Santiago. De manera específica, las tablas de etapa y de viajes construidas a partir de la metodología de Munizaga y Palma (2012) con los datos de las transacciones bip! resulta una fuente de información de demanda de gran valor por su cuantía, detalle y fiabilidad. Por otro lado, tal y como se justificó en el análisis, debieron ser tomados con cautela los datos de demanda observados en encuestas origen-destino. Además, tanto los datos de encuestas como las observaciones de demanda evasora podrían exigir el diseño de metodologías que consideren las diversas fuentes disponibles con el fin de aprovechar al máximo la información que, en muchos casos presenta diferentes

fechas y procesos de recolección, lo que es abordado en el capítulo 6 de estimación de matriz.

La revisión bibliográfica constituye un importante aporte metodológico en relación al modelo de asignación de 2011 desde el que se comienza el trabajo, así como de la metodología de recolección de datos o de diseño de procesos como la zonificación o la corrección por evasión de la matriz de demanda de viajes, todo lo cual está considerado en la definición de los ajustes metodológicos y que fue considerado en el desarrollo de las tareas.

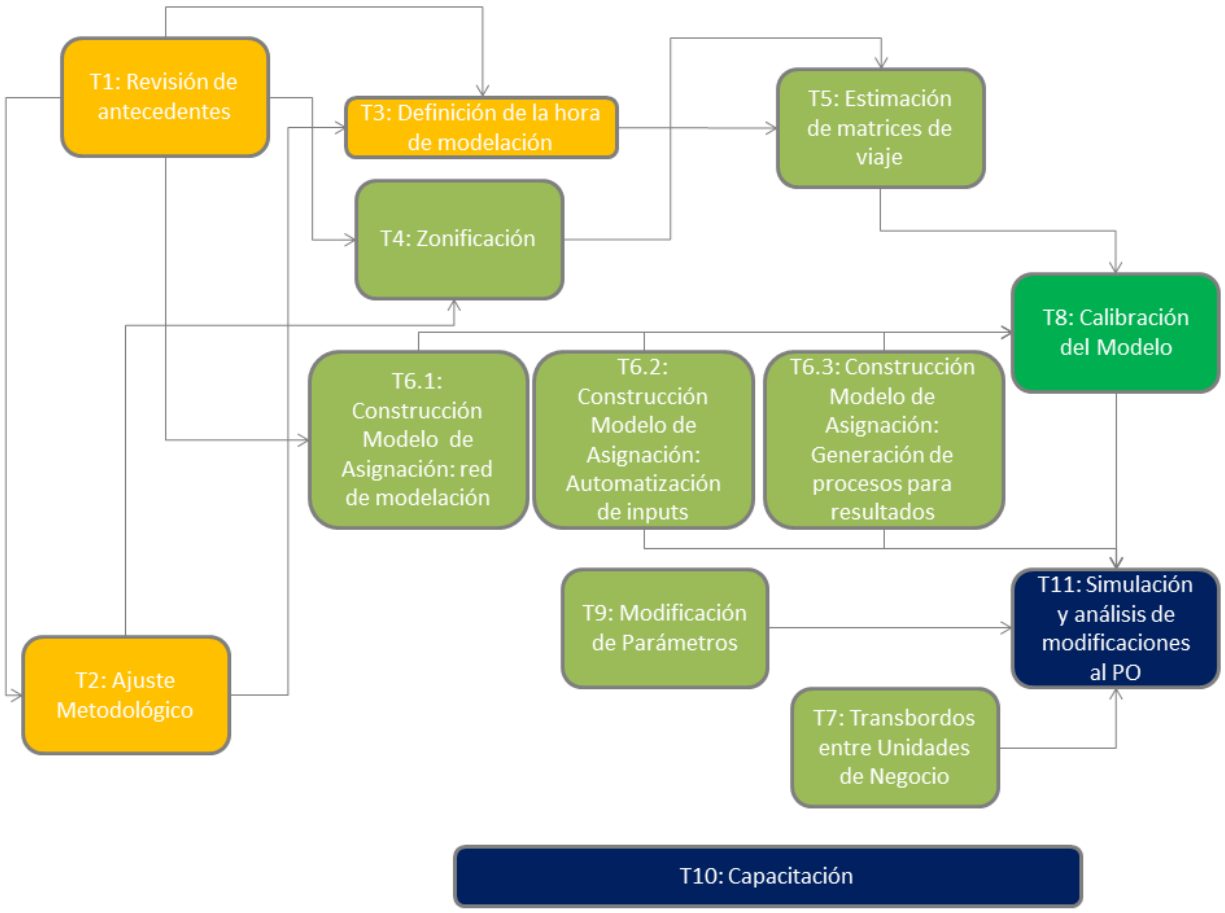
3 AJUSTES METODOLÓGICOS

La revisión y análisis realizados tanto de estudios e investigaciones anteriores como de las fuentes de datos permitieron identificar su potencial y deficiencias, lo que en algunos casos requirió de rectificaciones metodológicas. Por ello, a continuación se exponen los ajustes necesarios a la metodología con el fin de considerar eventuales restricciones que pudieran ser necesarias durante la ejecución del estudio y que se derivan de la caracterización de los datos expuesta en la anterior sección, los que fueron incorporados, de tal manera de cumplir cabalmente los objetivos, resguardando la calidad en la ejecución global del estudio y sus resultados.

Es preciso señalar que no todas las tareas requirieron de ajustes metodológicos. De todas las tareas que conforman el flujo de trabajo de este estudio (ver figura), en este acápite se describen los ajustes metodológicos de los siguientes procesos:

- Hora de modelación
- Zonificación
- Validación de los resultados de la calibración

Figura 3-1: Diagrama de Tareas



Fuente: Elaboración Propia

3.1 HORA DE MODELACIÓN

De acuerdo a lo descrito en las bases técnicas de la licitación, el modelo de asignación de viajes del STPS debe representar la operación del transporte público integrado y los viajes realizados por los usuarios en el sistema en el periodo de punta mañana. Se debe considerar que, por la extensión de Santiago, la hora punta dentro de un periodo no es la misma en todas las zonas de la ciudad. Luego, en el contexto de la calibración del modelo del periodo punta mañana, corresponde definir o proponer metodológicamente la forma en que se determinará la hora de modelación de asignación.

Para la definición de la hora de modelación se debe considerar la representación de las siguientes variables en el periodo Punta Mañana:

a) Oferta del STPS
b) Tarifa del STPS
c) Velocidades STPS
d) Demanda del Periodo

Tanto la oferta como la tarifa del STPM son constantes a lo largo del periodo punta mañana, por lo que la modelación de una (1) hora podrá ser representada como un promedio de dichas características, en el periodo.

Por su parte, las velocidades del STPS varían tanto espacial como temporalmente dentro del periodo punta mañana. Entendiendo que las velocidades son, en parte resultado de la propia asignación de la demanda a la oferta o dependientes de la hora de modelación escogida, fueron representadas las velocidades asociadas a la hora de modelación en que fue definida la demanda.

Por lo tanto, la hora de modelación se define principalmente por la variable de demanda del periodo. Ciertamente y como se explicita en las Bases de Licitación, la metodología a proponer debe ser tal que represente la operación del transporte público en el área donde opera Transantiago. Esto último es precisamente el elemento central de la metodología que a continuación se detalla, toda vez que el fin último de un modelo de asignación es utilizar su capacidad representativa para predecir el comportamiento del sistema y de la demanda, ya sea frente a cambios en la oferta de transporte o de su propia estructura y cuantía:

i. Como referencia general, y sin que la definición administrativa del periodo punta mañana de Transantiago sea dogma, entenderemos que este se desarrolla entre las 6:30 y las 8:30 de la mañana de un día laboral normal.
ii. Interesa entonces representar los viajes que se desarrollan en el periodo, independiente de la duración de ellos, y de si dichos viajes se desarrollan íntegramente al interior de él. Una parte importante y mayoritaria de este universo de viajes es posible identificarlo con gran detalle en la TB9, a partir de los horarios de subida de la primera validación y bajada de la última validación de viaje. Sobre esto es importante mencionar algunos supuestos o consideraciones de valor, a saber:
    a) En rigor, los viajes en Transantiago comienzan previo al horario de subida de la primera validación, con al menos una etapa de caminata y otra de espera que no son despreciables o minimizables en este análisis, sobre todo considerando que existe información complementaria que permite asumir o estimar dichas etapas previas. Fuentes disponibles para realizar el análisis fueron: Medición de tiempos de viaje Inicio a Fin desarrollados por la Autoridad, información EOD 2012 e información EOD Metro 2014.
    b) Los evasores duros, entendidos éstos como aquellos que no validan en ninguna de sus etapas, no están representados en la TB9. Sin embargo, sin pérdida de generalidad, podemos asumir la evasión para cada zona como un porcentaje del total de viajes generados en ella, homogénea en las horas del periodo punta mañana.
    c) No a todos los viajes es posible asignarles un paradero de bajada a su última etapa, de modo que no todos ellos poseen una estimación de horario de bajada (o término). Para aquellos viajes fue utulizada la expansión incorporada en la TB9.
    d) Tampoco los viajes en Transantiago terminan en el instante del horario de bajada de la última validación, pues al menos existe una etapa de caminata posterior que podría considerarse ya que existe información complementaria

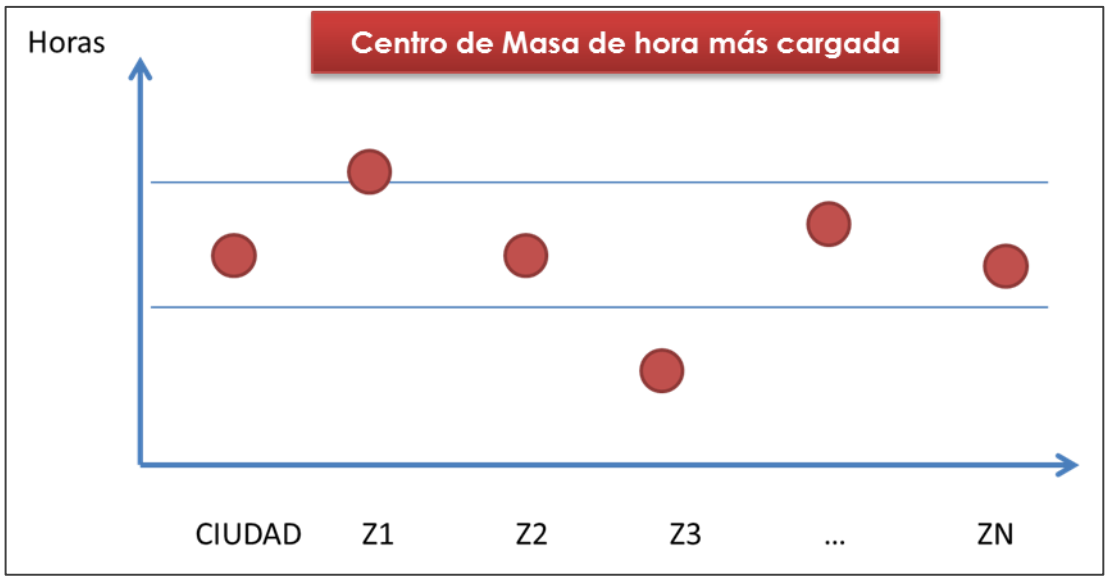
que permitiría asumir o estimar su cuantía. Fuentes disponibles para realizar el análisis fueron: Medición de tiempos de viaje Inicio a Fin desarrollados por la Autoridad, información EOD 2012 e información EOD Metro 2014.

e) La evasión de primera/última etapa, distorsiona no solo el origen/destino del viaje sino también la hora media del mismo, por lo que fue necesario incorporar información complementaria que permita evaluar esta distorsión y de ser necesario, corregirla.

Si bien algunos de estos aspectos podrían a priori considerarse efectos de borde no relevantes, el equipo técnico propuso estudiarlos para dimensionar su cuantía y sesgos de una posible no consideración.

iii. A continuación de identificar los viajes que se desarrollan en el periodo punta mañana, y a partir de una zonificación previa, se realizó un análisis estadístico general y específico de los viajes de punta mañana. Se propuso caracterizar los viajes por hora media de viaje, aunque se evaluaron otras opciones (como hora de inicio de viaje, hora de fin de viaje u otro) con el objeto de establecer si alguna de ellas presentaba ventajas que justifiquen modificar la propuesta. Junto con identificar la hora más cargada de viajes generados del sistema (según hora media de viaje), se identificó la hora más cargada de viajes de cada zona definida y su centro de masa, estableciendo en cuántas y cuáles de ellas dicho centro de masa se encuentran al interior de la banda de hora más cargada del sistema.

Figura 3-2: Centro de masa de hora más cargada por zona



Fuente: Elaboración propia

iv. En este punto, la hora de modelación podía establecerse bajo dos enfoques. El primero, una composición de las horas más cargadas de cada zona. La segunda, a juicio del equipo consultor la más adecuada y finalmente la aplicada, adoptar como hora de modelación la banda de una hora de duración de la hora más cargada del

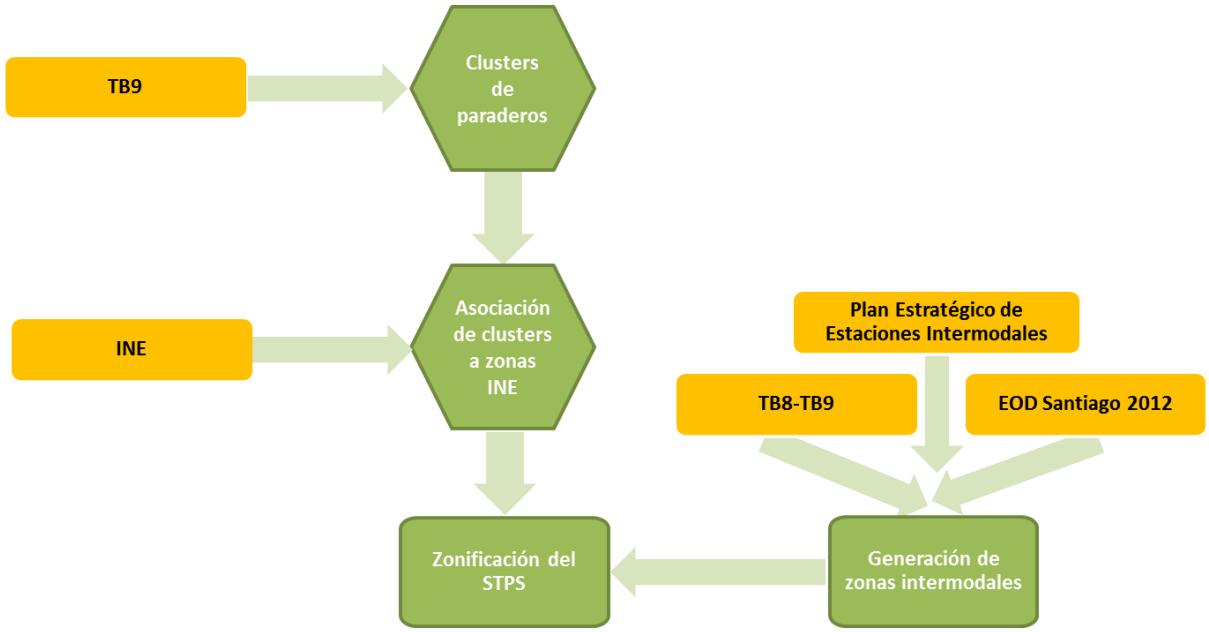
sistema, corrigiendo los viajes de las zonas en que su centro de masa de hora más cargada se encuentra fuera de la banda general, siempre y cuando la diferencia de viaje de una zona, entre su hora más cargada y la hora más cargada del sistema, sea considerable.

Esta metodología general fue aplicada también para determinar la hora de modelación del periodo de fuera de punta, que es parte de las tareas adicionales ofrecidas por el equipo consultor.

3.2 ZONIFICACIÓN

Este proceso tiene como objetivo la clasificación de la red de transporte público en zonas mediante la agrupación de paraderos cercanos cuyo funcionamiento sea homogéneo. Con este fin, se propuso el siguiente diagrama de flujo del desarrollo de esta tarea:

Figura 3-3: Diagrama de flujo del proceso de zonificación



Fuente: Elaboración propia

Tal y como se muestra en el diagrama, se propuso que la zonificación considere tanto los límites administrativos como el comportamiento de viaje, así como la intermodalidad, por lo que las principales fuentes de información base que fueron consideradas en esta tarea son las siguientes: la zonificación del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), las tablas TB8 y TB9 de etapas y viajes, el Plan Estratégico de Estaciones Intermodales licitado por la SECTRA y que está siendo ejecutado actualmente, y la EOD de Santiago 2012.

Se propuso una zonificación que aproveche las ventajas de las dos perspectivas de zonificación posibles dadas las fuentes de información disponibles:

- La zonificación administrativa es la tradicionalmente aplicada; se basa en los límites urbanísticos con los que trabaja la administración pública y, por tanto, facilita la realización de proyecciones económico-demográficas y de uso de suelo.
- La zonificación según la demanda de los modos bus y metro aporta información del comportamiento de viaje de los usuarios, que a su vez es producto del uso del suelo y la interacción oferta-demanda.

La zonificación tradicional es la definida por los límites administrativos, viales e intersecciones que responden a límites sectoriales y comunales definidos y aplicados para objetivos de censo, fiscalización y análisis económico-demográficos. Por el contrario, un enfoque basado en los datos de demanda tiene el objetivo de agrupar los paraderos en zonas cuyo comportamiento en términos de transporte sea homogéneo, por lo que la zonificación asume simultáneamente la interacción de 3 aspectos: el uso del suelo, la demanda y la oferta, y por tanto el modelo se adapta así al propio sistema de transporte que se está modelando.

Los dos enfoques mencionados están contenidos de manera complementaria en la propuesta técnica; no obstante, es preciso resaltar que la innovación en esta tarea reside en la consideración de la demanda de transporte de manera adicional a la zonificación administrativa. Dos son las razones que motivan la búsqueda de una zonificación en la que se complementen los límites administrativos y las observaciones de demanda:

- La información de demanda observada a partir de las transacciones bip! permite agrupar paraderos que presentan comportamientos de viaje similares y ello reduce la generación de errores que son comunes en la zonificación tradicional como es la agrupación de paradas separadas por autopistas o por alguna barrera natural o, viceversa, la separación en zonas distintas de paraderos que funcionan de manera similar como consecuencia de la interacción uso de suelo-demanda-oferta.
- A pesar de que los patrones de viaje son producto del uso del suelo, a priori podría resultar complejo estimar el crecimiento de la demanda y proyectar escenarios futuros únicamente en base a criterios de demanda de transporte; por ello se propone una agrupación de paraderos de comportamiento similar y que, a su vez, presente una equivalencia administrativa.

Por las anteriores dos razones se propuso considerar las dos fuentes de información y así complementar los dos enfoques, para aprovechar el potencial de ambas; en otras palabras, se buscó que al interior de los límites administrativos, los paraderos sean agrupados en zonas homogéneas en relación al comportamiento de viaje. Esto permitirá que las proyecciones de demanda puedan realizarse en cada zona en base a los índices económico-demográficos tradicionales y, por tanto, la funcionalidad de la zonificación quede asegurada a la manera que es común en proyectos de transporte.

En relación al proceso de trabajo, en una primera fase, la propuesta sugiere la agrupación de los paraderos en clusters en que si un número considerable de usuarios abordan recurrentemente a 2 o 3 paraderos cercanos entre sí, éstos formen parte de la misma zona. No obstante, la recurrencia de paraderos por los mismos usuarios no resulta suficiente bajo el enfoque de demanda de viajes dado que de la TB9 se observa que, de los viajes con primera etapa en bus, casi el 70% de los usuarios demanda un único paradero origen durante la

semana de datos y el 24% demandaron dos paraderos distintos, lo que implica que se generarían zonas de tan solo uno o dos paraderos. En consecuencia, aprovechando el detalle de los datos de las TB8 y TB9, se evaluó la opción de que el proceso de clusterización de paraderos considere el patrón atractor/generador de viajes por paradero y periodo horario. Esto indirectamente informa del uso del suelo, la demanda que ello genera o atrae (hogares versus actividades), y la oferta de transporte, ya que los patrones de viaje son consecuencia de todo ello.

En base al comportamiento de la demanda, y en una primera instancia se usó el método k-means. Sin embargo, también se evaluó el uso de otros métodos de acuerdo a la consistencia de la agrupación obtenida. Dentro de las opciones de mejora consideradas en el proceso se encuentra el k-means restringido, y la utilización de diversos tipos de distancias.

Como se explicita en la propuesta técnica, en el transcurso de la tarea de zonificación fue necesario analizar si los clusters se forman a partir de los viajes expandidos, o sin expandir, pues la información expandida tiene como supuesto una zonificación y una periodización inicial. En ese mismo sentido, fue necesario analizar si se utilizaría información de la punta mañana o de todo el día para desarrollar el análisis.

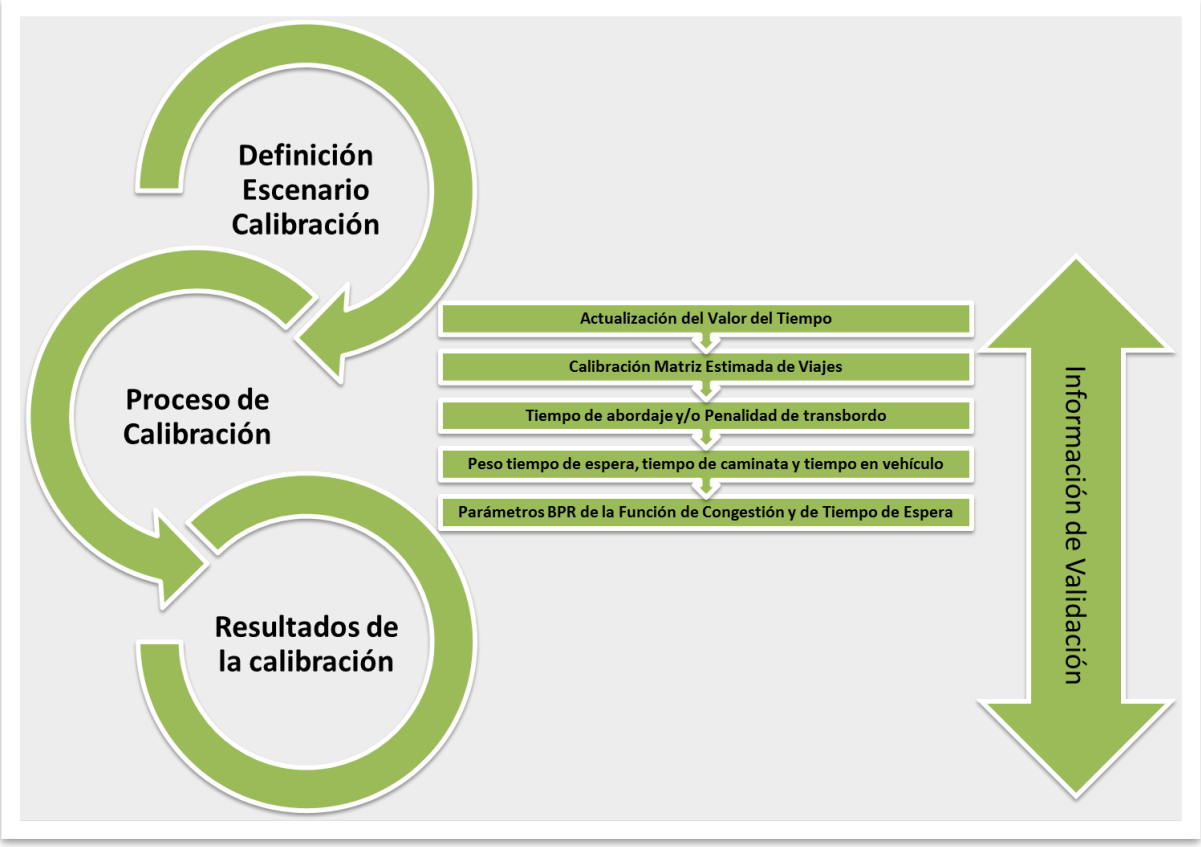
Especial atención se tuvo con la zonificación que representaron los puntos de transbordo relevantes dentro de la ciudad, incorporando para ello la priorización que la DTPM realizó en el contexto del estudio que la autoridad está considerando en orden a desarrollar un Plan estratégico de Estaciones Intermodales y la EOD Santiago 2012.

Considerando lo anteriormente expuesto, la revisión de los antecedentes con el objetivo de definir su validez y aplicación permitió concretar la factibilidad del proceso, lo que resultó en la identificación de una complejidad que fue tratada en profundidad durante el desarrollo explícito de la tarea. Por esta razón fue necesario rediseñar el proceso de zonificación y establecer condiciones en el uso de las fuentes de información para así lograr una zonificación robusta que se beneficie de los dos enfoques; en otras palabras, se buscó que la metodología sea un complemento entre el comportamiento de la demanda y los límites administrativos así como también se hará cargo de la representación de las zonas de intermodalidad. Se aseguró que el número de agrupaciones de paradas o zonas se sitúe entre las 1.500 y 2.500 zonas de acuerdo a lo requerido por el mandante; no obstante el número final resultó del propio proceso de zonificación.

3.3 VALIDACIÓN DE RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

El flujo del proceso de calibración propuesto se describe en la siguiente figura.

Figura 3-4: Flujo Calibración del Modelo



Fuente: Elaboración propia

Como primera etapa se considera la definición del escenario de calibración, representando la operación real del sistema, caracterizada a partir de la información correspondiente a las expediciones ejecutadas para el periodo Punta Mañana que represente la operación del mes de agosto de 2017.

Se propuso un proceso **secuencial priorizado de calibración y/o validación de parámetros** que revise y compare los datos obtenidos a partir de la información observada disponible para el estudio. El proceso de calibración fue iterativo y jerárquico, revisando los siguientes aspectos:

- Actualización del valor del tiempo
- Calibración matriz estimada de viajes
- Tiempos de abordajes y/o penalidad de transbordo
- Peso tiempo de espera, caminata y vehículo
- Parámetros BPR de la función de congestión y tiempo de espera.

Los resultados de la calibración son los mismos requeridos en la asignación del modelo previo a la calibración, que considera al menos los siguientes resultados:

a) Viajes
    i. Viajes del Sistema.

   ii. Viajes Asignados
   iii. Solo Bus
   iv. Solo Metro
   v. Combinados
   vi. Evasión sistema y por Unidad de Negocio
   vii. Viajes según número de etapas.
b) Etapas
   i. Totales del Sistema.
   ii. Por Unidad de Negocio de Buses.
   iii. Metro.
   iv. Por Servicio-Sentido.
   v. Por Línea de Metro.
c) Transbordos
   i. Totales del Sistema.
   ii. Entre Modos Bus-Metro y Metro-Bus.
   iii. Entre Metro-Metro.
   iv. Entre Bus-Bus.
   v. Entre Unidades de Negocio.
d) Tiempos y velocidades
   i. Tiempos Medio del Sistema (espera+caminata+bus/metro).
   ii. Tiempo Medio de Espera del Sistema.
   iii. Tiempo Medio de Caminata del Sistema
   iv. Tiempo Medio en Vehículo del Sistema.
   v. Tiempos Medio de Viaje entre pares OD
   vi. Velocidades por servicio buses
   vii. Velocidades por eje buses
   viii. Velocidades por Linea Metro
e) Tasas de ocupación
   i. Por Eje-Sentido
   ii. Por Servicio-Sentido
f) Perfiles de Carga
   i. Por Eje-Sentido
   ii. Por Servicio-Sentido

Por Línea de Metro Adicionalmente, se analizaron los parámetros típicos de convergencia de una corrida disponibles en la herramienta. Estos parámetros corresponden principalmente al nivel de ajuste de los flujos asignados con los flujos de pasajeros observados, las etapas promedio realizadas por viaje y la distribución de etapas asignadas por modo. A medida que los resultados obtenidos en la asignación se ajustan a los observados, se realizaron análisis con mayor nivel de desagregación, como etapas por Unidad de Negocio, Servicio-Sentido, parada, entre otros.

Los ajustes realizados en este punto se basan principalmente en la correspondencia, calidad y vigencia de los datos disponibles para este fin, dada la importancia declarada por el mandante en las bases de licitación respecto a la validación de los resultados de la asignación del modelo calibrado, la que necesariamente debe realizarse con datos

observados correspondientes a la fecha de calibración. Luego de la revisión de los datos entregados por el mandante, se propuso utilizar las siguientes bases de información según corresponda:

- **Tablas de Etapas y de Viajes de la Matriz OD (tb8 y tb9)**. Esta información aporta un muy buen nivel de detalle del funcionamiento del sistema. Sin embargo, se requirió un ajuste considerando los boletos edmonson y la evasión del sistema, para que fueran comparables con los resultados del modelo, ya que la matriz de viajes a calibrar debe considerar dichas etapas. Es así, como fue utilizada la información a nivel de etapas extraída de la matriz estimada a priori, previa a la calibración
  En este punto es importante señalar que la información a partir de la cual se caracterizó la evasión del sistema, corresponden a mediciones realizadas por DICTUC para el DTPM, durante el año 2012. Si bien esta información puede considerarse desactualizada, el nivel de detalle que presenta permite realizar ajustes según la zona de origen.
- **Encuesta EOD Santiago 2012**. Si bien en la propuesta se consideró para el análisis y comparación de flujos de pasajeros, perfiles de carga, tiempos de viaje, entre otros datos medidos el año 2013, luego de la revisión de la información se determinó que estos datos no serán utilizados para validar los resultados obtenidos por el modelo, ya que el sistema de transporte público durante este periodo ha tenido cambios importantes, lo que debería reflejarse en diferencias importantes entre lo observado el año 2013 y en lo que se observa en actualidad. Sin perjuicio de esto, se procederá a comparar a nivel referencial indicadores globales del sistema como son: total de viajes, numero de etapas de viajes, partición modal bus-bus, bus-metro y metro, entre otros. Estos datos también son extraídos de la información a nivel de etapas de la matriz de viajes a priori.
- **Velocidades**. Información de tiempos de viajes por servicio-sentido obtenidos a partir de los GPS procesados por el DTPM para obtener velocidades tramificadas cada 500 metros. A partir de estos datos fueron caracterizados los tiempos de viaje por arco de la red de modelación. También es posible caracterizar los tiempos por servicio-sentido para el periodo Punta Mañana y Fuera de Punta Mañana, y compararlos con los tiempos obtenidos de la asignación del modelo calibrado.
- **Perfiles de Carga y Tasas de Ocupación**. De este punto sólo se considerará como información observada los perfiles de carga del modo Metro, que aun siendo resultado de una modelación, la información utilizada para obtenerlo es más actualizada (año 2014) que los perfiles y TOC observados en el modo bus (año 2012). Por lo tanto, es una información que puede ser comparada con los resultados obtenidos y analizar sus principales diferencias. No obstante lo anterior, se espera contar con mediciones de Tasas de Ocupación correspondientes al mes de Agosto del 2017, las que serán realizadas por el mandante, asegurando de esta manera contar con información adecuada para la correcta calibración y validación del modelo de asignación actualizado. Tanto la información de perfiles como de TOC disponible será comparada a modo referencial.

A modo de resumen, se presenta la siguiente tabla, que muestra el ítem a analizar y la fuente de datos que se propone utilizar.

Tabla 3-1: Resumen Validaciones y fuentes a utilizar

ITEM	TB8 y TB9 Mayo 2017	DICTUC 2012	EOD 2012	Velocidades U Chile Mayo 2017	Información de Metro 2014	TOC DTPM 2017
a) Viajes						
Viajes del Sistema.	x		x			
Viajes Asignados	x		x			
Solo Bus	x		x			
Solo Metro	x		x		x	
Combinados	x		x			
Evasión sistema y por Unidad de Negocio		x	x			
Viajes según número de etapas.	x		x			
b) Etapas						
Totales del Sistema.			x			
Por Unidad de Negocio de Buses.	x		x			
Metro.	x		x		x	
Por Servicio-Sentido.	x					
Por Línea de Metro.	x				x	
c) Transbordos						
Totales del Sistema.			x			
Entre Modos Bus-Metro y Metro-Bus.	x					
Entre Metro-Metro.	x				x	
Entre Bus-Bus.	x					
Entre Unidades de Negocio.	x					
d) Tiempos y velocidades						
Tiempos Medio del Sistema.			x			
Tiempo Medio de Espera del Sistema.			x			
Tiempo Medio de Caminata del Sistema			x			
Tiempo Medio en Vehículo del Sistema.				x		
Tiempos Medio de Viaje entre pares OD	x					
Velocidades por servicio buses				x		
Velocidades por eje buses				x		
Velocidades por Linea Metro					x	
e) Tasas de ocupación y Perfiles de Carga						
Tasas de ocupación Por Eje-Sentido						x
Tasas de ocupación Por Servicio-Sentido						x
Perfiles de Carga Por Eje-Sentido		x				
Perfiles de Carga Por Servicio-Sentido	x	x				
Perfiles de Carga Por Línea de Metro	x				x	

Fuente: Elaboración propia

4 DEFINICION DE LA HORA DE MODELACIÓN

Tal y como se informa en las bases de licitación, el objetivo de esta tarea es escoger una hora de modelación tal que el modelo de asignación de viajes del STPS represente la operación de transporte público integrado y los viajes realizados por usuarios del sistema en el periodo punta mañana.

La complejidad de la definición está causada por el gran tamaño de la red, en la que se observan viajes de duración mayor a una hora. Además, la hora de inicio de los viajes puede variar espacialmente a lo largo del periodo, al igual que se espera ocurra con la carga de la red. Todo ello complejiza la definición de la hora de modelación, que finalmente será la que logre representar con mayor éxito los deseos de la contraparte técnica.

Como se ha señalado en los ajustes metodológicos, para la definición de la hora de modelación se debe considerar la representación de las siguientes variables en el periodo punta mañana: Oferta del STPS, Tarifa del STPS, Velocidades STPS y Demanda. Como la oferta y la tarifa del STPS son constantes a lo largo del periodo punta mañana, la hora punta mañana se encuentra bien representada por una hora de modelación cualquiera.

Por su parte, las velocidades del STPS varían tanto espacial como temporalmente dentro del periodo punta mañana. Entendiendo que las velocidades son el resultado de la propia asignación de la demanda a la oferta, se representaron las velocidades asociadas a la hora de modelación que fue defina a partir de la propia demanda. Este punto se aborda en los ajustes metodológicos.

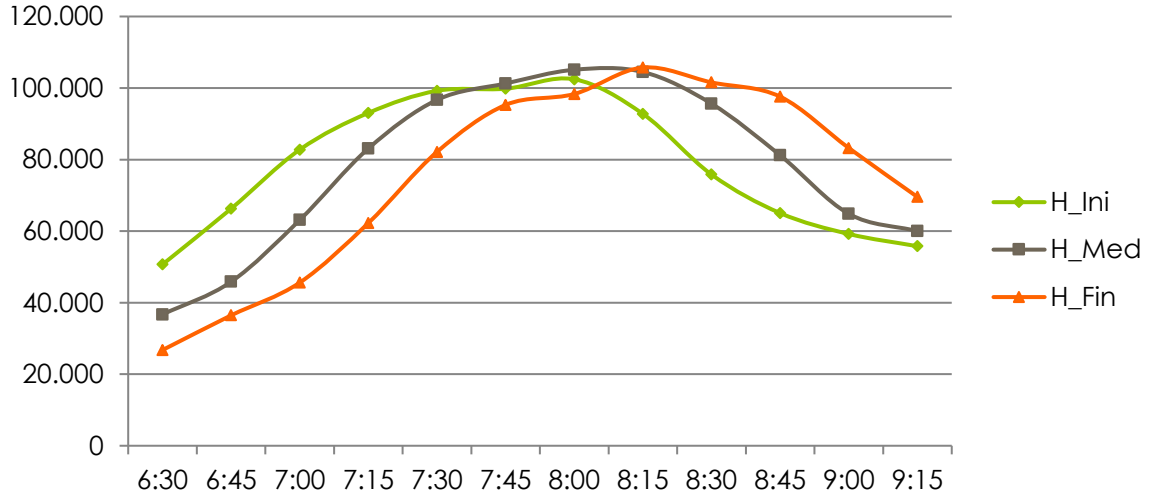
Considerando lo anteriormente expuesto, en los puntos siguientes se define la hora de modelación como consecuencia del análisis de la demanda a partir de los viajes en la tabla TB9 proveniente de las transacciones bip!, y, por otro lado, de los análisis complementarios de las encuestas origen-destino de Santiago 2012 y de Metro 2014.

4.1 DEFINICIÓN DE HORA DE MODELACIÓN SEGÚN LA DEMANDA (TB9)

Respecto a la demanda del STPS, una representación apropiada del periodo debe considerar al menos dos factores: el estrés que se genera en el sistema producto de la alta demanda de viajes y la estructura de la matriz de viajes que se observa en el periodo. Por la cantidad y detalle de información de viajes se utilizó la información de viajes proveniente de la tabla TB9. Para analizar las características de la demanda descritas se requiere de agregación espacial y temporal. En cuanto a la agregación espacial, una primera aproximación se realizó a nivel de zona777 y comuna, ambas definidas en la tabla TB9. Respecto de la agregación temporal, se propuso análisis de demanda cada 15 minutos. Notar que los viajes pueden agruparse temporalmente según 3 hitos: **hora de inicio** de viaje, **hora de fin** de viaje y **hora media** de viaje. Se propuso extender el análisis hasta en una hora posterior al periodo punta mañana, es decir, analizar la demanda entre 6:30 y 9:30 hrs, a fin de poder realizar comparaciones respecto de la agregación de viajes por hora media y hora de fin de viaje.

Para observar el estrés del sistema se analiza la demanda cada 15 minutos para cada una de los hitos de agregación de viaje:

Figura 4-1: Demanda observada cada 15 minutos por hora de inicio, medio y fin de viaje



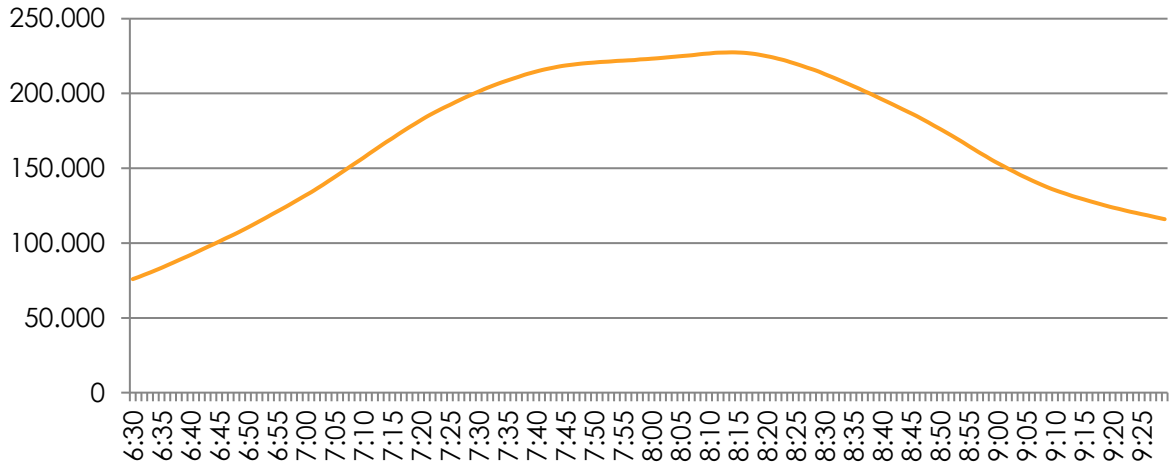
Fuente: Elaboración propia

Se observa que todas las curvas presentan sus máximos sobre los 100.000 viajes, siendo mayor la curva de hora de fin de viaje con un máximo de 105.735 viajes entre 8:15 y 8:30 hrs. Le sigue la curva de tiempo medio de viaje, con 105.113 viajes entre 8:00 y 8:15 hrs. Por último, el máximo de la curva de inicio de viaje se observa también entre las 8:00 y 8:15 hrs, con 102.451 viajes. Las curvas presentan una forma similar y desfase correspondiente al hito de viaje considerado para realizar la agregación.

Otro enfoque propuesto para análisis fue considerar la hora de mayor carga del sistema, es decir, la hora durante la cual se observan más usuarios activos viajando, independiente de la hora de viaje en que se encuentre cada usuario.

Para analizar la demanda según la opción de personas viajando o **carga del sistema** se requiere un enfoque diferente. Puesto que un viaje debe considerarse durante todo instante en que se realiza el mismo, y que a su vez, un viaje puede empezar y terminar en cualquier instante, una aproximación de viajeros activos cada 15 minutos no tiene sentido puesto que en cada cuarto de hora existen viajes que solo ocupan unos minutos al inicio y otros que solo ocupan unos minutos al final. Estos viajeros no deberían considerarse activos simultáneamente, pero el enfoque de cuarto de hora no responde a esta complejidad. Para graficar la demanda de este enfoque se presenta el número de viajeros en cada minuto entre las 6:30 y 9:30 hrs:

Figura 4-2: Enfoque carga del sistema, número de personas viajando cada minuto



Fuente: Elaboración propia

Como es natural, este enfoque muestra una demanda mucho mayor, que considera a todos los usuarios del sistema en cada instante, y no solo a los que inician o terminan viaje. El máximo de esta curva es de 227.499 viajeros a las 8:14 hrs. Recordar que bajo este enfoque los viajeros pueden encontrarse en cualquier instante del viaje.

Una primera proposición para escoger la hora de modelación es optar por aquella hora que presenta más viajes, puesto que esto permitiría representar el máximo estrés al que se expone el sistema. Sin embargo, y como se ha indicado en la sección de ajustes metodológicos, una ciudad de la extensión de Santiago presenta diferentes horarios de carga máxima entre sus zonas, lo que requiere ajustes particulares para representar adecuadamente estas zonas, tema que se discute en el ajuste metodológico.

Bajo este enfoque de sistema, se puede comparar la distribución de viajes entre pares OD para matrices obtenidas bajo los cuatro enfoques descritos: agregación de viajes por hora de inicio, medio, fin de viaje y matriz de mayor carga del sistema, en sus horas más cargadas respectivamente. Es razonable considerar que la hora más cargada del sistema en cada enfoque no contenga una estructura de viajes representativa del periodo punta. Por lo tanto, se propuso agregar un quinto enfoque. Se propone sumar al análisis una matriz compuesta por el total de viajes de punta mañana. Para normalizar esta matriz y hacerla comparativa a las matrices de los enfoques ya descritos y a lo solicitado en las bases de licitación, se propone tomar una matriz que represente una **hora promedio** del periodo y amplificarla por un factor tal que el total de viajes se iguale al total de viajes de la hora más cargada del periodo. Esto implica que se conserva la estructura de viajes del periodo punta mañana, privilegiándola por sobre la estructura de viajes de la hora más cargada. Notar que esta construcción puede realizarse para los 4 enfoques ya descritos. Considerando que la definición de periodo punta mañana puede variar según enfoque, se realizó esta construcción considerando el periodo punta mañana existente y agrupando los viajes por hora de inicio, sin perjuicio de que estas definiciones puedan modificarse ante los resultados obtenidos.

La siguiente tabla describe las opciones a exploradas en cuanto a distribución de viajes de la matriz OD. Para cada opción se explica la forma de obtener la matriz, qué representa y además, como afecta la evasión en cada enfoque:

Tabla 4-1: Enfoques de obtención de matrices OD

	Forma de cálculo	Qué representa	Efecto evasión
Hora Inicio de Viaje	Suma de número de viajes según hora de inicio de viaje, en grupos de una hora. Este valor se calcula para n horas móviles con inicio en el instante t (media hora, cuarto de hora u otro). Se utiliza la matriz n con mayor número de viajes.	La hora en que inician más viajes en el sistema.	Evasión de primera etapa genera sesgo en la hora de inicio de viaje y estructura de la matriz.
Hora Fin de Viaje	Suma de número de viajes según hora de término de viaje, en grupos de una hora. Este valor se calcula para n horas móviles con inicio en el instante t (media hora, cuarto de hora u otro). Se utiliza la matriz n con mayor número de viajes.	La hora en que terminan más viajes en el sistema.	Evasión de última etapa genera sesgo en la hora de término de viaje y estructura de la matriz. En punta mañana x% de los viajes tiene como última etapa pagada el modo.
Hora Media de Viaje	Suma de número de viajes según hora de mitad de viaje, en grupos de una hora. Este valor se calcula para n horas móviles con inicio en el instante t (media hora, cuarto de hora u otro). Se utiliza la matriz n con mayor número de viajes.	La hora en que más usuarios se encuentran en medio del viaje.	Evasión de primera etapa/última genera sesgo en la hora media de viaje.
Hora Promedio con Factor	Se calcula factor de hora más cargada como la matriz de una hora con más viajes según hora de inicio de viaje, sobre el total de viajes de hora punta promedio. La matriz de modelación es una matriz promedio de hora punta amplificada por este factor.	Estructura de matriz es la matriz promedio de hora punta que considera todos los viajes del periodo punta, amplificada por el factor de hora más cargada de inicio.	Evasión afecta cálculo de hora más cargada.
Gente activa viajando	Se suma el número de viajeros activos (en cualquier punto del viaje entre la hora de inicio y fin). Este valor se calcula para n horas móviles con inicio en el instante t (media hora, cuarto de hora u otro). Se utiliza la matriz n que considera los viajes observados durante la hora más cargada del sistema.	Mirada de la hora en que mayor número de personas se encuentra viajando, independiente de la hora de inicio o fin de viaje.	Evasión de primera/última etapa genera sesgo en la hora de inicio/término de viaje lo que impacta en el cálculo de número de personas viajando.

Fuente: Elaboración propia

Además de la evasión, se observa otras características cualitativas que se debe considerar en el análisis y que tienen relación con la metodología de construcción de la TB9:

Tabla 4-2: Consideraciones de los enfoques de obtención de matrices OD

	Pros	Contras
Hora Inicio de Viaje	La hora de inicio de viaje es dato. Se cuenta con este dato para casi la totalidad de los viajes.	No considera los viajes que inician antes de la hora más cargada y que usan el sistema durante una parte o toda la hora de modelación.
Hora Fin de Viaje	Considerando que en punta mañana la concentración espacial y temporal de viajes es según destinos, esta opción captura el efecto.	La hora de término de viaje es una estimación. Se cuenta con este dato para el % de datos con estimación solamente. Este dato se encuentra afectado por cualquier sesgo de estimación espacial-temporal. No considera viajes terminan después de la hora más cargada y que usan el sistema en parte o durante toda la hora de modelación.
Hora Media de Viaje	Dado que el tiempo de modelación es fijo (1 hora) se reduce el problema de omisión de viajes más extensos.	La hora media de viaje es una estimación. Se cuenta con este dato para el % de datos con estimación solamente. Este dato se encuentra afectado por cualquier sesgo de estimación espacial-temporal. No considera los viajes que tienen su hora media fuera de la hora de modelación, pero que usan el sistema durante parte (o toda) la hora de modelación.
Hora Promedio con Factor	La estructura de la matriz considera los viajes que inician durante toda la hora punta, incluyendo viajes de más de una hora de viaje. Se utiliza la misma estructura de matriz independiente del efecto de la evasión en el cálculo de hora más cargada.	El factor de hora más cargada se aplica a toda la matriz sin consideraciones espaciales. Se utiliza la misma estructura de matriz independiente del efecto de la evasión en el cálculo de hora más cargada.
Carga sistema	Considera a todos usuarios del sistema de transporte durante una hora, independiente de la hora de inicio o fin del viaje.	La hora de término de viaje es una estimación. Se cuenta con este dato para el % de datos con estimación solamente. Este dato se encuentra afectado por cualquier sesgo de estimación espacial-temporal. Retrasa la hora de inicio de viaje de aquellos que inician antes de la hora de modelación.

Fuente: Elaboración propia

Considerando la descripción de los enfoques, se obtienen las matrices de cada uno de ellos. La siguiente tabla resume la metodología de obtención de matrices con cada enfoque, la hora de modelación correspondiente al enfoque, los viajes con estimación de bajada contenidos por cada matriz, los viajes expandidos contenidos por cada matriz y el porcentaje de expansión asociado al enfoque:

Tabla 4-3: Resumen de matrices OD por enfoque

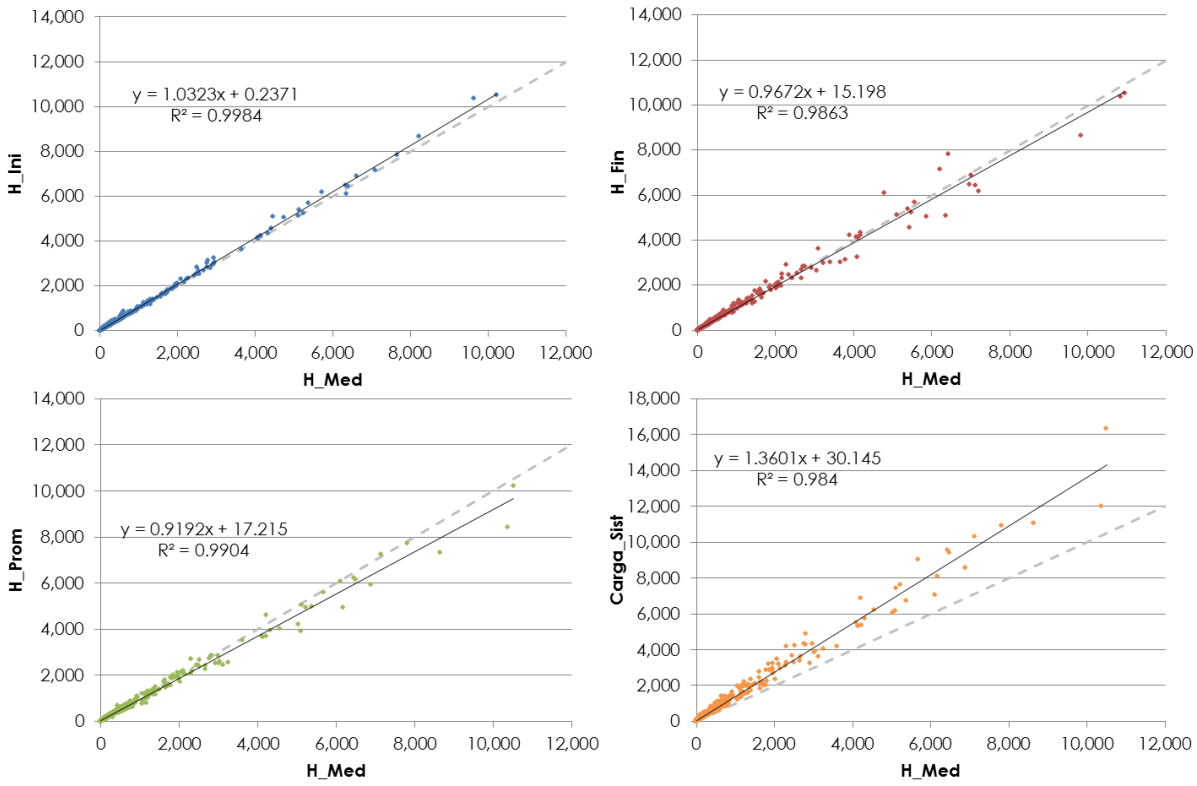
Nombre	Metodología	Hora mayor demanda	Viajes estimados	Expansión	% Expansión
H_Ini	Matriz con más viajes por hora de subida de viaje	7:15-8:15	297,164	394,542	75.32%
H_Med	Matriz con más viajes por hora media de viajes	7:30-8:30	306,739	407,565	75.26%
H_Fin	Matriz con más viajes por hora de bajada de viaje	8:00-9:00	304,253	403,224	75.46%
H_Prom	Matriz promedio de viajes con hora de inicio entre 6:30 y 8:30, ponderada por factor de hora más cargada (1.149)	7:15-8:15	295,923	394,542	75.00%
Carga_Sist	Matriz con más viajes para cualquier hora de viaje	7:30-8:30	441,457	589,158	74.93%

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, la hora con más demanda de viajes va desde las 7:15-8:15 hasta las 8:00-9:00 dependiendo del enfoque. El enfoque de hora media coincide con la hora más cargada de viajes del enfoque de carga del sistema de 7:30 a 8:30. Aunque pareciera que el enfoque de hora de inicio coincide con el de hora promedio, esto es así por definición del enfoque de hora promedio. Para este enfoque se toma el total de viajes del periodo punta mañana (687.030), se obtiene una hora promedio de viajes (343.515) y se amplifica (factor 1,149) para alcanzar los viajes de la hora más cargada por hora de inicio (394.542). Si este enfoque se desarrollara para alguna de las otras formas de agregación, se observaría la coincidencia de hora respectiva al enfoque. Respecto al total de viajes expandidos (columna expansión), la metodología de carga del sistema es la que incorpora más viajes, alcanzando los 589.158 viajes. Recordar que esta metodología considera todos los viajes observados durante la hora de modelación descrita, sin condición respecto de la hora de inicio, medio o fin de viaje. El siguiente enfoque con más viajes es la agrupación por hora media, que alcanza los 407.565 viajes. Le siguen muy de cerca el enfoque por hora de fin y hora de inicio de viaje con 403.224 y 394.542 viajes, respectivamente. Respecto al enfoque de hora promedio, por definición contiene el mismo número de viajes de la hora más cargada según la agrupación por hora de inicio de viaje. Además, la tabla señala el número de viajes con estimación de bajada realizados en la hora de modelación (hora promedio con factor para el enfoque promedio). Finalmente, la columna % estimación muestra la relación entre las columnas viajes estimados y expansión, es decir, la relación entre viajes estimados y viajes representados por los viajes estimados. No existen mayores diferencias entre los enfoques en cuanto a este indicador agregado.

Respecto a la distribución de la demanda de cada enfoque, la siguiente figura compara viajes entre el enfoque de hora media y los otros 4 enfoques. En cada gráfica una observación (punto) representa el número de viajes en cada par OD de comunas observado en las matrices obtenidas, la línea punteada corresponde a la diagonal:

Figura 4-3: Comparación Viajes OD Comuna por enfoque respecto de hora media (sup-izq: Hora inicio; sup-der: Hora fin; inf-izq: Hora promedio; inf-der: Carga sistema)



Fuente: Elaboración propia

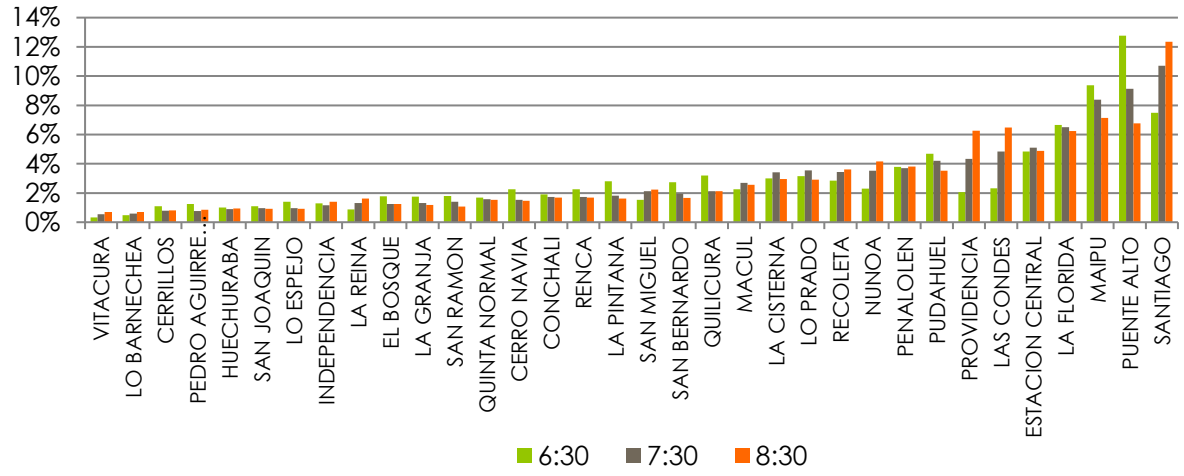
Como se observa, todos los enfoques presentan una correlación importante respecto del enfoque de hora media. Sin embargo, en términos absolutos, el enfoque de carga del sistema muestra proporcionalmente un mayor número de viajes.

Se debe señalar que el enfoque carga del sistema y hora promedio no pueden ser representados apropiadamente en el modelo EMME, en el sentido de que los viajes no se encuentran agregados por una característica temporal que tenga lugar simultáneamente en una hora. El mismo problema se observa si se ajusta ciertas zonas de una matriz.

Con estas consideraciones se puede señalar que la hora de modelación que logra captar más viajes simultáneos, sin restringir hora de inicio ni fin, y que presenta una alta correlación con la definición más común (según hora de inicio de viaje), es el enfoque de hora media de viaje.

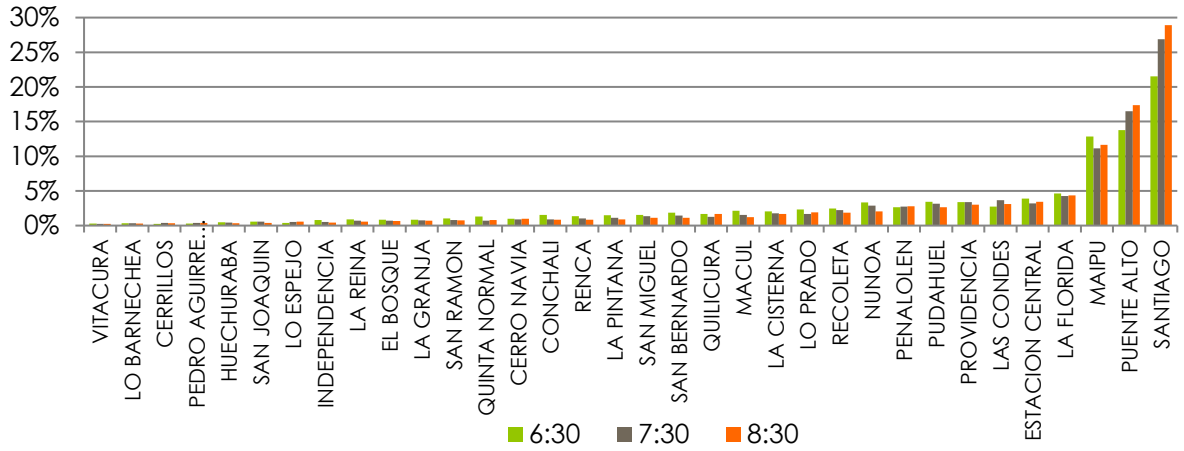
En cuanto a la construcción de la matriz de viajes en sí misma, se puede analizar la representatividad de la hora más cargada respecto del periodo punta mañana. Para este análisis se propuso comparar la proporción de orígenes y destinos de viajes según el enfoque de hora media, para las matrices de viajes de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30:

Figura 4-4: % viajes por comuna de origen para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-5: % viajes por comuna de destino para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje

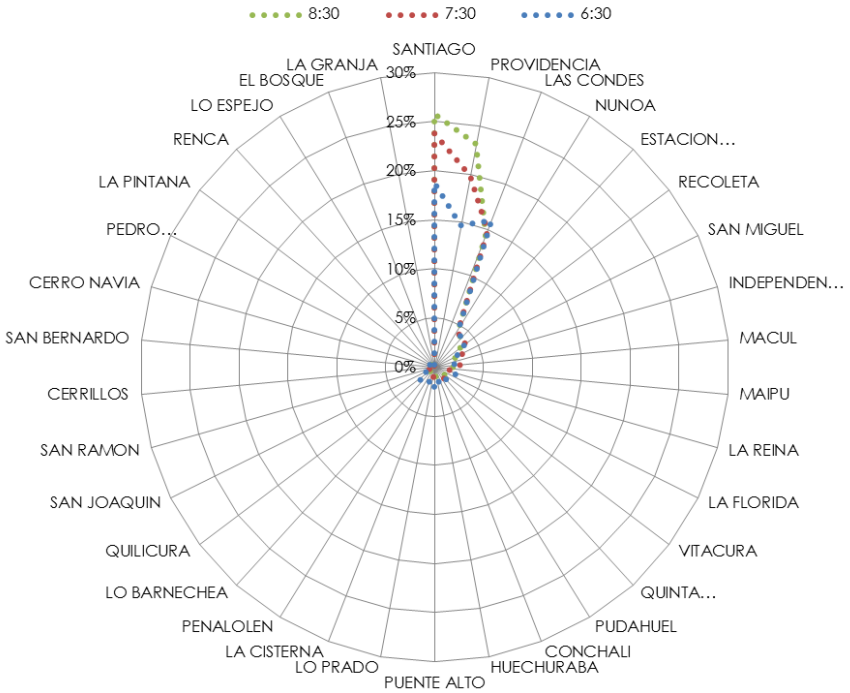


Fuente: Elaboración propia

Las mayores diferencias se observan en comuna de origen de viaje, entre las que destacan según su proporción de demanda respecto al total de viajes de dicha hora: Santiago, Puente Alto, Las Condes y Providencia.

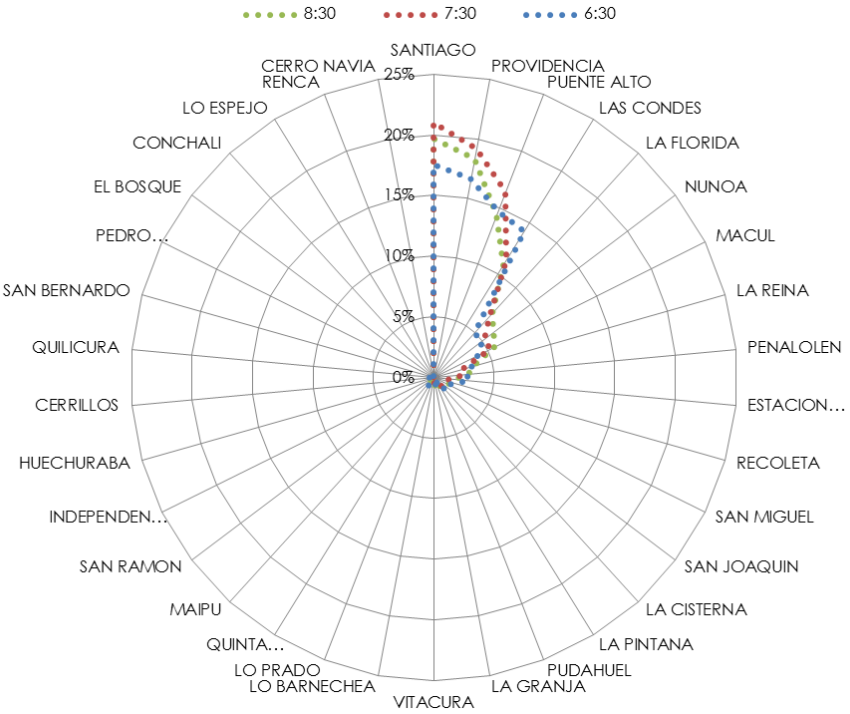
A nivel de par origen-destino comunal, las diferencias crecen. Las siguientes gráficas muestran la distribución de destinos de viaje para las 4 comunas de origen señaladas:

Figura 4-6: % viajes por comuna de destino, origen Santiago Centro, para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje



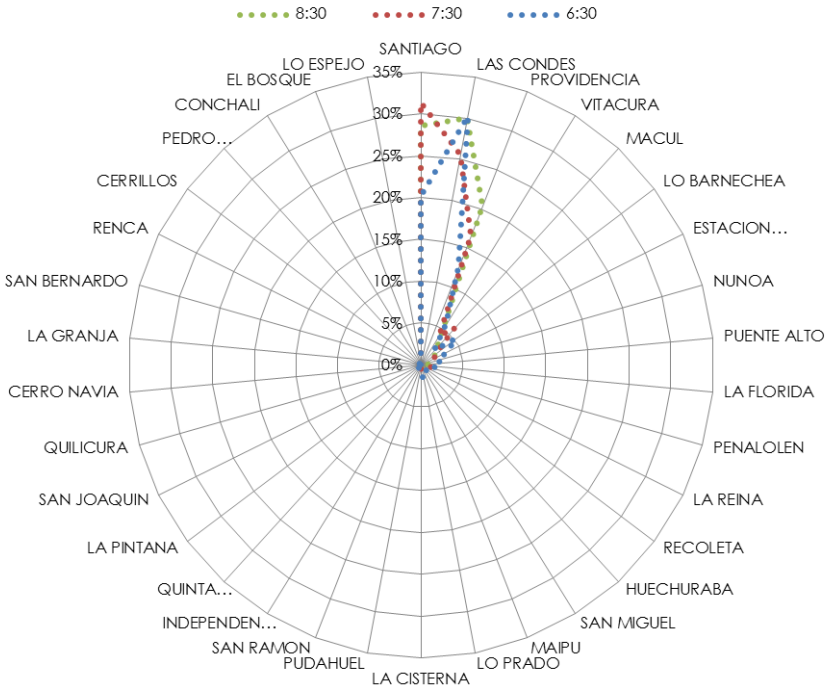
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-7: % viajes por comuna de destino, origen Puente Alto, para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje



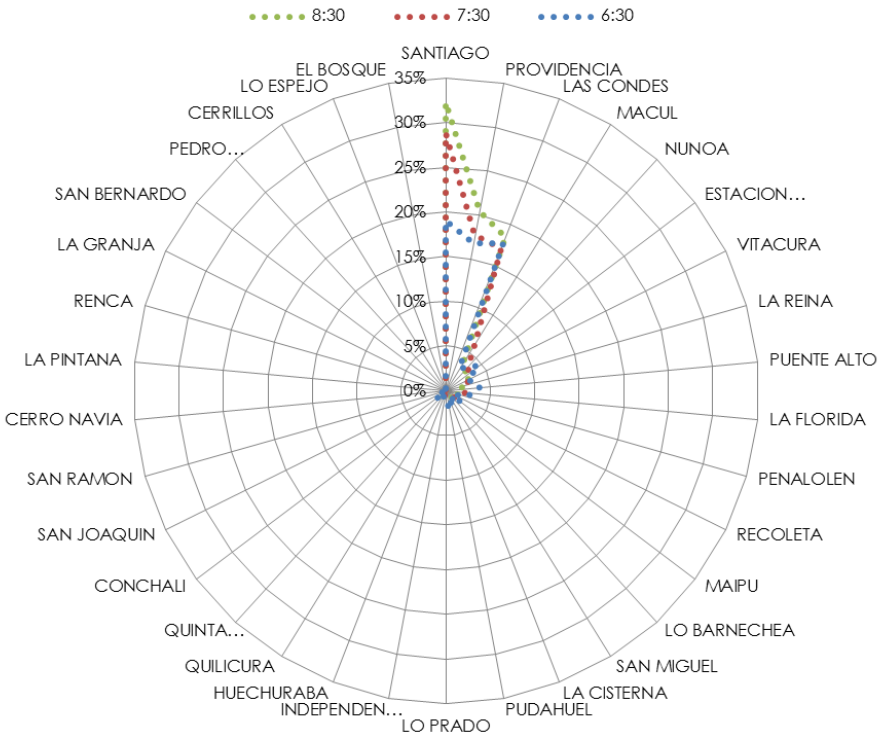
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-8: % viajes por comuna de destino, origen Las Condes, para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-9: % viajes por comuna de destino, origen Providencia, para matrices de una hora a partir de las 6:30, 7:30 y 8:30; enfoque de hora media de viaje



Fuente: Elaboración propia

Una mayor desagregación de la información permite ver mayor variabilidad y diferencias en la distribución de viajes entre matrices según hora de la matriz. Este resultado fue considerado en la selección de hora de modelación y posteriormente, en la metodología de construcción de la matriz a priori, incorporando los ajustes metodológicos descritos en la sección de hora de modelación.

Por último, fue de interés analizar el efecto que tiene sobre la matriz de viajes el nivel de agregación utilizado en el método de expansión. Para hacer este análisis es necesario usar la agregación de viajes por hora de inicio de viaje, puesto que este dato se encuentra disponible para todos los viajes y no solo para aquellos con expansión.

La siguiente tabla muestra los viajes agrupados por hora de inicio cada 15 minutos, para los 5 días laborales en periodo punta mañana. La columna "Viajes observados" muestra los viajes observados por hora de inicio, tengan o no estimación de bajada. La siguiente columna "Viajes con estimación" muestra el subconjunto de viajes de la columna anterior que sí tienen estimación de bajada. La columna "Expansión de viajes" muestra los mismos viajes con estimación de bajada, amplificados por el factor de expansión respectivo. Esta es la columna que se utiliza para construir la matriz de viajes.

Tabla 4-4: Viajes observados, estimados y expandidos, agrupados por hora de inicio de viaje y periodo de 15 minutos.

Periodo 15 min	Viajes observados	Viajes con estimación	Viajes expandidos	% con estimación r/ observados	%Diferencia observados r/ expandidos
6:30	267,010	186,914	253,374	70.0%	-5.11%
6:45	343,072	245,597	331,347	71.6%	-3.42%
7:00	420,495	308,649	413,871	73.4%	-1.58%
7:15	467,359	349,225	465,265	74.7%	-0.45%
7:30	493,024	373,585	496,147	75.8%	0.63%
7:45	490,970	376,539	499,039	76.7%	1.64%
8:00	499,818	386,470	512,257	77.3%	2.49%
8:15	453,400	349,531	463,849	77.1%	2.30%
Total Periodo	3,435,148	2,576,510	3,435,148	75.0%	0.00%
6:30-7:30	1,497,936	1,090,385	1,463,857	72.8%	-2.28%
7:30-8:30	1,937,212	1,486,125	1,971,292	76.7%	1.76%

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa, los viajes con estimación varían en el periodo entre un 70% a un 77.3% de estimación. Como la expansión es a nivel de periodo, se modifica la estructura de viajes cada 15 minutos. Esto genera que la matriz de viajes entre 6:30 y 7:30 tenga un 2,28% menos de viajes observados respecto de expandidos, y que la matriz de viajes entre 7:30 y 8:30 tenga 1,76% más de viajes observados respecto de expandidos. Estas diferencias fueron analizadas a modo de determinar si algunas zonas se encuentran afectadas en mayor o menor medida por la metodología de expansión de viajes.

4.1 ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

A continuación se aborda un conjunto de análisis complementarios con el fin de estudiar el posible efecto en la hora de modelación causado por aspectos que potencialmente influyen en su definición, pero que no son observables en las transacciones bip!.

4.1.1 Análisis del acceso y egreso a modos bip! según la EOD Santiago 2012

La EOD Santiago 2012 recoge los viajes de toda la ciudad en todos los modos de transporte. En esta base de datos no se registra la hora de inicio y fin de cada etapa sino la del viaje completo que, como se debe hacer notar, consta de etapas en cualquier modo, sea bip! o no.

Los análisis realizados con esta base de datos deben interpretarse con cautela debido a la naturaleza de la información, ya que se trata de una muestra de hogares de la ciudad y de información percibida, reportada por los inquilinos del domicilio. Por ello los análisis que se informan complementan el estudio de la hora de modelación, pero en ningún caso la cantidad ni la calidad de los datos es suficiente para su inferencia ni consideración.

Según la EOD Santiago 2012, son 2.259.971 los viajes en la ciudad realizados en cualquier modo cuya hora media tiene lugar entre las 7.30 y las 8.30 horas; y entre ellos, con al menos una etapa en modo bip! suman 561.733 viajes, un volumen que está dentro de lo esperable comparado con los viajes anteriormente obtenidos de las transacciones bip! y dado que los datos de la EOD consideran todos los viajes (también los evadidos).

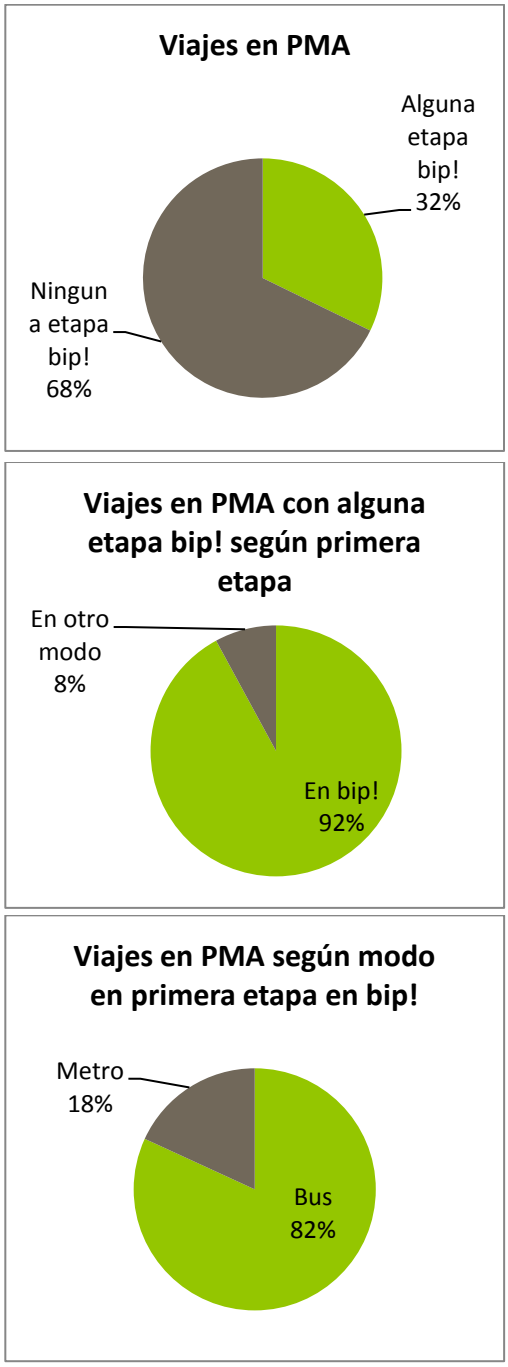
No obstante, a diferencia de las TB8 y TB9, que contienen prácticamente la totalidad de las transacciones bip!, la EOD se basa en un muestreo por lo que, para mayor fiabilidad de las conclusiones, los siguientes análisis consideran los viajes cuya hora media tuvo lugar en el intervalo de 2 horas de punta mañana (PMA): de 6.30 a 8.30 horas (16.161 viajes observados; 3.111.955 viajes expandidos). De ellos se identificaron los que involucran al menos una etapa en bip! (5.723 viajes observados; 984.326 viajes expandidos).

Tabla 4-5: Análisis de los viajes en día laboral normal cuya hora media es en punta mañana (PMA: 6.30 - 8.30 horas)

			Muestra	Expansión	Distribución
Todos viajes			16.161	3.111.955	
Viajes con al menos una etapa bip!			5.723	984.326	32%
	Sin primera etapa bip!			78.132	8%
	Con primera etapa bip!			906.194	92%
		Con primera etapa Bus		744.056	82%
		Con primera etapa Metro		162.138	18%

Fuente: Elaboración propia

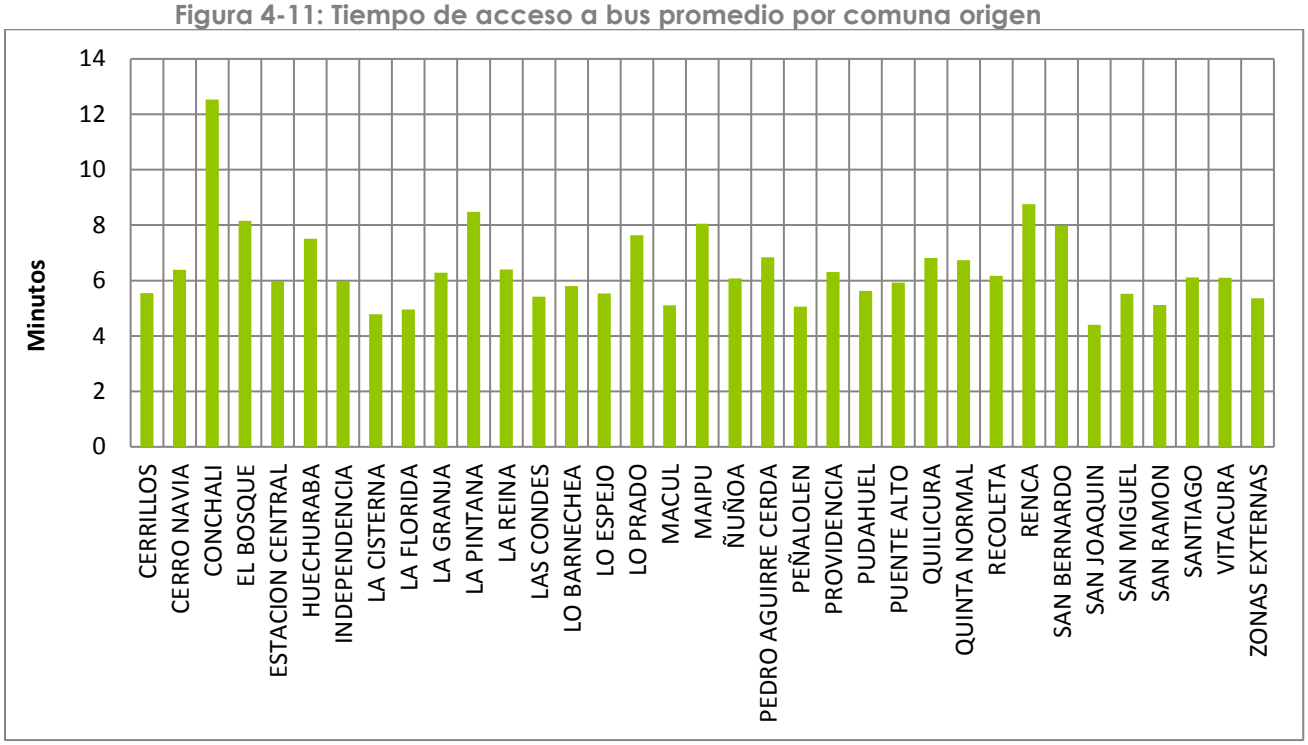
Figura 4-10: Distribución de los viajes en día laboral normal cuya hora media se encuentra en punta mañana (PMA: 6.30 - 8.30 horas)



Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta el análisis cualitativo del acceso a pie percibido, así como el tiempo de espera reportado en aquellos viajes cuya primera etapa fue en modo bus.

Figura 4-11: Tiempo de acceso a bus promedio por comuna origen

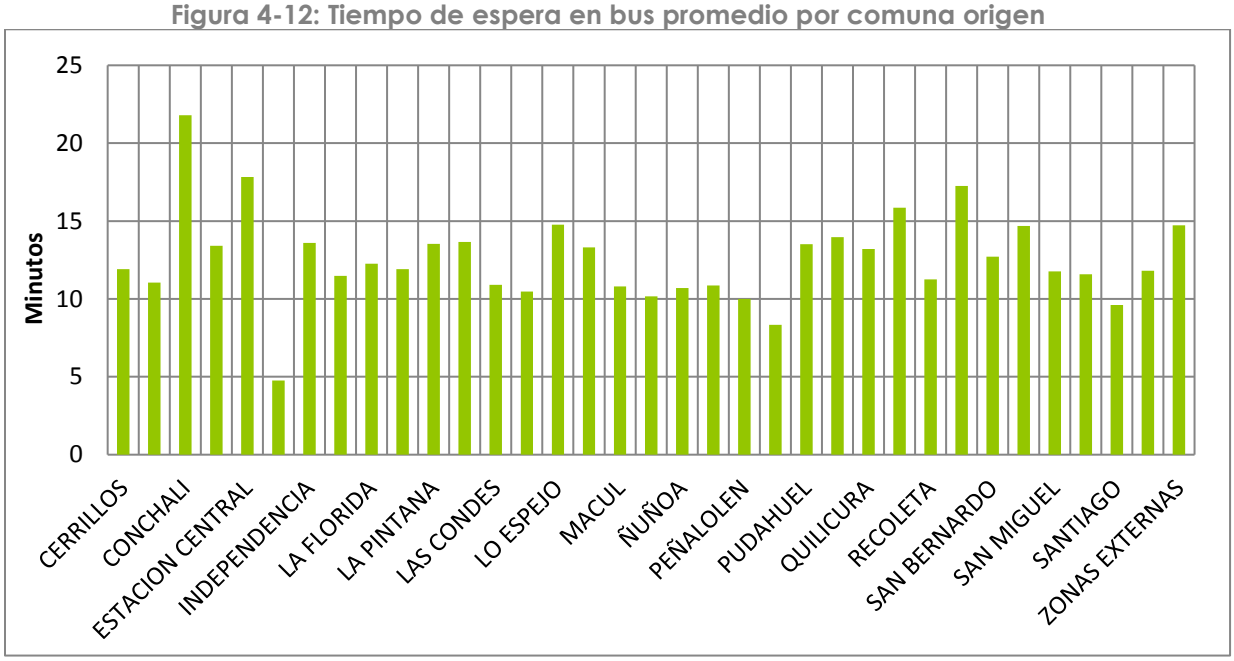


Fuente: Elaboración propia

Para el anterior gráfico se han omitido los casos en que el tiempo de acceso reportado es igual o superior a 40 minutos, entendiendo que dicho valor es notoriamente superior a lo que se entiende por acceso y dichos casos responden más a una etapa en sí misma. Bajo tal consideración, el valor promedio del tiempo de acceso a bus caminando en la ciudad es de 7 minutos.

La distribución de los tiempos de espera promedios por comuna en la primera etapa en bus se analiza en el siguiente gráfico:

Figura 4-12: Tiempo de espera en bus promedio por comuna origen

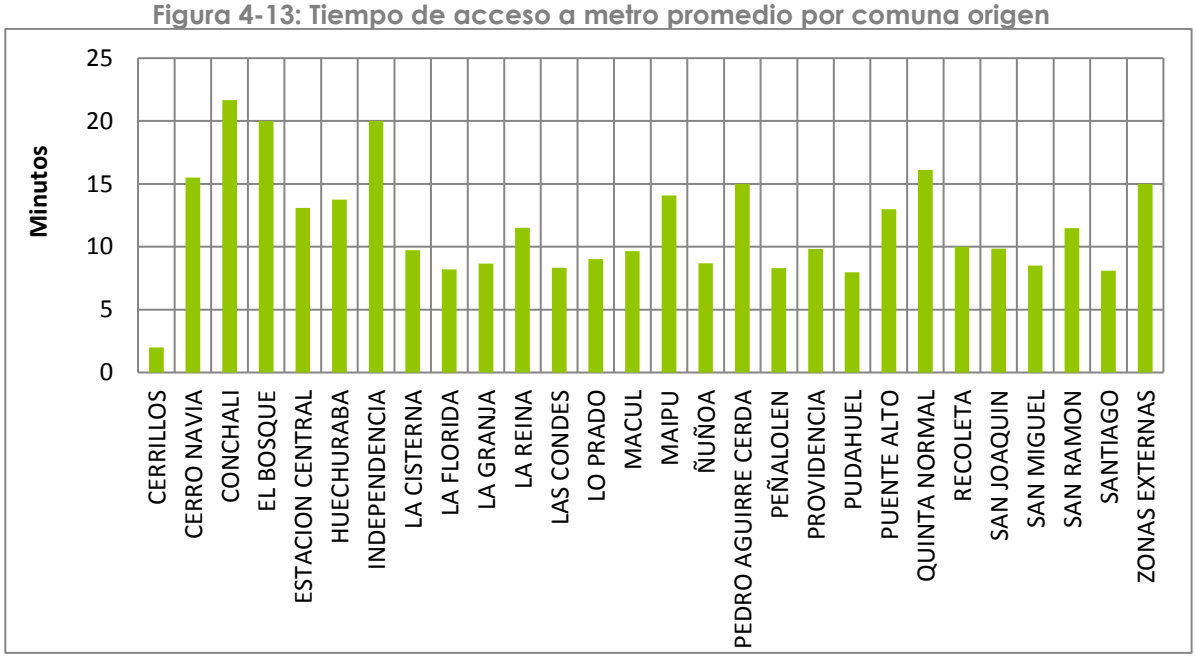


Fuente: Elaboración propia

El valor promedio del tiempo de espera en bus en la ciudad es de 13 minutos.

Análogamente, se presenta el análisis del acceso a pie reportado en aquellos viajes cuya primera etapa fue en modo metro.

Figura 4-13: Tiempo de acceso a metro promedio por comuna origen



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-14: Tiempo de acceso a metro promedio por línea inicio de etapa

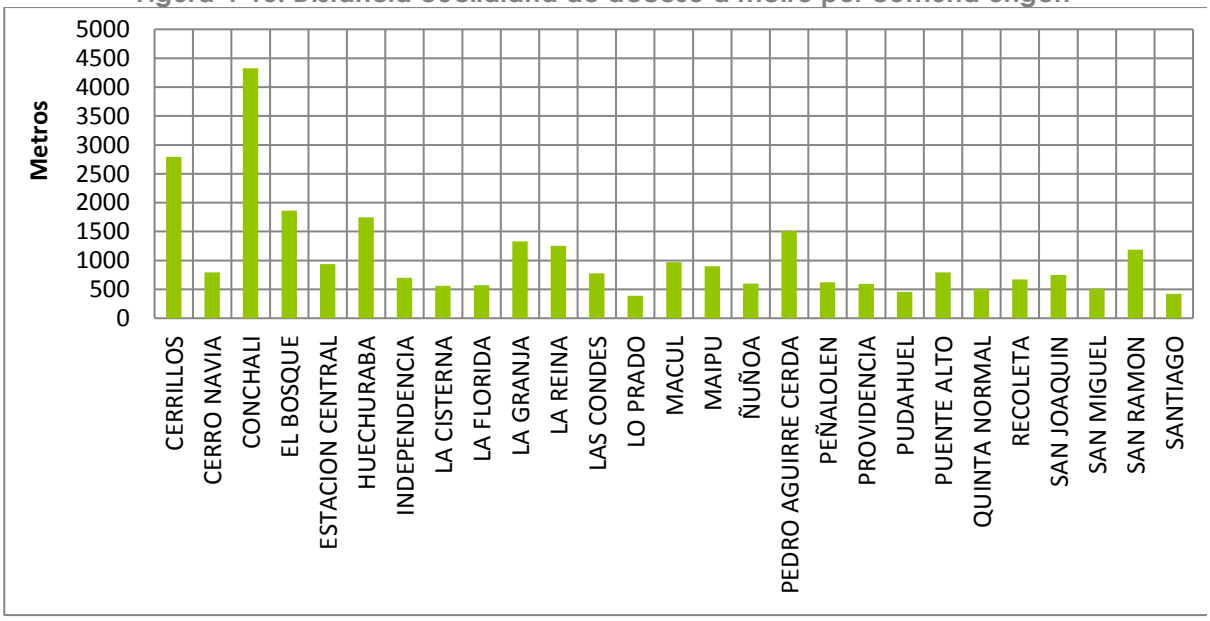


Fuente: Elaboración propia

El valor promedio del tiempo de acceso a metro a pie en la ciudad es de 10 minutos, 3 minutos superior al acceso promedio en bus.

Además de los tiempos percibidos reportados, también es posible estimar las distancias euclidianas de acceso y egreso de Metro a partir de las coordenadas de inicio y fin del viaje y de las de las estaciones inicio y fin de la etapa de metro.

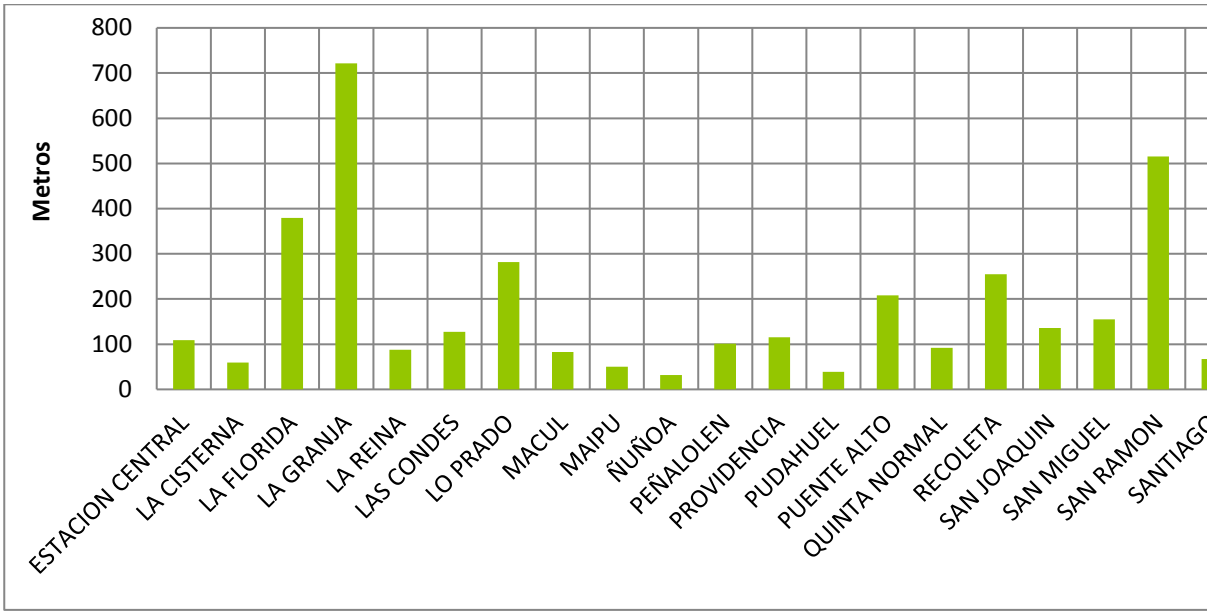
Figura 4-15: Distancia euclidiana de acceso a metro por comuna origen



Fuente: Elaboración propia

La distancia de acceso promedio a Metro es de 1.057 metros.

Figura 4-16: Distancia euclidiana de egreso en metro por comuna destino



Fuente: Elaboración propia

La distancia de egreso promedio en Metro es de 181 metros.

De la EOD Santiago 2012 se concluye que los tiempos y/o distancias son mayores en el acceso que en el egreso. En relación al acceso, los valores son mayores en el caso de Metro respecto al modo bus.

4.1.2 Análisis del acceso y egreso a Metro según la EOD de Metro 2014

Como se indicó en el análisis de la propia EOD Metro 2014, ésta consiste en una muestra de viajes con alguna etapa en metro, por lo que no responde a una muestra aleatoria de usuarios de los modos integrados bus+metro. Además, dichos viajes fueron interceptados en la estación de origen de dicha etapa, y tan solo se observaron un 35% de las estaciones en el inicio de etapa. Por el contrario, aunque condicionado al origen, la estación fin de la etapa en metro sí es aleatoria y por ello se presenta únicamente el análisis del egreso de metro en las etapas interceptadas entre las 7:00 y las 8:30 horas, análogamente a los expuestos a partir de los datos de la EOD Santiago 2012.

Tabla 4-6: Estaciones con mayor tiempo de egreso en metro observado

Estación	Tiempo promedio (minutos)
L4 Elisa Correa	5,4
L4A Santa Julia	4,4
L4A La Granja	4,1
L2 Américo Vespucio Norte	3,7
L2 Parque O´Higgins	3,7
L5 Vicente Valdés (->L4)	3,7
L4 Cristobal Colón	3,7
L1 Manquehue	3,7
L4 Príncipe de Gales	3,7
L5 Gruta de Lourdes	3,6

Fuente: Elaboración propia

Los tiempos de egreso a pie observados promedio son menores a 5,4 minutos, y el promedio en ese horario en toda la red es de 3 minutos. La siguiente tabla informa de las estaciones con mayores tiempos de egreso observados:

Al igual que en el caso de la EOD Santiago 2012, este análisis debe interpretarse con cautela debido a la naturaleza de la información: valores percibidos, reportados por el usuario en una muestra de viajes de al menos una etapa en Metro. Además, en esta base de datos no se recoge la localización del origen ni destino reales, por lo que no se pueden analizar las distancias.

De las anteriores dos bases de datos se deduce que si se consideraran los tiempos de acceso y egreso al sistema de transporte público integrado bus+metro así como el tiempo de espera, la hora de modelación sería más temprana que la definida de las tablas TB8 y TB9. No obstante, los análisis que se informan son una referencia, pero en ningún caso la cantidad ni la calidad de estos datos, ni la diferente naturaleza de las dos encuestas permite su uso para el ajuste de la hora de modelación.

Por lo tanto, de acuerdo al objetivo planteado, el criterio recomendado para la elección de la hora de modelación es **la hora más cargada de viajes según hora media de viaje, en un día laboral normal promedio, la cual se observa entre 7:30 a 8:30**, para el periodo Punta Mañana. Sin embargo, aquellas zonas que presentan su hora punta (hora con más viajes generados por hora media de viaje) con un desfase significativo respecto de la hora de mayor carga del sistema, se incorporan los viajes de la zona que representen la hora punta de dichas zonas, siempre que la diferencia porcentual entre ambas horas punta supere el 10% de los viajes.

Respecto a la hora de modelación del periodo Fuera de Punta Mañana, la discusión es reportada más adelante, en el capítulo 11 que aborda la estimación de matriz fuera de punta.

5 ZONIFICACION

5.1 INTRODUCCIÓN

La tarea de zonificación consiste en la división de la ciudad con el objetivo de posibilitar la agrupación de los viajes en las zonas resultantes según su origen y destino. Esto conformará la matriz de viajes que será posteriormente asignada a la red y calibrada.

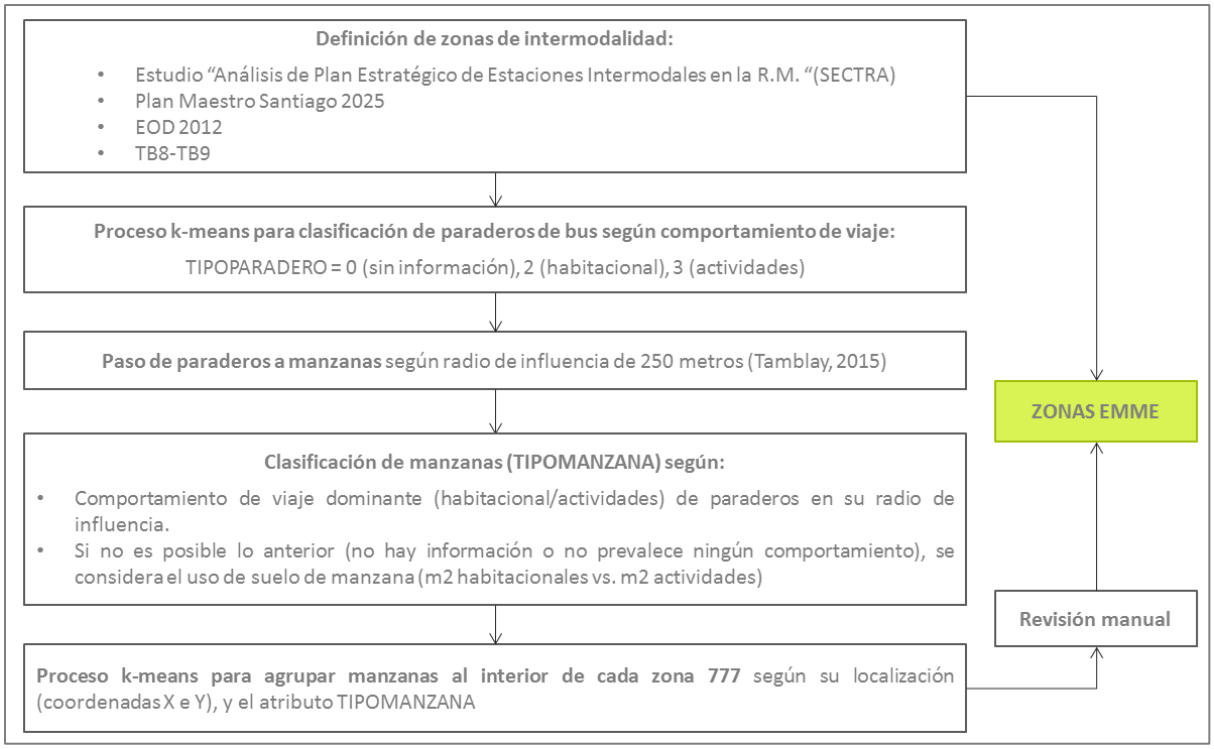
Dado el mencionado objetivo de agregación de viajes, es deseable que las zonas resultantes sean homogéneas en términos de la demanda de viajes, y por esta razón es deseable también que exista homogeneidad en el uso del suelo dentro de cada zona. Todo ello queda resuelto mediante una zonificación que agrupa las manzanas al interior de las zonas 777 mediante criterio de localización, uso de suelo y comportamiento de viaje. Además, este enfoque permite la estimación de viajes futuros en función de variables socio-demográficas, ya que esta zonificación respeta los límites comunales, está validada en concepto de uso de suelo y ha sido extensamente aplicada en modelos de transporte en la Región Metropolitana.

De acuerdo a las bases de licitación, el número de zonas máxima tiene como límite el de la licencia del software (3.000 zonas), con una holgura del 10%, por lo que resulta en un máximo de 2.700 zonas. El tamaño de las zonas es, por tanto, reducido y es por ello que el enfoque metodológico propuso hacer uso del máximo de información desagregada disponible que permitiese crear un criterio para generar zonas de tamaños caminables. En este sentido, las fuentes de información que toman parte en la metodología diseñada son las siguientes:

- Bases de licitación del estudio de Sectra "Análisis de Plan Estratégico de Estaciones Intermodales en la R.M."
- Plan Maestro Santiago 2025
- EOD Santiago 2012
- Tablas de etapas y viajes en modos bip! (TB8-TB9)
- Zonificación 777
- Información a nivel manzana de la Universidad Católica de Chile: datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y del Servicio de Impuestos Internos (SII)

Considerando lo anteriormente expuesto, a continuación se presenta el diagrama general de la metodología de zonificación. Posteriormente, se describe con detalle el paso a paso en la aplicación del proceso.

Figura 5-1: Diagrama de metodología de zonificación



Fuente Elaboración Propia

El proceso comienza con la definición de las zonas de intermodalidad, es decir, la identificación de los puntos más frecuentes de combinación intermodal y la selección de las manzanas que formarán parte de cada una de estas zonas.

Una vez definidas las zonas de intermodalidad, las manzanas aún sin zona asignada son agrupadas como resultado del proceso completo. Para ello en primer lugar se categorizan los paraderos en función del comportamiento de viaje observado en la tabla de viajes TB9, y después, considerando su radio de influencia y el uso de suelo, se categoriza cada manzana con el fin de agregarlas en zonas por criterios de cercanía y homogeneidad.

El comportamiento de viaje informa indirectamente del uso del suelo ya que los desplazamientos son una demanda derivada de ello. Este comportamiento puede obtenerse de manera desagregada a nivel de paradero de la TB9 y permite la caracterización de los paraderos a través del atributo TIPOPARADERO.

Tan solo la demanda de bus y no de metro o metrotren fue evaluada en este proceso por las siguientes razones:

- La influencia del bus es localizada, lo que permite tener certeza en la interpretación del comportamiento de la demanda.
- La demanda de metro se asume heterogénea en relación con la de bus, mientras que la demanda de este último modo tiene un carácter más rutinario y por tanto permite

asegurar la validez de la interpretación del uso de suelo del que deriva la demanda de viaje.

A partir de la categorización de los paraderos y considerando su radio de influencia es posible caracterizar las manzanas por medio del atributo TIPOMANZANA. Para ello se evalúa, por cada manzana, los paraderos bajo cuya influencia se localiza la manzana. Si existe un comportamiento de viaje dominante, entonces la manzana queda caracterizada por el comportamiento de viaje que prevalece entre los paraderos cercanos. De no estar bajo la influencia de ningún paradero de bus, no tener suficiente información del comportamiento de viaje en los paraderos cercanos o no dominar ningún comportamiento, entonces la manzana queda caracterizada por su uso de suelo más representativo, según sean más los metros cuadrados construidos para uso habitacional o la superficie dedicada al resto de usos.

Por último, las manzanas definidas por el atributo TIPOMANZANA y por su localización (coordenadas X e Y de su centroide), son agregadas espacialmente en un proceso de clustering que da lugar a la zonificación.

Como se indica en el diagrama de proceso, la metodología aplica dos procesos de clustering de tipo K-means. La técnica de clustering tiene como objetivo agrupar a los individuos en conglomerados de manera de maximizar la homogeneidad de los individuos dentro de los conglomerados mientras que a su vez se maximiza la heterogeneidad entre agregados distintos.

En cada proceso de clustering es necesario responder las siguientes interrogantes:

- ¿Cómo medir la similitud entre las observaciones? Existen varias medidas de similitud para medir la distancia que existe entre los individuos y en este caso se ha optado por la medida de Disimilaridad Euclidiana, que es la más utilizada y se define como:

  $$D_{ij} = (\sum_{k=1}^{p} (x_{ik} - x_{jk})^2)^{1/2}$$

  Donde D_{ij} es la distancia entre los individuos i y j, x las variables y p es el número de variables.
- ¿Cómo se forman los conglomerados? Para que cada cluster o agregado sea homogéneo se debe identificar la o las variables (x) a partir de las cuales se busca homogeneidad.
- ¿Cuántos grupos se forman? En el proceso de clustering K-means, el número de grupos o clusters es precisamente el parámetro k, que es fijo y es un input, decidido por el modelador.

El convencional algoritmo de K-Means se presenta a continuación:

Sea *D* un conjunto de datos con n instancias, y que C_1, C_2, … C_k son los *k* grupos disjuntos de *D*. A continuación, la función de error se define como:

$$E = \sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in c_i} d(x, \mu(c_i))$$

Donde $\mu(c_i)$ es el centroide del clúster c_i, y $d(x, \mu(c_i))$ designa a la distancia entre x y $\mu(c_i)$. La medida de distancia puede ser variada. La más utilizada es la distancia euclideana.

Finalmente el algoritmo K-Means es el siguiente:

Requiere: Conjunto de datos D, número de Cluster k, d Dimensiones:
c_i es el i-ésimo cluster

1. Fase de inicialización
C1, C2, … Ck = Inicial partición de D.

2. Fase Iteración
Repetir
d_{ij} = distancia entre el objeto i y el cluster j ;

$$\boldsymbol{n_i = arg\ min_{i \le j \le k} d_{ij}}$$

Asignar objeto i y en el cluster j;
Vuelve a calcular el valor representativo de los cluster (media);
Hasta que no haya cambios en los cluster en una iteración completa.
Salida de Resultados.

El algoritmo de K-Means puede dividirse en dos fases: la fase de inicialización y la fase de iteración. En la fase de inicialización, el algoritmo asigna de manera aleatoria los individuos en *k* clusters iniciales. En la fase de iteración, el algoritmo calcula la distancia entre los individuos y los conglomerados y asigna los individuos al cluster más cercano.

El algoritmo de clusterización es sensible a la asignación aleatoria inicial de individuos a clusters, pero este efecto se reduce al aumentar la cantidad de iteraciones en la segunda fase. En ella, el proceso itera hasta que encuentra el óptimo o valor mínimo posible de la diferencia media entre el centroide de cada cluster y cada uno de sus elementos (con el fin de obtener el cluster de mayor homogeneidad entre sus componentes). En consecuencia, el primer resultado es aleatorio y no es óptimo, y en cada iteración se evalúa la re-asignación de cada elemento y se verifica si ese cambio reduce las diferencias medias a los centroides. La solución óptima es aquella en que no es posible realizar ningún cambio de elementos en clusters que tenga como resultado una suma de diferencias promedio menor.

De lo anterior se deriva que existen dos razones por las que puede terminar el proceso: por llegar al número máximo de iteraciones, o por convergencia, es decir, logro del valor óptimo en que las diferencias medias son mínimas. En la metodología de zonificación diseñada, en las dos aplicaciones del K-means se asegura que la solución se logra por convergencia, es decir, es la solución óptima que minimiza las diferencias y, por tanto, es independiente del punto de partida. Esto es así porque el número de clusters es reducido en todos los casos (máximo 4). Esto simplifica las opciones de agrupación de los elementos, por lo que no exige un alto número de iteraciones, mientras que, paralelamente, el número máximo de

iteraciones se ha establecido en 100, asegurando que es suficientemente alto para el caso de aplicación.

Tal y como se describe más adelante, el proceso de clustering por K-means fue aplicado en dos fases de la metodología de zonificación. Las variables del proceso en cada caso son las siguientes:

Tabla 5-1: Resumen de los dos procesos de K-means aplicados en la metodología de zonificación

Proceso	D	k	d
Clasificación de paraderos (Tipoparadero)	Todos los paraderos (bus) del sistema	4 (Inicio de servicios, Comp. Habitacional, Comp. Actividades, Fin de servicios)	Porcentaje de subidas respecto del total de viajes en el paradero en PMA, FPM y PTA
Agrupación de manzanas	Manzanas con Tipomanzana distinto de 0 dentro de una zona 777 cualquiera	2, 3 o 4 (según el número de manzanas de la zona)	Coordenadas X e Y, y Tipomanzana

Fuente: Elaboración Propia

La información disponible, datos de entrada y resultados del proceso se describen más abajo y se incluyen en el Anexo del capítulo 5.

5.2 DEFINICIÓN DE ZONAS DE INTERMODALIDAD

El objetivo de esta sub-tarea fue definir las zonas en las que con mayor frecuencia se realizan conexiones intermodales, de manera que cada combinación potencial quede representada dentro de la misma zona. En otras palabras, se busca asegurar que los paraderos y estaciones intermodales (EIM) y de Metro o MetroTren que actúan en combinación queden dentro de la misma zona en la nueva división del área de estudio.

La definición de las zonas de intermodalidad es el primer paso en el proceso de zonificación ya que en él se establecen las manzanas que formarán parte de cada zona de intermodalidad en la nueva zonificación y, por tanto también como resultado se obtiene el resto de manzanas que sí tomarán parte en las fases posteriores del proceso de zonificación.

La Región Metropolitana presenta puntos de intercambio modal que han sido recogidos en documentos oficiales como son las bases de licitación para el estudio de Sectra "Análisis de Plan Estratégico de Estaciones Intermodales en la R.M." o el Plan Maestro Santiago 2025. Ambos documentos hacen referencia al siguiente conjunto de estaciones intermodales (EIM) y terminales de bus:

- Estación Intermodal Pajaritos (General Bonilla frente Amenthy, Metro Pajaritos)
- Estación Intermodal Lo Ovalle (Carvajal N° 168, Metro Lo Ovalle)

- Estación Intermodal La Cisterna (Gran Avenida José Miguel Carrera N° 8910, Metro la Cisterna)
- Estación Intermodal Bellavista de la Florida (Serafín Zamora N° 130, Metro Bellavista de la Florida)
- Estación Intermodal Vespucio Norte (Av. Américo Vespucio esq. Principal Capitán Ignacio Carrera Pinto, Metro Vespucio Norte)
- Terrapuerto Los Héroes (Tucapel Jiménez N° 21)
- Terminal San Francisco/Tarapacá (San Francisco N° 211/Tarapacá N° 828)
- Terminal San Borja (San Borja N° 235 – Est. Central)
- Terminal Alameda (Turbus-Pullman) (Av. Libertador O'Higgins N° 3850)
- Estación Intermodal del Sol (Caletera Isabel Riquelme frente N° 300)
- Terminal Lastra-La Paz (Av. La Paz N° 302)
- Terminal San Pablo/Padre Hurtado (Neptuno N° 718)

Las anteriores EIM y terminales son paradas servidas por servicios de buses interurbanos y rurales, así como estaciones de tren. En la mayoría de los casos, existe una estación de metro anexa a la infraestructura de la EIM o terminal.

Junto con las anteriores, se identifican los siguientes puntos de intermodalidad:

- Estación Metro-MetroTren Lo Valledor
- Estación MetroTren San Bernardo
- Terminal de buses de San Bernardo

Es preciso notar que las anteriores EIM se refieren a bus, tren y metro; no obstante, la intermodalidad también involucra otros modos, como son taxi colectivo, bici y modos privados. Por esta razón, también se han analizado otras fuentes de información con el fin de considerar todas las formas de intermodalidad. Las fuentes de información consultadas con el mencionado objetivo son la EOD Santiago 2012 y las tablas de etapas y viajes TB8-TB9 creadas por el sistema Adatrap a partir de las transacciones bip! y los registros de los GPS de buses.

Con los viajes de la EOD 2012 con hora media entre las 6 y las 22 h de día laboral se identificaron las 15 estaciones de metro más demandadas para conexiones de modos no bip! con metro y viceversa. El paradero de combinación con bus bip! no está reportado, por lo que de esta fuente de información se extraen las combinaciones con metro. Análogamente, de las transacciones bip! en día laboral se identificaron las 15 estaciones de metro y/o paraderos más demandadas para conexiones bus-metro y metro bus.

Por tanto, junto a las EIM y terminales inicialmente expuestos, se consideraron las siguientes estaciones de metro como epicentros de los transbordos intermodales más frecuentes:

- Cal y Canto (Línea 2 y futura Línea 3)
- El Parrón (Línea 2)
- Escuela Militar (Línea 1)
- Grecia (Línea 4)
- Hospital Sótero del Río (Línea 4)

- Irarrázaval (Línea 3 y Línea 5)
- Las Mercedes (Línea 4)
- Las Rejas (Línea 1)
- Los Dominicos (Línea 1)
- Macul (Línea 4)
- Manquehue (Línea 1)
- Plaza Egaña (Línea 3 y Línea 4)
- Plaza de Maipú (Línea 5)
- Plaza de Puente Alto (Línea 4)
- Pudahuel (Línea 5)
- Santa Rosa (Línea 4A)
- Santiago Bueras (Línea 5)
- Vicente Valdés (Línea 4 y Línea 5)

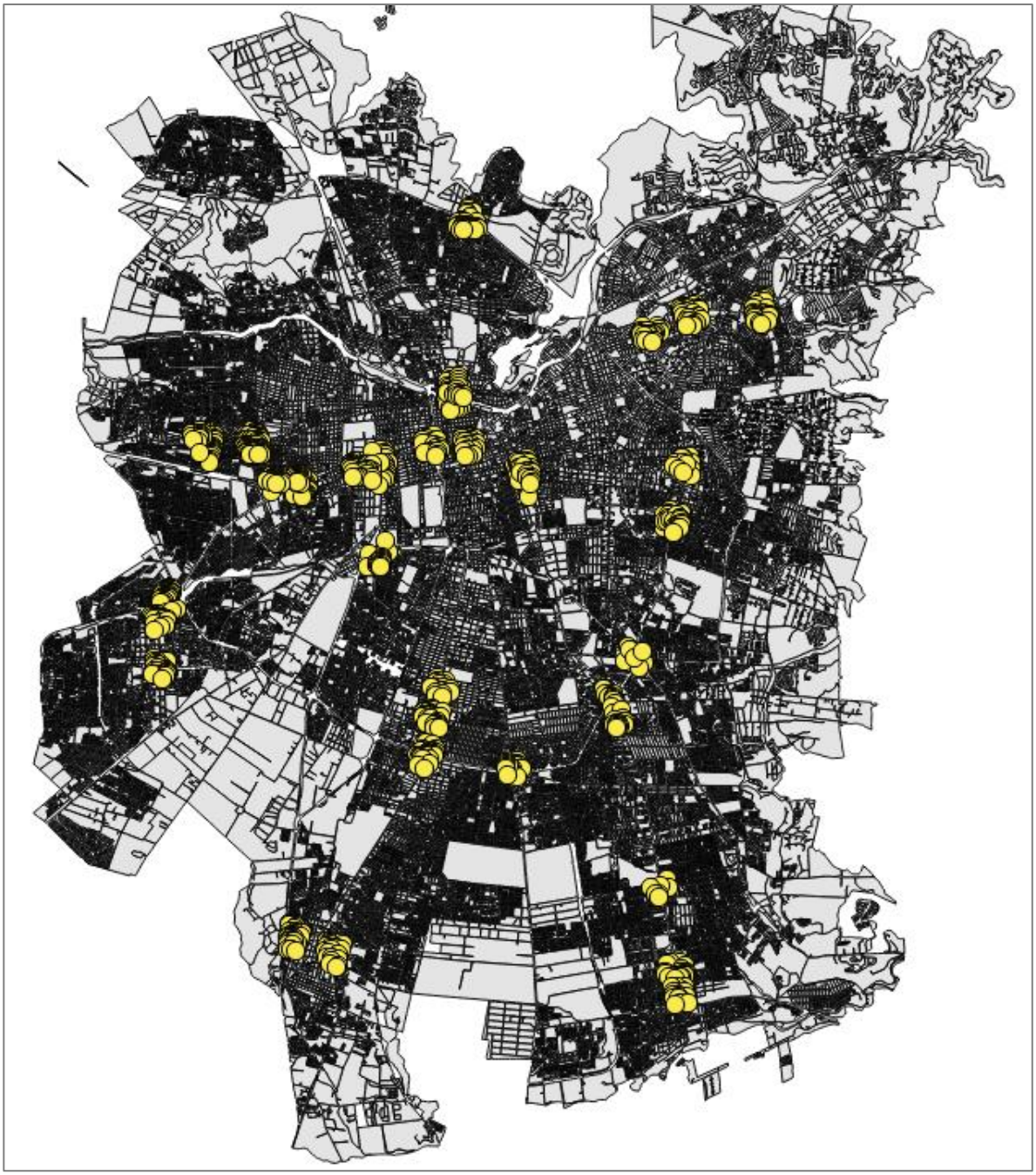
Para delimitar las zonas de intermodalidad se identificaron las manzanas que tienen algún punto dentro de un radio de influencia de 400m desde las estaciones mencionadas. Este valor es el máximo común para casi la totalidad de los puntos anteriormente identificados que evita que dos estaciones de metro formen parte de una misma zona intermodal. No obstante, existen 3 casos en los que este valor fue reducido:

- Bellavista de la Florida, en Línea 5 de Metro: 250 m para evitar interacción por cercanía a estación Vicuña Mackenna de Línea 4.
- Santiago Bueras: 370 m hasta el límite del radio de influencia de 400 m de la estación intermodal Del Sol y la estación de Metro homónima, en Línea 5.
- Estación Central y estación de Metrotren Alameda: 300 m de influencia de cada uno y se consideran en la misma zona intermodal, junto con el terminal de bus de San Borja.

No obstante lo anterior, se establecieron los límites definitivos en un proceso manual con el fin de simplificar lo más posible los polígonos o límites de estas zonas. Por lo tanto, con el fin de definir polígonos sencillos, en general este proceso tiene como resultado la consideración, a criterio, de las manzanas aledañas a las identificadas.

Como resultado se definieron las siguientes 32 zonas de intermodalidad que se presentan en la figura y tabla de debajo:

Figura 5-2: Manzanas que componen las zonas de intermodalidad



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5-2: Nombre e ID de las zonas de intermodalidad

ZONA DE INTERMODALIDAD	ID ZONA
Estación Central	500.001*
Estación MetroTren Alameda	500.001*
Terminal Buses San Borja	500.001*
Bellavista de la Florida	500.002*
Cal y Canto	500.003*
T-4-22-SN-10 - Terminal Buses La Paz - Lastra	500.003*
Del Sol	500.004*
El Parrón	500.005
Escuela Militar	500.006
Grecia	500.007
Hospital Sótero del Río	500.008
Irarrázaval	500.009
La Cisterna	500.010*
Las Mercedes	500.011
Las Rejas	500.012*
Lo Ovalle	500.013*
Lo Valledor	500.014
Los Dominicos	500.015
Los Héroes	500.016*
Macul	500.017
Manquehue	500.018
Pajaritos	500.019*
Plaza de Maipú	500.020
Plaza de Puente Alto	500.021
Plaza Egaña	500.022
Pudahuel	500.023
Estación MetroTren San Bernardo	500.024
San Pablo	500.025*
Santa Rosa	500.026
Santiago Bueras	500.027
T-20-201-NS-7 - Terminal Buses San Francisco -Tarapacá	500.028*
Universidad de Santiago	500.029
Vespucio Norte	500.030*
Vicente Valdés	500.031
Terminal Buses San Bernardo	500.032*

Fuente: Elaboración Propia *Zonas de conexión intermodal con modos no bip!

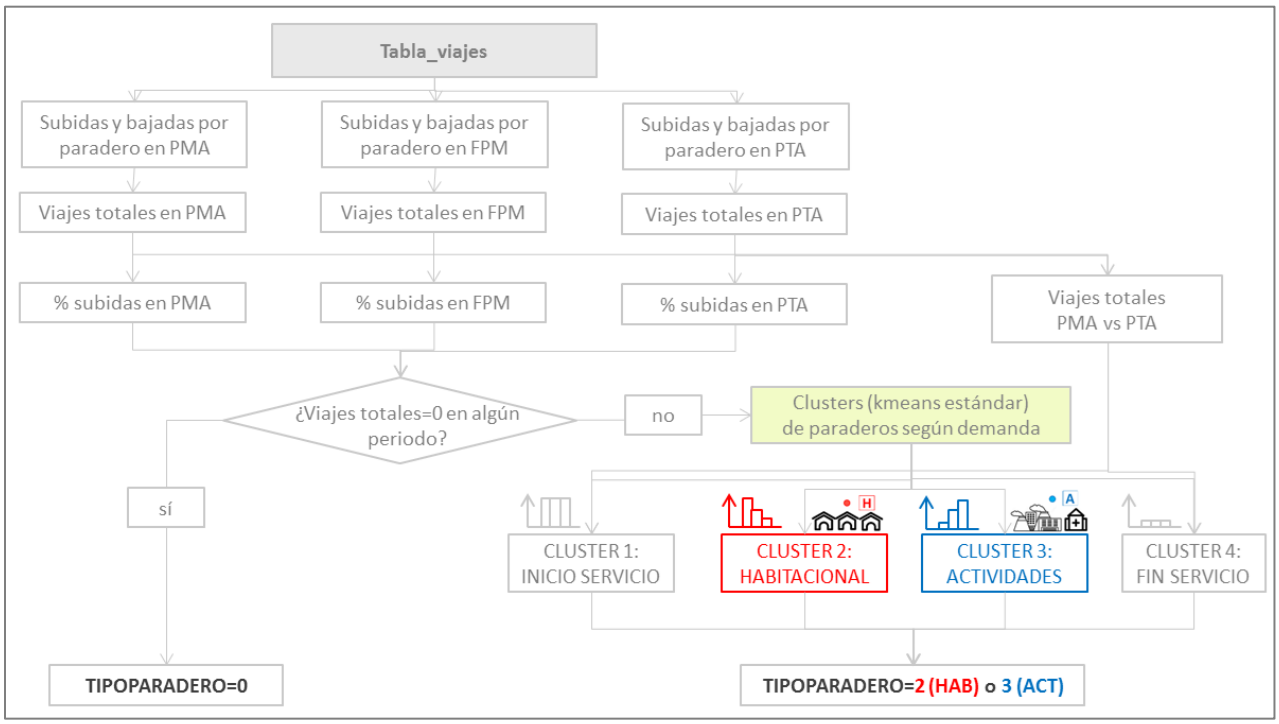
5.3 CLASIFICACIÓN DE PARADEROS Y MANZANAS SEGÚN COMPORTAMIENTO DE VIAJE Y USO DE SUELO

Como se describió en la introducción de la metodología de zonificación, una vez definidas las zonas de intermodalidad, se clasifican los paraderos de bus según su comportamiento de viaje para que, en una fase posterior, sean caracterizadas las manzanas según su uso de suelo y la influencia y comportamiento de los paraderos cercanos.

En el proceso de clasificación de paraderos intervienen todos los paraderos del sistema de bus con el fin de facilitar el automatizado del proceso y dada la posibilidad de, que aunque un paradero se localice dentro de una zona de intermodalidad, su radio de influencia involucre manzanas fuera de tales zonas, caso en que es necesario considerar el comportamiento de viaje en tal paradero.

El sub-proceso de clasificación de paraderos se describe a continuación.

Figura 5-3: Diagrama del proceso de clasificación de los paraderos de bus según su comportamiento de viaje



Fuente: Elaboración Propia

De la tabla de viajes en modos bip! (TB9) se extraen las subidas y bajadas por paradero de bus y periodo en los 3 periodos siguientes definidos por Transantiago:

- Punta Mañana (PMA): 6:30 a 8:29
- Fuera Punta Mañana (FPM): 9:30 a 12:29
- Punta Tarde (PTA): 17:30 a 20:29

Se consideran los anteriores 3 periodos con el fin de que la caracterización de los paraderos y, por tanto, la zonificación final sea robusta y válida no solo para los periodos punta.

Se obtiene el porcentaje de subidas en el paradero-periodo sobre el total de subidas y bajadas en tal paradero-periodo, según la siguiente fórmula:

$$\%\, subidas_{paradero-periodo} = \frac{\sum subidas_{paradero-periodo}}{\sum subidas_{paradero-periodo} + \sum bajadas_{paradero-periodo}}$$

En consecuencia, cada paradero queda definido por 3 valores: porcentaje de subidas sobre el total de viajes en PMA, FPM y PTA. Definidos por este trinomio, los paraderos son clasificados en clusters por el proceso k-means estándar que se describe a continuación y que tiene como objetivo identificar los patrones más relevantes en ese trinomio.

Como se dijo anteriormente, el número de clusters en que se desea clasificar la población (en este caso, población de paraderos) es un input al proceso. Se probaron diferentes valores y se concluyó que debía ser 4 ya que:

- Un número de clusters mayor a 4 es redundante en el sentido de que no se revelaban nuevos patrones de comportamiento sino que se desagregaba el patrón 2 (comportamiento de viaje habitacional) y el 3(comportamiento de viaje por actividades) en clusters con la misma forma decreciente o creciente respectivamente, pero distintas magnitudes.
- Un número de clusters menor omite comportamientos o mezcla los comportamientos que por el contrario sí quedan definidos con un valor de 4 clusters.

Por lo tanto, del resultado del k-means se tienen los paraderos clasificados en los clusters 1 a 4. Los clusters 2 y 3 sí informan indirectamente del uso del suelo: el patrón de subidas en los 3 periodos del día es decreciente en el cluster 2 y creciente en el caso 3, lo que indirectamente revela un uso de suelo habitacional y de actividades respectivamente.

Por su parte, el comportamiento revelado por los clusters 1 y 4 es consecuencia de dos efectos: el uso de suelo y la oferta de transporte. En este sentido se tiene que el patrón de comportamiento de viaje revelado por el cluster 1 es el que se observa en paraderos cercanos al inicio de servicios, ya que un porcentaje muy alto de viajes son subidas, es decir, se originan en ese paradero. Por el contrario el cluster 4 lo conforman paraderos cercanos al fin de servicios, ya que un porcentaje reducido sube mientras que la mayoría son bajadas.

Es necesario obtener más información de viaje de cada paradero de estos clusters 1 y 4 de manera que puedan eventualmente asignarse a un uso de suelo predominantemente habitacional (cluster 2) o de actividades (cluster 3). Esta re-clasificación de paraderos se realiza a partir del propio cluster (1 o 4), y de la comparación entre el volumen total de viajes en el paradero en PMA y en PTA. La re-asignación queda de la siguiente manera:

Tabla 5-3: Re-clasificación de paraderos de los clusters 1 y 4 a los clusters 2 y 3

	Inicio de servicio (Cluster 1)	Fin de servicio (Cluster 4)
Viajes PMA > Viajes PTA	Hogar → Cluster 2	Actividades → Cluster 3
Viajes PMA < Viajes PTA	Actividades → Cluster 3	Hogar → Cluster 2

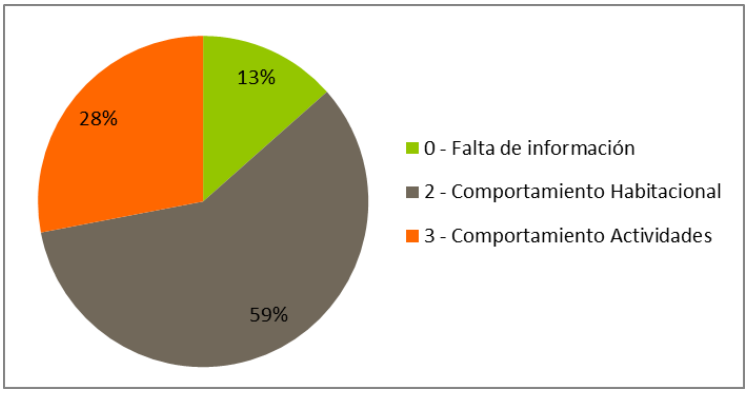
Fuente: Elaboración Propia

De esta manera, del proceso k-means y la re-asignación posterior se tienen los paraderos caracterizados por su atributo TIPOPARADERO que toma el valor del cluster (2 o 3).

Además, como se muestra en el diagrama, si algún paradero no aparece en la TB9 en algún periodo, entonces no podrá ser caracterizado por falta de información (no se observaron subidas ni bajadas en ese/esos periodo/s). Estos paraderos son los primeros en identificarse cuando se extrae la información de la tabla de viajes TB9. Su atributo TIPOPARADERO es 0 y no son considerados en el proceso k-means.

A continuación se analiza el resultado de la clasificación de los paraderos.

Figura 5-4: Clasificación de los paraderos de bus (atributo TIPOPARADERO)

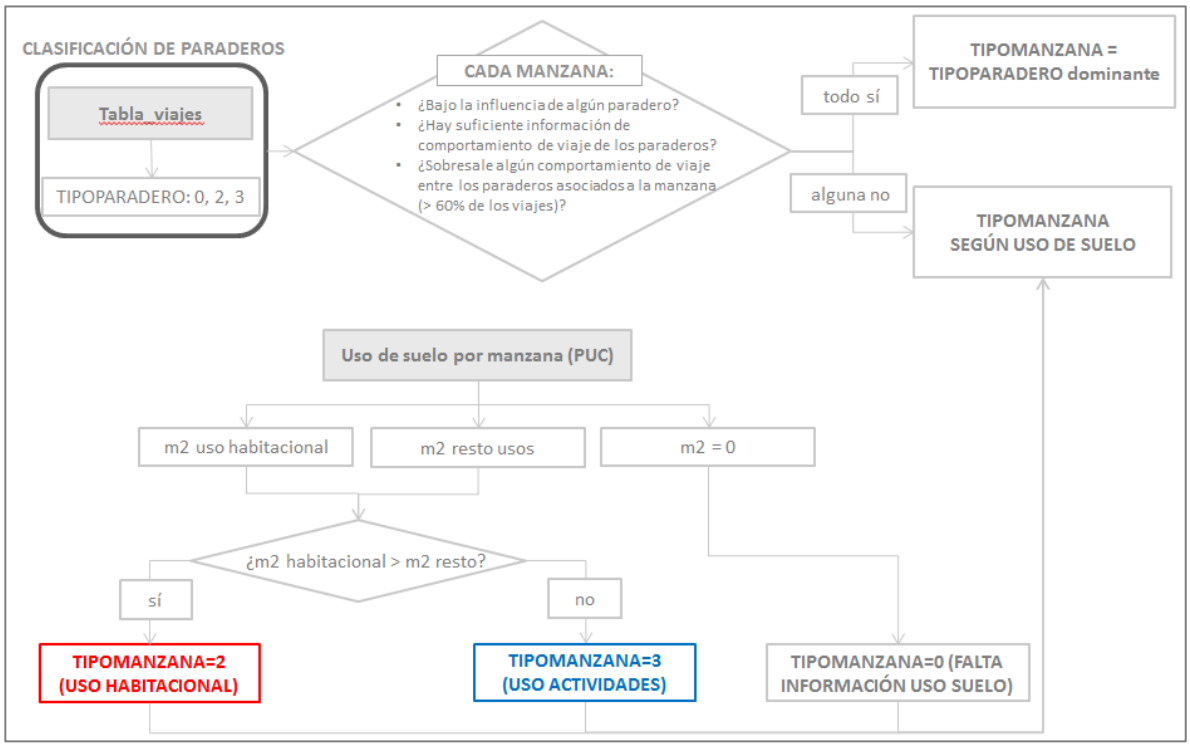


Fuente: Elaboración Propia

Como es de esperar, el comportamiento de viaje en la mayoría de paraderos (59%) es de tipo habitacional.

Una vez clasificados los paraderos en TIPOPARADERO igual a 0, 2 o 3, esta información se lleva a las manzanas en su radio de influencia de 250 metros (Tamblay, 2015) mediante el procedimiento que se esquematiza en el diagrama siguiente:

Figura 5-5: Diagrama del proceso de caracterización de las manzanas según el comportamiento de viaje o uso de suelo



Fuente: Elaboración Propia

En el paso de paradero a manzana y con el fin de caracterizar éstas a través del atributo TIPOMANZANA, se evalúan los paraderos bajo cuya influencia están dichas manzanas. Si existe un comportamiento de viaje dominante, entonces la manzana queda caracterizada por el comportamiento de viaje que prevalece entre los paraderos cercanos. Para ello se identifica el TIPOPARADERO y el volumen total de viajes en los 3 periodos de cada paradero bajo cuya influencia se sitúa la manzana. Considerando el total de viajes (subidas y bajadas en los 3 periodos) que suman todos los paraderos asociados a una manzana, si los viajes asociados a un TIPOPARADERO igual a 2 o a 3 es mayor al 60% del total de los viajes de esos paraderos, entonces TIPOMANZANA= 2 o 3, según sea el caso. Se ha de notar que en el paso de paradero a manzana se consideran todos los viajes (subidas y bajadas) del paradero en los 3 periodos definidos y la influencia de un paradero en una manzana no varía con la distancia sino que se asumen todos los viajes involucrados y el mismo comportamiento de viaje en todas las manzanas en el radio de influencia del paradero (250 metros), lo que significa que para definir cada manzana en el radio de influencia del paradero se consideran todos los viajes observados en éste.

En el caso de que la manzana no esté bajo la influencia de ningún paradero de bus, que no haya suficiente información del comportamiento de viaje en los paraderos cercanos o no domine ningún comportamiento (ningún TIPOPARADERO acumula más del 60% de los viajes), entonces la manzana queda caracterizada por su uso de suelo más representativo. En estos casos se evalúa si son más los metros cuadrados construidos para uso habitacional (caso en

que TIPOMANZANA = 2, uso habitacional) o la superficie dedicada al resto de usos: comercio, educación, industria, salud u otros (caso en que TIPOMANZANA = 3, uso actividades).

También en este caso existen manzanas de las cuales no se tiene información o la superficie construida es nula. Se pueden distinguir 3 casos en los que la superficie construida de una manzana es 0:

- No información
- Parque/cerro
- Sitio eriazo

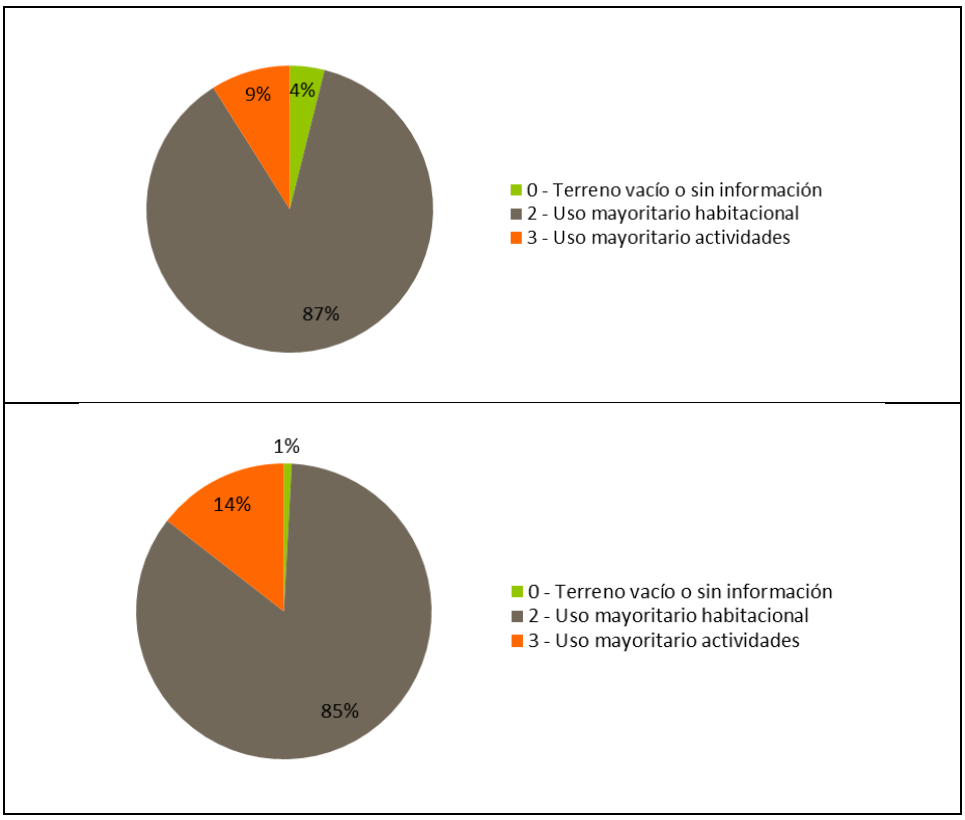
En el primer caso, podría ser que en la actualidad haya actividad en esa manzana pero los datos no estén suficientemente actualizados. En el segundo caso se esperaría generación/atracción según el periodo del día lo que se traduce en un comportamiento de viaje. En el tercer caso la manzana no generaría ni atraería viajes.

A consecuencia de lo anterior, existen manzanas cuyo valor de superficie construida en la base de datos es 0, pero en estricto rigor se trata de una falta de información de uso de suelo ya que dados los 3 casos no siempre es cierto que no hay uso de suelo y que no se generan ni atraen viajes. Además, existen paraderos en cuyo radio de influencia ninguna manzana tiene información de uso de suelo y sin embargo se observan viajes. Debido a ambas razones se asume que el atributo TIPOMANZANA puede absorber el comportamiento de viaje dominante (en caso de haberlo) de los paraderos cercanos en las manzanas sin información de uso de suelo.

Por otro lado, existen casos de paraderos de bus en zonas 777 de la periferia, que no presentan manzanas. Se entiende que esto es debido a la antigüedad de la información de manzanas, pero se asume que si existe red de transporte público es porque existe demanda. Por lo tanto, para estos casos se creó una manzana por cada paradero y el valor del atributo TIPOMANZANA es directamente el de TIPOPARADERO.

Como resultado de todas las consideraciones anteriores, debajo se compara la clasificación de las manzanas a partir únicamente del uso del suelo con la clasificación derivada de la metodología en la que el atributo TIPOMANZANA proviene del TIPOPARADERO dominante o, en caso de no haberlo, del uso del suelo.

Figura 5-6: Clasificación de las manzanas (atributo TIPOMANZANA): a) a partir de datos de uso de suelo; b) resultado de la aplicación de la metodología: comportamiento de viaje dominante (TIPOPARADERO) y uso de suelo



Fuente: Elaboración Propia

Como se concluye de las dos gráficas, el resultado de la metodología optimiza el uso de la información disponible ya que permite reducir en gran medida las manzanas sin información de comportamiento o uso de suelo y, por otro lado, aumentan las manzanas que muestran un uso de suelo destinado a actividades. Esto es así dado que la metodología está reflejando la frecuente posibilidad de que aunque la superficie habitacional sea importante, en realidad en términos de volumen de viajes no lo es tanto, mientras que puede ocurrir que la superficie destinada a actividades sea reducida sin que ello genere o atraiga numerosos viajes.

5.4 AGRUPACIÓN DE MANZANAS EN ZONAS SEGÚN LOCALIZACIÓN Y COMPORTAMIENTO DE VIAJE O USO DE SUELO

Una vez realizado el proceso anterior, cada manzana queda definida por los siguientes atributos que son considerados en el proceso de clusterización:

- Zona 777 en el que se sitúa su centroide
- Coordenadas XY del centroide

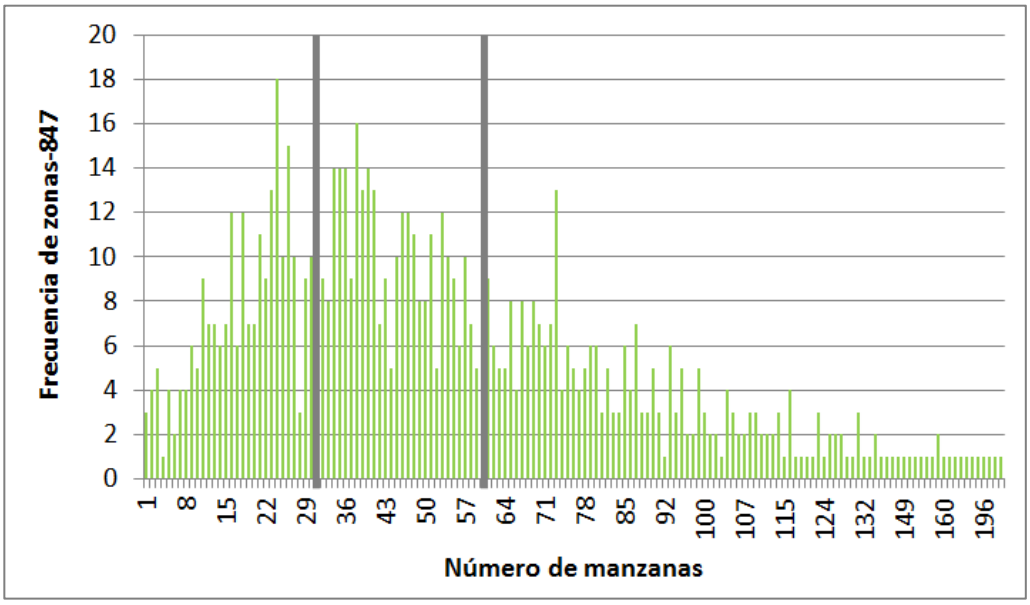
- Tipomanzana= 0 (falta de información de uso de suelo), 2 o 3 según sea el uso principalmente habitacional o para actividades, según las definiciones anteriormente expuestas.

El proceso de clusterización realiza el algoritmo k-means (descrito anteriormente) entre las manzanas con Tipomanzana de valor 2 o 3 que pertenecen a una misma zona 777. Como consecuencia, las manzanas quedan agrupadas. El proceso busca que de manera simultánea en relación a los atributos X, Y y TIPOMANZANA, las manzanas que se agrupan en un mismo clúster se parezcan lo más posible entre ellas y por el contrario se distingan lo más posible al resto de clústers que resulten. En consecuencia, el proceso asegura que las manzanas en un mismo clúster o zona final muestren un valor lo más similar en esos 3 atributos, pero, al igual que las coordenadas X e Y, serán cercanas y no coincidirán entre manzanas, también puede que TIPOMANZANA no coincida en todas las manzanas agrupadas.

Debido a la disparidad de tamaños de zonas 777, se define un número máximo de clusters (K máximo) por zona 777 a partir de los siguientes condicionantes:

- Se desea un máximo de 2.700 zonas ya que la licencia de Emme permite 3.000 y, tal y como se indica en las bases de licitación, se aseguraría una holgura del 10%.
- La cola de la gráfica de frecuencia de zonas 777 en función del número de manzanas se sitúa en un valor aproximado de 60 manzanas. En el proceso de clustering para la generación de las zonas finales, a las zonas 777 con más de 60 manzanas se les permite 4 clusters como máximo, un valor mayor que el del resto de zonas 777.

Figura 5-7: Frecuencia de zonas 777 según su número de manzanas



Fuente: Elaboración Propia

Dada la restricción del número total de zonas, se definió un valor de 4 clusters máximo para las zonas 777 con más de 60 manzanas y la definición aplicada fue la siguiente:

- Si la zona 777 se compone de menos de 30 manzanas (28%): máximo 2 clusters

- Si la zona 777 se compone de entre 30 a 60 manzanas (37%): máximo 3 clusters
- Si la zona 777 se compone de más de 60 manzanas (35%): máximo 4 clusters

Con todo lo dicho, el algoritmo realiza un proceso k-means dentro cada zona 777 con las manzanas con información de uso de suelo o comportamiento de viaje (tipomanzana de valor 2 o 3). En cada zona 777, el proceso prueba la convergencia con el valor máximo de clusters definido para ella según su número de manzanas y, si no lo consigue, reduce el valor hasta lograrla. Los 3 atributos que entran en el algoritmo son la coordenada X, la coordenada Y, y el atributo tipomanzana. No se define una ponderación diferenciada entre ellos ya que si se aumenta el peso del atributo tipomanzana, las manzanas de un mismo cluster o zona pueden no resultar colindantes y ello impide la definición de las zonas en polígonos. Cuando los 3 atributos muestran el mismo peso, obviamente el atributo tipomanzana (la caracterización de la manzana según el comportamiento de viaje o el uso de suelo) está involucrado, pero a la vez se asegura que las manzanas son agregadas por cercanía y así es posible delimitar las zonas mediante polígonos.

Posteriormente a la generación de los clusters como agrupación de manzanas con tipomanzana de valor 2 o 3, al interior de cada zona 777 las manzanas con tipomanzana de valor 0 (sin información de uso de suelo ni comportamiento de viaje) son asignadas al clúster (zona) más cercano.

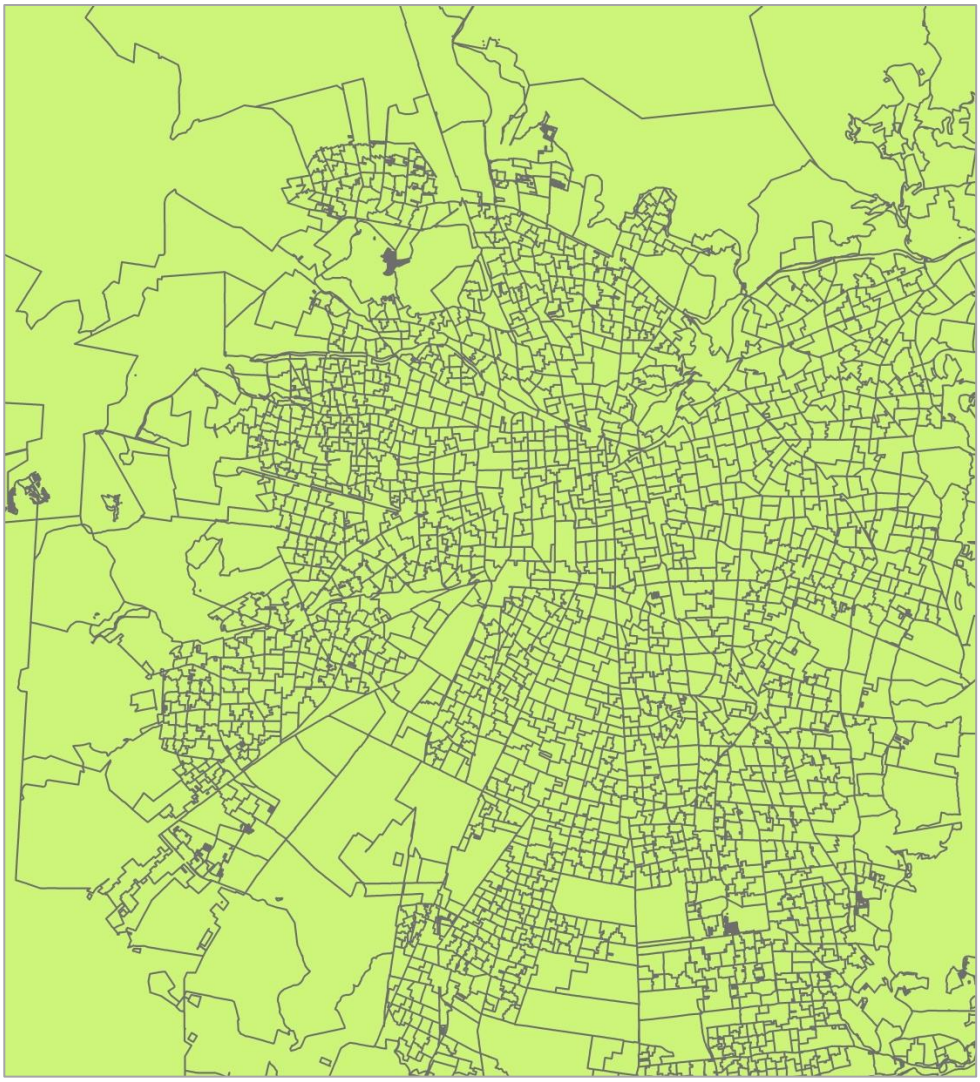
Una vez finalizado el proceso automático anterior, se revisa manualmente la zonificación resultante con el fin de asegurar que las zonas creadas tienen sentido en términos del dinamismo de la ciudad. En este sentido, concretamente se revisaron las zonas que estaban compuestas por menos de 5 manzanas. Éstas se mantuvieron o reasignaron en las zonas colindantes con el objetivo de lograr una coherencia territorial.

Por otro lado, se ha de mencionar que las barreras naturales están consideradas en el proceso debido a que la nueva zonificación se crea al interior de cada zona 777, cuyos límites están dispuestos sobre dicho tipo de barreras.

Del resultado automatizado se obtuvieron 2.461 zonas, las cuales se mantuvieron en número tras la revisión manual, es decir, únicamente se reasignaron manzanas a zonas. No obstante, previamente habían sido definidas 32 zonas de intermodalidad, lo que hacen un total de 2.493 zonas.

En la siguiente figura se muestra el resultado de la zonificación:

Figura 5-8: Zonificación



Fuente Elaboración Propia

Debido a la forma y al tamaño que se presentan las manzanas, es que se tuvo dificultades para representarlas en los sectores más periféricos de la ciudad. Por otro lado, se tuvo que resolver caso a caso espacios vacíos entre manzanas para que represente de manera fidedigna la construcción de la zonificación.

La información completa de manzanas, zonas 777 y zonificación final, se provee en el anexo 5 del capítulo.

5.5 CREACIÓN DE CENTROIDES Y ARCOS DE ACCESO

Una vez establecidas las manzanas en cada zona generada, los centroides de cada una se situarán en el centro de masas de la superficie total construida de la zona. Para ello el proceso es el que se describe a continuación. Se suma la superficie construida total por cada zona y

para cada manzana de la zona se obtiene el porcentaje de superficie con que aporta al total de la zona. De forma separada, la coordenada X y la coordenada Y del centroide de zona es el promedio de las coordenadas respectivas de cada manzana, ponderado por el aporte de superficie construida de cada manzana respecto al total de la zona.

En caso de no disponer de información de uso de suelo en ninguna de las manzanas de la zona entonces su centroide se localiza en el centro de gravedad de los centroides de las manzanas involucradas.

De manera específica, en las zonas de intermodalidad, el centroide es la estación de metro o terminal de bus en caso de no haber estación de metro. No obstante, existen zonas intermodales especiales:

- Zona: Estación Central + Estación MetroTren Alameda + Terminal Buses San Borja. En este caso se ha tomado como centroide de zona el punto representativo de la estación MetroTren Alameda.
- Zona: Cal y Canto + Terminal Buses La Paz – Lastra. Para esta zona de intermodalidad, su centroide se ha definido en el punto representativo de la estación de Metro Cal y Canto, debido a su importancia en volumen de viajes respecto del Terminal de buses.
- Zona de Terminal de Buses de Tarapacá – San Francisco. Para localizar el centroide se ha tomado el paradero de bus contiguo (T-20-201-NS-7), que fue el que se tomó también en referencia para la delimitación de la zona.
- Zona de Terminal de Buses de San Bernardo. Se ha tomado como centroide el propio terminal.

En relación a los arcos de acceso, existen dos posibilidades. Por un lado, la opción tradicional consiste en generar arcos de acceso desde cada centroide de zona a cada paradero o estación de la red a la cual le inyecta o absorbe demanda. Esta alternativa es adecuada en modelos estratégicos, con redes de poco detalle y zonas de gran tamaño. Por el contrario, en este caso, debido al detalle de la red, y al tamaño de las zonas creadas, la opción más apropiada consiste en dar acceso desde cada centroide de zona al punto más cercano de la red vial de modelación, ya que el software permite que los usuarios caminen por la red y accedan por ella al paradero que optimice su viaje según su localización, la oferta y las condiciones de red. Además, esta opción tiene la ventaja de no estar condicionada por la oferta de transporte, es decir, que no depende de la localización de los paraderos, por lo que si se desean agregar o sustraer paraderos no es necesario crear o eliminar arcos de acceso.

Por lo que fue esta segunda opción la utilizada en la definición de los arcos de acceso y egreso de los centroides al STPM. El costo de acceso definido es la longitud del propio arco, es decir, entre el centroide de la zona y el punto más cercano de la red al cual se ha conectado.

El resultado se adjunta en el Anexo 5 del capítulo en formato shape y hoja de cálculo.

6 ESTIMACION DE LA MATRIZ DE VIAJES

6.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta tarea es estimar una matriz de viajes que permita representar de la mejor forma posible la demanda real y comportamiento de los usuarios del STPS en el periodo Punta Mañana en la situación de calibración.

Para este objetivo se consideró necesario utilizar la Tabla de Etapas y Tabla de Viajes, disponibilizadas por DTPM para el desarrollo del presente estudio, además de la información de evasión y los boletos Edmonson de Metro, que forman parte de la demanda de transporte, demanda que no se encuentra representada en las tablas mencionadas. Dicha información permite la generación de tres matrices separadas para el periodo de análisis, que posteriormente es necesario integrar, de acuerdo a las consideraciones y metodología que se exponen en este capítulo.

El objetivo de la construcción de la matriz OD es representar la estructura de viajes del periodo Punta Mañana, en su hora más cargada. De acuerdo al objetivo planteado, el criterio recomendado para la elección de la hora de modelación es **la hora más cargada de viajes según hora media de viaje, en un día laboral normal promedio, la cual se observa entre 7:30 a 8:30**. Esto según los resultados descritos en el capítulo 4 de definición de hora de modelación de este mismo estudio. Las ventajas de esta definición, respecto de las opciones analizadas son:

- De las horas de modelación analizadas es la que logra captar la mayor cantidad de viajes simultáneos.
- Logra representar un mayor número de viaje al no restringir hora de inicio y/o fin.
- Respecto a la definición "tradicional" (hora de inicio de viaje), la estructura de viajes presenta una alta correlación.

Esta hora de modelación responde al objetivo planteado de un enfoque estratégico, más que de simulación.

La estimación de la matriz OD se compone de 4 procesos y todos ellos se basan en la Tabla de Viajes, a la cual se le aplica transformaciones de estructura y/o factores de corrección según indique la información adicional. Los procesos aplicados son: Obtención de matriz de bips!, Incorporación de evasión parcial (también denominada evasión blanda), Incorporación de evasión sistemática (o evasión dura) e Incorporación de boletos Edmonson. La metodología de cada uno de estos procesos se explica en los siguientes puntos y se aplica de manera independiente, para revisar el impacto de cada proceso sobre la matriz obtenida de la tabla de viajes TB9. La matriz OD de punta mañana se obtiene de la suma de las modificaciones o matrices generadas en cada paso.

Esta metodología general (con algunas modificaciones en la etapa: Obtención de matriz de bips!) fue aplicada también para determinar la hora de modelación del periodo de fuera de punta, que es parte de las tareas adicionales ofrecidas por el equipo consultor.

Es preciso notar que, a pesar de que la metodología también hace uso de la información disponible de comportamiento de viaje en paraderos, la zonificación se realiza como agrupación de manzanas al interior de cada zona 777. En consecuencia, las proyecciones de demanda se realizan de la manera tradicional ya que la propia zonificación 777 respeta los límites comunales y está validada en términos de uso de suelo.

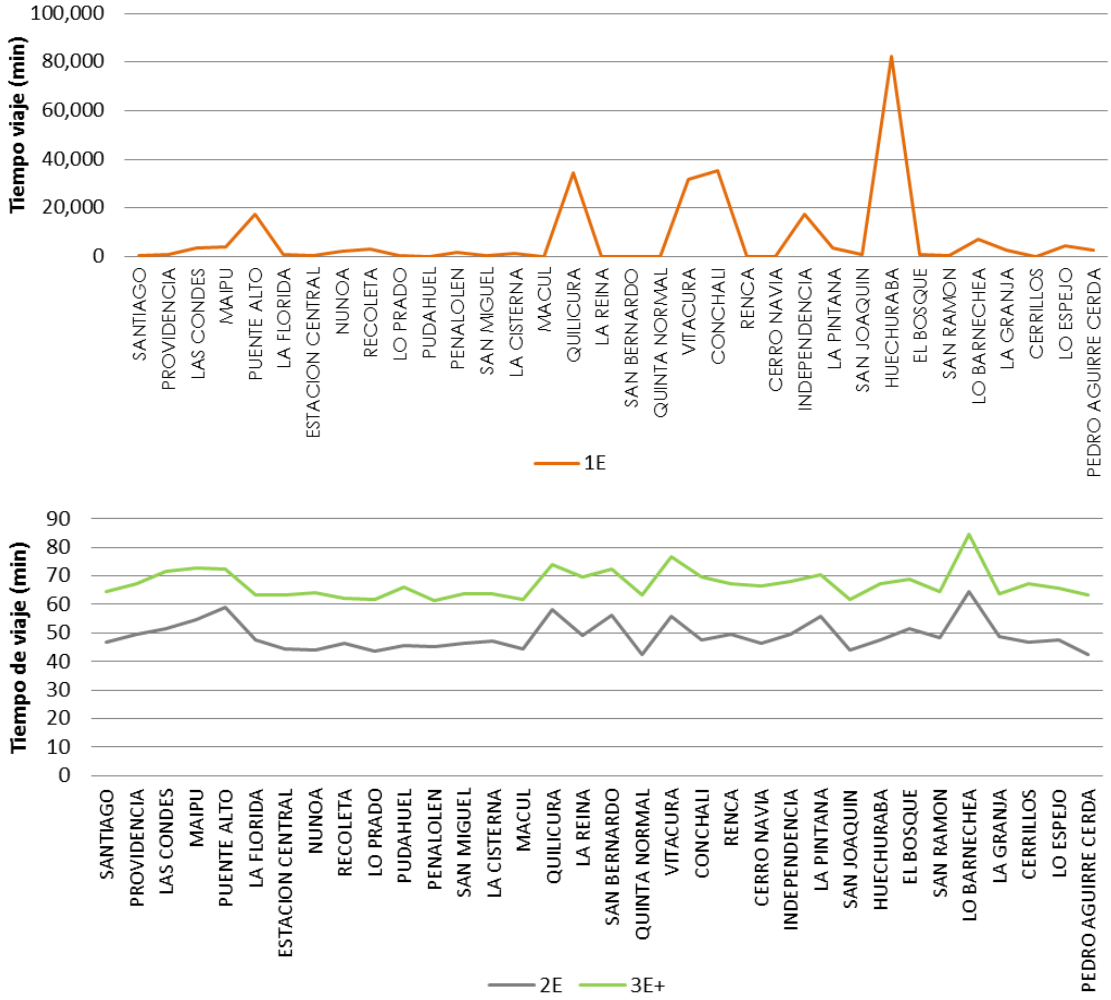
Considerar que este procedimiento se desarrolló en los datos entregados por el mandante en primera instancia correspondiente a una semana de mayo del 2016 y posteriormente se repite su aplicación en la tabla de viaje correspondiente a una semana de agosto del 2017, mes en el que se realizan las mediciones de tasas de ocupación de buses, para la calibración de la matriz de demanda en el modelo de asignación de transporte público. Las tablas de Etapas y Viajes de mayo 2016 se reemplazan con datos del 31 de julio al 4 de agosto 2017. Esta tabla se obtiene de la versión de ADATRAP que estima bajada a nivel de día.

Considerando los problemas encontrados en la matriz de mayo 2016, a continuación se presenta un análisis de los campos de la tabla de agosto 2017 donde aún se observan los problemas previamente descritos.

6.2 ANÁLISIS DE INPUTS Y DE METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BAJADA

En esta sección se verifican algunos de los análisis realizados previamente en el capítulo 2 para la tabla de expansión de mayo 2016, pero en este caso para los datos de agosto 2017. Los siguientes gráficos muestran los tiempos de viaje en minutos para viajes de 1 etapa (primera gráfica) y para viajes de 2 y 3 etapas (segunda gráfica):

Figura 6-1: Tiempo de viaje promedio día laboral por comuna de origen, viajes 1 etapa (superior) y de 2 y 3 etapas (inferior)

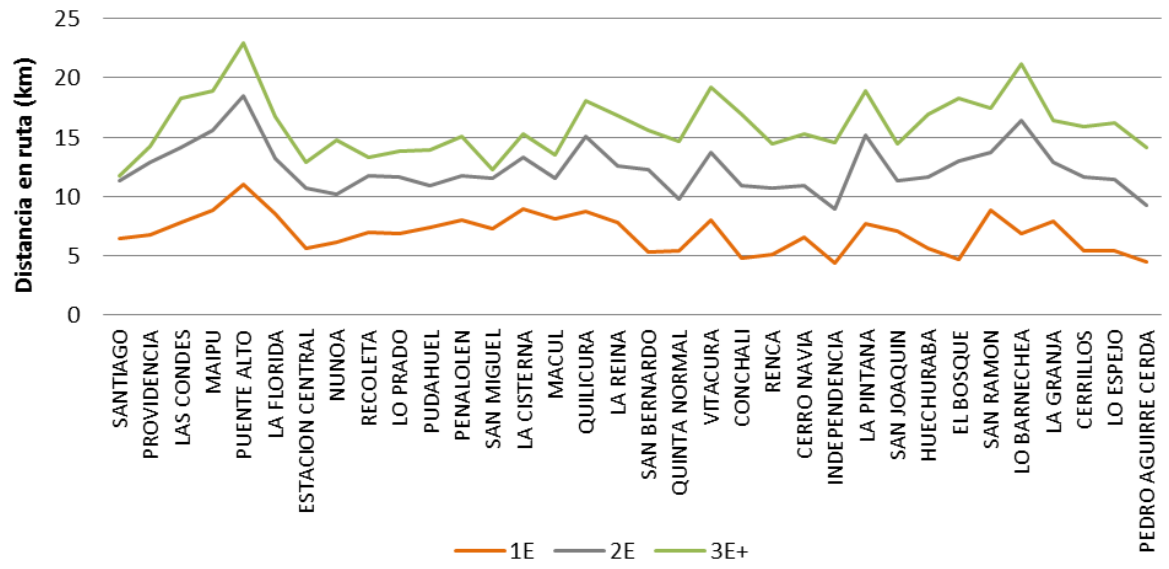


Fuente: Elaboración propia

La gráfica de viajes de una etapa muestra problemas en los promedios de tiempo de viaje a nivel de comuna para viajes de 1 etapa, donde se observa valores extremadamente elevados. Estos problemas no se observan en los promedios de tiempo de viaje en viajes de 2 y 3 etapas. Se generó una lista de 941 viajes (se observaron 695 en la base de datos anterior) de duración de más de 10 horas (viajes sobre 30 millones de minutos), los cuales se identifican según id y hora de inicio de viaje. **Ninguno de estos viajes fue incorporado a la matriz, sin embargo, no se ha identificado las causas de estos problemas y se desconoce si existe algún problema en los procedimientos que sí pueda estar afectado en alguna medida los viajes que se incorporan a la matriz.**

La siguiente gráfica muestra las distancias en ruta de los viajes según comuna de origen y número de etapas de viaje:

Figura 6-2: Distancia de viaje promedio día laboral por comuna de origen, según número de etapas de viaje



Fuente: Elaboración propia

En este caso, las distancias en ruta muestran resultados razonables en el sentido de que los viajes de más etapas registran mayores distancias. Sin embargo, las distancias promedio de viaje difieren fuertemente de las observadas en la tabla de viajes con expansión semana. **La fuente de estos problemas corresponde a viajes con distancia en ruta nula (132.495 viajes) o negativa (26.364 viajes). Se considera que la información de viajes puede utilizarse debido a que la información de distancia en ruta no es incorporada en la matriz, sin embargo, se desconoce si este problema puede estar afectando alguna otra arista de la matriz.**

Los viajes con problemas en tiempos de viaje (941 casos en toda la tabla de viajes) son viajes con estimación de parada de bajada y factor de expansión, pero que no tienen información de hora de bajada. Por lo tanto, es imposible estimar hora media de viaje y por esta razón es imposible incorporarlos a las matrices PM y FP, dadas las definiciones adoptadas de agrupación por hora media de viaje. Al mirar la hora de subida de estos viajes es posible analizar aquellos que potencialmente podrían incorporarse a la matriz, si se pudiera calcular su hora media de viaje y si el viaje cumpliera las condiciones para ser incorporado según zona de subida y metodología de construcción de la matriz. Para analizar estos viajes potenciales, la siguiente tabla muestra los viajes con problemas de tiempo de viaje y que tienen hora de subida entre 6:30 y 9:30, agrupados por zona de subida y media hora:

Tabla 6-1: Viajes con problemas en tiempo de subida – Punta Mañana

comuna_sub	zona_sub	8:30-9:00	9:00-9:30	Total general
INDEPENDENCIA	727	2		2
LA CISTERNA	379	1		1
LA GRANJA	325		1	1
QUILICURA	70		1	1
RECOLETA	53	1		1
Total general		**4**	**2**	**6**

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, se encontraron un total de 6 viajes distribuidos en 5 zonas entre las 8:30 y 9:30 hrs. Se considera que estos viajes tienen un efecto despreciable en la matriz de PM, y que si se conociera su hora media de viaje no necesariamente serían incorporados a la matriz en cuanto deben cumplir las condiciones impuestas en la construcción de la matriz base de PM. Se excluyen porque se considera que aportan información errónea a esta matriz, incluso si cumplieran dichas condiciones.

Al realizar el mismo análisis para la matriz FP, observando los viajes con hora de inicio entre 10:00 y 12:00 hrs., se obtiene los siguientes viajes que potencialmente podrían haber sido parte de la matriz:

Tabla 6-2: Viajes con problemas en tiempo de subida – Fuera de Punta

comuna_sub	zona_sub	10:00-10:30	10:30-11:00	11:00-11:30	11:30-12:00	Total general
CONCHALI	11		1	1	1	3
HUECHURABA	35	1		1		2
HUECHURABA	36			1		1
HUECHURABA	730			1		1
INDEPENDENCIA	4				1	1
INDEPENDENCIA	727		1			1
LA CISTERNA	379	1				1
LA FLORIDA	467	1				1
LA PINTANA	338	1				1
LAS CONDES	176				1	1
MAIPU	0				1	1
MAIPU	168				1	1
NUNOA	757		1			1
PROVIDENCIA	179	1	1			2
PUENTE ALTO	501				1	1
PUENTE ALTO	748		1			1
PUENTE ALTO	784	1	1			2
QUILICURA	630		1			1
Total general		**6**	**7**	**4**	**6**	**23**

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene 23 casos distribuidos en 18 zonas, donde el máximo de viajes por zona es 3. Nuevamente, se considera que el número de viajes que se resta de la matriz es despreciable y como se mencionó previamente, estos viajes podrían incluirse en la matriz si se conociera su hora media de viaje y si cumplieran las condiciones para ser parte de la matriz (hora media de viaje entre 11:00 y 12:00 hrs.). Sin embargo, estos se excluyen porque se considera que aportan información errónea a esta matriz, incluso si cumplieran dichas condiciones.

En cuanto a los problemas de distancia de viaje, estos se encuentran distribuidos en al menos 158.859 viajes en la tabla completa, de los cuales 14.188 son parte de la matriz PM y 7.015 son parte de la matriz FP (cumplen todas las condiciones y han sido incorporados). Notar que estos viajes tienen toda la información requerida para formar parte de la matriz y que en número son suficientes como para considerar que su eliminación tendría un efecto no despreciable en la matriz.

Es difícil para el consultor evaluar con precisión el impacto de los problemas descritos en la estimación de matriz de viajes. Los dos casos descritos (problemas en tiempo y distancia de viaje) se abordan de diferentes maneras por dos razones: (1) el volumen de viajes afectados en cada caso y (2) el efecto del problema en la matriz de viajes estimada.

En el caso de tiempos de viaje se trata de solo 941 casos en la semana, y solo 6 y 23 en las matrices PM y FP respectivamente. Considerar que el proceso de cálculo de tiempos de viaje proviene de las columnas de tiempo de subida y bajada. A su vez, la columna de tiempo de bajada se obtiene en conjunto con la estimación de parada de bajada para el caso del modo bus (posición y tiempo del bus), por lo cual se considera que una falla en la estimación de hora de bajada puede asociarse a un error en la asignación del punto de bajada. Por tanto, este problema podría estar afectando directamente a la matriz de viajes.

En el caso del problema de distancia, el volumen de casos es mucho mayor y descartar estos casos no se recomienda a menos que se realice algún tratamiento especial. Sin embargo, la principal razón para no descartarlos tiene relación con su efecto en la construcción de la matriz de viajes. La estimación de distancia se realiza con posterioridad a la estimación de bajada, en un proceso de estimación de distancia en base a información entre paradas de un archivo fuente. Se sospecha que las distancias subestimadas provienen de fuentes de información erróneas que no necesariamente afectan el proceso de estimación de bajada, y por tanto, no afectaría directamente a la matriz.

En cualquier caso, estas conclusiones no son definitivas y como se advierte, no existe información suficiente para asegurar con certeza absoluta que estos problemas no están afectando indirectamente a la matriz.

En cuanto a los problemas en denominación de comuna observados, estos se mantienen en pocos casos para la comuna de La Pintana, donde una diferencia de 1 carácter genera que se dividan los registros en dos comunas, situación que se corrige internamente.

Respecto a los problemas de parada de subida, en cuanto se habían detectado diferencias entre posición de validación y posición de parada de subida de más de 1,000 metros, estos problemas no se observan en la tabla de agosto 2017. Las mayores distancias entre posición

de validación y parada de subida bordean los 500m, lo cual no altera la asignación de etapas por viaje.

6.3 OBTENCIÓN DE MATRIZ BASE DE BIPS

De acuerdo al objetivo planteado respecto de representar la estructura de viajes del periodo punta mañana en su hora más cargada, el criterio recomendado para la elección de la hora de modelación es la hora más cargada de viajes según hora media de viaje, en un día laboral normal promedio entre 7:30 a 8:30.

Sin embargo, se reconoce que las dimensiones de la ciudad implican que algunas zonas no se encuentren apropiadamente representadas en esta matriz. De acuerdo a la propuesta metodológica se estudia y corrige zonas que presenten esta particularidad según se describe a continuación.

En términos generales, la metodología busca identificar aquellas zonas que presentan su hora punta (hora con más viajes generados por hora media de viaje) con un desfase significativo respecto de la hora de mayor carga del sistema, para incorporar los viajes de la zona que representen la hora punta. Este fenómeno puede deberse a diferencias de distancia/accesibilidad de la zona respecto al promedio del sistema y el objetivo de la metodología es representar apropiadamente estas zonas. Para esto se realiza un análisis estadístico de los viajes generados, totales y por zona 777, entre 6:30 y 9:30 (una hora adicional en torno a la hora más cargada). Todos estos viajes se caracterizan por hora media de viaje. Junto con identificar la hora más cargada de viajes generados del sistema (7:30 a 8:30) según hora media de viaje, se identifica la hora más cargada de viajes de cada zona 777 entre 06:30 y 09:30. Se propone revisar aquellas zonas en que la hora media ponderada de viajes se encuentra fuera de la banda del sistema (antes de las 7:30 o después de las 8:30) y utilizar los viajes de la hora más cargada de esa zona en particular, siempre y cuando la diferencia de viaje de la zona, entre su hora más cargada y la hora más cargada del sistema, sea considerable (mayor a un porcentaje *v%)*.

El procedimiento implementado se describe a continuación:

- Se considera todos los viajes con hora media entre 6:30 y 9:30 en tipo de día laboral.
- Para cada zona i (zona 777), se cuenta viajes originados durante 1 hora, con desfase de 5 minutos, es decir: $\{V_i^{6:30}, V_i^{6:35}, \ldots, V_i^t, \ldots, \mathbf{V_i^{7:30}}, \ldots, V_i^{8:25}, V_i^{8:30}\}$. Notar que V_i^t contiene los viajes que se realizan entre las t hrs y las t+1 hrs. Se calcula $\mathbf{máx_t(V_i^t)}$ y la respectivo hora media ponderada de estos viajes, por zona i: $\mathbf{HM_i(máx_t(V_i^t))}$
- El reemplazo de matriz de viajes se aplica en la zona si se cumplen dos condiciones:

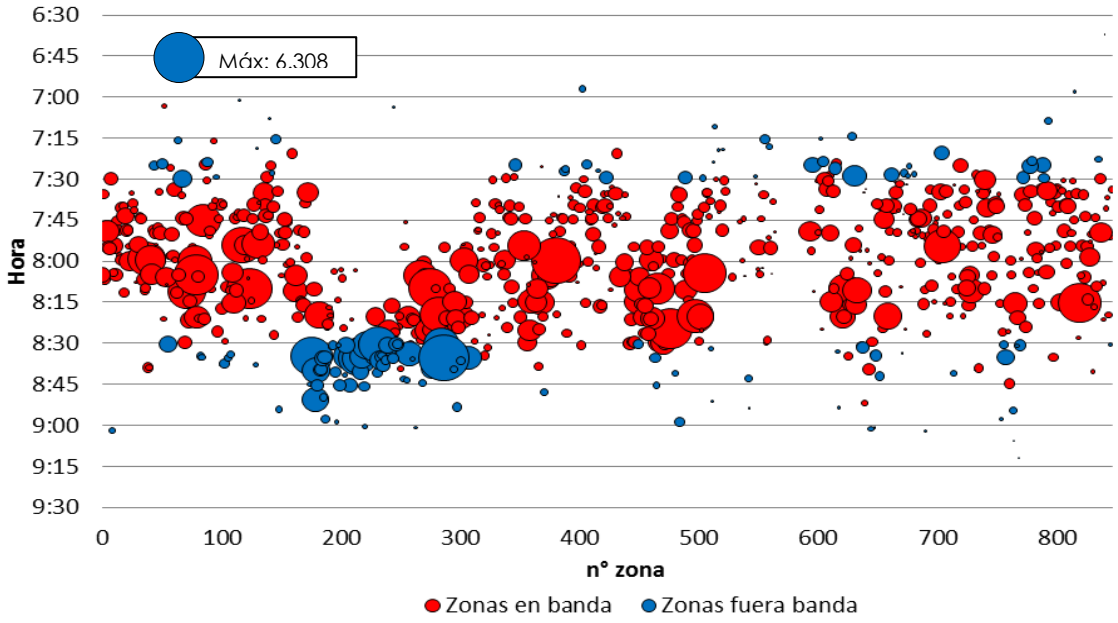
  $\mathbf{\{(máx_t(V_i^t) - V_i^{7:30})/V_i^{7:30}\} > v\%}$ y $\mathbf{HM_i(máx_t(V_i^t)) \notin \{7:30 - 8:30\}}$

  $\Rightarrow$ se reemplaza matriz de viajes de la zona i, $V_i^{7:30}$, por la matriz en hora t, V_i^t

Notar que la metodología requiere la definición de *v%*. Para la construcción de la matriz con datos de mayo 2016 se obtuvo ***v%=10%***, definición que se mantiene en la aplicación de agosto 2017.

La siguiente imagen muestra las zonas 777 representadas por una circunferencia, donde el área de la circunferencia representa el número de viajes de la zona en su hora más cargada (según hora media de viaje). Las zonas se encuentran ordenadas según número de zona en el eje x, y según hora media ponderada de viajes en el eje y. Las circunferencias en rojo son aquellas con hora media (**HM_i**) dentro de la franja de hora más cargada del sistema (7:30-8:30), mientras que las circunferencias en azul son aquellas con hora media fuera de la franja de hora más cargada del sistema (antes de 7:30 o después de 8:30). Como es de esperarse, la mayoría de las zonas tienen su hora media al interior de la franja de hora más cargada del sistema:

Figura 6-3: Número de viajes originados por zona 777 en la hora más cargada, según hora media ponderada de viajes (eje vertical) y número de zona (eje horizontal)



Fuente: Elaboración propia

En el periodo de 6:30 a 9:30 se observa 791 zonas originando viajes (con número de zona entre 0 y 846). De estas 791 zonas, 154 (19.5%) tienen su hora media de viaje fuera de la franja de hora más cargada del sistema. Considerando el parámetro *v%*=10%, al reemplazar la matriz de viajes de 7:30-8:30 en aquellas zonas representadas por circunferencias azules (con hora media ponderada de viajes fuera de la franja de hora más cargada del sistema y diferencia de más de 10% de viajes adicionales) por la matriz de viajes más cargada de la zona, se obtiene una nueva matriz de viajes corregida, la cual reemplaza/incorpora viajes antes o después de la franja del sistema según corresponda a cada zona de color azul. Para analizar los cambios en la matriz al aplicar la metodología, la siguiente tabla muestra los cambios en la matriz de viajes. La columna de "viajes totales" muestra en la primera fila los viajes de la matriz de hora más cargada del sistema, es decir, la que contiene viajes con hora media entre

7:30 y 8:30 hrs. Esta matriz contiene 377.235 viajes. En la segunda fila se muestran los viajes de la matriz resultante de aplicar la metodología, 391.110 viajes. En comparación con la matriz de hora más cargada (h+c), se incorporan 13.875 viajes producto del reemplazo de viajes de aquellas zonas en azul. Esto equivale a un 3,7% más de viajes. La nueva matriz reemplaza una parte o el total de los viajes para las zonas en azul, por lo cual una parte de los 391.110 viajes totales se encuentra dentro de la franja y otra parte se encuentra fuera. En este caso, 344.860 viajes se encuentran dentro de la banda de hora más cargada del sistema, lo que equivale a un 88,2% del total de viajes de esta nueva matriz. La diferencia, es decir, 46.249 viajes, tienen su hora media de viaje fuera de la banda, lo que equivale al 11,8% de los viajes de esta matriz. De los 46.249 viajes fuera de la banda, 7.238 tienen hora media antes de las 7:30 (provienen de zonas representadas por circunferencias azules sobre las rojas) y 39.012 tienen hora media después de las 8:30 (provienen de zonas representadas por circunferencias azules bajo las rojas).

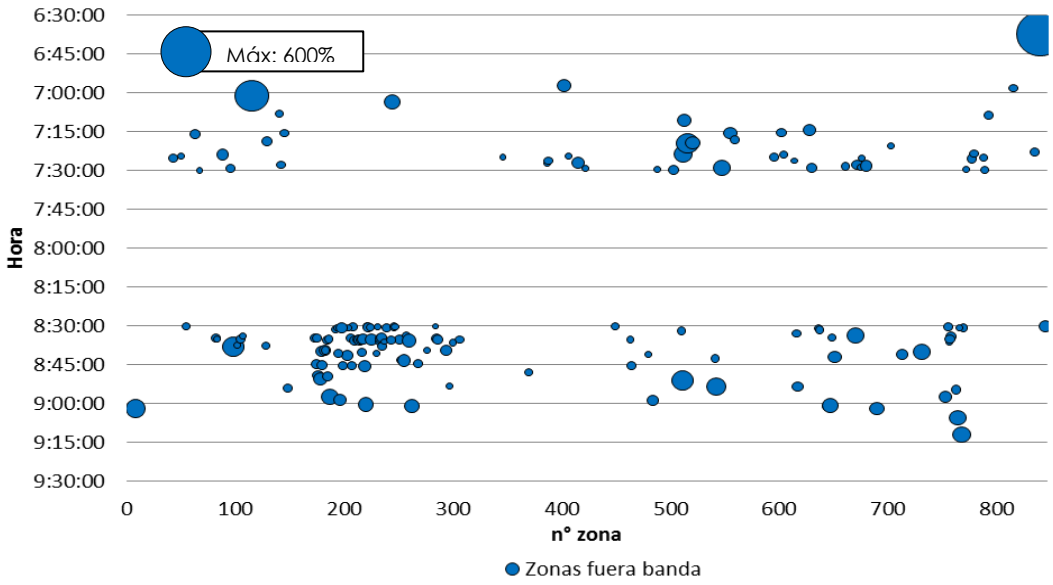
Tabla 6-3: Características de matriz corregida

Matriz	Viajes totales	Viajes adicionales	Viajes dentro de la banda	Viajes fuera de la banda	Viajes fuera banda (antes de 7:30)	Viajes fuera banda (después de 8:30)
Más cargada 7:30-8:30 (791 zonas con viajes)	377.235	-	377.235	0	-	-
Matriz corregida (154 zonas corregidas)	391.110	13.875 (3,7%)	345.592 (88,4%)	45.518 (11,6%)	7.060 (1,8%)	38.457 (9,8%)

Fuente: Elaboración propia

En términos globales, la aplicación de la metodología no representa un aumento relevante a nivel de matriz (solo un 3,7% de viajes adicionales). Sin embargo, se puede revisar el aumento de viajes a nivel de zona, para evaluar la diferencia entre escoger los viajes en la banda 7:30 y 8:30 o en la hora más cargada de cada zona independiente del resto del sistema. La siguiente gráfica muestra las zonas con hora media ponderada fuera de la banda 7:30-8:30 y el tamaño de la circunferencia representa el aumento porcentual de viajes entre la matriz de viajes hora más cargada propia de la zona y la matriz de viajes de la banda. Como se observa, el aumento relativo de viajes es de hasta 600% (zonas con muy pocos viajes):

Figura 6-4: % de aumento de viajes originados por zona 777 respecto de viajes entre 7:30-8:30, según hora media ponderada de viajes (eje vertical) y número de zona (eje horizontal)



Fuente: Elaboración propia

Para analizar el detalle de los cambios producto de la aplicación de la metodología, la siguiente tabla muestra el número de zonas corregidas (zonas donde se reemplaza la matriz de viajes), agrupadas por rangos de porcentaje de aumento de viajes, en valores totales y el detalle antes de 7:30 y después de 8:30. Se muestra en cada categoría el número de zonas afectadas, además del número de viajes adicionales:

Tabla 6-4: Número de zonas corregidas y viajes adicionales, agrupadas por % de aumento de viajes, detalle anterior y posterior a la banda 7:30-8:30

Δ% Aumento de viajes	Antes de 7:30		Después de 8:30		Total	
	n° Zonas corregidas	Viajes adicionales	n° Zonas corregidas	Viajes adicionales	n° Zonas corregidas	Viajes adicionales
Total	49	1.952	105	11.923	154	13.875
10%< D% <=20%	21	838	41	3.074	62	3.912
20%< D% <=30%	13	718	33	5.324	46	6.042
30%< D% <=40%	4	152	11	2.493	15	2.646
40%< D% <=50%	4	180	7	844	11	1.024
50%< D% <=100%	4	35	9	134	13	168
100%< D% <=150%	1	14	4	54	5	68
150%< D%	2	14	0	0	2	14

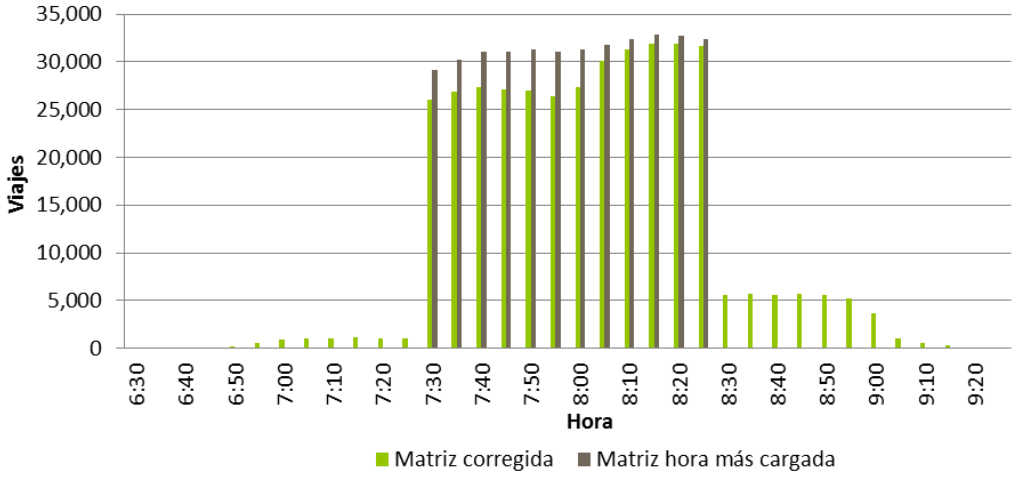
Fuente: Elaboración propia

Si se revisa las zonas por porcentaje de aumento de viajes, las que aumentan sus viajes en hasta un 20% (fila 10%< Δ% <=20%) se observa que 62 zonas son afectadas e incorporan 3.912 viajes. Se observa que de las 154 zonas con hora media ponderada fuera de la banda, 49 se

encuentran antes de las 7:30 e incorporan 1.952 viajes, mientras que 105 se encuentran después de las 8:30 e incorporan 11.923 viajes.

Con el objetivo de observar cómo se distribuyen los viajes que se encuentran fuera de la banda según su hora media, la siguiente gráfica muestra la agrupación de viajes por hora media en grupos de 5 minutos, de la matriz corregida por la metodología aplicada respecto de la matriz base de hora más cargada del sistema:

Figura 6-5: Distribución de viajes por hora media de viaje, matrices con y sin corrección

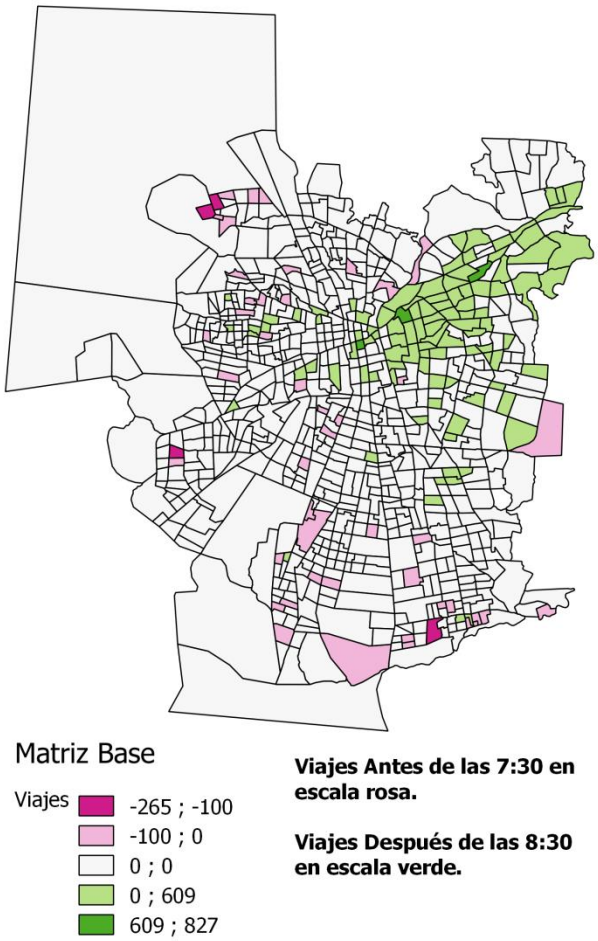


Fuente: Elaboración propia

Notar que el volumen total de viajes de la matriz corregida es superior en 2,95% a la matriz de hora más cargada del sistema, pero los viajes en la franja son menores y reemplazados por viajes fuera de la banda.

Para visualizar los cambios en la matriz, la siguiente figura muestra los viajes adicionales en las zonas que presentan corrección. Se utiliza escala de verdes para el número de viajes adicionales de las zonas corregidas por tener hora media ponderada antes de las 7:30 y escala naranja para las zonas corregidas por tener hora media ponderada después de las 8:30 hrs.:

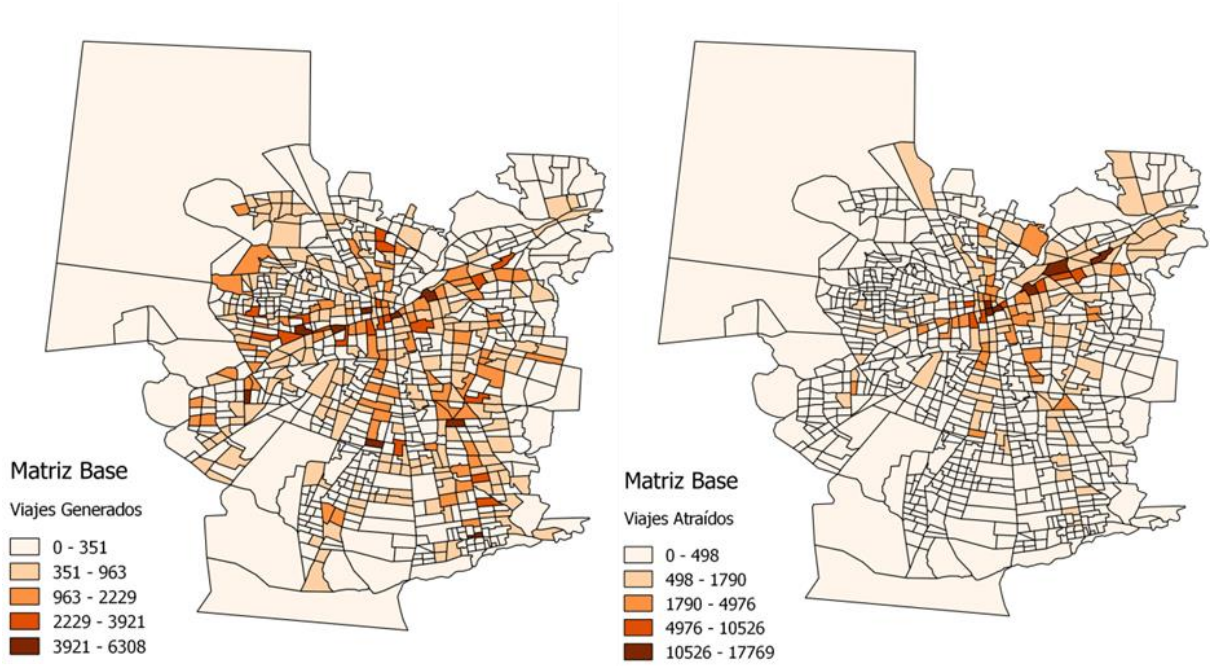
Figura 6-6: Aumento de viajes en zonas corregidas antes (escala verde) y después (escala naranja) de la banda de hora más cargada del sistema (7:30-8:30)



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se puede visualizar la generación y atracción de viajes de la matriz, con la corrección a nivel de zona 777 en la siguiente figura, y que se realiza sobre la tabla de viajes TB9 en su versión de expansión por día, que contiene 391.110 viajes:

Figura 6-7: Viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 de matriz OD base



Fuente: Elaboración Propia

6.4 INCORPORACIÓN DE EVASION

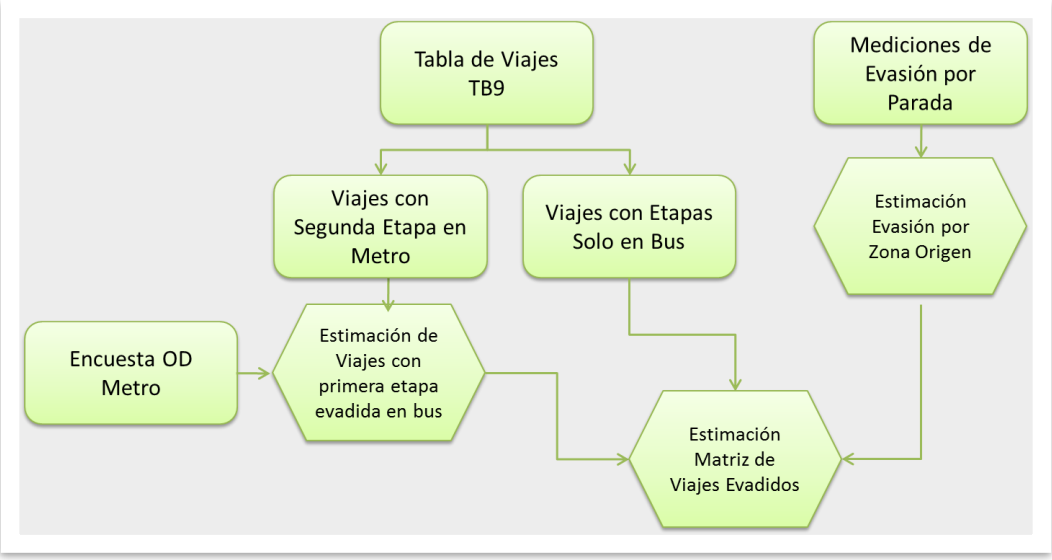
La literatura describe diversas motivaciones para la evasión del pago y que éstas se asocian a condiciones de viaje diferentes. En una primera clasificación de la evasión, ésta puede ser sistemática (también llamada evasión dura), en donde el usuario no paga en ninguna etapa del viaje; o puede ser parcial (también llamada evasión blanda) y deberse al nivel de servicio experimentado en el viaje o un transbordo, como la imposibilidad de abordar por la primera puerta del bus y pagar.

En cualquier caso, tal y como obtienen Guarda *et al.* (2016), la evasión es mayor según así lo es la demanda. Considerando lo anteriormente expuesto y el hecho de que las observaciones de demanda basadas en bip! únicamente informan de las etapas validadas, se desprenden dos conclusiones que son consideradas en la metodología:

- La evasión es mayor en los paraderos de mayor demanda.
- El transbordo responde a una situación de evasión potencial a considerar, caso en que la evasión parcial se caracteriza por la combinación de bus y metro, mientras que la evasión sistemática responde al caso en que todas las etapas son en modo bus y ninguna se valida. Ambos efectos se expresan de manera diferente en la tabla de viajes TB9, en un caso, el viaje no se reporta en la matriz y en el otro distorsiona el origen y/o destino verdadero del viaje.
- No existe evasión en metro (o es tan baja que puede omitirse)

La metodología propuesta para incorporar la evasión a la matriz de viajes estimada, se puede ver gráficamente en el siguiente flujo de trabajo:

Figura 6-8: Flujo incorporación evasión a la matriz de viajes



Fuente: Elaboración propia

Notar algunas características de la evasión sistemática. La evasión sistemática se refiere al no pago de todas las etapas del viaje, lo que afecta viajes con una o más etapas en modo bus. Los viajes con etapas en metro no se ven afectados por este tipo de evasión. Además, parece poco probable que los evasores sistemáticos realicen viajes de más de dos etapas en bus. Por último, es razonable considerar que los viajes de evasores sistemáticos realizan viajes con etapas de tipo bus y bus-bus. Viajes con 3 o más etapas en bus difícilmente podrían representar la estructura de viajes de evasores sistemáticos.

En cuanto a las características de la evasión parcial, esta se refiere al no pago de una etapa en bus para los viajes de dos o más etapas. En los viajes compuestos por los modos bus y metro, el registro de la etapa en metro se encuentra en la tabla de viajes TB9. Esto implica que los viajes están contabilizados como demanda, pero la estructura observada en la TB9 no corresponde a la realidad y su corrección requiere una deformación de la matriz. Los viajes de una etapa en bus forman parte de la evasión sistemática. En cuanto a los viajes de dos o más etapas en bus, donde se evade una de las etapas en bus, estos también deben corregirse mediante deformación de la matriz, sin embargo no existe información disponible que permita realizar esta corrección. Por lo tanto, solo es factible corregir la evasión parcial en los casos de combinación con metro, particularmente los casos donde se evade una etapa en bus que precede a la etapa en metro.

Las siguientes secciones explican la metodología de obtención de factores de evasión sistemática y parcial, además de la incorporación de ambos tipos de evasión en la matriz base obtenida en la sub-sección anterior.

6.4.1 Incorporación de evasión parcial

Para estimar la evasión de etapas en bus previas al modo metro se propuso calcular la proporción de viajes que realizan la combinación bus-metro respecto del total de viajes que utilizan el modo metro, agrupados por estación. Esta proporción se obtiene de la matriz OD Base punta mañana para cada estación y se propone contrastarla con la proporción real observada. Para este objetivo se utiliza la encuesta OD de metro de 2012, que muestrea todas las estaciones de la red y que contiene el modo de acceso a la estación (se descarta el uso de encuestas OD de metro posteriores porque no contienen suficiente información y en el detalle requerido). Con estos datos se estima la proporción de usuarios que provienen de buses de Transantiago respecto del total de usuarios que acceden a cada estación entre las 7 y las 9 am de un día laboral normal. El supuesto es que si no existiese evasión parcial, las proporciones obtenidas de la matriz base y de la encuesta de metro serían muy similares. Por tanto, la diferencia entre estas proporciones permite cuantificar los niveles de evasión parcial a nivel de estación.

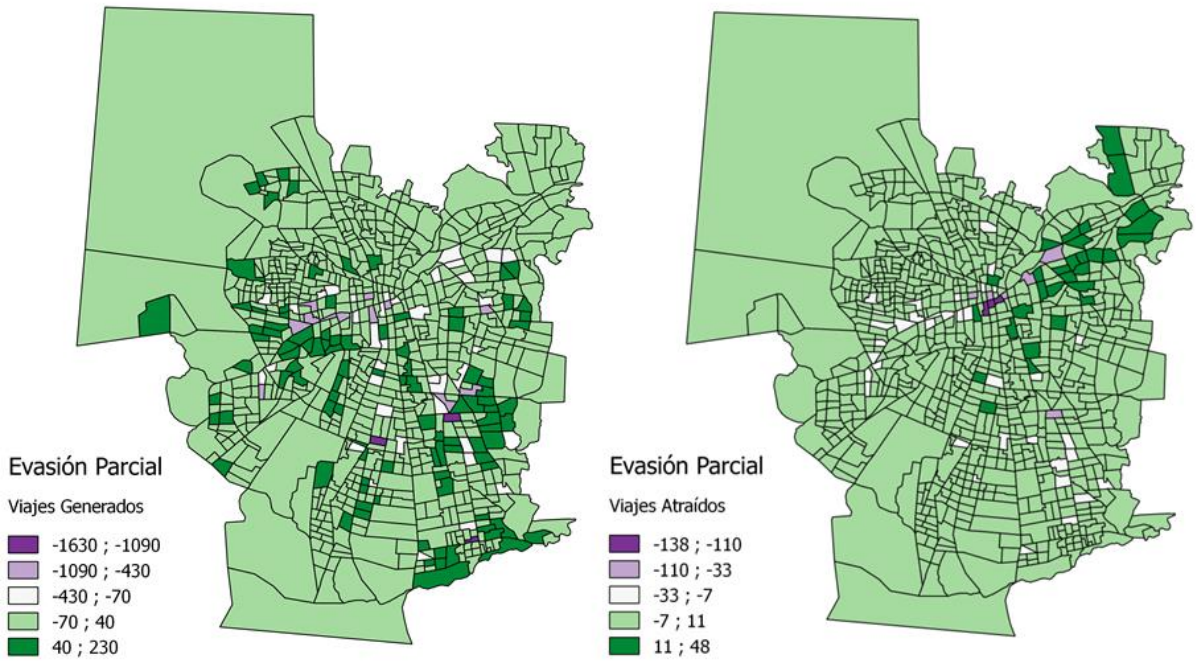
La proporción de viajes con la combinación bus-metro respecto del total de viajes, a nivel de estación, se encuentra en el anexo 6 del capítulo de estimación de matriz, tanto según la encuesta EOD metro 2012, como según la tabla de bip!. La proporción de viajes que inician en bus que se observan en la encuesta de metro debería ser siempre igual o mayor a la observada en la tabla de viajes, donde una gran diferencia implica una elevada evasión. Se destaca algunas anomalías observadas en los factores para algunas estaciones, donde el factor encontrado para la matriz de viajes es mayor que el encontrado en la encuesta de metro. Esto puede deberse a diversas razones, como diferencias significativas en los programas de operación o en los patrones de viaje en el entorno de la estación, situación difícil de evaluar con la información disponible. En estos casos particulares se considera que la estación no tiene evasión parcial (o de tenerla, no se cuenta con información necesaria para corregirla). Con los factores mencionados se corrige la matriz OD base PM con la siguiente consideración: Los viajes a corregir por evasión parcial tienen hasta dos etapas, es decir son de la forma metro y metro-bus. Esto supone que la evasión parcial no se reparte por igual en todas las combinaciones de modos y se considera nula en cualquier tipo de configuración con 3 o más etapas.

Para corregir la matriz se propone aplicar un factor de expansión por estación a los viajes de la forma bus-metro y bus-metro-bus, bajo el supuesto de que éstos representan la estructura de viajes de aquellos con evasión parcial. Esto incrementa el total de viajes de la matriz, lo cual no es objetivo de la incorporación de este tipo de evasión, en cuanto la definición de esta corrección considera que los viajes se encuentran representados mediante al menos una etapa en metro. Por tanto, se aplica un factor de reducción por estación a todos los viajes de la forma metro y metro-bus, considerando que éstos son los viajes que esconden la evasión parcial. Los factores de expansión y reducción aplicados son aquellos que permiten reproducir la proporción de viajes con inicio en bus que se obtienen de la encuesta OD de metro 2012 y que además no alteran el total de viajes observados en la matriz. Notar que esta metodología permite mantener el formato de información a nivel de viaje de la TB9, pues aplica factores de expansión/reducción sobre los viajes y no sobre pares OD agregados.

Además, notar que los factores de reducción podrían implicar que algunos viajes sean representados por un factor menor a 1.

Si se compara la matriz OD base obtenida en la sección 6.3 con la matriz corregida por evasión parcial, se obtiene una variación en la estructura (pero no en el total) de viajes de la matriz, la cual puede agruparse por zona 777 tanto en orígenes como destinos. Esta diferencia de viajes generados y atraídos se muestra en la siguiente figura:

Figura 6-9: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial



Fuente: Elaboración Propia

En un análisis adicional de la incorporación de la evasión parcial, se ha procedido a analizar los modos de egreso de las estaciones de metro que se declaran en la encuesta OD de 2012. Al comparar las proporciones de usuarios que egresan de la estación y utilizan modo bus, respecto del total de usuarios que egresan de cada estación, se comprueba que existe diferencias relevantes en los porcentajes mostrados por la EOD de metro 2012 y los observados en la matriz base, particularmente en algunas estaciones de la red. Esto implica que existe una deformación de la matriz por evasión parcial que no está siendo corregida por la metodología implementada y que no puede aplicarse de manera independiente o superpuesta a lo implementado, en la medida de que las proporciones aplicadas en origen no son independientes de las aplicadas en destino.

Si bien Cityplanning propuso re-evaluar la metodología a la vista de los datos y diseñar, en conjunto con la contraparte técnica, una corrección de este proceso que combine la corrección de las etapas de acceso y egreso al modo metro, el mandante decidió no incorporar corrección en el contexto de la modificación contractual del proyecto.

6.4.2 Incorporación de evasión sistemática

Para incorporar la evasión sistemática se propone aplicar factores de expansión a nivel de zona 777 de origen para los viajes de la matriz OD base con etapas de la forma bus y bus-bus. Detrás de esta afirmación está el supuesto de que la evasión no se distribuye por igual entre todos los viajes que solo utilizan el modo bus y que los viajes de 3 o más etapas no representan la estructura de los viajes con evasión sistemática. Notar que esta aplicación de factores se realiza sobre la matriz base obtenida en la sección 6.3 y no sobre la matriz corregida por evasión parcial. En cualquier caso, notar que los procesos aplicados son independientes, en cuanto los factores de evasión parcial se aplican sobre viajes con al menos una etapa en metro, mientras que los factores de evasión sistemática se aplican sobre viajes en modo solo bus.

Para determinar los porcentajes de evasión a nivel de zona 777 se cuenta con dos fuentes de información: medición de perfiles de carga por DICTUC en 2012 y medición de evasión por fiscalización durante el año 2016. Ambas bases de datos fueron revisadas para su utilización. Se realizaron revisiones de consistencia para eliminar algunos datos anómalos, como observación de una patente en la misma fecha y hora realizando dos servicios. Para la estimación de los niveles de evasión a nivel de zona se asocia cada parada a una zona 777 y se considera los registros con hora de parada en punta mañana (6:30 a 8:30). La siguiente tabla muestra un resumen de los registros encontrados en cada base de datos (se omite registros de ZP):

Tabla 6-5: Detalle de las fuentes de información de evasión en modo bus

Fuente de datos	Año	Registros	#Zonas con información	#Evasores	#Demanda	%Evasión
DICTUC	2012	73,823	785	45,393	168,176	27.0%
Fiscalización	2016	3,888	657	4,616	15,463	29.9%

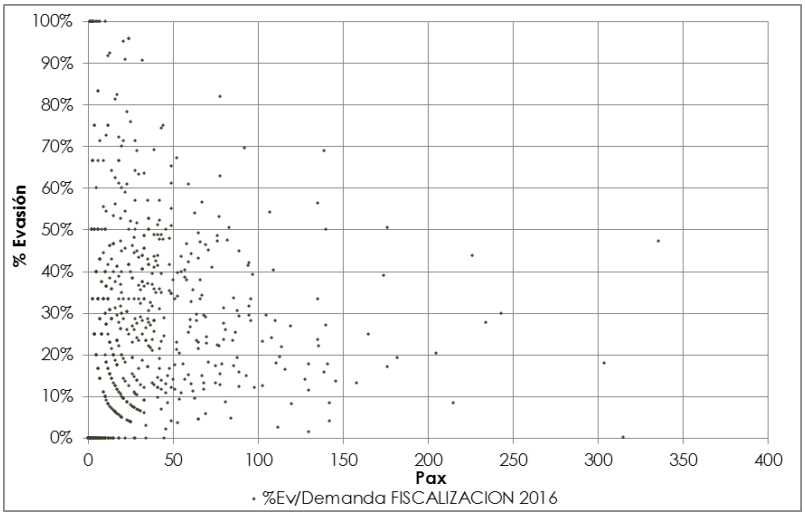
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa, la información proveniente de fiscalización es mucho menor a la recogida en la medición realizada por DICTUC en 2012, particularmente en cuanto a cantidad de registros y demanda total observada. Sin embargo, la base de datos de fiscalización contiene información más actualizada. Para la actualización de la matriz OD de viajes de agosto 2017 se ha mantenido los factores de evasión calculados para la versión anterior (mayo 2016), los que se han aplicado a la nueva data. Para estimar evasión a nivel de zona se utilizó la información de fiscalización 2016 en las zonas con al menos 50 datos por zona, de lo contrario, se utiliza la información de DICTUC 2012. En aquellas zonas con menos de 50 registros en ambas bases, se utiliza la evasión observada en la comuna a la que pertenece la zona, la cual se obtiene de los mismos datos estimados a nivel de comuna según la base de DICTUC 2012. Esto se debe a que la base de datos de fiscalización no cuenta con información significativa para todas las comunas (a modo de ejemplo Vitacura contiene menos de 30 registros) y no parece apropiado mezclar indicadores de comunas provenientes de diferentes bases de datos.

Los factores de evasión a nivel de zona 777 que se obtienen de este proceso se encuentran en el anexo 6 del capítulo.

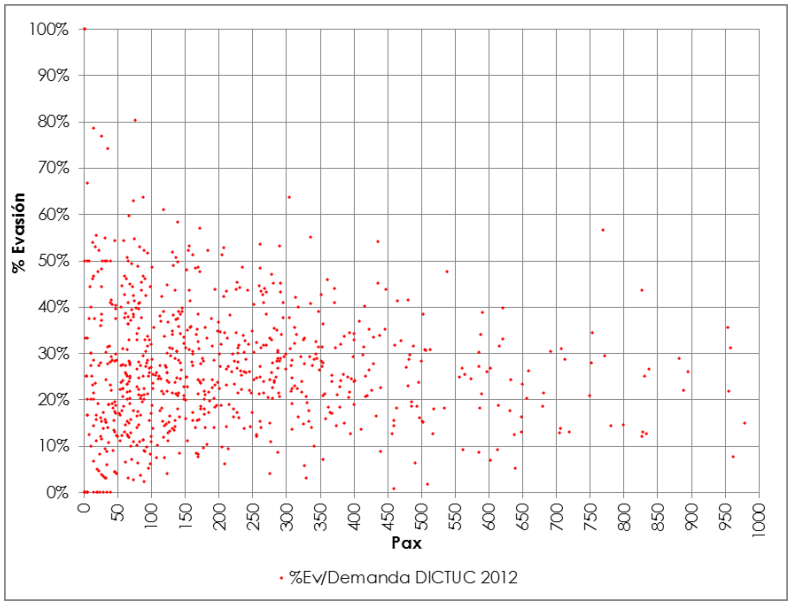
Notar que debe existir una condición de demanda mínima que permita obtener un indicador de evasión que sea representativo de la zona. Ante la falta de mayor información de características de la zona y considerando los alcances de este estudio, si se asumiera que la evasión distribuye normal, se podría exigir al menos una demanda de 30 pasajeros por zona. Las siguientes gráficas representan mediante cada punto una zona de la matriz y se posicionan las zonas según su respectivo porcentaje de evasión y demanda medida en la medición de Fiscalización 2016 y DICTUC 2012:

Figura 6-10: Evasión versus demanda – Fiscalización 2016



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-11: Evasión versus demanda – DICTUC 2012



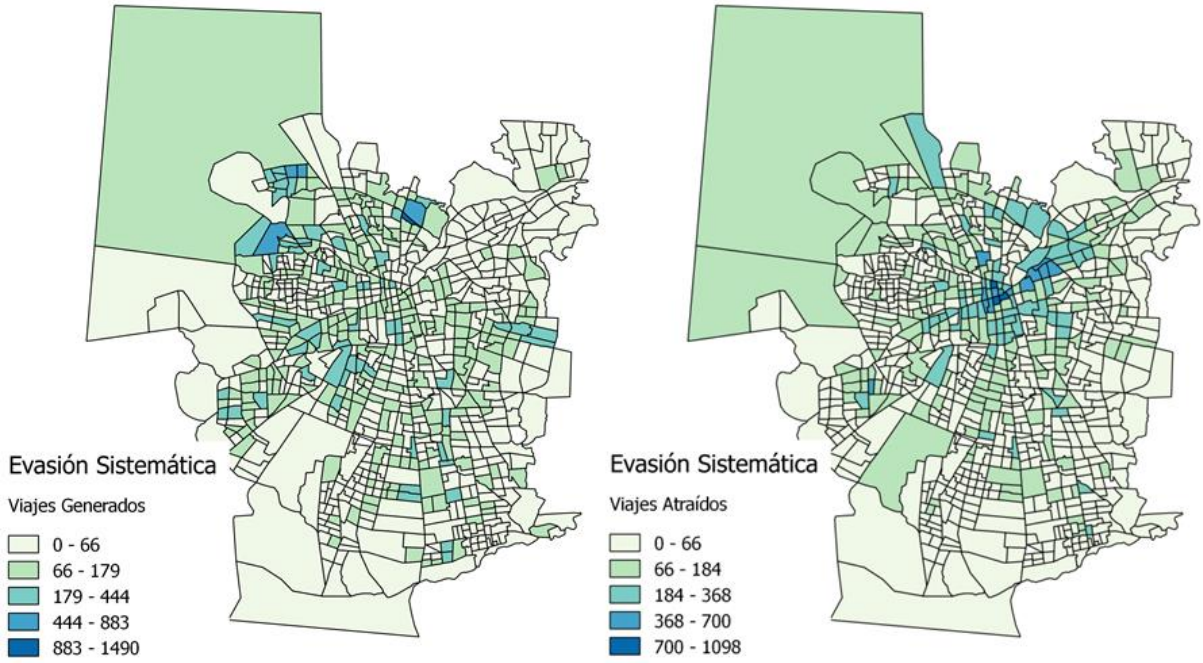
Fuente: Elaboración Propia

Al graficar el porcentaje de evasión respecto de la demanda, se observa que hasta una demanda de 50 personas se forman patrones entre las variables producto de que existe una relación natural entre ellas por la definición del indicador de evasión como proporción de la demanda. Notar que para zonas con menor demanda no se considera que la información sea errónea, sino más bien insuficiente para obtener un indicador y es en estos casos donde se consideró utilizar evasión promedio de la comuna. Cabe señalar que las mediciones utilizadas fueron diseñadas para otros objetivos y no buscaban representar evasión a nivel de zonificación 777, sino que a nivel de unidad de negocio.

Por otra parte, si se definieran condiciones de confiabilidad y representatividad a nivel zonal/comunal u otro, se podría estimar tamaños de muestra requeridos para obtener estimadores de evasión de validez estadística, sin embargo, estas labores exceden las correspondientes al proyecto.

Para incorporar la información de evasión sistemática se aplica los factores de evasión obtenidos a nivel de zona 777 a todos los viajes originados en la zona correspondiente que en la matriz OD base tengan la estructura de etapas bus y bus-bus, puesto que, como se indica anteriormente, no se considera que los viajes de 3 o más etapas representen la estructura de evasión sistemática. Notar que esta corrección implica un aumento en el número de viajes de la matriz OD base, el cual se obtiene de aplicar factores de expansión a los viajes existentes a nivel de zona 777, conservando la estructura de viajes de la zona y combinación de modos en que se aplica e incrementando la demanda en base a la evasión observada en cada zona. Para cuantificar este aumento de la demanda, la siguiente figura muestra el incremento de viajes generados y atraídos a nivel de zona 777 debido a la incorporación de viajes de evasión sistemática:

Figura 6-12: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión sistemática



Fuente: Elaboración Propia

6.5 INCORPORACIÓN DE BOLETOS EDMONSON

El último proceso de la estimación de la matriz OD de viajes PM corresponde a la incorporación de los viajes realizados en metro utilizando como modo de pago los boletos Edmonson. Para este proceso se cuenta con información de uso de boletos insertados en las máquinas registrados cada 15 minutos a nivel de estación. Para incorporar esta demanda a la matriz se realiza un supuesto: Los viajes pagados con boletos Edmonson no combinan con bus, son viajes que se realizan por completo en metro. Si los viajes utilizaran modo bus, esto obligaría al viajero a utilizar la tarjeta bip! para pagar el pasaje en bus, generando un doble pago de pasaje innecesario puesto que este viaje podría realizarse utilizando solo la tarjeta bip! y ahorrando el pago del boleto. Esta lógica permite afirmar que los viajes realizados con boletos Edmonson son aquellos que pueden realizarse utilizando solo modo metro.

Por lo anterior, se propone incorporar los viajes realizados con boletos Edmonson por estación de origen y siguiendo la misma distribución origen-destino de los viajes de una etapa en metro que se observan en la matriz OD base. En cuanto a la agregación temporal, considerar que la matriz OD base se construye con la hora más cargada del sistema según hora media de viaje, y que para los boletos solo se cuenta con hora de inicio. Por lo tanto, se propone buscar la hora de inicio representativa de los viajes de una etapa en metro, para cada estación, de la matriz OD base. Para ello se propone agrupar por estación de origen los viajes de la matriz OD base de una etapa en metro y en lugar de utilizar su hora media de viaje, agruparlos por hora de inicio de viaje (igualmente disponible en la TB9) como referencia para determinar

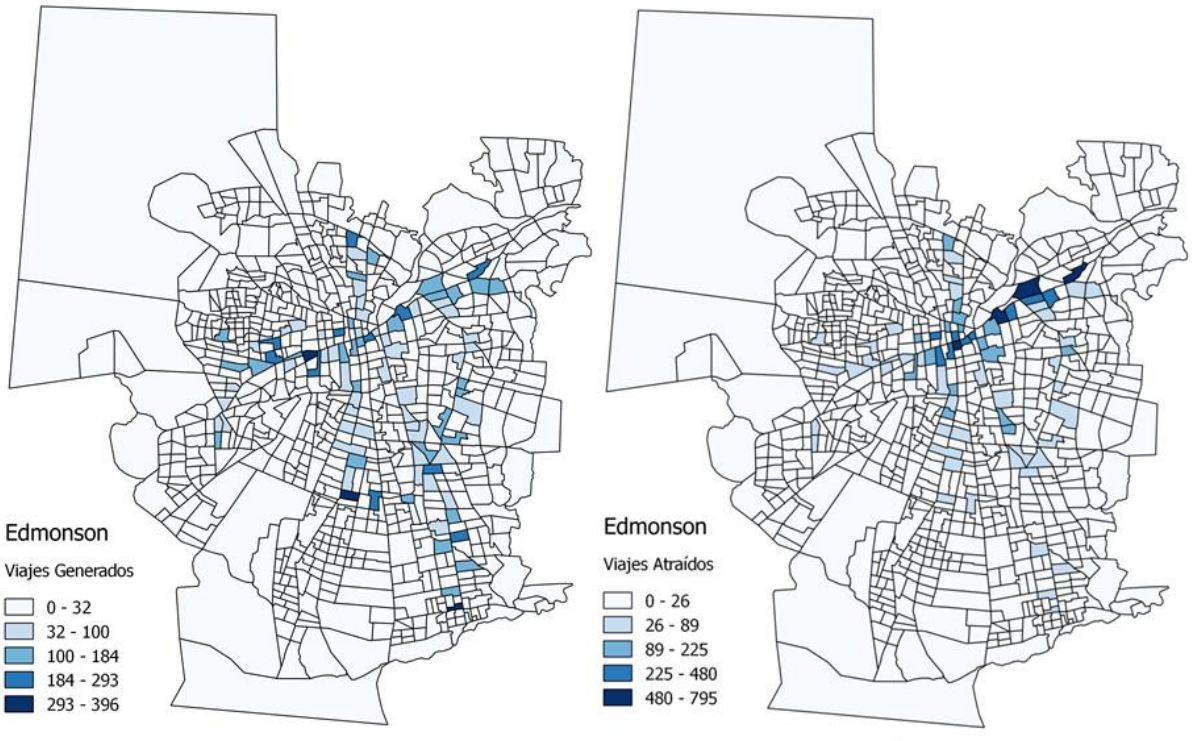
qué hora de inicio de boletos Edmonson utilizar en cada estación. Por tanto, se procede a agrupar los viajes formados por una etapa en metro de la matriz OD base a nivel de estación y hora de inicio de viaje. Estos viajes de una etapa en metro de la matriz OD base tienen como hora de inicio un rango mayor a 1 hora. Luego, para cada estación se selecciona la hora de inicio con más viajes y exactamente en esta misma hora se toma el conjunto de boletos Edmonson. Ese es el volumen de boletos Edmonson que se incorpora y se recalcula para los viajes de la matriz de agosto 2017.

El detalle de la demanda y hora utilizada para incorporar los viajes de boletos Edmonson representativos de cada estación se encuentran en los anexos del capítulo.

En total se incorporan 10.835 viajes. Para incorporar los boletos se propone generar un factor de expansión sobre los viajes de la matriz OD base, tal que incorporen la demanda de boletos Edmonson expandiendo los viajes que inician en la misma estación y que tienen como condición ser viajes de una etapa en modo metro. Esto permite respetar la estructura de destino de viajes observada en la matriz OD base a nivel de estación de origen. El producto de este proceso es una matriz de viajes de boletos Edmonson representativa de una (1) hora del periodo Punta Mañana.

Para analizar los cambios en la matriz OD base respecto de la matriz que incorpora los boletos Edmonson, la siguiente figura muestra la diferencia en viajes generados y atraídos a nivel de zona 777:

Figura 6-13: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de boletos Edmonson



Fuente: Elaboración Propia

6.6 OBTENCIÓN DE MATRIZ OD PUNTA MAÑANA ZONA 777

Considerando que cada uno de los procesos aplicados se realiza de forma independiente y sobre la matriz OD base PM, para incorporar todos los procesos se suma la diferencia de viajes producida en la aplicación de cada factor sobre el factor de expansión original de cada viaje proveniente de la tabla TB9, es decir:

Vij = Vij_Base + ΔEvasión_Parcial + ΔEvasión_Sistemática + ΔBoletos_Edmonson

La agregación de todos los procesos genera una nueva matriz OD de viajes de PM. Si se comparara la diferencia de viajes generados y atraídos a nivel de zona, entre la matriz actualizada y la matriz base, se obtiene diferencias de viajes por zona, como se muestra en la siguiente tabla:

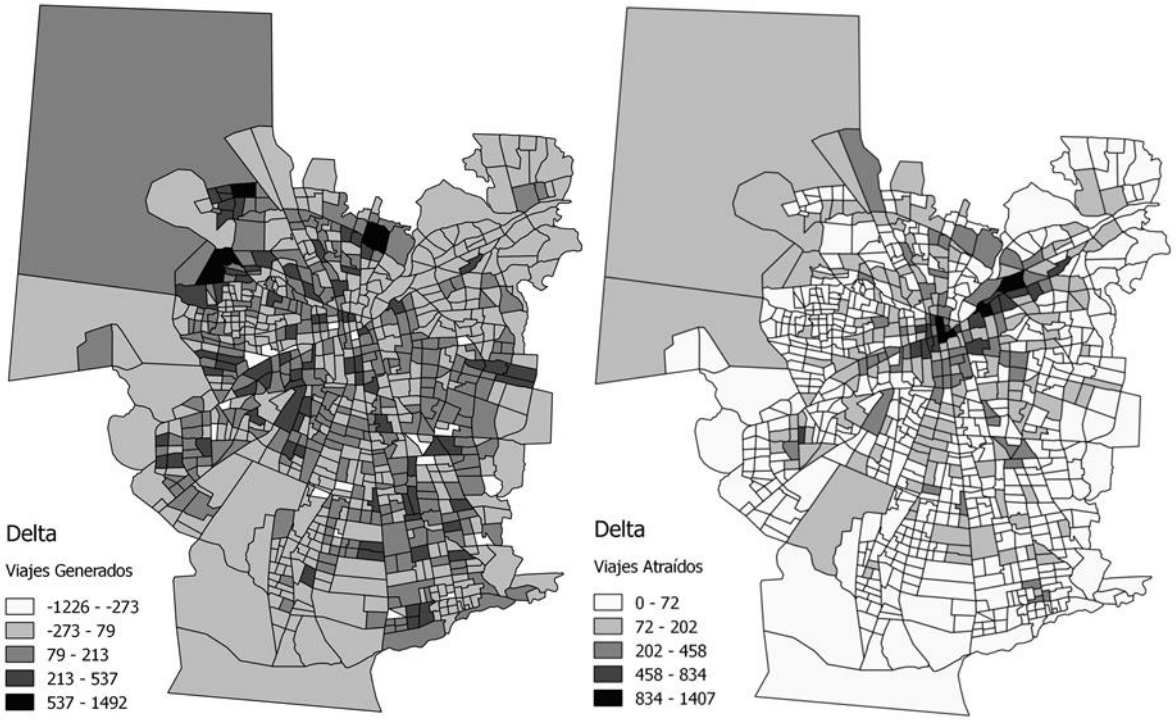
Tabla 6-6: Detalle de variación de viajes por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson

Matriz	Comentario	Viajes adicionales	Total viajes matriz
Matriz hora más cargada	de 7:30-8:30	-	377,235
Matriz Base	corrección por zona	13,875	391,110
Matriz Ev. Parcial	corrección de estructura, no incorpora viajes	0	391,110
Matriz Ev. Sistemática	corrección r/ matriz base	58,300	449,410
Matriz Edmonson	corrección r/ matriz base	10,835	401,944
Matriz Actualizada	corrección r/ matriz base, se calcula como suma de correcciones por zona	69,135	460,245

Fuente: Elaboración Propia

Para visualizar espacialmente las modificaciones a la matriz, la siguiente imagen muestra la variación de viajes a nivel de zona:

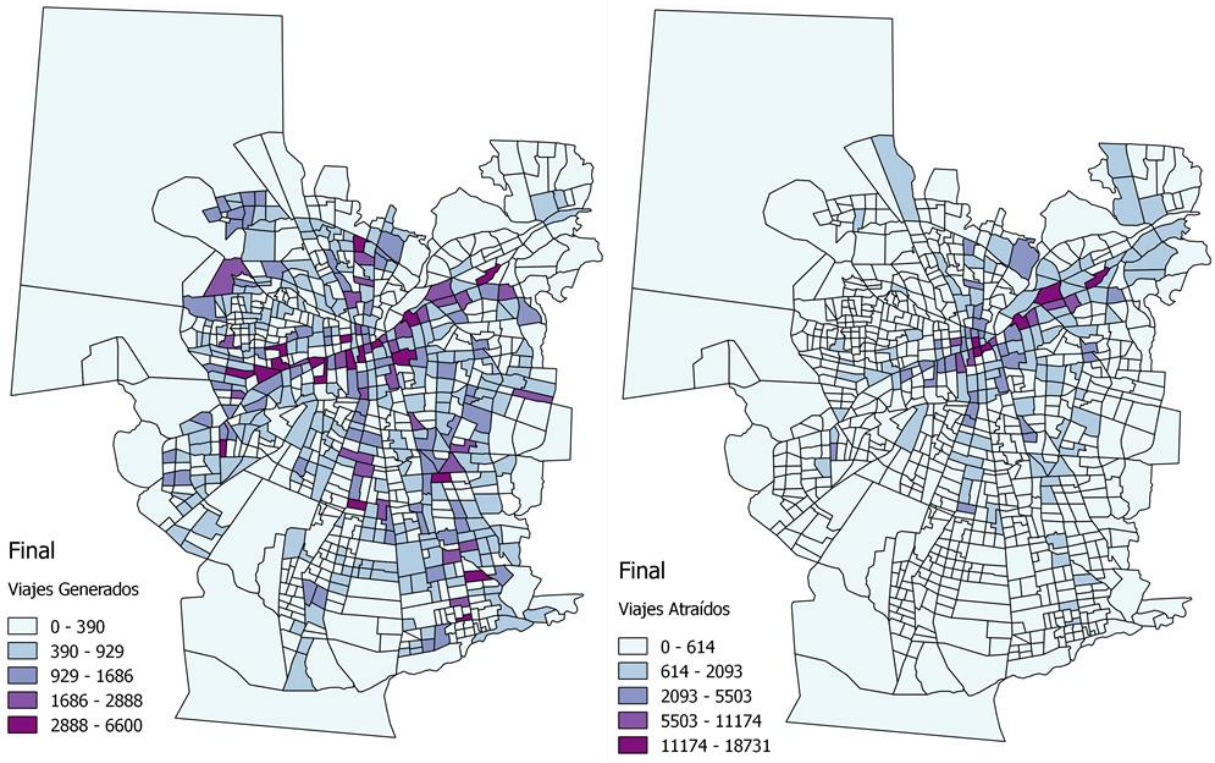
Figura 6-14: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, la siguiente figura muestra los viajes generados y atraídos en la matriz OD punta mañana actualizada a nivel de zona 777:

Figura 6-15: Generación (izq) y atracción (der) de viajes a nivel de zona 777, matriz OD PM actualizada



Fuente: Elaboración Propia

Notar que las visualizaciones del informe se realizan a nivel de zona 777, pero que todos los factores de actualización de la matriz fueron aplicados directamente a nivel de viaje, razón por la cual se cuenta con una matriz desagregada a nivel de parada.

La matriz actualizada presenta una tasa de 1.48 etapas por viaje.

Al contar con la matriz actualizada a nivel de viaje, es posible analizar su composición en este mismo nivel de detalle. Es posible obtener la cantidad de etapas por operador, contabilizadas hasta la 4ta etapa de viaje (Datos Observados) y compararla con las etapas de los datos previos a la intervención por evasión (Datos Bips), obteniendo evasión por Unidad de Negocio y comparándola con la Evasión reportada por el Ministerio del segundo trimestre del año 2017. La tabla a continuación presenta un resumen de lo anterior.

Tabla 6-7: Detalle de matriz actualizada, número de etapas de viaje por operador

UN	Datos Bips	Datos Observados	Evasión Matriz	Evasión Ministerio 2Trimestre 2017
U1	34.232	46.416	26%	42%
U2	53.148	70.136	24%	28%
U3	54.350	73.731	26%	35%
U4	51.707	65.762	21%	24%
U5	54.895	70.585	22%	34%
U6	31.773	39.729	20%	9%
U7	21.343	27.498	22%	35%
TOTAL BUS	**305.077**	**398.481**	**23%**	30%
Sin Unidad	3.629	4.624	22%	
Metro	**265.159**	**275.993**	**4%**	
Metrotren	**4.899**	**4.898**	**0%**	
Total Etapas	**575.135**	**679.372**	**15%**	
Etapas Viaje		1,48		
Viajes Caminata		0		

Fuente: Elaboración Propia

La evasión introducida por Unidad de Negocio es sistemáticamente menor que la reporta por el Ministerio, con excepción de la UN6.

En la misma línea, también es posible calcular los transbordos observados entre tipos de transporte, lo que se reporta en la tabla siguiente.

Tabla 6-8: Transbordos entre combinaciones de tipo de transporte

Etapa N	Etapa N+1	Transbordos
Bus+ZP	Bus+ZP	59.327
Bus+ZP	METRO	117.261
Bus+ZP	METROTREN	957
METRO	Bus+ZP	37.459
METRO	METROTREN	239
METROTREN	Bus+ZP	539
METROTREN	METRO	3.345
Total		**219.126**

Fuente: Elaboración Propia

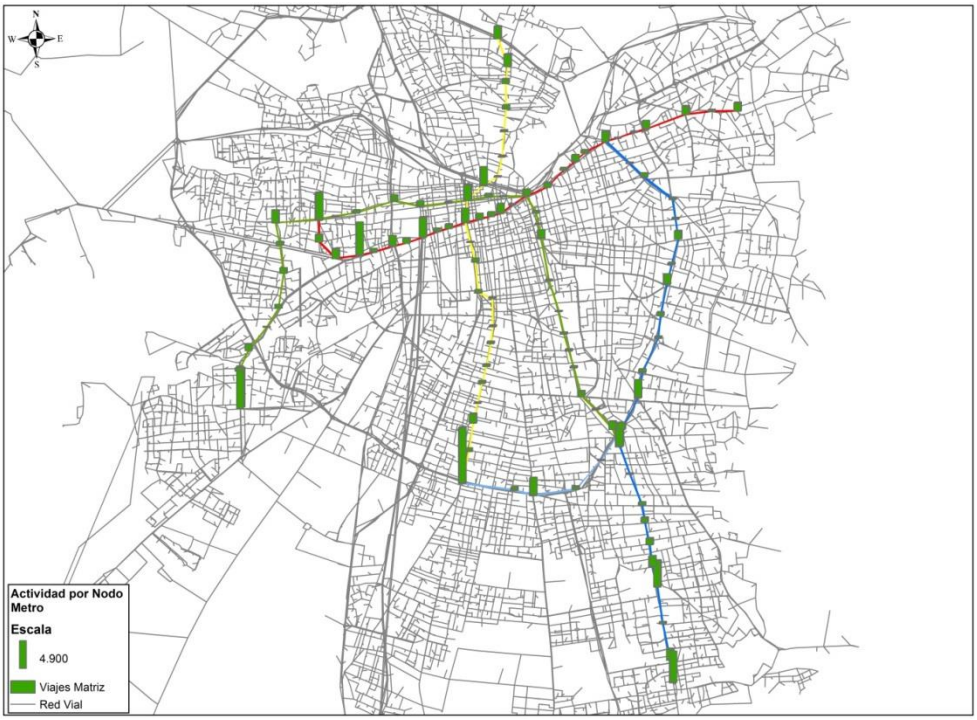
Otra mirada a los transbordos es su ubicación espacial, tanto en buses como en Metro. Las siguientes figuras, presentan los transbordos a nivel de parada, donde hay más de 10 transbordos de bus y de estación de metro.

Figura 6-16: Transbordos por parada de buses, matriz OD PM actualizada



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-17: Transbordos por parada de Metro, matriz OD PM actualizada



Fuente: Elaboración Propia

Los principales lugares de transbordo de buses son La Cisterna, Escuela Militar y Los Dominicos. Por su parte, en Metro, está Plaza Maipú, La Cisterna, Las Rejas.

Otra dimensión de análisis son los niveles de servicios por componente de tiempo de viaje para la matriz actualizada.

Tabla 6-9: Nivel de Servicio, matriz OD Punta Mañana

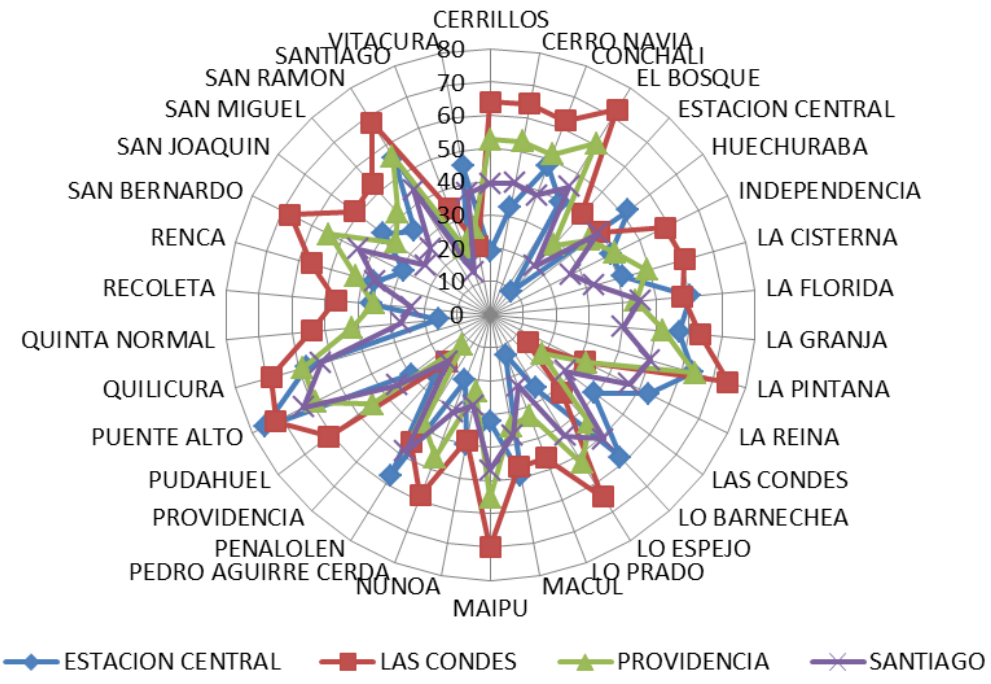
	Tiempos (Minutos)
Tiempo Caminata	0.57
Tiempo Espera	1.15
Tiempo vehículo	35.5
Tiempo de Viaje	37.21

Fuente: Elaboración Propia

Cabe mencionar que el tiempo de caminata solo considera las caminatas en los transbordos, pues la información de ADATRAP no contiene el acceso y egreso del viaje, por lo que el valor esta intrínsecamente subestimado. Por otra parte, el valor de tiempo de espera también está subestimado, pues solo considera la espera en el transbordo, no incorporando la espera de la primera etapa.

El siguiente gráfico presenta el tiempo de viaje en vehículo desde todas las comunas hacia las comunas de Santiago, Providencia, Las Condes y Estación Central.

Figura 6-18: Tiempo de viaje en vehículo desde todas las comunas a Santiago, Providencia, Las Condes y Estación Central



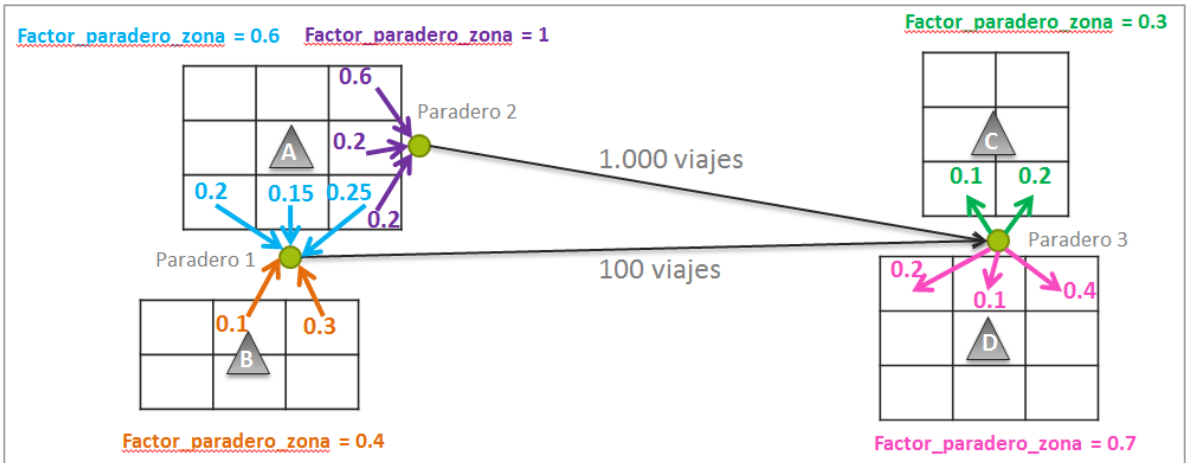
Fuente: Elaboración Propia

Todas estas dimensiones son relevantes para la revisión de resultados del proceso de asignación y calibración de la matriz de viajes en el modelo de demanda. En los anexos de este capítulo se puede encontrar además, las etapas por estación de metro, por estación de metrotren y por servicio. También se reporta el detalle de transbordos entre operadores de bus.

6.7 CREACIÓN DE LA MATRIZ A NIVEL ZONAL

Una vez generadas las matrices a nivel de parada, fue contruida la matriz a nivel zonal considerando la nueva zonificación. El proceso para ello se esquematiza en la siguiente figura:

Figura 6-19: Ejemplo esquemático de generación de la matriz de viajes a nivel zonal



	A	B	C	D	Total origenes
A	-	-	0.6*0.3*100+ 1*0.3*1000	0.6*0.7*100+ 1*0.7*1000	0.6*100+ 1*1000
B	-	-	0.4*0.3*100	0.4*0.7*100	0.4*100
C	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-
Total destinos	-	-	0.3*100+ 0.3*1000	0.7*100+ 0.7*1000	100+1000

Fuente: Elaboración Propia

En el ejemplo, del paradero 1 salen 100 viajes al paradero 3 y del 2 salen 1.000 al 3. En el radio de influencia del paradero 1 se localizan 5 manzanas: 3 de ellas pertenecen a la zona A y 2 a la zona B. En el radio de influencia del paradero 2 están 3 manzanas y las 3 pertenecen a la misma zona A. En el radio de influencia del paradero 3 se tienen 5 manzanas: 2 pertenecen a la zona C y 3 a la D.

El reparto de los viajes del paradero se realiza entre las manzanas en su radio de influencias según las siguientes dos componentes:

- Distancia: Inversamente proporcional a la distancia en red entre el paradero y el centroide de la manzana
- Superficie construida: Directamente proporcional a la superficie construida total de la manzana

Para cada combinación paradero-manzana, se asume que los viajes se reparten entre las manzanas en el radio de influencia según la suma de la proporción que cada manzana aporte al total en distancia más en superficie. Posteriormente, conociendo las manzanas de cada zona, se obtiene un factor paradero-zona, que es la suma de los factores paradero-manzana de las manzanas en esa zona en el radio de influencia de tal paradero.

Los radios de influencia considerados son los definidos por Tamblay (2015) a partir de una encuesta origen destino en paraderos y estaciones, y resultantes para el 95% de los viajes observados en ella: 250 metros para bus y 750 metros para metro (misma consideración para metrotren).

Por cada par OD de paraderos, los viajes se reparten entre todas las combinaciones de zonas que contienen al menos una manzana en el radio de influencia del paradero origen o destino. El reparto de los viajes para cada combinación zona origen-zona destino es la multiplicación de los factores paradero-zona asociados al paradero y zona origen y al paradero y zona destino, es decir:

$$Viajes_{zonaO-zonaD} = viajes_{paraderoO-paraderoD} * factor_{paraderoO-zonaO} * factor_{paraderoD-zonaD}$$

Existen 2.700 manzanas que están dentro de los límites de las zonas 777 pero que no están bajo el radio de influencia de ningún paradero o estación. No obstante, si en el futuro la cobertura de la red alcanzara a dichas manzanas, éstas podrían generar y/o atraer viajes. En base a este aspecto se probaron dos hipótesis:

a) Asumir que si hay manzanas, hay demanda potencial: bajo esta hipótesis, estas manzanas se conectan al paradero más cercano, permitiendo la generación/atracción de una demanda que con la red actual es reducida dada la lejanía al paradero y el reparto inversamente proporcional a la distancia.
b) Asumir que la demanda observada en la red bip! está generada/atraída tan solo en su radio de influencia: bajo esta hipótesis las manzanas fuera del radio de influencia de la red no toman parte en la asignación de demanda de nivel paradero a nivel zonal, es decir, no generan ni atraen demanda.

La metodología anterior de reparto de viajes observados desde nivel paradero a nivel zonal, pasando por el nivel manzana, busca considerar de manera robusta el origen y destinos reales, es decir, la atracción y generación de cada zona.

7 CONSTRUCCIÓN MODELO DE ASIGNACIÓN PUNTA MAÑANA

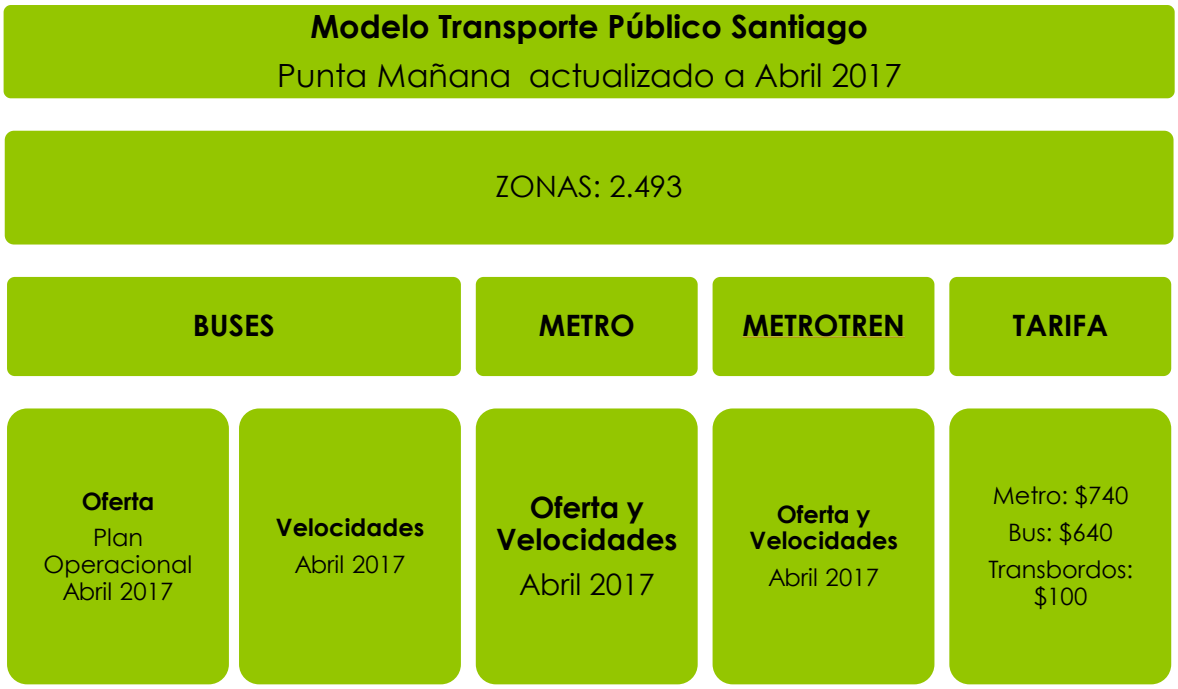
7.1 INTRODUCCIÓN

La construcción el Modelo de asignación se compone por los siguientes elementos:

- Definición de Modos
- Definición de tipos de vehículos
- Definición de arcos y nodos
  - Red vial
  - Metro
  - Metrotren
- Definición de zonas
- Definición de conectores
  - Zonas
  - Entre modos
- Definición de la matriz de viajes
- Definición de itinerarios servicios
  - Buses
  - Metro
  - Metrotren
- Definición de velocidades
  - Buses
  - Metro
  - Metro tren
- Definición de Características Operacionales servicios buses, Metro y Metro tren
  - Frecuencia
  - Índice de Cumplimiento de Frecuencia
  - Capacidad
- Definición de Parámetros de Modelación
- Definición Esquema Tarifario

A modo de resumen, el modelo construido se compone de la siguiente información:

Figura 7-1: Resumen Información Modelo de asignación



Fuente: Elaboración Propia

7.2 MODOS Y VEHÍCULOS

Para la construcción del modelo de asignación, se definieron los modos detallados en la tabla a continuación.

Tabla 7-1: Modos Modelo de asignación

Modo	Descripción	Tipo	Descripción
a	Auto	1	Auto
b	Bus	2	Transit
p	Peatón	3	Auxiliary Transit
m	Metro	2	Transit
i	Tarifa	3	Auxiliary Transit
t	Metrotren	2	Transit
f	Tren	2	Transit

Fuente: Elaboración Propia

Es necesario precisar que el modo adicional, comprometido fue incorporado desde el inicio en la construcción del modelo. Esto se debe a que al momento de las mediciones de tasas de ocupación para la calibración, el modo metrotren ya estaba integrado al sistema, por lo que el proceso de calibración y asignación se vería sesgado al no considerar dicho modo.

Por otro lado, se agregan los vehículos a utilizar en el Modelo asignación, junto con una columna indicando si el tipo de vehículo es utilizado. El archivo utilizado se encuentra en el anexo 7 del capítulo, y la explicación de cada campo se muestra a continuación.

Tabla 7-2: Tipos de vehículo modelo de asignación

ID Veh	mode	description	Auto equivalent	Capacity		Cost		Energy		Uso
				Seated	Total	$/hr	$/hr	$/hr	$/km	
1	b	bus	2	30	136	0	0	0	0	✓
4	b	40	0	10	40	0	0	0	0	-
5	b	50	0	12	50	0	0	0	0	✓
6	b	60	0	20	60	0	0	0	0	✓
7	b	70	0	20	70	0	0	0	0	✓
8	b	80	0	25	80	0	0	0	0	✓
9	b	90	0	30	90	0	0	0	0	✓
10	b	100	0	30	100	0	0	0	0	✓
11	b	110	0	30	110	0	0	0	0	✓
12	b	120	0	40	120	0	0	0	0	✓
13	b	130	0	40	130	0	0	0	0	✓
14	b	140	0	40	140	0	0	0	0	✓
15	b	150	0	40	150	0	0	0	0	-
16	b	160	0	40	160	0	0	0	0	-
17	t	metrotren	0	84	522	0	0	0	0	✓
18	f	tren	0	300	600	0	0	0	0	✓
19	t	metrotren	0	84	522	0	0	0	0	-
20	m	metro	0	230	1452	0	0	0	0	✓
21	m	metro	0	230	1165	0	0	0	0	✓
22	m	metro	0	198	793	0	0	0	0	✓
23	m	metro	0	397	1586	0	0	0	0	✓
24	m	metro	0	250	1232	0	0	0	0	✓

Fuente Elaboración Propia

Esta información se extrajo desde el Modelo EMME ® de DTPM 2011 y la capacidad de los vehículos que se utiliza en la asignación con restricción de capacidad corresponde a la capacidad total, por lo que es este atributo el que fue validado de acuerdo a la información de oferta del STPS.

7.3 ARCOS Y NODOS

7.3.1 Red Vial

La construcción de la red de modelación se inició con la representación de la red vial que utilizan los servicios de buses y peatones en el sistema de transporte público de la ciudad. Esta red se generó a partir de una simplificación de la red vial de la ciudad de Santiago que disponibilizó el mandante de fecha actualización de Mayo 2017, concordante con el Programa de Operación que comenzó el 06 de Mayo de 2017.

La red vial original cuenta con 174.747 arcos y 121.743 nodos. Sin embargo, de acuerdo a las características del software EMME ® que es utilizado para la asignación, fue necesario realizar

una simplificación de la red vial original tanto en la cobertura de la red, como en el nivel de desagregación de la misma.

Primeramente, se procedió a asignar las paradas vigentes del sistema a los nodos de la red vial original. Esta asignación considera un máximo de 2 paradas por nodo siempre y cuando ambas paradas se encuentren al lado opuesto de la calzada, esto evita asignar paradas de una misma calzada a un solo nodo. Durante esta asignación fue necesario modificar la red inicial pues había paradas que no era posible asignarlas a un nodo debido a que no existía ninguno cercano o no había nodos suficientes para representar las paradas correspondientes a un arco, lo que significó agregar arcos nuevos a la red DTPM seleccionada anteriormente. Como resultado final de lo explicado anteriormente, la red intervenida final quedó con las siguientes características:

Tabla 7-3: Número de nodos y Arcos de Red DTPM y Red Intervenida.

	Red DTPM	Red Intervenida
Nodos	121.743	121.846
Arcos	174.747	174.850

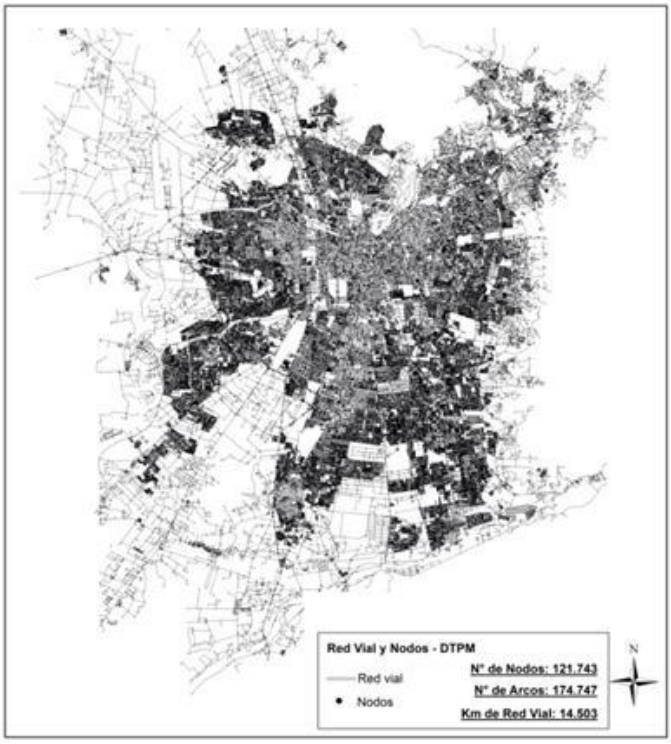
Fuente: Elaboración Propia

La asignación definitiva de paradas a nodos de la red vial se puede ver en el anexo 7 "DIC_NODO_PARADA.xlsx"

Sobre esta red intervenida, fueron aplicados los criterios de simplificación de la red. Para ello se consideraron todos los arcos por los que pasa actualmente transporte público. Luego, como el modelo debe permitir evaluar nuevas iniciativas, esta red se complementó considerando los límites de las zonas censales definidas por el INE, asumiendo que dichos límites están sobre ejes importantes de la ciudad.

En este mismo sentido, se mantuvieron todos los nodos que corresponden a paradas de buses, definidos previamente, sin necesariamente ser una intersección de la subred de arcos seleccionados. Lo anterior, con el fin de contar con una red que permita evaluar futuras modificaciones de itinerarios a nivel de servicio y a nivel de tramo o paradas.

Figura 7-2: Red vial DTPM Mayo 2017



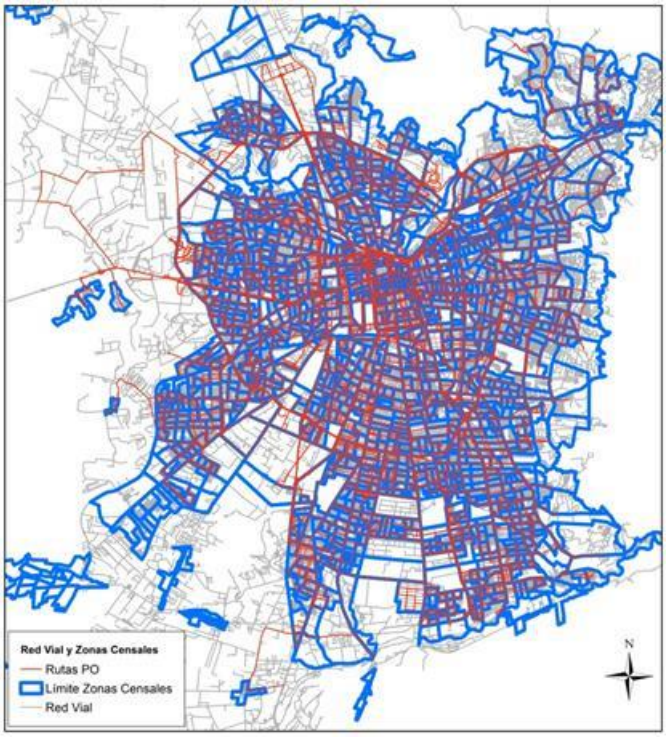
Fuente: Elaboración propia

Figura 7-3: Red vial y servicios PO 06/05/2017



Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-4: Red vial y límites de zonas censales



Fuente: Elaboración Propia

Una vez definida esta subred, fue necesario realizar una minuciosa revisión de la misma para asegurar la conexión entre todos los nodos de la red.

El resultado de esta selección de arcos de la red original considera una subred que tiene un total de 48.541 arcos y 41.241 nodos, que posteriormente se procedió a simplificar.

En resumen, para el proceso de simplificación de la red se realizaron los siguientes pasos sobre la Red Intervenida:

i. Se seleccionaron todos los arcos que coinciden con la cobertura vigente del transporte público de buses y con las zonas censales del INE.
ii. Se revisaron visualmente todos los arcos construidos a partir de nodos a los que solo llegaba dicho arco, de manera de verificar si el sentido de tránsito permitía la salida desde dicho nodo o si era necesario agregar o quitar arcos para asegurar la conexión entre todos los nodos de la red.
iii. Se generó un atributo a la red intervenida, con valores 0 o 1 dependiendo de si fue seleccionado en el proceso anterior (0: seleccionado, 1: no seleccionado).

Sobre esta subred, se procedió a implementar un proceso de agrupación de arcos con los siguientes criterios:

i. Un arco es potencial de ser agrupado si al menos uno de los nodos que lo conforman no es parada y si dicho nodo solo forma 2 arcos, es decir, que no es una intersección de ejes.

ii. El arco se junta con el segundo arco solo si este inicia con el nodo que termina (o viceversa) y si la dirección de tránsito de ambos arcos no tienen una diferencia mayor a los 45 grados.

Este proceso fue construido en el software Matlab y permite procesar diferentes selecciones de arcos y nodos de la red original y/o intervenida.

Posteriormente, se revisó la diferencia entre la distancia de los nuevos arcos, versus la distancia euclidiana y se procedió a deshacer la agrupación de 5 links por la diferencia en distancia respecto a su composición inicial (por ej. Autopista del sol).

Figura 7-5: Ejemplo de desagregación de arcos (Autopista del sol)



Fuente: Elaboración propia

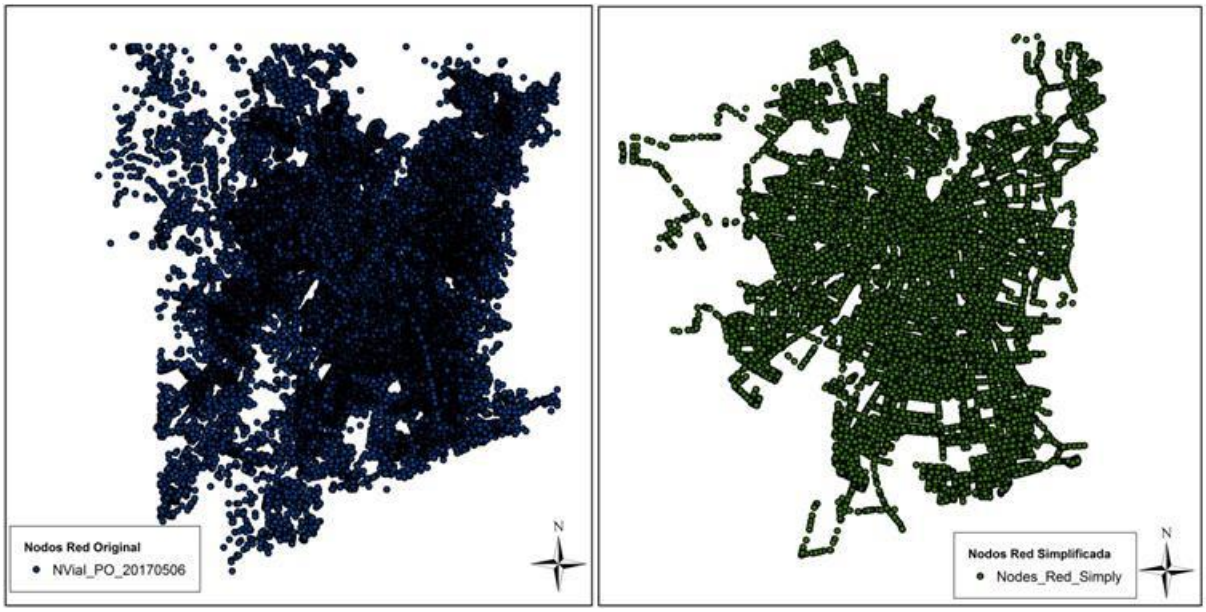
El resultado de este procesamiento se puede observar en las siguientes imágenes.

Figura 7-6: Comparativa red original y red simplificada



Fuente: Elaboración Propia

Figura 7-7: Comparativa nodos red original y simplificada



Fuente: Elaboración propia

A nivel de base de datos, el resultado de este procedimiento es la red vial intervenida atributada con un nuevo ID, correspondiente al arco simplificado. Además del orden correspondiente de dicho arco en el arco simplificado. Estos atributos son importantes ya que permite asociar las distancias y velocidades de los arcos originales a la red de modelación simplificada.

Una vez seleccionados los arcos de la red vial original para la construcción de la red de modelación, con el correspondiente ID de arco "simplificado", y los atributos de distancia y tiempo por kilómetro, se inició el proceso de importación de la red simplificada a EMME ®.

Dado que en EMME ® los arcos son por sentido, se duplicaron todos los arcos de la red, y donde no pasaba transporte público, atributándolo como arco peatonal.

Luego del proceso antes descrito, la cantidad de nodos y arcos de la red de modelación es:

Tabla 7-4: Cantidad de nodos y Arcos Red DTPM, Red Intervenida y Red de Modelación.

	Red DTPM	Red Intervenida	SubRed	Red de Modelación
Nodos	121.743	121.846	48.541	21.209
Arcos	174.747	174.850	41.241	17.770

Fuente: Elaboración Propia

Los arcos de la red de modelación, correspondiente a la red vial que utilizan los buses y los peatones, quedaron tipificados en la clase 1 en el modelo de asignación, y permite los modos auto, bus y peatón. Mientras que los nodos que conforman esta red vial tienen definido un ID con valores que van entre el ID 1 y 199.999. Lo anterior permite realizar selecciones y análisis más eficientes en el modelo.

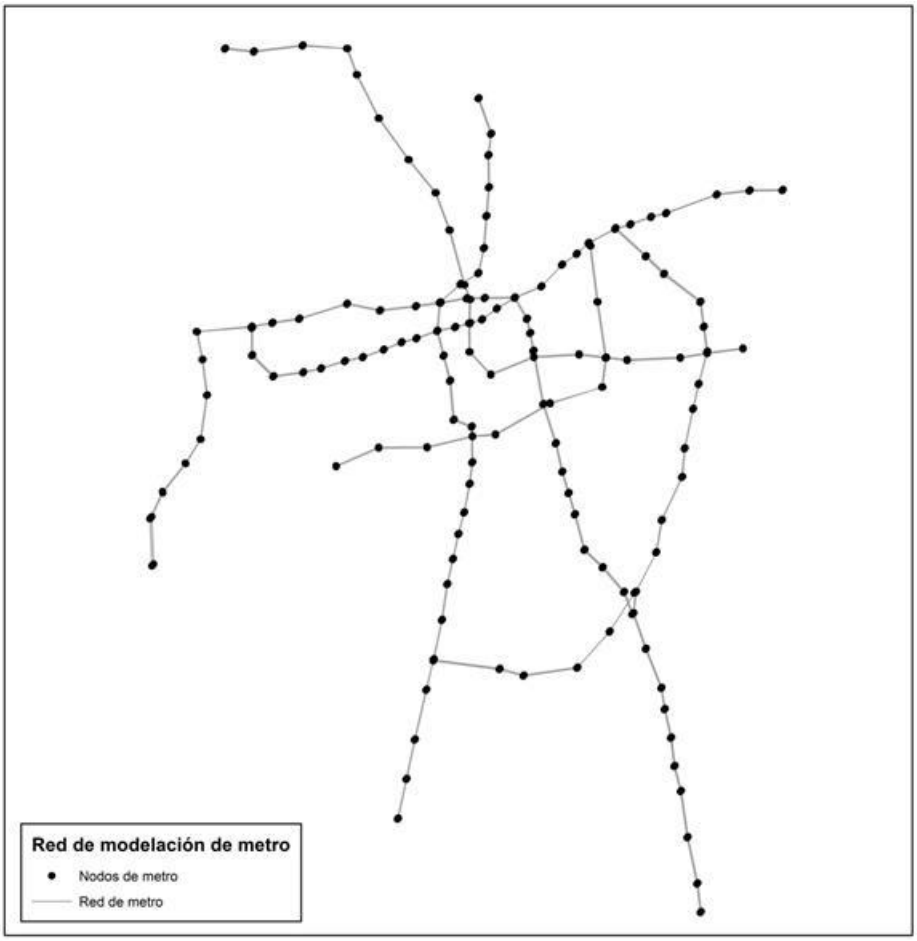
7.3.2 Metro

La red de Metro se obtuvo a partir del shape entregado por el Mandante. Los nodos de la Red de Metro fueron duplicados, de modo de poder generar líneas paralelas según sentido. Se incorporan como red las líneas actuales más la L3 y L6 aunque no sean utilizadas para generar itinerarios en la modelación base.

Los identificadores de nodos de Metro se clasifican entre el ID 200.000 y 299.999. Mientras que los arcos asociados a metro, fueron tipificados en la clase de arco 20, que permite exclusivamente el tránsito de servicios de metro.

En la siguiente figura se presenta la Red de modelación de Metro.

Figura 7-8: Red de Metro



Fuente: Elaboración propia

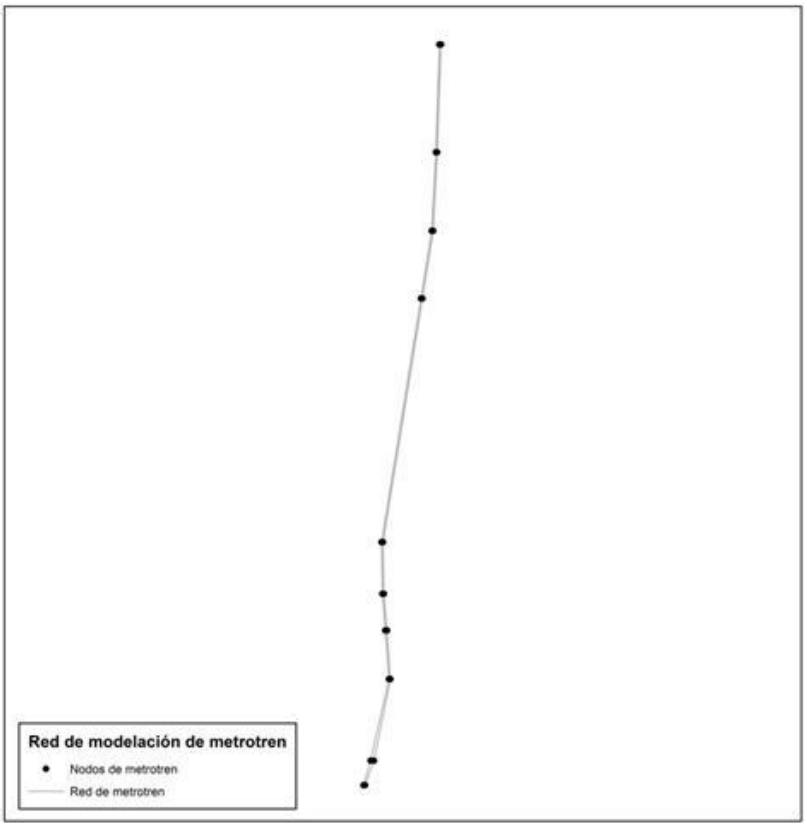
7.3.3 Metrotren y Tren

La red de Metrotren se obtuvo a partir de las coordenadas de estaciones entregadas por el Mandante. Los nodos de la Red de Metrotren fueron duplicados, de modo de poder generar líneas paralelas según sentido.

En la siguiente figura se presenta la Red de modelación de Metrotren.

Los nodos de Metrotren se clasifican entre el ID 300.000 y 300.100. Mientras que los arcos que se generan a partir de estos nodos para representar la infraestructura de Metrotren corresponden al tipo 30.

Figura 7-9: Red de Metrotren



Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, fueron construidos los nodos y la red correspondientes al modo tren, que va paralelo a la red de Metrotren, pero llega hasta Rancagua hacia el sur. Los nodos de la red de Trenes quedó codificada con identificadores de nodos entre 300.100 y 300.300, y los arcos son de tipo 40.

7.4 ZONAS Y CONECTORES

Los centroides provienen de las zonas obtenidas según lo descrito en el capítulo 5.5 del presente informe. Como input, se le asignan un número identificador mayor a 500.000.

Para generar los arcos de acceso a la red vial, a cada centroide se le asignó el nodo más cercano, identificando estos arcos como modo p (peatón) y asignándole una distancia constante de 100 mts. Adicionalmente, se construyeron arcos conectores entre los modos bus, metro y metrotren.

Para el caso de los conectores de metro/metrotren a bus, para cada nodo de metro y metrotren se seleccionaron en un radio de 500 mts los 4 nodos de la red vial más cercanos, a través de la herramienta Near del software ArcGIS.

Otro tipo de conector creado fue el que permite el cambio de andén en las estaciones de la red de Metro y Metrotren (tipo 6). Esto se debe a que la red de ambos modos consta de arcos independientes por sentido, lo que genera que existan dos nodos por estación.

A modo de resumen se generaron los siguientes tipos de conectores:

- Conector zonas-red vial
- Conector Metro/metrotren a bus
- Conector metro-metro y metrotren-metrotren

Considerando la descripción realizada de los inputs del modelo, la red vial ingresada al modelo se puede desagregar como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7-5: Descripción de tipos de arcos del modelo

Relación	Type	modo	Descripción
Arcos de la red vial	1	abp	Arcos de Bus
Arcos de la red vial solo peatonales	2	p	Arcos Peatonales
Zonas a Red Vial	10	i	Conector Zonas a bus
Red Vial a Zonas	10	p	Conector bus a Zona
Nodos Red de Metro	20	m	Arcos de Metro
Nodos Red de Metrotren	30	t	Arcos MetroTren
Nodos Red de Tren	40	f	Arcos Tren
Conecta Red Vial a Metro	5	i	Conector Bus-Metro
Conecta Red Vial a Metrotren			Conector Bus-Metrotren
Conecta Metro a Metrotren			Conector Metro-Metrotren
Conecta Nodos de Metro entre si y Nodos de Metrotren entresi	6	p	Conector metro-metro y metrotren-metrotren

Fuente: Elaboración Propia

Las siguientes figuras muestran espacialmente las zonas y los conectores ingresados al modelo.

Figura 7-10: Zonas Modelo



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-11: Conectores



Fuente: Elaboración propia

A modo de resumen, se presenta la cantidad de zonas y arcos de acceso y de transbordos generados.

Tabla 7-6: Zonas y Arcos Acceso

Descripción	Cantidad
Zonas	2.493
Arcos de Acceso (tipo 5)	2.493
Arcos de Egreso (tipo 5)	2.493
Conectores Red Vial – Metro (o Metrotren)	1.928
Conectores Metro – Metro (o Metrotren-Metrotren)	301

Fuente: Elaboración propia

7.5 MATRIZ

La matriz de viajes a ingresar en el modelo corresponde a la obtenida de acuerdo a detallado en el capítulo 6.7 del presente informe. Dicha matriz tiene una agregación consistente con las zonas ingresadas previamente (2.493 zonas) y fue construida sobre la base de los viajes realizados por los usuarios en Agosto de 2017, estimados con el software ADATRAP, según lo reportado en el capítulo 6 del presente informe.

La matriz de viajes ingresada contiene 460.150 viajes, de los cuales 1.543 son intrazonales que no serán parte del proceso de asignación.

7.6 ITINERARIOS DE SERVICIOS DE BUSES-METRO-METROTREN

Para construir los itinerarios se debe definir una secuencia de nodos en donde se identifica:

- Nodos que son Paradas en donde solo se puede subir, solo se puede bajar o se puede subir y bajar
- Tiempo de detención en caso que sea necesario.
- Layover que corresponde al tiempo de regulación de la última parada
- Función de tiempo de viaje de cada segmento que compone el servicio.

Para obtener los itinerarios de los servicios de buses, se procedió a utilizar el RTS que contiene el conjunto de trazados del Programa de Operación vigente al 06 de Mayo de 2017 asociado a la red original y se procedió a transformarlo a la red simplificada. Para ello fue necesario ajustar la secuencia de nodos sólo considerando aquellos nodos de la red simplificada.

El tiempo de detención asociado al atributo dwt (dwell times) fue definido en cero (dwt=0) pues los tiempos de viaje ya consideran el tiempo de detención en su cálculo. A su vez, al último nodo se le asigna el valor lay=1.

La construcción de itinerarios con paradas se asigna considerando el diccionario de paradas-nodos realizadas para la simplificación de la red vial.

Para el caso de itinerarios de Metro, se incorporó la información de itinerarios que la contraparte dispuso, correspondiente a Mayo del 2017.

Para el caso de Metrotren, la información fue extraída en el "Plan de Operaciones de Transporte al sistema de transporte Público de Santiago" de fecha 01 de Marzo de 2017, entregada por la empresa Metrotren a DTPM, y dispuesta al consultor en el contexto del estudio.

Tabla 7-7: Cantidad de servicios por modo

Modo	N° Servicios
Bus	686
Metro	18
Metrotren	2
Tren	2

Fuente: Elaboración Propia

7.7 VELOCIDADES

Las velocidades de la red de buses, utilizadas para caracterizar los tiempos de viaje del sistema, corresponden a información del mes de Abril de 2017. La información fue dispuesta por DTPM, sobre la base de la red vial original por la que pasa transporte público.

Dado que la red de modelación no solo considera la validad por donde hoy circula servicio de buses, es que no existe información de velocidad para todos los arcos de la red. Consecuentemente, fue necesario generar un procesamiento que permitiera estimar velocidades en los arcos sin información, y así contar con información en caso de querer evaluar trazados en nueva vialidad.

Este procedimiento permite estimar las velocidades para arcos que tiene al menos un arco adyacente con información de velocidad y que además tenga el mismo sentido de tránsito. Es así como se asignó un tiempo promedio por kilómetro a los arcos que estuvieran conectados por ambos extremos con arcos con información de velocidades, en el caso que fuera solo un arco con información, le fue asignado dicho tiempo.

La información de velocidades disponibles para este proceso corresponde a información por media hora, por lo que se utilizó en primera instancia la menor velocidad registrada en el periodo Punta Mañana para caracterizar dicho periodo. El procedimiento fue desarrollado en PostgreSQL y permitió la estimación de velocidades para 4.033 arco-sentido.

Tabla 7-8: Resumen Estimación Velocidades Arco-Sentido

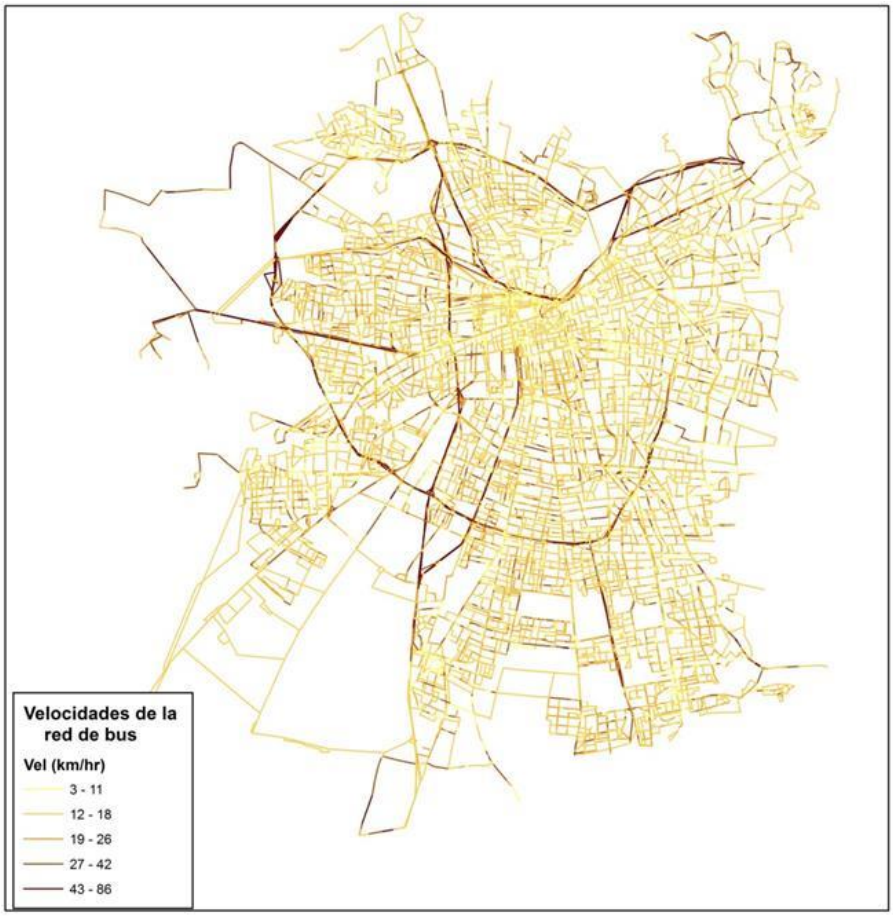
	Arco-Sentido
Arcos con Información de Velocidad	44.317
Arcos Estimados con la Velocidad de 1 arco	2.173
Arcos Estimados con la Velocidad de 2 arcos	1.860

Arcos sin Estimación de Velocidad	31.545

Fuente: Elaboración Propia

Para el caso de los arco-sentido a los que no fue posible estimar la velocidad en este proceso, se consideró las velocidades de los arco-sentido que conforman un determinado arco simplificado, es decir, si el arco-sentido es parte de un arco de la red simplificada donde existen arcos con información de velocidad, se estimó la velocidad a partir de dichos arcos. Con este criterio se logró atributar 2.888 arco-sentido, el resto de los arcos-sentido (28.658) sin estimación de velocidad fueron atributados con la velocidad promedio del sistema, correspondiente 14.29 km/hr. En el siguiente gráfico se presenta la velocidad de la red a nivel de arco.

Figura 7-12: Velocidades Red Vial



Fuente: Elaboración propia

Por su parte, los tiempos de viajes en los modos de metro y metrotren están asociados a cada segmento de línea en el atributo us2, caracterizando el tiempo de viaje entre estaciones, información que fue entregada por el Mandante. Para el caso de Metro, dicha información corresponde a la operación de abril de 2017, para el caso de Metrotren, la información disponible corresponde a tiempos teóricos de la temporada normal.

Las diferentes formas de estimar los tiempos de viajes del sistema se definen como un atributo (ttf) en los segmentos que conforman cada itinerario del sistema. Este atributo determina la función de tiempo de tránsito (ttf) que debe ser utilizada para estimar el tiempo de viaje.

Las funciones definidas para el modelo para los modos bus y metro son:

ttf1(bus)= (length/ul1*60)*(1+us1)

ttf2(*)= (length/speed*60)*(1+us1)

ttf3(metro-metrotren)=us2 * (1 + us1)

Dónde:

- ✓ length: distancia del arco
- ✓ ul1: velocidad del arco
- ✓ speed: velocidad de la línea
- ✓ us1: factor de congestión
- ✓ us2: tiempo de viaje del segmento de la línea

* Esta función queda definida en el proyecto, de manera que pueda ser utilizada en caso que no se cuente con información de velocidades por arco o segmento, pero si exista información a nivel de línea.

La función us1 es una función BPR que depende la ocupación del segmento con la siguiente forma funcional:

$$us1 = \propto * \left(\frac{flujo\ pasajeros\ en\ el\ segmento}{capacidad\ del\ segmento}\right)^{\beta}$$

Nótese que la componente us1 del tiempo es una componente que amplificará el tiempo de viaje, para simular el hacinamiento de los pasajeros a medida que se acerquen a la capacidad del segmento, en la modelación con restricción de capacidad. Este factor debe ser eliminado de los cálculos al momento de analizar y comparar tiempos de viaje de los usuarios entre mercados o tiempos en la red.

A solicitud del mandante, las velocidades consideradas para la caracterización del sistema fueron modificadas a las que corresponden a la hora de modelación (7:30 a 8:30), por lo que el procedimiento descrito fue ejecutado nuevamente con dichas velocidades y posteriormente modificadas en el modelo de asignación.

7.8 CONDICIONES OPERACIONALES

Para el caso del modo bus se extrajeron las condiciones operacionales según lo informado por el programa de operación (PO) de Transantiago de fecha 2017-05-06, en particular lo relacionado con datos de frecuencia y capacidad, para generar los inputs de oferta en EMME ®.

En el caso de Metro, se extrajo la información entregada por Metro correspondiente a Mayo del 2017 entregada por el Mandante.

Para el caso de Metrotren, la información fue extraída en el "Plan de Operaciones de Transporte al sistema de transporte Público de Santiago" de fecha 01 de Marzo de 2017, entregada por la empresa Metrotren a DTPM, y dispuesta al consultor en el contexto del estudio.

Las siguientes tablas presentan la capacidad y frecuencia ingresadas de todos los servicios ingresados al Modelo.

Tabla 7-9: Resumen Capacidad y Frecuencia por servicio y Modo

UN	Servicio	Frecuencia	Capacidad
1	101cI	7.00	560
1	101cR	10.51	841
1	101I	6.00	660
1	101R	7.50	825
1	102I	4.50	360
1	102R	5.50	440
1	103I	6.50	715
1	103R	6.50	910
1	104I	10.51	1156
1	104R	16.48	1978
1	105I	13.99	1538
1	105R	13.99	1399
1	106I	9.00	1169
1	106R	9.00	900
1	107cI	5.50	440
1	107cR	5.50	495
1	107cyR	2.50	200
1	107I	9.49	1234
1	107R	11.01	1321
1	108I	9.49	1044
1	108R	9.00	900
1	109I	7.00	560
1	109R	8.00	640
1	110cI	9.49	759
1	110cR	9.49	759
1	110I	5.50	550
1	110R	6.50	715
1	111I	6.50	585
1	111R	6.50	585
1	113eI	8.00	640
1	113I	6.00	480

UN	Servicio	Frecuencia	Capacidad
1	113R	6.00	540
1	114I	6.00	600
1	114R	7.50	750
1	115I	8.50	765
1	115R	7.00	630
1	116I	6.50	520
1	116R	6.00	480
1	117cI	6.00	480
1	117cR	6.00	480
1	117I	6.50	520
1	117R	9.49	759
1	118I	6.50	585
1	118R	7.50	675
1	119I	8.50	680
1	119R	15.00	1200
1	120I	6.00	540
1	120R	6.00	540
1	121I	5.50	440
1	121R	8.50	680
1	125I	6.00	480
1	125R	6.00	480
1	126I	5.50	440
1	126R	5.50	440
1	128eI	10.00	1200
1	128I	14.49	2029
1	128R	6.50	520
1	130eI	8.50	1020
1	130I	13.51	1757
1	130R	8.00	640
1	130yI	2.50	300

UN	Servicio	Frecuencia	Capacidad
2	201eI	16.00	2080
2	201eR	16.00	2080
2	201I	20.00	2800
2	201R	20.00	2800
2	202cI	11.01	1321
2	202cR	11.01	1321
2	203eI	11.01	1211
2	203eR	11.01	1101
2	203I	19.48	2727
2	203R	19.48	2727
2	204eI	5.50	495
2	204eR	5.50	495
2	204I	15.00	1650
2	204R	15.00	1500
2	205eI	10.51	841
2	205eR	10.51	841
2	205I	10.51	1261
2	205R	10.51	1261
2	206eI	6.50	585
2	206eR	7.50	750
2	206I	8.50	935
2	206R	8.50	935
2	207eI	5.50	550
2	207eR	6.00	660
2	208cI	5.50	440
2	208cR	5.50	440
2	208I	16.00	2240
2	208R	16.00	2240
2	209eI	5.00	400
2	209eR	5.00	400
2	209I	8.50	935
2	209R	8.50	850
2	210I	12.50	1375
2	210R	17.00	1700
2	210vI	6.00	480
2	210vR	6.00	480
2	211cI	12.99	1039
2	211cR	13.99	1119
2	211I	9.00	720
2	211R	9.00	720
2	212I	12.50	1500
2	212R	12.50	1500
2	214I	6.00	480
2	214R	6.00	480
2	216I	18.02	2342
2	216R	18.02	2162
2	216yI	2.00	160
2	217eI	9.49	949
2	217eR	9.49	759
2	218eI	3.50	280
2	218eR	2.50	200
2	219eI	9.49	759
2	219eR	6.00	480
2	221eI	6.00	480
2	221eR	4.00	320
2	223I	8.00	1040
2	223R	8.00	960
2	224I	5.50	440
2	224R	5.50	440
2	225I	7.00	700
2	225R	7.00	700
2	226I	8.00	800
2	226R	8.00	720
2	227I	5.00	400
2	227R	5.00	400
2	228I	13.99	1119
2	228R	16.48	1319
2	229I	6.50	650
2	229R	6.50	715
2	230I	10.00	1200
2	230R	10.00	1300
2	261eI	1.50	120
2	261eR	6.00	480
2	G01cI	5.00	250
2	G01cR	5.00	250
2	G01I	5.00	250
2	G01R	5.00	250
2	G02I	5.00	250
2	G02R	5.00	250
2	G04I	10.51	841
2	G04R	14.49	1159
2	G05I	12.00	960
2	G05R	10.51	736
2	G07I	5.00	250
2	G07R	5.00	250
2	G08I	11.01	991
2	G08R	8.50	765
2	G08vI	9.00	450
2	G08vR	7.50	375
2	G09I	5.50	275
2	G09R	5.50	275
2	G11I	11.01	661
2	G11R	11.01	550
2	G12I	5.00	250
2	G12R	5.00	250
2	G13I	13.99	979
2	G13R	17.49	1224
2	G14I	5.00	250
2	G14R	5.00	250
2	G15I	7.50	600
2	G15R	7.50	600
2	G16I	8.00	400
2	G16R	12.00	600
2	G18I	8.00	480
2	G18R	8.00	480
2	G22I	12.50	1125
2	G22R	11.49	1034
2	G22yI	2.00	100

UN	Servicio	Frecuencia	Capacidad
3	301c2R	9.49	759
3	301cI	10.00	900
3	301cR	24.49	2204
3	301eI	7.00	560
3	301eR	9.00	720
3	301I	24.00	2160
3	301R	25.00	2250
3	302eI	4.00	240
3	302eR	5.00	300
3	302I	7.00	630
3	302R	10.00	900
3	303eI	10.51	841
3	303eR	8.00	640
3	303I	12.99	1169
3	303R	11.01	991
3	307eI	12.00	960
3	307eR	7.50	600
3	307I	17.00	1360
3	308I	17.00	1360
3	308R	10.51	841
3	312eI	5.50	440
3	313eI	6.50	520
3	313eR	7.00	560
3	314eI	6.00	480
3	314eR	2.00	160
3	314I	7.00	560
3	315eI	16.00	1280
3	315eR	9.49	759
3	316eR	2.00	160
3	321I	4.50	225
3	321R	4.50	225
3	322I	5.00	250
3	322R	6.00	300
3	323I	5.00	250
3	323R	5.00	250
3	325I	6.00	300
3	325R	6.00	300
3	329I	5.00	250
3	329R	5.00	250
3	345I	7.00	630
3	345R	5.00	450
3	348I	6.00	480
3	348R	5.00	400
3	350cI	4.00	200
3	350I	5.00	250
3	350R	5.00	250
3	385I	5.00	450
3	385R	5.00	450
3	D13I	5.00	250
3	D13R	5.00	250
3	E01I	7.00	630
3	E01R	5.00	450
3	E02I	5.50	495
3	E02R	6.50	585
3	E03I	7.50	675
3	E03R	8.00	720
3	E04I	7.50	675
3	E04R	5.00	450
3	E05I	5.00	450
3	E05R	5.00	450
3	E06I	5.00	450
3	E06R	5.00	450
3	E07I	5.00	450
3	E07R	5.00	450
3	E08I	5.00	450
3	E08R	5.00	450
3	E09I	8.00	720
3	E09R	6.50	585
3	E10I	5.50	275
3	E10R	5.50	275
3	E11I	12.00	1080
3	E11R	11.01	991
3	E12I	7.00	630
3	E13I	6.00	540
3	E13R	6.00	540
3	E14I	6.00	540
3	E14R	5.00	450
3	E15cI	8.00	720
3	E15cR	6.00	540
3	E16I	5.00	450
3	E16R	5.00	450
3	E17I	5.50	495
3	E17R	6.00	540
3	E18I	5.50	495
3	E18R	5.00	450
3	H02I	5.00	250
3	H02R	5.00	250
3	H03I	6.00	360
3	H03R	6.00	360
3	H04I	5.00	450
3	H04R	5.00	450
3	H05cI	5.00	250
3	H05cR	5.00	250
3	H05I	5.00	250
3	H05R	5.00	250
3	H06I	5.00	300
3	H06R	5.00	300
3	H07I	5.00	450
3	H07R	5.50	495
3	H08I	5.00	250
3	H08R	5.00	450
3	H09I	5.00	450
3	H09R	5.00	450
3	H12I	4.00	280
3	H12R	4.00	280
3	H13I	5.50	495
3	H13R	5.00	450
3	H14I	4.00	200
3	H14R	4.00	200
3	I01I	7.00	560
3	I01R	6.00	480
3	I02I	6.00	480
3	I02R	5.00	400
3	I03cI	5.00	250
3	I03I	10.00	900
3	I03R	6.00	540
3	I04cI	8.00	640
3	I04cR	5.50	440
3	I04eI	6.00	480
3	I04I	8.00	640
3	I04R	6.00	480
3	I05I	5.00	400
3	I05R	5.00	400
3	I07I	5.50	440
3	I07R	5.00	400
3	I08cI	7.00	560
3	I08I	17.00	1530
3	I08R	12.00	1080
3	I09eI	8.50	680
3	I09eR	4.50	360
3	I09I	16.00	1280
3	I09R	12.00	960
3	I10I	10.00	900
3	I10R	7.50	675
3	I11I	7.00	630
3	I11R	7.00	630
3	I12I	5.50	495
3	I12R	5.00	450
3	I13I	5.50	440
3	I13R	5.00	250
3	I14I	7.50	675
3	I14R	6.00	540
3	I16I	6.00	300
3	I16R	6.00	480
3	I17I	6.00	360
3	I17R	6.00	360
3	I18I	5.00	400
3	I18R	5.00	400
3	I20I	5.00	450
3	I20R	5.00	450
3	I21I	5.00	250
3	I21R	5.00	250
3	I22I	6.00	480
3	I22R	6.00	480
3	I24I	5.00	400
3	I24R	5.00	250

UN	Servicio	Frecuencia	Capacidad
4	401I	7.50	1050
4	401R	5.00	700
4	402I	7.50	900
4	402R	6.00	720
4	403I	8.50	1190
4	403R	12.00	1680
4	404cI	12.00	960
4	404cR	5.50	440
4	404I	6.50	845
4	404R	5.00	700
4	405cI	16.00	1280
4	405cR	9.49	759
4	405cyI	2.00	180
4	405I	6.50	910
4	405R	6.00	840
4	406cI	9.49	1234
4	406cR	7.50	825
4	406I	14.49	1739
4	406R	12.50	1375
4	407I	11.01	1101
4	407R	7.00	910
4	409I	12.50	1375
4	409R	5.50	550
4	411I	8.50	850
4	411R	7.50	675
4	412I	8.50	1020
4	412R	8.00	960
4	413cI	10.00	1100
4	413vI	10.00	800
4	414eI	6.50	585
4	415eI	8.50	680
4	417eI	11.49	575
4	418I	8.50	680
4	418R	6.50	715
4	419I	6.50	585
4	419R	3.00	330
4	420eI	5.50	440
4	420eR	8.50	680
4	421I	9.00	1259
4	421R	5.00	700
4	421yI	1.50	120
4	422I	9.49	854
4	422R	7.00	840
4	423I	5.50	495
4	423R	5.00	450
4	425I	14.49	1304
4	425R	13.51	1216
4	426I	9.49	854
4	426R	5.00	600
4	427I	7.00	910
4	427R	6.00	720
4	428cI	7.50	600

UN	Servicio	Frecuencia	Capacidad
4	428cR	6.50	520
4	428eI	9.00	720
4	428eR	8.50	680
4	428I	13.51	1081
4	428R	15.00	1200
4	429cI	5.50	440
4	429cR	3.00	240
4	429I	7.00	630
4	429R	6.50	585
4	430I	12.50	1750
4	430R	10.51	1471
4	430yI	1.50	180
4	431cI	11.01	1211
4	431cR	6.00	600
4	431vI	5.00	400
4	435I	8.50	765
4	435R	7.00	560
4	D01I	5.50	275
4	D01R	5.00	250
4	D02I	5.50	385
4	D02R	5.00	400
4	D03I	10.00	800
4	D03R	9.00	810
4	D05I	7.50	600
4	D05R	9.00	720
4	D07cI	5.50	275
4	D07cR	5.00	250
4	D07I	5.50	385
4	D07R	5.00	350
4	D08cI	6.00	420
4	D08cR	5.50	385
4	D08I	5.50	440
4	D08R	5.00	400
4	D09I	8.50	680
4	D09R	7.50	600
4	D10I	5.50	385
4	D10R	6.00	420
4	D11I	6.50	325
4	D11R	5.00	250
4	D12I	5.50	440
4	D12R	5.00	400
4	D14I	5.50	275
4	D14R	6.00	300
4	D15I	5.50	275
4	D15R	5.00	300
4	D16I	5.50	275
4	D16R	5.00	250
4	D17I	8.00	400
4	D17R	9.00	450
4	D18I	7.50	600
4	D18R	6.50	585

UN	Servicio	Frecuencia	Capacidad
5	501I	11.49	1034
5	501R	13.51	1216
5	502cI	6.00	480
5	502I	15.00	1800
5	502R	8.00	720
5	503I	16.00	1760
5	503R	12.00	1080
5	504I	11.01	1431
5	504R	7.50	750
5	505I	15.50	1705
5	505R	14.49	1594
5	506eI	5.50	495
5	506eR	5.50	440
5	506I	13.99	1678
5	506R	8.50	1105
5	506vI	8.00	640
5	506vR	7.00	560
5	507cI	8.50	680
5	507cR	10.00	800
5	507I	10.00	1000
5	507R	9.00	810
5	508I	13.51	1351
5	508R	13.99	1399
5	509I	7.00	560
5	509R	5.00	400
5	510I	6.00	480
5	510R	5.00	400
5	511I	5.00	450
5	511R	5.00	450
5	513I	8.00	960
5	513R	8.00	960
5	513vI	2.00	100
5	514cR	4.00	320
5	514I	8.50	765
5	514R	9.00	810
5	516I	12.99	1169
5	516R	12.99	1169
5	517I	6.00	540
5	517R	6.00	540
5	518I	11.01	991
5	518R	9.00	810
5	519eI	4.00	320
5	519eR	6.50	520

UN	Servicio	Frecuencia	Capacidad
5	543I	6.00	480
5	543R	4.50	360
5	546eI	6.00	480
5	J01cR	5.00	400
5	J01I	11.01	991
5	J01R	9.00	810
5	J02I	5.00	400
5	J03I	7.00	630
5	J04I	8.00	720
5	J04R	11.49	1034
5	J05I	6.00	480
5	J06I	1.50	75
5	J06R	1.50	75
5	J07cI	8.00	640
5	J07eI	3.50	315
5	J07I	3.50	315
5	J08I	6.00	540
5	J08R	5.00	450
5	J10I	5.00	250
5	J10R	5.00	250
5	J11I	3.50	175
5	J11R	3.50	175
5	J12I	9.00	810
5	J12R	9.00	810
5	J13cI	4.00	360
5	J13cR	7.50	675
5	J13I	4.50	405
5	J13R	6.00	540
5	J14cI	5.00	250
5	J14cR	5.00	250
5	J15cI	8.50	765
5	J15cR	5.50	495
5	J16I	4.50	405
5	J17I	2.00	100
5	J17R	2.00	100
5	J18cI	6.00	480
5	J18cyI	3.00	240
5	J18I	8.50	765
5	J18R	6.50	585
5	J19I	7.00	630
5	J19R	6.00	540
5	J20I	6.00	540

UN	Servicio	Frecuencia	Capacidad
6	B01I	6.00	540
6	B01R	6.00	540
6	B02I	6.00	540
6	B02R	5.00	450
6	B03I	10.00	900
6	B03R	10.00	900
6	B04I	7.00	420
6	B04R	7.00	420
6	B04vI	4.50	225
6	B04vR	4.50	225
6	B05I	6.00	540
6	B05R	6.00	540
6	B06I	5.50	495
6	B06R	6.00	540
6	B07I	5.00	350
6	B07R	5.00	350
6	B07yI	1.00	50
6	B08I	5.00	250
6	B08R	5.00	250
6	B09I	5.00	450
6	B09R	5.00	450
6	B10I	5.00	400
6	B10R	5.00	400
6	B11I	4.50	360
6	B11R	5.00	400
6	B12I	9.00	810
6	B12R	9.00	810
6	B13I	4.50	405
6	B13R	5.00	450
6	B14I	7.50	600
6	B14R	5.50	440
6	B15I	5.00	250
6	B15R	5.00	250
6	B16I	8.50	765
6	B16R	9.00	810
6	B17I	5.00	300
6	B17R	5.00	350
6	B18eI	8.00	720
6	B18eR	8.00	720
6	B18I	5.00	450
6	B18R	4.50	405
6	B19I	5.00	400
6	B19R	5.00	400
6	B20I	7.00	630
6	B20R	7.00	630
6	B21I	5.00	450
6	B21R	5.00	450
6	B22I	8.50	425
6	B22R	8.50	425
6	B23I	4.00	200
6	B23R	4.00	200
6	B24I	5.00	400
6	B24R	4.50	360
6	B25I	4.50	225
6	B25R	4.50	225
6	B26I	6.00	300

UN	Servicio	Frecuencia	Capacidad
6	B26R	6.00	300
6	B27I	7.00	350
6	B27R	7.00	350
6	B28I	5.00	300
6	B29I	5.00	250
6	B29R	4.50	225
6	C01cI	14.49	1014
6	C01cR	14.49	1014
6	C01I	12.99	1039
6	C01R	12.99	1039
6	C02cI	10.00	900
6	C02cR	13.99	1259
6	C02I	6.00	540
6	C02R	7.50	675
6	C03cI	5.00	400
6	C03cR	5.00	400
6	C03I	4.50	225
6	C03R	5.00	300
6	C04I	4.00	200
6	C04R	4.00	200
6	C05I	8.00	480
6	C05R	8.00	400
6	C06I	7.50	375
6	C06R	7.50	375
6	C07I	10.00	600
6	C07R	10.51	630
6	C08I	4.00	200
6	C08R	4.00	200
6	C09I	9.00	540
6	C09R	9.00	540
6	C10eI	11.49	1034
6	C10eR	8.00	640
6	C11I	7.50	525
6	C11R	7.50	450
6	C12I	4.00	200
6	C12R	4.00	200
6	C13I	2.50	125
6	C13R	2.50	125
6	C14I	12.00	1080
6	C14R	11.01	991
6	C15I	8.50	595
6	C15R	8.50	595
6	C16I	10.00	500
6	C16R	10.00	500
6	C17I	2.00	100
6	C17R	2.00	100
6	C18I	8.50	425
6	C18R	8.00	400
6	C19I	4.00	200
6	C19R	4.00	200
6	C20I	8.50	765
6	C22I	7.00	420
6	C22R	7.00	350
6	C23I	1.50	75
6	C23R	1.50	75

UN	Servicio	Frecuencia	Capacidad
7	712I	6.00	480
7	712R	5.00	400
7	F01cI	7.50	450
7	F01cR	6.00	360
7	F01I	6.00	480
7	F01R	5.00	350
7	F02I	7.00	420
7	F02R	7.00	420
7	F03cI	5.50	275
7	F03cR	5.00	250
7	F03I	6.50	520
7	F03R	6.50	520
7	F05I	8.00	640
7	F05R	11.01	881
7	F06I	7.00	560
7	F06R	10.00	800
7	F07I	6.00	300
7	F07R	6.00	300
7	F08I	5.50	385
7	F08R	6.00	480
7	F09I	12.99	1039
7	F09R	8.00	640
7	F10I	14.49	1304
7	F10R	10.00	900
7	F11I	6.00	360
7	F11R	6.00	360
7	F12cI	9.49	570
7	F12cR	4.00	240
7	F12I	7.00	560
7	F12R	4.00	280
7	F13cI	9.00	630
7	F13cR	2.00	160
7	F13I	13.51	1216
7	F13R	12.99	1169
7	F14I	9.49	570
7	F14R	9.00	540
7	F15I	9.00	720
7	F15R	5.00	400
7	F16I	7.50	375
7	F16R	7.50	375
7	F18I	12.99	1039
7	F18R	6.00	480
7	F19I	9.00	720
7	F19R	8.00	640
7	F20I	7.00	560
7	F20R	7.50	600
7	F23I	8.00	560
7	F23R	8.00	640
7	F24I	6.00	300
7	F24R	6.00	300
7	F25eI	6.00	480
7	F25eR	6.00	480
7	F25I	6.00	540
7	F25R	5.00	450
7	F26I	6.00	360
7	F26R	6.00	360
7	F27I	6.00	300
7	F27R	5.00	250
7	F29I	6.50	390
7	F29R	6.50	325
7	F53eI	6.50	520
7	F53eR	8.00	640

Servicio	Frecuencia	Capacidad
M12I	16.67	4833
M12R	16.67	4833
M1I	16.67	4833
M1R	16.67	4833
M21RI	9.38	2531
M21RR	9.38	2531
M2VI	9.38	2531
M2VR	9.38	2531
M4AI	13.64	3000
M4AR	13.64	3000
M4RI	11.32	2604
M4RR	11.32	2604
M4VI	11.32	2604
M4VR	11.32	2604
M5RI	11.11	3111
M5RR	11.11	3111
M5VI	11.11	3111
M5VR	11.11	3111
t11I	10.00	1700
t12R	10.00	1700
t21I	4.00	720
t22R	4.00	720

Fuente: Elaboración Propia

7.9 FUNCIÓN OBJETIVO Y PARAMETROS DE ASIGNACION

La función objetivo de costo generalizado del modelo se puede expresar de la siguiente manera:

$$F.O = \sum_{etapa\ i=1}^{n} \frac{tarifa_i^{modo}}{VST} + a_{viaje} * t_{viaje}^{i} + \alpha_{espera} * t_{espera}^{i} + \alpha_{caminata} * t_{caminata}^{i} + a_{penal.trasb,i}^{modo}$$

Donde $a_{penal.trasb,i}^{modo}$ es la penalidad por transbordo que depende del modo y la etapa en que se encuentre el viaje. Dicho valor es nulo la primera etapa del viaje y aditiva al tiempo cada vez que se realiza una siguiente etapa.

Por su parte, el tiempo de espera será una BPR la forma funcional del tiempo de espera utilizada es la que sigue:

$$BPR\ t.espera_{modo} = \alpha_{modo} * \left(\frac{subidas + flujo\ en\ el\ arco}{cap}\right)^{\beta_{modo}} + 1$$

Donde:

$$cap = 60.0 * 2 * \frac{tot_cap}{head}$$

$$tot_cap = capacidad\ total\ del\ vehículo$$

$$head = headway$$

Luego:

$$headway_percibido = Min\{999.0, Max\{1.0\ , BPR\ t.espera_{modo}\ \} * intervalo_segmento\}$$

Así, los parámetros finales del modelo a utilizar serán materia del proceso de calibración. En esta etapa fueron utilizados los parámetros del modelo desarrollado para el año 2011 y son ajustados en la medida que se requiera replicar de mejor manera las etapas subyacentes de la matriz a asignar. Así, los parámetros de asignación con que se inició la asignación de modelo fueron los siguientes:

Tabla 7-10: Parámetros de asignación

Definición de Parámetros	Valor
Valor del Tiempo ($/min)	0.08*
Peso del Tiempo de Espera	2
Peso del Tiempo de Caminata	2
Peso del Tiempo de viaje	1
α (BPR función de hacinamiento us1)	2
β (BPR función de hacinamiento us1)	4
α (Intervalo de Espera – Modo Bus)	5
β (Intervalo de Espera – Modo Bus)	1,5
α (Intervalo de Espera – Modo Metro)	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metro)	2
α (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	2
Penalidad por Transbordo Metro	2
Penalidad por Transbordo Metrotren	2
Penalidad por Transbordo Bus	5

Fuente: Modelo EMME ® DTPM 2011. *Actualizado a pesos 2016

Por último, no son pocos los estudios dedicados a entender y modelar el tiempo de espera en paraderos, junto con la forma en que llegan los usuarios a la parada y el mecanismo de servicio. De dichos estudios generalmente se concluye, para situaciones de tráfico mixto, que (i) las llegadas de usuarios a los distintos paraderos pueden ser modeladas razonablemente como un proceso de Poisson, esto es, los tiempos entre las llegadas de los usuarios siguen leyes exponenciales (proceso de arribo de Markov); y (ii) la obtención de distribuciones exponenciales o normales para los intervalos de arribo de los buses cuando la parada se aleja del punto de inicio del servicio.

Luego, es posible demostrar que bajo dichas condiciones el valor esperado del tiempo de espera a un servicio es equivalente a *1/f*, cifra que ya es superior a *1/2f*. En consecuencia, independiente de la forma funcional que busque representar el fenómeno de la congestión en los tiempos de espera, dicho valor debería ser superior a *1/2f*.

Finalmente, respecto a la forma funcional para representar el deterioro de los tiempos de espera, Beltrán (2012)[1] provee no solo un marco teórico riguroso, sino que además prueba una serie de formas funcionales demostrando que funciones no lineales logran un mejor nivel de representación. De este modo, la utilización de BRP para los tiempos de espera tiene una justificación técnica, y los parámetros alpha y beta son materia de calibración y ad-hoc al sistema que se esté representando.

7.10 TARIFICACION

La estructura tarifaria del sistema corresponde a la tarificación integrada entre bus, metro y metrotren, donde los usuarios realizan un pago inicial al ingresar al primer servicio del sistema y si la estrategia requiere de más de una etapa de viaje, se debe pagar una tarifa de transbordo dependiendo del modo que se utilice.

Para el período de Punta Mañana se tiene la siguiente estructura tarifaria para el sistema actual.

Tabla 7-11: Estructura Tarifaria Mayo 2017

Número de etapa	Modo	Modo Etapa Anterior	Tarifa
1	Bus	-	640
1	Metro	-	740
1	Metrotren	-	740
2 o 3	Bus	Bus	0
2 o 3	Bus	Metro	0
2 o 3	Bus	Metrotren	0
2 o 3	Metro	Bus	100
2 o más	Metro	Metro	0
2 o 3	Metro	Metrotren	0
2 o 3	Metrotren	Bus	100
2 o 3	Metrotren	Metro	0

[1] Congestión y Equilibrio en Redes de Transporte Público. Tesis para optar al Grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería Mención Transporte

Número de etapa	Modo	Modo Etapa Anterior	Tarifa
2 o más	Metrotren	Metrotren	0

Fuente: Elaboración Propia

Para poder representar la tarifa del modelo actual de STPS, EMME ® dispone del módulo **Journey Level Tool** que permite definir un sistema tarifario integrado basado en la estrategia que realice un usuario, disponible en la herramienta de asignación de tránsito.

Esta herramienta define niveles de viaje, donde se especificaron las siguientes condiciones.

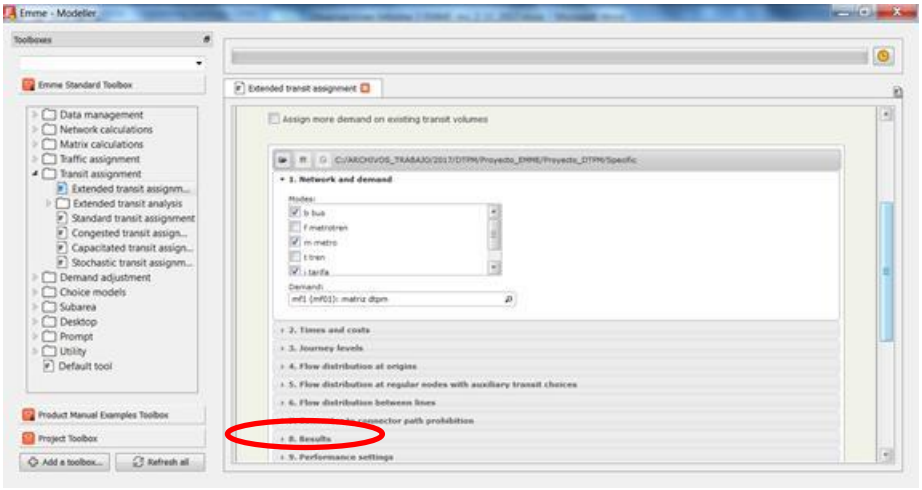
- Reglas de transición: Determina a que nivel de viaje los viajeros estarán después de abordar un modo de transporte dado. Por ende, se van agregando todas las posibles formas de transbordos existentes en la red por modo.
- Tiempo y costo:
    - Tiempo de espera: Parámetros para los viajeros que abordan un nivel. (Headway, factor de percepción y factor de propagación)
    - Tiempo de abordaje y costo: Son parámetros para los viajeros que abordan un nivel (global o nodo, línea y /o penalidad de segmento y factor de percepción).

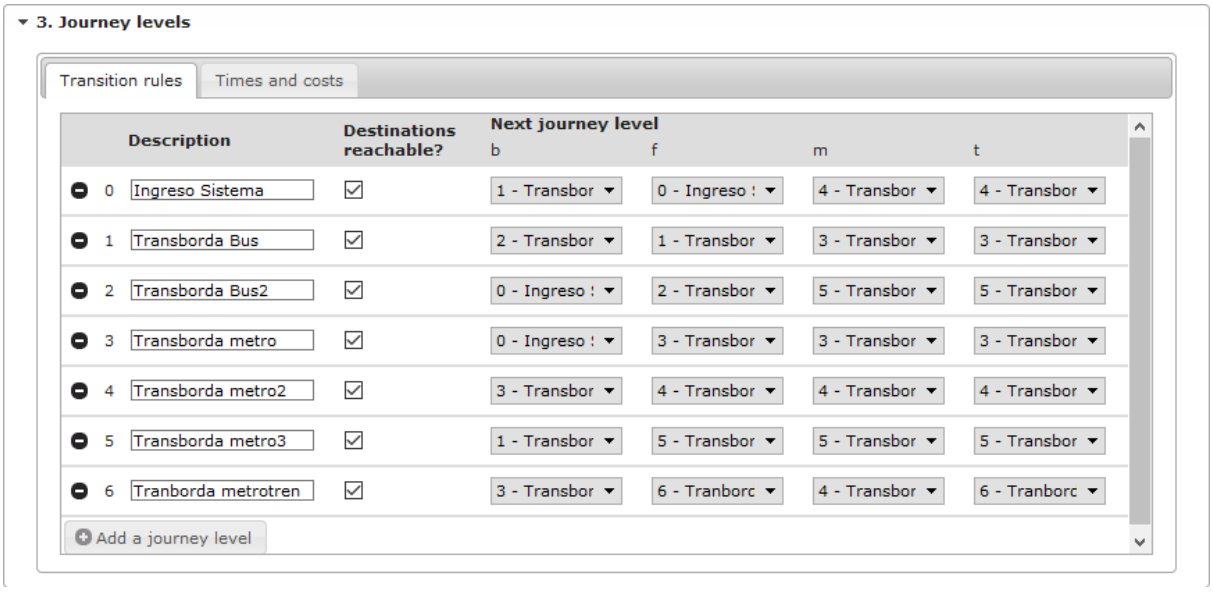
Es decir, en el modelo de asignación la tarifa o estructura tarifaria, que es parte de la función de costo o des-utilidad, es definida directamente en el método de asignación, definiendo los "niveles de viajes" (que pueden realizar los usuarios que ingresan al sistema). En cada uno de estos niveles de viaje se define la tarifa que paga el usuario según el modo que aborde y el nivel en el que se encuentre. Este módulo específico en la herramienta permite también definir tiempos de espera y abordaje.

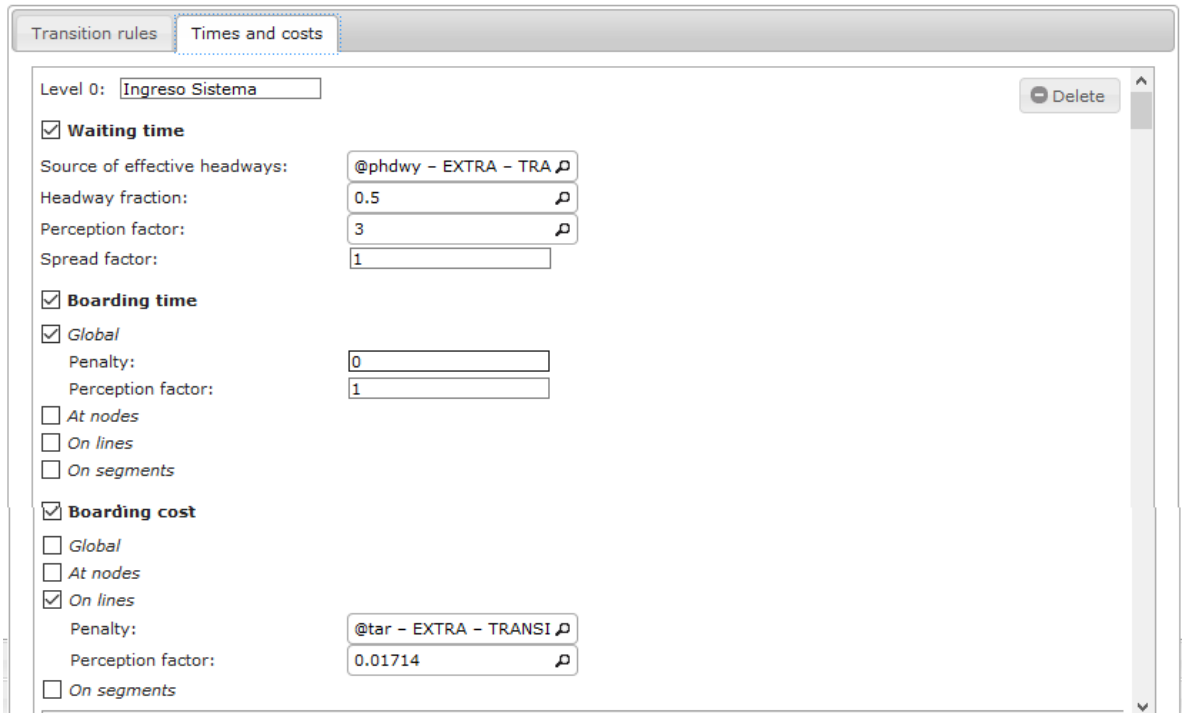
Cabe destacar que no se considera una tarifa de estudiante, pues para ello se debiese incorporar un enfoque multiusuario de obtención de matrices y asignación, cuestión que no está dentro del alcance original del presente estudio.

La definición del sistema tarifario del sistema modelado queda de la siguiente forma:

Figura 7-13: Captura de pantalla módulo journey level







Fuente: Corrida Proyecto DTPM

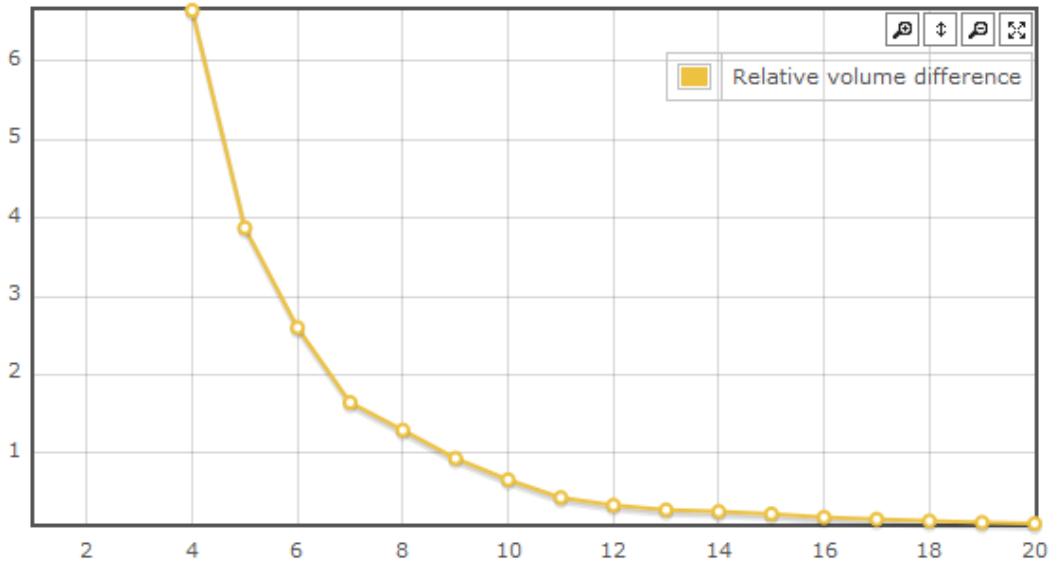
La última configuración presentada se define para cada nivel de viaje en el que se determina la tarifa que debe pagar el usuario de acuerdo al modo y número de etapa que realiza.

7.11 RESULTADOS

A partir de la construcción antes detallada, se procedió a generar un Proyecto en EMME ® incorporando todos los elementos antes descritos en un escenario de modelación. Dicho escenario será considerado como el **Escenario Base** y puede ser revisado en detalle en los Anexos del capítulo. Los resultados globales del Escenario se presentan a continuación:

- ✓ Matriz de viajes: 460.150
- ✓ Matriz de viajes asignada: 458.607
- ✓ Viajes intrazonales: 1.543
- ✓ Viajes sólo a pie: 49.824

Figura 7-14: Gráfico de convergencia



Fuente: Corrida Proyecto DTPM

Tabla 7-12: Etapas Escenario Base por UN

UN	Datos Observados	Etapas Escenario Base	Variación Porcentual
U1	46.416	65.284	40,6%
U2	70.136	114.163	62,8%
U3	73.731	90.595	22,9%
U4	65.762	100.197	52,4%
U5	70.585	93.333	32,2%
U6	39.729	45.262	13,9%
U7	27.498	34.621	25,9%
Sin UN	4.624	0	-100,0%
Metro	275.993	279.124	1,1%
Metrotren	4.898	6.536	33,4%
Total Etapas	679.372	829.116	22,0%
Viajes a pie		49.824	
Viajes Asignados TP	460.150	410.326	-10,8%
Etapas Viaje	1,48	2,03	36,9%

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Las etapas por viaje del escenario de modelación se construyen a partir de la división de las etapas de viaje, sin considerar los transbordos metro-metro, por el total de viajes asignados al sistema de transporte, es decir, sin considerar los viajes a pie ni los viajes intrazonales.

Se observa un alto valor del indicador de etapas por viaje del escenario, así como también una generalizada sobreestimación tanto en las etapas por viaje, como en las asociadas a cada Unidad de Negocio incluido Metro. También se observa un importante número de viajes

que prefiere irse a pie en vez de tomar el sistema, en contraposición con lo que ocurre en la realidad, toda vez que la matriz fue construida sobre viajes observados de transporte público.

Al comparar el flujo de buses modelado respecto a un conjunto de aforos medidos para tal efecto se observa que el nivel de ajuste que presenta la matriz sin calibrar es 81,5%. Por su parte, si se compara la afluencia de metro (sin considerar los transbordos metro-metro) medida versus modelada el ajuste es de 82%.

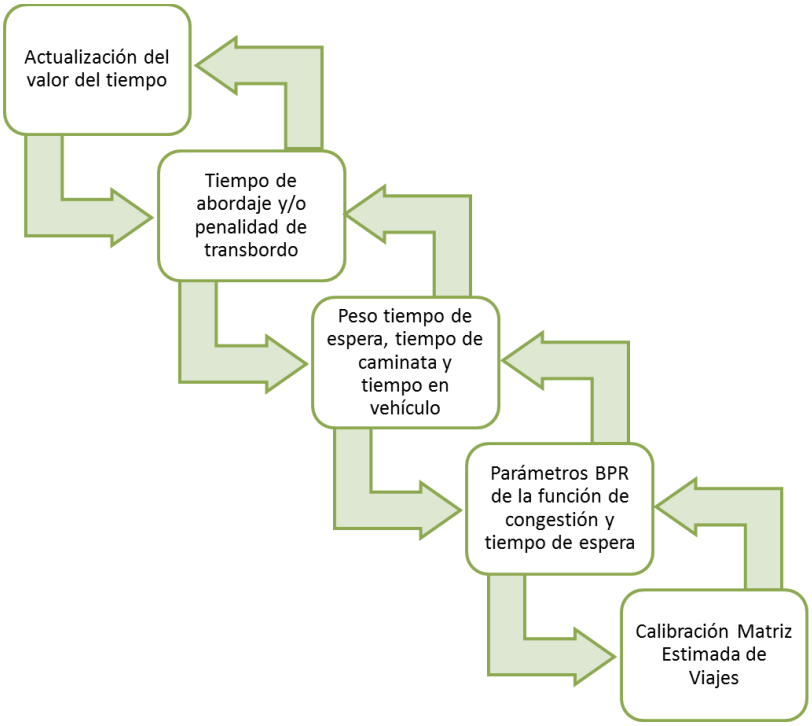
Todo lo anterior, confirma la necesidad de ajustar los parámetros de asignación, previo al proceso de calibración de la matriz, cuestión que se reporta en detalle en el siguiente capítulo.

8 CALIBRACION MODELO DE ASIGNACIÓN PUNTA MAÑANA

8.1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo a lo expuesto en la propuesta metodológica correspondiente al proceso de calibración del modelo, este proceso corresponde al de ajuste de uno o más elementos que componen la red de modelación tales como matriz de demanda, velocidades, valor del tiempo, parámetros de funciones BPR; con el fin de representar de la mejor forma posible el comportamiento de los usuarios de sistema de transporte público de Santiago. La siguiente figura muestra cómo se abordó el proceso de calibración del Modelo de asignación. Dicho proceso se plantea por etapas y es iterativo.

Figura 8-1: Flujo Calibración del Modelo



Fuente: Elaboración propia

Las etapas del proceso se describen a continuación:

a. Actualización del Valor del Tiempo

Corresponde una actualización del valor del tiempo que refleje la disposición a pagar por el uso del transporte público de los usuarios, esto dado que el modelo permite que el viaje se realice completamente a pie. Se revisaron distintos parámetros y se escogió aquel que disminuye los viajes solo caminata sin aumentar las etapas por modo.

b. Tiempo de abordaje y/o Penalidad de transbordo

Como segundo paso, se analizó la sensibilidad de la asignación con restricción de capacidad de la Penalidad de Transbordo. El modelo 2011 tiene definido 3 valores de Penalidad de Transbordo.

Tabla 8-1: Valor Penalidades

Modo	Valor (min)
Bus-Bus	5
Metro-Bus (Viceversa)	2
Metro-Metro	1.9

Fuente: Elaboración Propia

La Penalidad de Transbordo, representa un costo adicional que deben asumir los usuarios del sistema de transporte, al decidir utilizar más de un servicio del sistema para llegar a su destino final. Este valor, tiene un efecto directo sobre la cantidad de etapas de viaje, que se registra en el sistema de transporte público, en los resultados de la asignación.

Se evalúan una serie de Penalidades de Transbordo, en torno a los valores antes mencionados de tal manera de comparar los resultados de la asignación con restricción de capacidad en cada escenario. La definición de qué conjunto de penalidades son las que se utilizan en el modelo calibrado, depende del nivel de ajuste de los resultados a nivel de cantidad de etapas por modo.

Para este análisis, la información observada utilizada para la validación de las Penalidades de transbordo es:

- **Etapas totales del Sistema y por modo**, consistente con la matriz a priori estimada, reportada en el capítulo 6 estimación de la matriz.
- **Cantidad de etapas promedio por Viaje**, obtenida como la división entre las etapas y los viajes de la matriz a priori estimada en el capítulo 6.

c. Peso tiempo de espera, tiempo de caminata y tiempo en vehículo

Actualmente el modelo 2011 tiene definidos los siguientes valores:

Tabla 8-2: Valor pesos tiempos por tipo

Parámetro	Valor
Peso del Tiempo de Espera	2
Peso del Tiempo de Caminata	2
Peso del Tiempo en Vehículo	1

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar los valores de los pesos de tiempo de espera, caminata y en vehículo, se realizó un análisis de sensibilidad de una serie de valores de estos parámetros. Los resultados obtenidos son validados a nivel de etapas por modo, etapas por Unidad de Negocio y por el indicador de etapas por viaje.

d. Parámetros BPR de la Función de Congestión y de Tiempo de Espera

Los parámetros de las BPR de las funciones de congestión de espera son requeridas en la asignación con restricción de capacidad, los cuales permiten representar el impacto en los costos del usuario del nivel de hacinamiento de los buses y/o metro, y las posibles consecuencias que esto tenga en los tiempos de espera, al no poder subir en un bus y/o metro con algún nivel de hacinamiento.

Las funciones BPR definidas para el actual modelo de asignación de demanda del STPS, corresponden a tres (3):

- Función de Congestión en la red
- Función de Tiempo de Espera de Bus
- Función de Tiempo de Espera de Metro

La calibración de los parámetros de estas funciones, depende de los resultados obtenidos en el modelo de asignación con los anteriores parámetros calibrados. En consecuencia, si los resultados obtenidos logran replicar de manera satisfactoria la información observada del sistema, la calibración de los parámetros de las funciones BPR de la asignación no es necesaria.

e. Ajuste Matriz Estimada de Viajes por conteo

Este ajuste por conteo tiene por objetivo corregir posibles debilidades metodológicas en la estimación de destino de **la matriz de viajes a priori**.

El modelo de ajuste de demanda implementado en la herramienta EMME ® (Transit Demand Adjustment) es un modelo de mínimos cuadrados que se resuelve con el método de gradiente, y puede ser utilizado en redes de gran escala. Se plantea como un problema de optimización donde la función objetivo es minimizar la distancia entre los volúmenes de carga observados en terreno con los asignados por el modelo, así como también la diferencia entre la estructura de la matriz ajustada y la matriz a priori.

Un ajuste perfecto con los volúmenes de carga observados en terreno no es necesariamente el objetivo principal, dado que se podría distorsionar innecesariamente la estructura de la matriz a priori. El modelador debe utilizar su juicio experto para determinar el balance adecuado entre el ajuste de la matriz y el ajuste de los conteos (volúmenes) para obtener una matriz representativa del periodo modelo.

Más específicamente, el objetivo es obtener una matriz ajustada ***g*** que minimice la suma de las diferencias al cuadrado entre el flujo asignado (***v[g]***) y los conteos (***v***), ponderados por una constante que puede ser un valor entre 0 y 1; y la suma de los cuadrados de la diferencia entre la nueva matriz ***g*** y la matriz a priori ***g'***. La fórmula matemática para este tipo de ajuste es la siguiente:

$$Min(Z,g) = \propto \sum_{a \in A} \left(v_a(g) - v_a^{'}\right)^2 + (1 - \propto) \sum_{i \in I} (g_i - g_i^{'})^2$$

El método de solución para esta clase de ajuste de matrices está basado en el método de gradiente de la función objetivo. El resultado del algoritmo está basado en el uso de un gradiente en un algoritmo de "paso" descendiente. La propiedad de "paso" descendiente del algoritmo, así como la inclusión del término de la demanda en la función objetivo, asegura que la matriz no cambie más de lo necesario.

El algoritmo de gradiente para el ajuste de matrices aplica un método iterativo que se describe a continuación:

a) Realiza una asignación de tránsito para obtener los flujos en los segmentos
b) Computa las diferencias entre los volúmenes observados y los asignados, realiza una regresión lineal y calcula el valor de la función objetivo.
c) Computa la matriz de gradiente. Esto se logra corriendo otra asignación, en la que se considera el análisis de estrategias de ruta. Este análisis consiste en los valores de la matriz OD que son calculados utilizando las diferencias entre los segmentos.
d) Asigna la matriz de gradiente para obtener cambio en los flujos.
e) Computa el máximo gradiente y el tamaño del "paso" óptimo.
f) Actualiza la matriz de demanda utilizando el tamaño del "paso" óptimo y el máximo gradiente.
g) Repite el paso b) si la especificación de los criterios de parada no están cumplidos.

Los parámetros de ajuste son:

- Alpha: corresponde al peso de los flujos incluido en la función objetivo, mientras menor sea el valor de alpha, mayor importancia tendrá la estructura de la demanda (matriz a priori). El parámetro puede variar entre 0.000001 y 1.
- Iteraciones: es el número de iteraciones a realizar.

Para cada iteración la herramienta de calibración reporta:

- El máximo gradiente
- El step de tamaño óptimo
- La expresión para calcular la demanda ajustada utilizando el máximo gradiente y el step de tamaño óptimo
- El r2 y el RMSE (Root Mean Squared Error) para la estructura de la demanda y los flujos
- El valor de la función objetivo para el término de flujo. El término de la demanda y valor total de la función objetivo están incluidos en el reporte cuando el valor de α utilizado para el ajuste de demanda es menor a 1.

Cómo es de esperar, un mayor valor de α implica conteos más robustos, por lo tanto, el ajuste de la matriz inicial es más flexible. Para efectos de esta calibración, se propone utilizar valores de α bajos, debido a las situaciones que se describen a continuación:

- El proceso de calibración en este estudio está enfocado al ajuste de la matriz en algunos destinos pues la metodología utilizada para la estimación de viajes es robusta y no se pretende modificar estructuralmente el resultado.

- El proceso iterativo de ajuste, para llegar a la matriz que genere las menores diferencias entre la matriz original y las ajustada y los conteos con los flujos asignados, utiliza una asignación "*Extended*", es decir, sin restricción de capacidad, por lo que los flujos de la asignación de este tipo no necesariamente se debe ajustar a los conteos observados. **Sin embargo, el consultor dispone de una versión de prueba del módulo que permite el ajuste de matrices de viaje con restricción de capacidad, entregada por INRO durante el desarrollo del presente estudio, cuyos resultados fueron validados respecto a los obtenidos con ajuste sin restricción de capacidad.**

Los criterios utilizados para determinar el valor alpha a utilizar en el proceso de calibración son:

- ✓ La cantidad de viajes totales de la Matriz Ajustada.
- ✓ La deformación de la Matriz Ajustada respecto a la Original (se considera el r2 de la regresión de las matrices).
- ✓ Tasa de ajuste de los conteos con los flujos asignados con restricción de capacidad a medida que aumenta el alpha.

Para este proceso de ajuste de la matriz de viajes, se requiere de conteos de pasajeros en distintos arcos de la red del sistema de transporte, ubicados estratégicamente. La ubicación de estos puntos fue propuesta por el consultor, y dichos conteos fueron generados por el Mandante y entregada al consultor para estos fines. Adicionalmente, Cityplanning ha incorporado la afluencia por estación de Metro, obtenida a partir del modelo CALDAS, como una medida de validación del ajuste del modelo a la situación real.

8.2 PROCESO DE CALIBRACIÓN

El siguiente acápite presenta los resultados de cada paso del proceso de calibración.

8.2.1 Ajuste por Valor del tiempo

Al analizar la asignación de la matriz con los parámetros del Modelo del 2011, se observa un gran número de viajes que el modelo de asignación define como estrategia exclusivamente el modo caminata, pero de acuerdo a los datos registrados en la matriz a priori todos los viajes debieran resolverse utilizando al menos un servicio del sistema de transporte público modelado. Por lo que queda en evidencia que el valor del tiempo de los usuarios utilizado en el modelo es "bajo".

Por lo tanto, el Valor Subjetivo del Tiempo de los usuarios del sistema es el primer parámetro a modificar. El criterio para definir un nuevo valor para este parámetro, es que debe ser lo suficientemente alto, para que los usuarios no resuelvan su viaje sin utilizar transporte público. Para lo anterior, se evaluaron un set de valores escogiendo aquel que minimiza el total de viajes asignados a solo caminata sin aumentar significativamente el total de etapas bips de la asignación.

Tabla 8-3: Parámetros de asignación escenarios de modelación

Definición de Parámetros	Escenario Base	Escenario 2
Valor del Tiempo (min/$)	0,08*	0,01714
Peso del Tiempo de Espera	2	2
Peso del Tiempo de Caminata	2	2
Peso del Tiempo de Abordaje	1	1
α (BPR función de hacinamiento)	2	2
β (BPR función de hacinamiento)	4	4
α (Intervalo de Espera – Modo Bus)	5	5
β (Intervalo de Espera – Modo Bus)	1,5	1,5
α (Intervalo de Espera – Modo Metro)	1,5	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metro)	2	2
α (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	1,5	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	2	2
Penalidad por Transbordo Metro	2	2
Penalidad por Transbordo Metrotren	2	2
Penalidad por Transbordo Bus	5	5

Fuente: Modelo EMME ® DTPM 2011. *Actualizado a pesos 2016

El valor seleccionado fue de a 0.01714 min/$ equivalente a 58$/min.

A modo de comparación se revisaron otras modelaciones para comparar el valor del tiempo, encontrando una amplia gama de valores, los que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 8-4: Comparativo de Valores Subjetivos del Tiempo diferentes Estudios

Estudio/Modelación	VST ($/min)	Año
DIRTP	3,62	en pesos 2001
Modelo Emme 2011	12,5	en pesos 2011
Informe Final "Análisis del Valor Social del Tiempo de Viaje Urbano Diferenciado por Modo" Ciudad de Antofagasta Modo bus/propósito trabajo/punta mañana	31,37	en pesos 2011
Informe Final "Análisis del Valor Social del Tiempo de Viaje Urbano Diferenciado por Modo" Ciudad de Talca Modo bus/propósito trabajo/punta mañana	13,13	en pesos 2011

Fuente: Elaboración Propia a partir de estudios de la tabla

Se observa disparidad de valores según el modelo. Para los valores más recientemente calculados, se observa además que el valor es diferente para cada ciudad, probablemente debido a la diferencia de tamaño, PIB local y longitud de los viajes, por lo que no son homologables a Santiago. Es más, en rigor, en una modelación el valor subjetivo del tiempo es una variable que debe reflejar o inducir comportamiento general, en particular para el caso del Modelo de Transporte Público de Santiago, debe ser tal que la elección del modo caminata sea mínima, dado que los viajes observados han usado transporte público, pero que no por minimizarla se generen efectos colaterales indeseables en los resultados.

Los resultados de etapas por Unidad de Negocio obtenidos a partir de esta modificación son:

Tabla 8-5: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori

UN	Etapas Matriz a priori	Etapas Escenario Base	Escenario VST 0.01714 (min/$)	Variación Porcentual
U1	46.961	65.284	69.261	6,1%
U2	70.959	114.163	118.501	3,8%
U3	74.587	90.595	97.438	7,6%
U4	66.520	100.197	101.206	1,0%
U5	71.411	93.333	99.329	6,4%
U6	40.190	45.262	49.591	9,6%
U7	27.820	34.621	36.496	5,4%
Metro	275.993	279.124	320.457	14,8%
Metrotren	4.898	6.536	6.914	5,8%
Total Etapas	**679.339**	**829.116**	**899.193**	**8,5%**
Viajes Asignados	**460.150**	**410.326**	**451.832**	**10,1%**
Etapas Viaje	1,48	2,03	2,,00	-1,5%
Viajes Caminata	0	49.824	8.318	-83,3%
R^2 Afluencia Metro		0,827	0,857	3,5%
R^2 Aforos Buses		0,815	0,847	3,9%

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Del set de escenarios modelados, el valor del tiempo seleccionado fue aquel que minimizando los viajes en modo caminata no aumenta significativamente las etapas en Metro.

Los resultados obtenidos responden a lo esperado frente al aumento del valor del tiempo realizado, minimizando los viajes que se resuelven en modo caminata en el modelo. Respecto al nuevo valor utilizado como valor del tiempo, para fines de esta modelación no es necesario calibrarlo, ya que los únicos 2 modos que están compitiendo en el modelo de asignación son caminata y transporte público, y por la naturaleza de la matriz de demanda sabemos que todos los viajes debieran resolverse utilizando el transporte público, por lo que con un valor del tiempo más alto, se logra el objetivo.

Dado que el valor del tiempo solo es utilizado para evaluar la tarifa pagada dentro de la estrategia de viaje, la cantidad de iteraciones necesarias para obtener un resultado de equilibrio es baja, pues la primera elección es subirse al sistema de transporte o caminar.

Ciertamente una mejora significativa del modelo, pensando en futuros estudios, es la segmentación de los usuarios. Puesto que el modelo tiene solo un tipo de usuario, lo que contrasta, por ejemplo; con el nivel de detalle de la red, la desagregación zonal, el detalle con el que se modela las tarifas en él.

Información para considerar distintos usuarios en el STPS existe y bastante detallada si se usa directa o indirectamente aquella que se desprende de los registros de la tarjetas bip!. Además, se puede estimar y/o calibrar valores del tiempo en distintos tipos de usuarios, que

permitan modelar de mejor forma comportamientos locales o de usuarios específicos, como lo son: evasores, estudiantes, usuarios de diferentes niveles socioeconómicos.

8.2.2 Ajuste por Penalidades de Transbordo y Peso Tiempo de Espera

El ajuste de penalidades de transbordo y peso del tiempo de espera busca replicar las etapas por modo y unidad de negocio.

Se observa que el modelo sobreestima el número de etapas en todos los modos y unidades de negocio. Dado lo anterior, como primera medida se aumentó la penalidad del tiempo de transbordo, de tal manera de reducir las etapas de transbordo en el modelo de asignación.

Tabla 8-6: Parámetros de asignación escenarios de modelación

Definición de Parámetros	Escenario Base	Escenario 2	Escenario 3
Valor del Tiempo (min/$)	0,08*	0,01714	0,01714
Peso del Tiempo de Espera	2	2	2
Peso del Tiempo de Caminata	2	2	2
Peso del Tiempo de Abordaje	1	1	1
α (BPR función de hacinamiento)	2	2	2
β (BPR función de hacinamiento)	4	4	4
α (Intervalo de Espera – Modo Bus)	5	5	5
β (Intervalo de Espera – Modo Bus)	1,5	1,5	1,5
α (Intervalo de Espera – Modo Metro)	1,5	1,5	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metro)	2	2	2
α (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	1,5	1,5	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	2	2	2
Penalidad por Transbordo Metro	2	2	8
Penalidad por Transbordo Metrotren	2	2	8
Penalidad por Transbordo Bus	5	5	15

Fuente: Modelo EMME ® DTPM 2011. *Actualizado a pesos 2016

A modo de comparación se revisó literatura que ha estudiado valores para la penalización de transbordos, tal es el caso de Currie, G. (2005) The demand performance of Bus Rapid Transit. Journal of Public Transportation, 8, 41-55, donde se presenta la siguiente tabla comparativa.

Figura 8-2: Comparativo de penalidades por transbordo en minutos equivalentes del tiempo de viaje en vehículo

Source	Location/ Case	Transit Modes					
		Bus-Bus	Bus- LRT	Bus-Suburban Rail	Suburban Rail-Suburban Rail	Suburban Rail-Subway	Subway-Subway
Charles River Associates (1989)[1]	Chicago/Work Trips	18-37					
	Boston/All Trips		15-28				
	Ottawa/All Trips	22-30					
	Edmonton/All Trips		12-25				
	Honolulu/All Trips	6					
	Taipei/All Trips	30					
British Railways (1989)[1]	London/All Urban Trips					10-14	
Ryan (1996)[1]	London					5	4[3]
Standeby (1993)[1]	Oslo	8-10					
Piotrowski (1993)[1]	Perth/Work Trips	8		6			
Prosser et al. (1997)[1]	Sydney/A.M. Peak			11	6		
Algers et al. (1975)[2]	Stockholm	50		23	15		4[3]
Hunt (1990)[2]	Edmonton		18				
Wardman et al. (2001)[2]	Edinburgh	5			8		
Guo and Wilson (2004)	Boston/All Trips						2-32[3]
	Average of values	22	19	13	10	9	8
	Range of values	5 to 50	12 to 28	6 to 23	6 to 15	5 to 14	1 to 32

Fuente: Currie, G (2005)

Los rangos de las penalidades son amplios, así el aumento observado en este proceso de calibración queda en un rango más bien inferior dentro de lo utilizado para buses y metro en modelos de otras ciudades del mundo. Otra consideración y a modo de reflexión, es que dado que este tiempo fijo es sumado al tiempo total de viaje, a medida que las otras componentes aumentan (Por ejemplo, la tarifa) este tiempo se hace menos relevante, por lo que fue necesario ajustarlo.

Los resultados obtenidos a partir de esta modificación son los siguientes:

Tabla 8-7: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori

UN	Etapas Matriz a priori	Esc. Base	Esc. 2	Esc. 3	Var. % Esc.3 vs Esc.2
U1	46.961	65.284	69.261	54.792	-20,9%
U2	70.959	114.163	118.501	90.109	-24,0%
U3	74.587	90.595	97.438	73.834	-24,2%
U4	66.520	100.197	101.206	77.537	-23,4%
U5	71.411	93.333	99.329	77.541	-21,9%
U6	40.190	45.262	49.591	37.845	-23,7%
U7	27.820	34.621	36.496	29.083	-20,3%
Metro	275.993	279.124	320.457	285.463	-10,9%
Metrotren	4.898	6.536	6.914	6.344	-8,2%
Total Etapas	**679.339**	**829.116**	**899.193**	**732.548**	**-18,5%**
Viajes Asignados TP	**460.150**	**410.326**	**451.832**	**451.627**	**0,0%**
Etapas Viaje	1,48	2,03	2,00	1,63	-18,5%
Viajes Caminata	0	49.824	8.318	8.523	2,5%
R^2 Afluencia Metro		0,827	0,857	0,876	2,3%
R^2 Aforos Buses		0,815	0,847	0,846	-0,2%

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Nuevamente, los resultados obtenidos son los esperados: decrecen significativamente las etapas en los distintos modos y unidades de negocio, disminuyendo entonces las etapas por viaje de la asignación de demanda del modelo. Cabe destacar, que en los escenarios modificados el nivel de ajuste de los aforos de buses observados, como la afluencia registrada en las estaciones de metro se ha mantenido en niveles altos, más aún han aumentado su nivel de ajuste. Esto permite concluir que la diferencia en las etapas obtenidas en la asignación respecto a las registradas no se corresponden a la estructura de viajes que posee la matriz estimada, sino más bien a cómo definen las estrategias a utilizar los usuarios del modelo según los parámetros de asignación definidos.

Aun cuando el último escenario asignado presenta una disminución importante en el número de etapas, las diferencias de estas con respecto a las observadas siguen siendo significativas. Es por esto, que se analiza el impacto que tiene sobre la asignación con restricción de capacidad un aumento en el parámetro de percepción del tiempo de espera. Dicha modificación tiene por objetivo disminuir las etapas de transbordos. Con este cambio los parámetros de asignación quedan:

Tabla 8-8: Parámetros de asignación escenarios de modelación

Definición de Parámetros	Escenario Base	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Valor del Tiempo (min/$)	0,08*	0,01714	0,01714	0,01714
Peso del Tiempo de Espera	2	2	2	3
Peso del Tiempo de Caminata	2	2	2	2
Peso del Tiempo de Abordaje	1	1	1	1
a (BPR función de hacinamiento)	2	2	2	2

Definición de Parámetros	Escenario Base	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
β (BPR función de hacinamiento)	4	4	4	4
α (Intervalo de Espera – Modo Bus)	5	5	5	5
β (Intervalo de Espera – Modo Bus)	1,5	1,5	1,5	1,5
α (Intervalo de Espera – Modo Metro)	1,5	1,5	1,5	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metro)	2	2	2	2
α (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	1,5	1,5	1,5	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	2	2	2	2
Penalidad por Transbordo Metro	2	2	8	8
Penalidad por Transbordo Metrotren	2	2	8	8
Penalidad por Transbordo Bus	5	5	15	15

Fuente: Modelo EMME ® DTPM 2011. *Actualizado a pesos 2016

Los resultados obtenidos a partir de esta modificación son los siguientes:

Tabla 8-9: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori

UN	Etapas Matriz a priori	Esc. Base	Esc. 2	Esc. 4	Var. % Esc.4 vs Esc.2
U1	46.961	69.875	69.261	53.441	-22,8%
U2	70.959	116.715	118.501	90.539	-23,6%
U3	74.587	98.189	97.438	69.983	-28,2%
U4	66.520	103.821	101.206	75.626	-25,3%
U5	71.411	99.627	99.329	75.725	-23,8%
U6	40.190	49.815	49.591	34.962	-29,5%
U7	27.820	35.663	36.496	28.034	-23,2%
Metro	275.993	283.173	320.457	278.046	-13,2%
Metrotren	4.898	6.722	6.914	6.135	-11,3%
Total Etapas	**679.339**	**863.600**	**899.193**	**712.492**	-20,8%
Viajes Asignados TP	**460.150**	**412.595**	**451.832**	**450.025**	-0,4%
Etapas Viaje	1,48	2,03	2,00	1,59	-20,4%
Viajes Caminata	0	47.555	8.318	10.125	21,7%
R^2 Afluencia Metro		0,827	0,857	0,877	2,4%
R^2 Aforos Buses		0,815	0,847	0,844	-0,4%

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

8.2.3 Funciones BPR para tiempos de viaje y de espera

En este acápite se analiza la sensibilidad de los parámetros utilizados en las BPR's de la asignación con restricción de capacidad. Cómo se ha descrito anteriormente, la asignación con restricción de capacidad considera 2 tipos de BPRr's:

- Función de congestión del segmento: representa el *discomfort* del usuario respecto del hacinamiento en el segmento modelado mediante una función BPR que adiciona tiempo al segmento a medida que este va llegando a su capacidad

- Función de congestión intervalo: representa el tiempo de espera adicional que los usuarios perciben producto de los servicios que llegan a la parada sin capacidad disponible.

A continuación se muestran los principales resultados obtenidos al variar dichos parámetros:

Tabla 8-10: Parámetros Función de Congestión en Segmentos

	Esc4 Asignación α=2 y β=4	α=1 y β=4	α=3 y β=4
Total Etapas	712.492	713.759	711.922
Viajes	460.150	460.150	460.150
Viajes SITP	450.025	450.196	449.869
Viajes Caminata	10.125	9.954	10.281
etapas*viaje	1.59	1.59	1.59
UN1	53.441	53.150	53.532
UN2	90.539	89.270	91.313
UN3	69.983	70.263	69.965
UN4	75.626	74.376	76.605
UN5	75.725	75.579	75.820
UN6	34.962	34.898	35.022
UN7	28.034	28.327	27.748
Etapas Bus	428.310	425.863	430.005
Metro	321.605	324.731	319.516
Metro Sin Transbordo	278.046	281.467	275.957
Metrotren	6.135	6.429	5.960
R2 afluencia metro	0,877	0,862	0,887
R2 aforos buses	0,844	0,852	0,836

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Tabla 8-11: Parámetros Función de Congestión en Intervalo

	Esc4 Bus α=5 y β=1.5 Metro α=1.5 y β=2	α=1 y β=0.2	Bus α=1.5 y β=2 Metro α=1.5 y β=2
Total Etapas	712.492	688.920	724.885
Viajes	460.150	460.150	460.150
Viajes SITP	450.025	446.668	451.023
Viajes Caminata	10.125	13.482	9.127
etapas*viaje	1,59	1,55	1,61
UN1	53.441	55.110	55.260
UN2	90.539	99.680	92.729
UN3	69.983	69.962	73.540
UN4	75.626	81.574	78.271
UN5	75.725	79.871	78.707

	Esc4 Bus α=5 y β=1.5 Metro α=1.5 y β=2	α=1 y β=0.2	Bus α=1.5 y β=2 Metro α=1.5 y β=2
UN6	34.962	32.221	37.390
UN7	28.034	27.639	29.151
Etapas Bus	428.310	446.058	445.048
Metro	321.605	266.680	313.020
Metro Sin Transbordo	278.046	237.756	273.787
Metrotren	6.135	5.106	6.049
R2 afluencia metro	0,877	0,811	0,871
R2 aforos buses	0,844	0,775	0,841

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Lo resultados muestran que ante variaciones significativas de los parámetros, la distribución de etapas entre modos y unidades de negocio no presenta cambios importantes en la asignación. Solo en el caso que se modifica de manera extrema el parámetro β de la función de congestión del intervalo (α=1 y β=0.2), en donde el *discomfort* del usuario es muy sensible al tiempo de espera adicional en buses.

Dado lo expuesto, se mantuvieron los parámetros iniciales del modelo de asignación de demanda.

8.2.4 Ajuste de matriz por conteo

Como último paso, sobre este nuevo escenario de red se ejecutó el proceso de ajuste de la matriz a los conteos medidos dispuestos por el Mandante. Dicha información fue recolectada en Agosto de 2017 en diferentes puntos y paradas de la ciudad en el periodo Punta Mañana. Estas mediciones son parte del estudio "*Elaboración de Indicadores de Desempeño del Sistema de Transporte Público de santiago, III Etapa*" correspondiente a la Orden de Trabajo N°1 "Medición Tasa de Ocupación de Buses". Las mediciones de TOC (Tasa de Ocupación) se realizaron en 144 puntos distribuidos en toda la red del SITP, para los periodos Punta Mañana, Fuera de Punta Mañana y Punta Tarde. Los puntos medidos, se dividieron en mediciones de arcos y paraderos, en este úitimo caso se registró la TOC antes y después de la parada. En cada punto se registró la TOC de todos los buses observados, de acuerdo a los niveles de ocupación (10 niveles) definidos para el estudio.

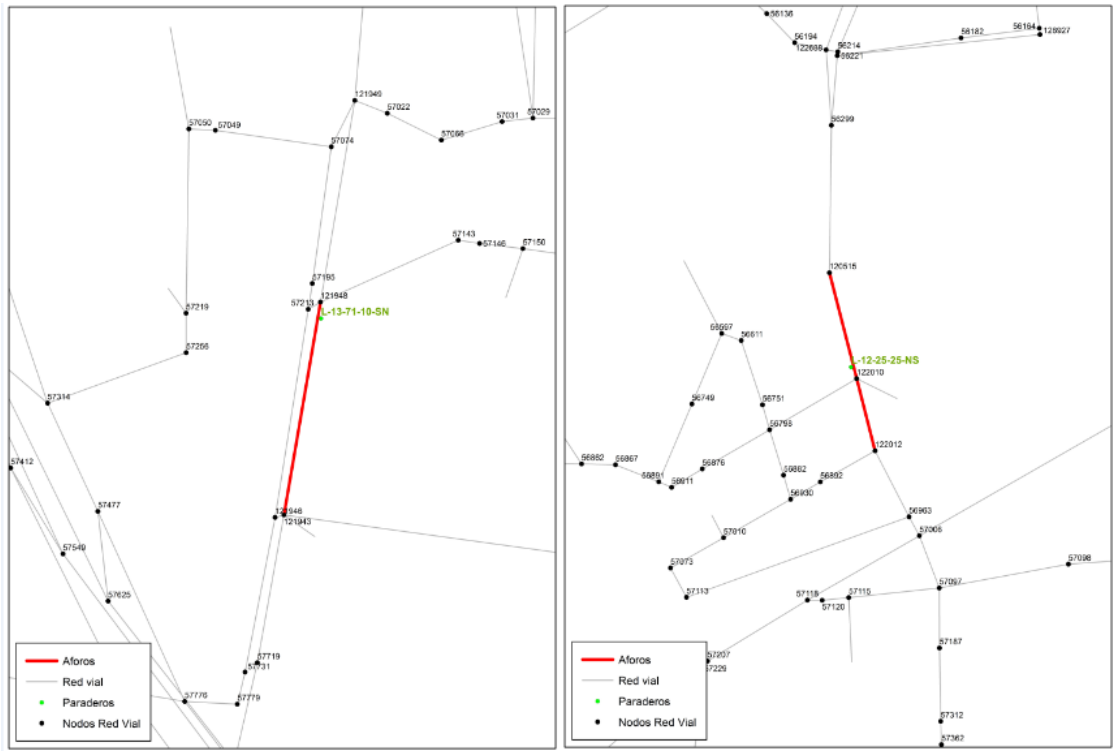
Un reporte detallado de cómo se construyó cada conteo y su intervalo de confianza se presenta en el Anexo del capítulo.

La información de conteo fue incorporada en el modelo a nivel de arco, de acuerdo a los siguientes criterios:

- Verificación que el nodo posee asignación de parada en la secuencia de itinerarios
- Si la medición es de tipo arco, se asigna el aforo al arco anterior y más cercano a este.

- Si la medición es de tipo parada, se asigna el conteo al arco anterior y posterior del nodo asignado a dicha parada.

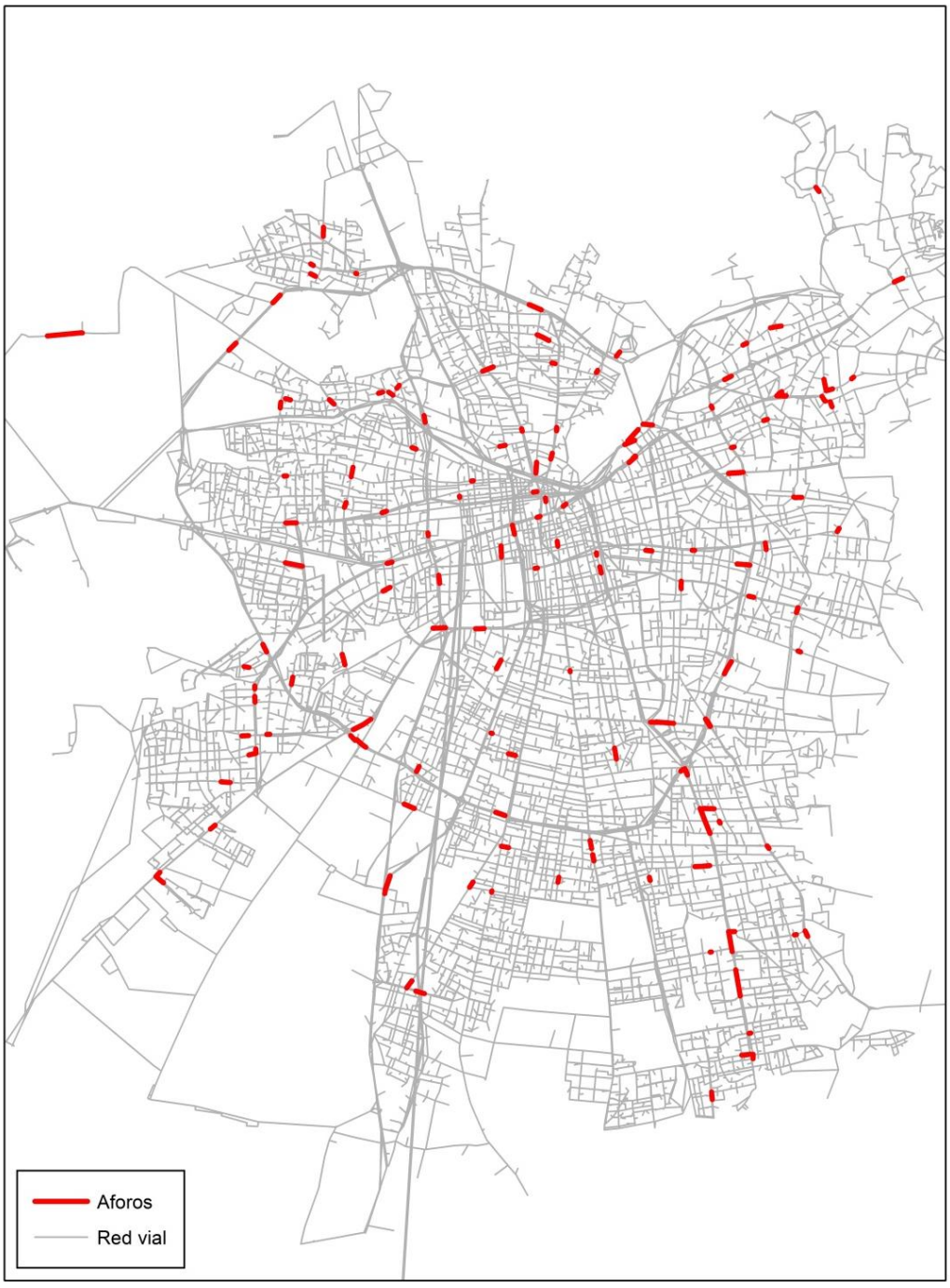
Figura 8-3: Gráfico de comparación de asignación de conteos



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la imagen anterior, al lado izquierdo se muestra una medición de punto del paradero y el arco al que le fue asignado el conteo. En la segunda imagen, se puede observar una medición tipo paradero donde se asigna un conteo al arco anterior y posterior al nodo del modelo asociado a dicha parada. De este proceso resultaron 196 arcos con conteo asignado para el proceso de ajuste de matriz.

Figura 8-4: Gráfico Asignación de conteos a la red

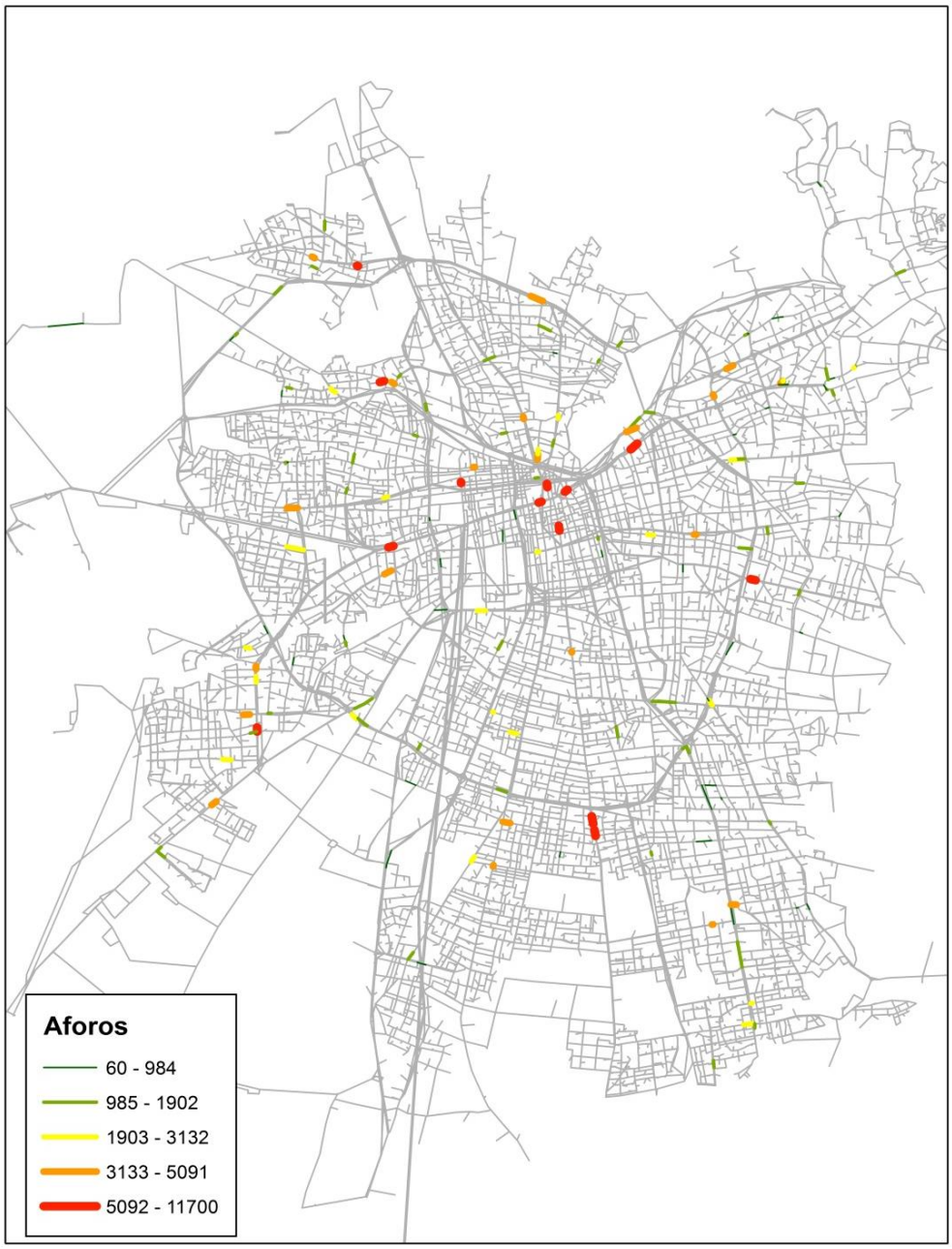


Fuente: Elaboración Propia

En el Anexo del capítulo, se encuentra el detalle de la localización de los conteos utilizados en el ajuste de la matriz.

En el modelo de asignación el valor del conteo quedó registrado en un atributo extra de arco (o "links") llamado "@count" creado específicamente para almacenar estos valores.

Figura 8-5: Gráfico Volumen de conteos en arcos



Fuente: Elaboración Propia

El objetivo del ajuste fue encontrar una matriz que manteniendo su estructura se ajuste a los conteos lo mejor posible. El Alpha que reunía esos criterios fue 0.001.

El proceso de ajuste de la matriz en primera instancia, consideró 30 iteraciones y posterior a este proceso se realiza asignación con restricción de capacidad de la matriz resultante. La parametrización del modelo de asignación con que se realizó el ajuste y la del modelo con restricción de capacidad aplicado, tuvo la siguiente especificación:

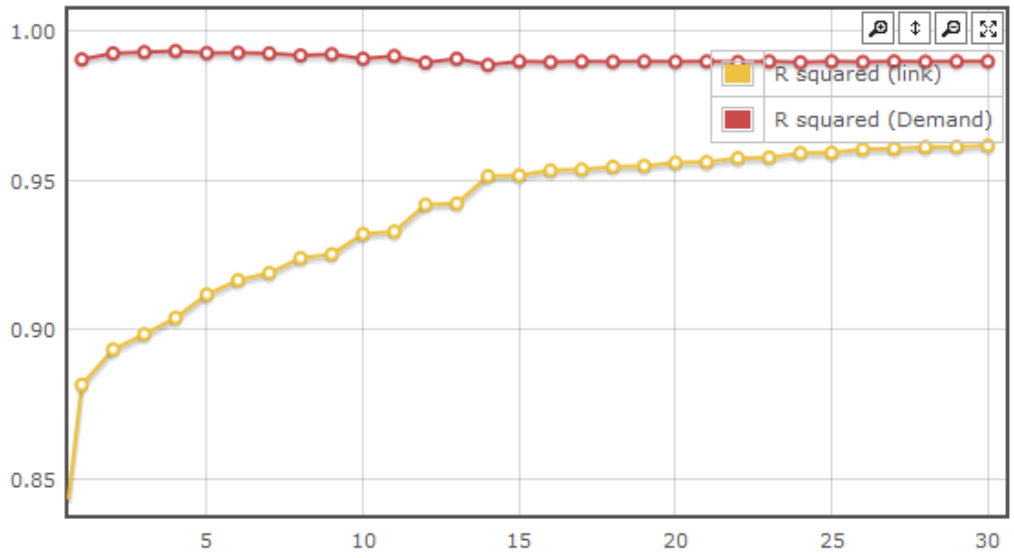
Tabla 8-12: Parámetros de asignación escenarios de modelación

Definición de Parámetros	Escenario 5	
Matriz	**Ajuste Matriz a priori – mf3**	**Asignación con Restricción de Capacidad Matriz Ajustada – mf4**
Valor del Tiempo ($/min)	0,01714	0,01714
Peso del Tiempo de Espera	3	3
Peso del Tiempo de Caminata	2	2
Peso del Tiempo de Abordaje	1	1
a (BPR función de hacinamiento)		2
β (BPR función de hacinamiento)		4
a (Intervalo de Espera – Modo Bus)		5
β (Intervalo de Espera – Modo Bus)		1,5
a (Intervalo de Espera – Modo Metro)		1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metro)		2
a (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)		1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)		2
Penalidad por Transbordo Metro	8	8
Penalidad por Transbordo Metrotren	8	8
Penalidad por Transbordo Bus	15	15

Fuente: Modelo EMME ® DTPM 2011. *Actualizado a pesos 2017

A continuación, se presenta el gráfico de convergencia del proceso.

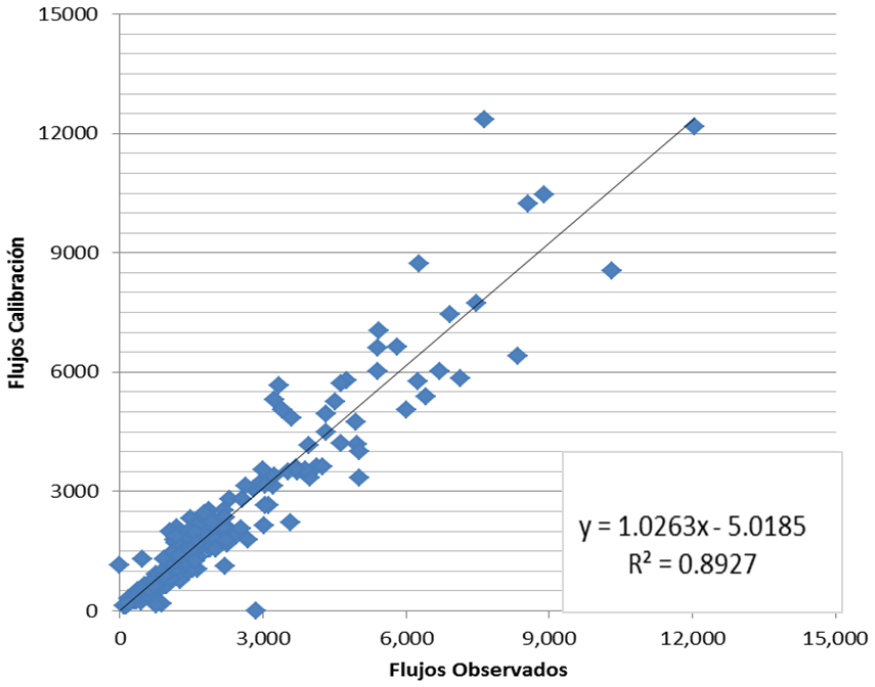
Figura 8-6: Gráfico de ajuste de flujos y demanda por iteración.

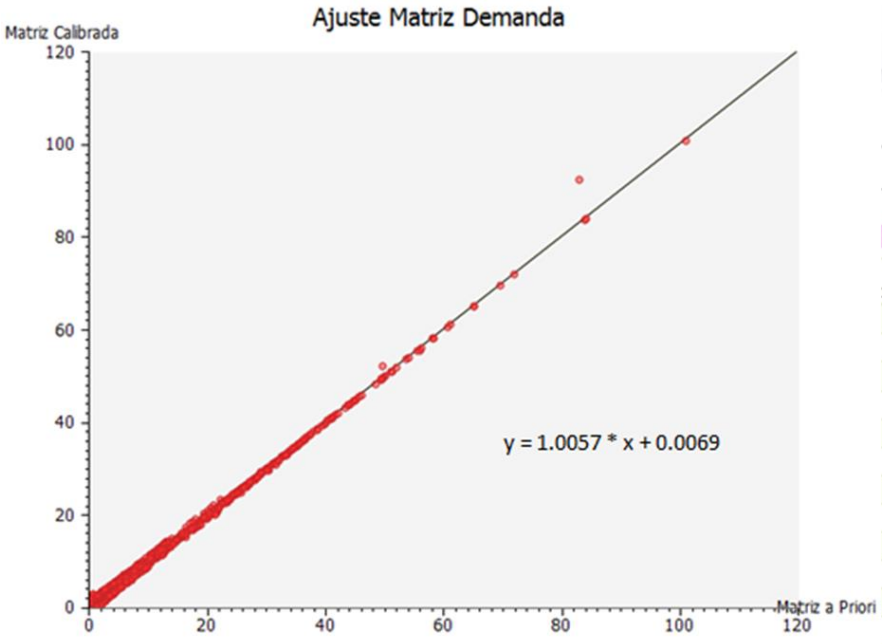


Fuente: Elaboración Propia

El r^2 de ajuste de los flujos fue de 0,901 y de la demanda 0,990 (eje y) en la iteración 30 del proceso de calibración (ejes x). Los siguientes gráficos muestran la dispersión entre los flujos medidos y los flujos modelados, así como también la dispersión entre la demanda de la matriz a priori y la demanda de la matriz ajustada.

Figura 8-7: Comparativo Flujos y Demanda Modelados vs flujos medidos y matriz a priori.





Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-13: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori

UN	Etapas Matriz a priori	Escenario Base	Escenario 4	Escenario 5 Ajuste Matriz	Variación Esc 4 y Esc5
U1	46.961	65.284	53.441	60.967	14,1%
U2	70.959	114.163	90.539	103.692	14,5%
U3	74.587	90.595	69.983	79.577	13,7%
U4	66.520	100.197	75.626	89.311	18,1%
U5	71.411	93.333	75.725	86.702	14,5%
U6	40.190	45.262	34.962	40.356	15,4%
U7	27.820	34.621	28.034	32.526	16,0%
Metro	275.993	279.124	278.046	303.593	9,2%
Metrotren	4.898	6.536	6.135	6.634	8,1%
Total Etapas	**679.339**	829.116	712.492	803.358	12,8%
Demanda Asignada TP	**460.150**	410.326	450.025	495.052	10,0%
Etapas Viaje	1,48	2,03	1,59	1,63	2,5%
Viajes Caminata	0	49.824	10.125	10.672	5,4%
R^2 Afluencia Metro		0,827	0,877	0,902	2,9%
R^2 Aforos Buses		0,815	0,844	0,901	6,8%
R^2 Matriz				0,9864	
Viajes Matriz	460.150	460.150	460.150	505.724	9,9%

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Se observa un leve aumento en las etapas totales y en cada Unidad de Negocio, además de un aumento en el indicador de etapas por viaje. Tanto el ajuste de afluencia de Metro como el de Bus mejoran. Por su parte, la estructura de la matriz no se ve comprometida, obteniendo un R^2 superior a 0.98 respecto a la matriz a priori. La matriz ajustada tiene un **total de 505.724 viajes,** registrando un aumento de casi el 10% respecto a la matriz original.

Se presenta el nivel ajuste por conteo general y el rango asociado a su intervalo de confianza para la modelación de asignación y para la de ajuste de matriz. El R^2Min representa el mínimo ajuste posible considerando el intervalo de variación de los conteos, por su parte y en contraposición, el R^2Max corresponde al mejor ajuste posible, de acuerdo a la variación de las medidas de tasas de ocupación a nivel de medición individual.

Tabla 8-14: Ajuste general conteos

	Asignación	Ajuste Matriz
R^2	0,84	0,90
R^2max	0,86	0,92
R^2min	0,83	0,89

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Se observa que la banda de variación es pequeña, lo que denota que la forma de medición tiene un bajo error asociado. Por lo tanto, el nivel de ajuste general en ambos escenarios se puede considerar alto.

8.2.5 Ajuste de matriz a priori modificada por conteo

A partir de los distintos análisis realizados sobre los resultados de la asignación de demanda de la matriz ajustada obtenida en el proceso previamente descrito, se consideraron una serie de cambios y/o mejoras relativas a la representación adecuada del periodo Punta Mañana del sistema. Estos cambios consistieron en:

- ✓ Modificación de las **distancias de los conectores metro-metro** de 0.1 Km a **0.01 Km**.
- ✓ Cambio de **velocidades** de la red vial de buses a las correspondientes al periodo **7:30 – 8:30**.
- ✓ Cambio de **oferta** de los servicios de buses correspondientes a la oferta ejecutada, considerando el **ICF** de cada servicio de bus representativo del mes de Mayo del 2017.
- ✓ Mejora en la representación de las paradas del sistema en el modelo, afinando la asignación de **paradas a nodos** de la red de modelación.
- ✓ **Modificación de la matriz a priori**, eliminando los viajes que se asignan en la red sin utilizar transporte público, es decir, se resuelven en modo caminata. Siendo reasignados posteriormente por origen, de acuerdo a la cantidad de viajes de cada destino.
- ✓ Reajuste de la matriz a priori modificada considerando las nuevas condiciones operacionales incorporadas. Además, se utiliza la herramienta *Capacitated Transit Adjustment*, que permite **ajustar la matriz** de viajes utilizando la asignación de demanda **con restricción de capacidad**.

Las distancias fueron modificadas debido a que en muchos casos el modelo cuenta con arcos de la red vial con menor distancia que los conectores, incentivando así el uso de estos arcos para realizar los transbordos metro-metro, lo anterior no permite contabilizar adecuadamente dichos transbordos afectando el cálculo de las etapas de metro sin transbordo. Por lo anterior se modificaron las distancias de todos los conectores metro-metro a 0.01 Km, asegurando así que los usuarios realicen el transbordo por estos conectores.

Respecto de las velocidades, en el modelo se incorporaron la velocidad mínima registrada en el periodo Punta Mañana, considerando que la matriz a priori pretende representar los viajes de la hora más cargada del sistema. A petición del mandante, estas velocidades fueron modificadas a las registradas entre las horas 7:30 a 8:30.

Los resultados de ambas modificaciones en la asignación son los siguientes:

Tabla 8-15: Resultados modificación conectores y velocidades

UN	Etapas Matriz a priori	Esc. 4	Esc. 4 Conectores Metro-Metro	Esc. 6 Vel. 7:30-8:30	Var. % Esc.6 vs Esc.4 Corr.
U1	46.961	53.441	53,153	53,667	1.0%
U2	70.959	90.539	89,156	91,459	2.6%
U3	74.587	69.983	69,612	71,213	2.3%
U4	66.520	75.626	74,477	76,734	3.0%
U5	71.411	75.725	74,868	75,702	1.1%
U6	40.190	34.962	35,038	35,032	0.0%
U7	27.820	28.034	27,931	28,152	0.8%
Metro	275.993	278.046	238,177	229,455	-3.7%
Metrotren	4.898	6.135	6,115	5,843	-4.5%
Total Etapas Bips	**679.339**	**712.492**	**668,535**	**667,260**	-0.2%
Viajes Asignados TP	**460.15**	**450.025**	**448,575**	**448,856**	0.1%
Etapas Viaje	1,48	1,59	1.49	1.49	-0.3%
Viajes Caminata	0	10.125	10,032	9,751	-2.8%
R^2 Afluencia Metro		0,877	0.844	0.870	3.2%
R^2 Aforos Buses		0,844	0.877	0.826	-5.8%

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

En la tabla se registra un aumento de las etapas asignadas a bus y una disminución en las etapas asignadas a metro, lo que es consistente con las modificaciones realizadas en la red respecto a las velocidades.

Posteriormente, fue modificada la oferta de los servicios de bus considerando el cumplimiento de estos servicios representativo del mes mayo del 2017, utilizando el indicador ICF no truncado. Esta modificación se sustenta en que el ajuste se realiza considerando flujos de pasajeros observados en los principales ejes de la ciudad en los que se registran altos niveles de ocupación, influenciados por la estructura de viajes de la ciudad, pero sin duda también por el nivel de cumplimiento de los servicios de buses.

De esta manera, se pretende evitar deformar la matriz en el proceso de ajuste debido al incumplimiento de los servicios de buses, ya que no es una variable fija del sistema, una vez ajustada la matriz a priori considerando el nivel de cumplimiento, se asignó la matriz ajustada utilizando la oferta del Plan de Operaciones de mayo del 2017, escenario considerado como base para el resto de los escenarios de modelación.

Tabla 8-16: Resultados modificación oferta buses por ICF no truncado

UN	Etapas Matriz a priori	Esc. 4 Conectores Metro-Metro	Esc. 6 Velocidades 7:30-8:30	Esc. 7 Oferta ICF Buses	Var. % Esc.7 vs Esc.6
U1	46.961	53,153	53,667	46,728	-12.9%
U2	70.959	89,156	91,459	84,997	-7.1%
U3	74.587	69,612	71,213	68,364	-4.0%
U4	66.520	74,477	76,734	69,893	-8.9%
U5	71.411	74,868	75,702	73,881	-2.4%
U6	40.190	35,038	35,032	32,472	-7.3%
U7	27.820	27,931	28,152	27,395	-2.7%
Metro	275.993	238,177	229,455	246,284	7.3%
Metrotren	4.898	6,115	5,843	6,489	11.1%
Total Etapas Bips	**679.339**	**668,535**	667,260	656,509	-1.6%
Viajes Asignados TP	**460.15**	**448,575**	448,856	446,660	-0.5%
Etapas Viaje	1,48	1.49	1.49	1.47	-1.1%
Viajes Caminata	0	10,032	9,751	11,948	22.5%
R^2 Afluencia Metro		0.844	0.870	0.886	1.8%
R^2 Aforos Buses		0.877	0.826	0.861	4.3%

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Los resultados muestran un aumento significativo en el nivel de ajuste de bus y Metro. Como es de esperar, disminuyen las etapas asignadas a bus y aumentan las asignadas a Metro, cuyos servicios no tienen mermada su oferta respecto a la programación. Se registra también un aumento en los viajes que se resuelven en modo caminata.

Posteriormente, se incorporó en los itinerarios de buses la definición mejorada de las paradas-nodos del sistema. De esta manera, la accesibilidad de los usuarios a los servicios de buses queda mejor representada. La asignación de este nuevo escenario reporta los siguientes resultados:

Tabla 8-17: Resultados modificación asociación nodo-parada

UN	Etapas Matriz a priori	Esc. 6 Velocidades 7:30-8:30	Esc. 7 Oferta ICF Buses	Esc. 8 Modificación nodo-parada	Var. % Esc.8 vs Esc.7
U1	46.961	53,667	46,728	49,260	5.4%
U2	70.959	91,459	84,997	84,886	-0.1%
U3	74.587	71,213	68,364	67,311	-1.5%
U4	66.520	76,734	69,893	72,665	4.0%
U5	71.411	75,702	73,881	73,803	-0.1%
U6	40.190	35,032	32,472	33,201	2.2%
U7	27.820	28,152	27,395	27,740	1.3%
Metro	275.993	229,455	246,284	243,010	-1.3%
Metrotren	4.898	5,843	6,489	6,330	-2.5%
Total Etapas Bips	**679.339**	667,260	656,509	**658,212**	**0.3%**
Viajes Asignados TP	**460.15**	448,856	446,660	**447,017**	**0.1%**
Etapas Viaje	1,48	1.49	1.47	1.47	0.2%
Viajes Caminata	0	9,751	11,948	11,590	-3.0%
R^2 Afluencia Metro		0.870	0.886	0.875	-1.2%
R^2 Aforos Buses		0.826	0.861	0.851	-1.2%

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Al mejorar la representación de las paradas en la red de modelación se registra un aumento en las etapas de bus, concentradas principalmente en UN1 y UN4, bajando en la misma medida las etapas asignadas a Metro.

En este nuevo escenario, también se observa una disminución de los viajes que utilizan solo el modo caminata. Estos viajes tienen una distancia promedio de 1.24 Km, por lo que corresponden a viajes cortos, los que en su mayoría son generados en el proceso de zonificación de los viajes desde las paradas a zonas, de acuerdo a la metodología de este procedimiento. Por lo tanto, los viajes que en la asignación se resuelven en modo caminata, fueron reasignados en sus destinos a aquellos destinos en los que si utilizan transporte público, manteniendo sus orígenes.

$$MM_{ij} = MT_{ij} + MC_i * MT_{ij}/MT_i$$

$$MT_{ij} = MP_{ij} - MC_{ij}$$

MM_{ij}: viajes matriz a priori modificada del origen i al destino j

MP_{ij}: viajes matriz a priori del origen i al destino j

MC_{ij}: viajes caminata del origen i al destino j

MT_{ij}: viajes transporte público del origen i al destino j

MC_i: viajes caminata del origen i

MT_i: viajes transporte público del origen i

Los resultados de la asignación de esta nueva matriz de viajes se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 8-18: Resultados modificación matriz a priori

UN	Etapas Matriz a priori	Esc. 7 Vel. 7:30:8:30 + Oferta ICF Buses	Esc. 8 Modificación nodo-parada	Esc. 9 Modificación Matriz a priori	Var. % Esc.9 vs Esc.8
U1	46.961	46,728	49,260	50,371	2.3%
U2	70.959	84,997	84,886	87,005	2.5%
U3	74.587	68,364	67,311	68,654	2.0%
U4	66.520	69,893	72,665	74,464	2.5%
U5	71.411	73,881	73,803	75,438	2.2%
U6	40.190	32,472	33,201	34,033	2.5%
U7	27.820	27,395	27,740	28,089	1.3%
Metro	275.993	246,284	243,010	249,186	2.5%
Metrotren	4.898	6,489	6,330	6,420	1.4%
Total Etapas Bips	**679.339**	656,509	**658,212**	**673,668**	2.3%
Viajes Asignados TP	**460.15**	446,660	**447,017**	**458,196**	2.5%
Etapas Viaje	1,48	1.47	1.47	1.47	-0.1%
Viajes Caminata	0	11,948	11,590	362	-96.9%
R^2 Afluencia Metro		0.886	0.875	0.872	-0.4%
R^2 Aforos Buses		0.861	0.851	0.848	-0.4%

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Tal como se espera, los viajes que se resuelven en modo caminata disminuyen casi en su totalidad y se observa que estos se distribuyen de manera homogénea en las distintas unidades de negocio y Metro, siendo inferior el aumento registrado en Metrotren.

Finalmente, se ajusta la matriz a priori modificada utilizando la herramienta Capacitated Transit Adjustment, dispuesta por INRO al consultor en su versión preliminar. Esta nueva herramienta utiliza la misma metodología de ajuste que la aplicada en el ajuste documentado en el Informe de Avance previo. Sin embargo, los flujos asignados que utiliza para ajustar a los conteos son obtenidos a partir de una asignación con restricción de capacidad, mientras que el ajuste anterior utilizaba los flujos resultantes de una asignación Extended, que no considera la capacidad disponible.

Los resultados obtenidos son:

Tabla 8-19: Resultados ajuste matriz a priori modificada

UN	Etapas Matriz a priori	Esc. 7 Vel. 7:30:8:30 + Oferta ICF + Nodo-parada	Esc. 9 Modificación Matriz a priori	Esc. 10 Ajuste Matriz a priori modificada	Var. % Esc.10 vs Esc.9
U1	46.961	49,260	50,371	55,895	11.0%
U2	70.959	84,886	87,005	98,396	13.1%
U3	74.587	67,311	68,654	76,400	11.3%
U4	66.520	72,665	74,464	84,226	13.1%
U5	71.411	73,803	75,438	82,386	9.2%
U6	40.190	33,201	34,033	38,243	12.4%
U7	27.820	27,740	28,089	33,297	18.5%
Etapas Bus	398.448	408,866	418,054	468,843	12.1%
Metro	275.993	243,010	249,186	266,291	6.9%
Metrotren	4.898	6,330	6,420	7,121	10.9%
Total Etapas Bips	**679.339**	**658,212**	**673,668**	**742,281**	10.2%
Viajes Matriz	**460,149**	**460,149**	**460,149**	**494,730**	7.5%
Viajes Asignados TP	**460.150**	**447,017**	**458,196**	**492,090**	7.4%
Etapas Viaje	1,48	1.47	1.47	1.51	2.6%
Viajes Caminata	0	11,590	362	1,049	189.5%
R^2 Afluencia Metro		0.875	0.872	0.895	2.7%
R^2 Aforos Buses		0.851	0.848	0.933	10.1%

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Los resultados muestran un incremento de un 7.5% de la matriz de viajes, mientras las etapas aumentan un 10%, lo que genera un alza de las etapas por viaje. Mientras que los viajes en modo caminata se triplican.

Por otro lado, el nivel de ajuste obtenido para los conteos aumenta significativamente, mientras que el ajuste de la afluencia de Metro por estación aumenta levemente.

Tabla 8-20: Ajuste general conteos

	Asignación	Ajuste Matriz
R^2	0.85	0.93
R^2max	0.86	0.95
R^2min	0.83	0.92

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

A continuación se analizan los ajustes de conteos por comuna y rango de flujo. El ajuste corresponde a un ajuste lineal normalizado, que mientras más cerca de 1 sea, significa que

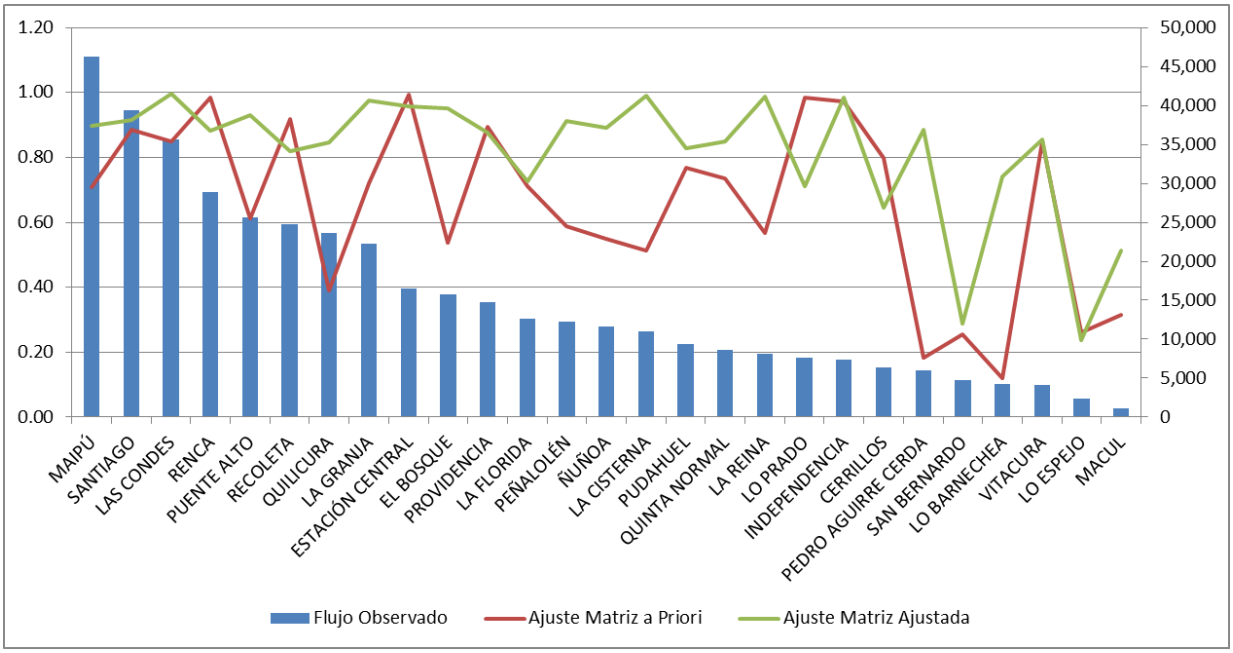
los flujos asignados son muy parecidos a los observados. Por el contrario, si el ajuste presenta valores a 0, los flujos asignados respecto a los observados son muy diferentes.

Tabla 8-21: Ajuste Asignación vs Ajuste de la matriz a priori

Comuna	Flujo Observado	Ajuste Lineal		N° de observaciones
		Asignación	Calibración	
MAIPÚ	46,300	0.71	0.90	17
SANTIAGO	39,415	0.88	0.91	10
LAS CONDES	35,623	0.85	1.00	20
RENCA	28,869	0.98	0.88	11
PUENTE ALTO	25,674	0.61	0.93	11
RECOLETA	24,783	0.92	0.82	11
QUILICURA	23,662	0.39	0.85	6
LA GRANJA	22,294	0.72	0.97	3
ESTACIÓN CENTRAL	16,530	0.99	0.96	5
EL BOSQUE	15,809	0.54	0.95	4
PROVIDENCIA	14,713	0.89	0.88	5
LA FLORIDA	12,680	0.71	0.72	11
PEÑALOLÉN	12,210	0.59	0.91	7
ÑUÑOA	11,590	0.55	0.89	5
LA CISTERNA	10,959	0.51	0.99	4
PUDAHUEL	9,358	0.77	0.83	6
QUINTA NORMAL	8,660	0.73	0.85	2
LA REINA	8,177	0.57	0.99	6
LO PRADO	7,588	0.99	0.71	3
INDEPENDENCIA	7,361	0.97	0.98	3
CERRILLOS	6,322	0.80	0.65	5
PEDRO AGUIRRE CERDA	5,983	0.18	0.88	3
SAN BERNARDO	4,700	0.26	0.29	6
LO BARNECHEA	4,197	0.12	0.74	3
VITACURA	4,140	0.85	0.86	4
LO ESPEJO	2,359	0.26	0.24	2
MACUL	1,146	0.32	0.51	2
CERRO NAVIA				1
HUECHURABA				1
LA PINTANA				1
SAN JOAQUÍN				1

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

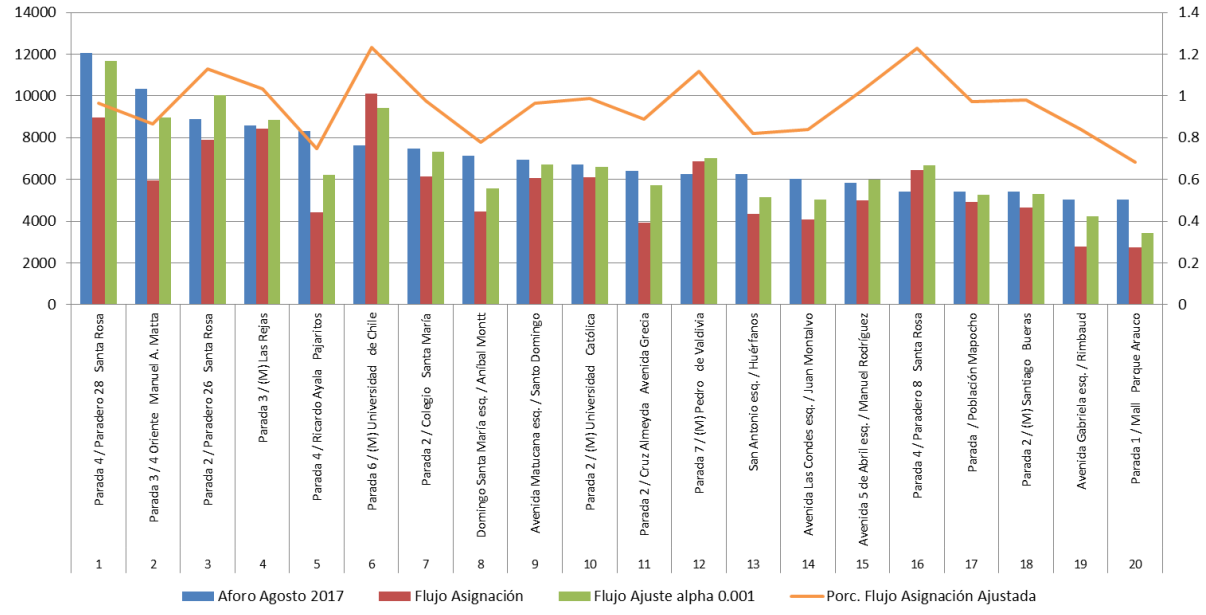
Figura 8-8: Ajuste lineal conteos por comuna



Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

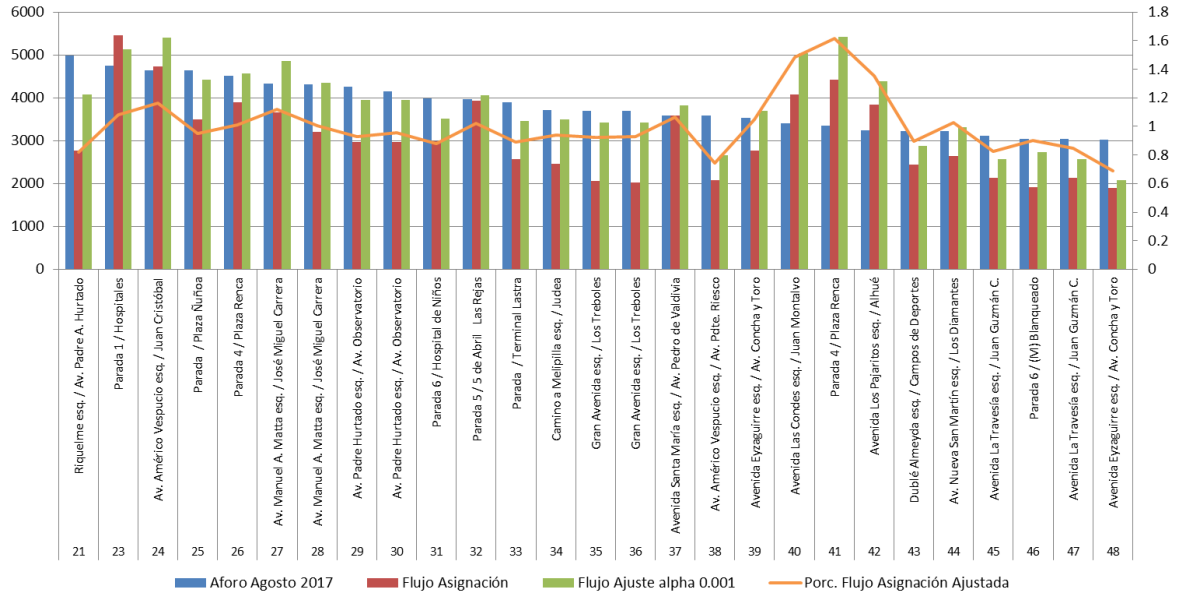
El ajuste a nivel comunal muestra que las comunas con un mayor número de pasajeros observados, presentan aumentos mayores en el nivel de ajuste en la asignación de la matriz ajustada respecto a la asignación de la matriz a priori. A medida que las comunas disponen de menores flujos observados, el ajuste no necesariamente aumenta, siendo en algunos casos deteriorados en la asignación de la matriz ajustada.

Figura 8-9: Ajuste Flujos vs Aforos Rango 12.000-5.000



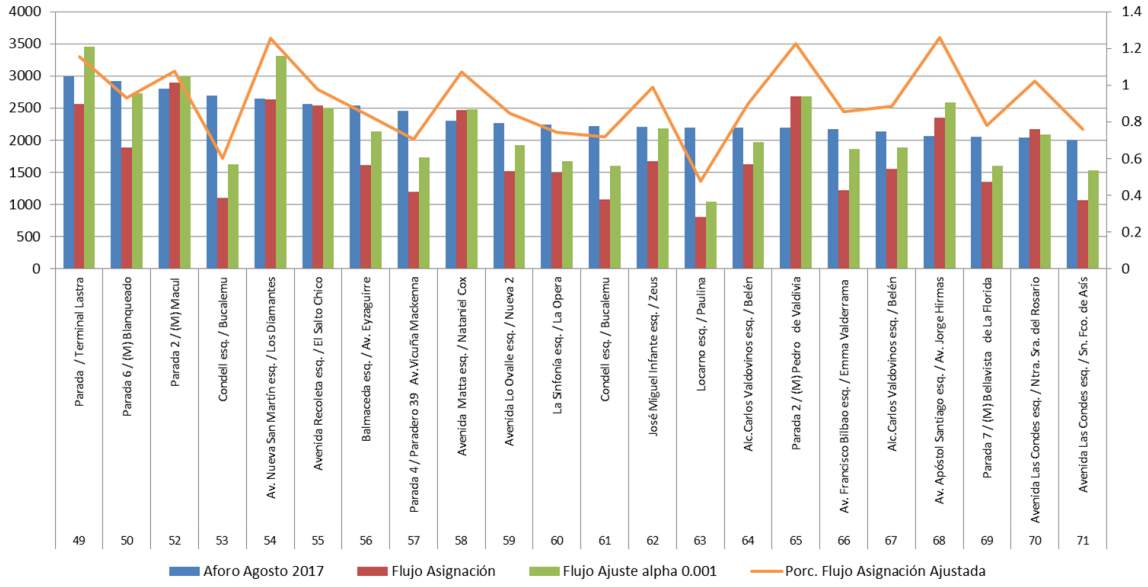
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-10: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 5.000-3.000



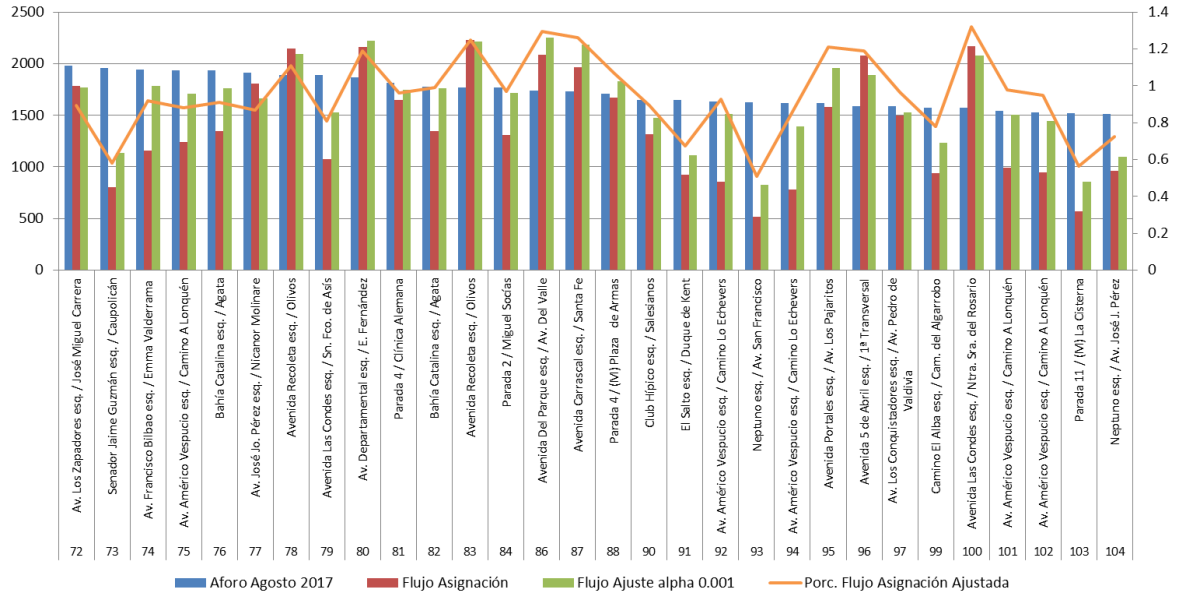
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-11: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 3.000-2.000



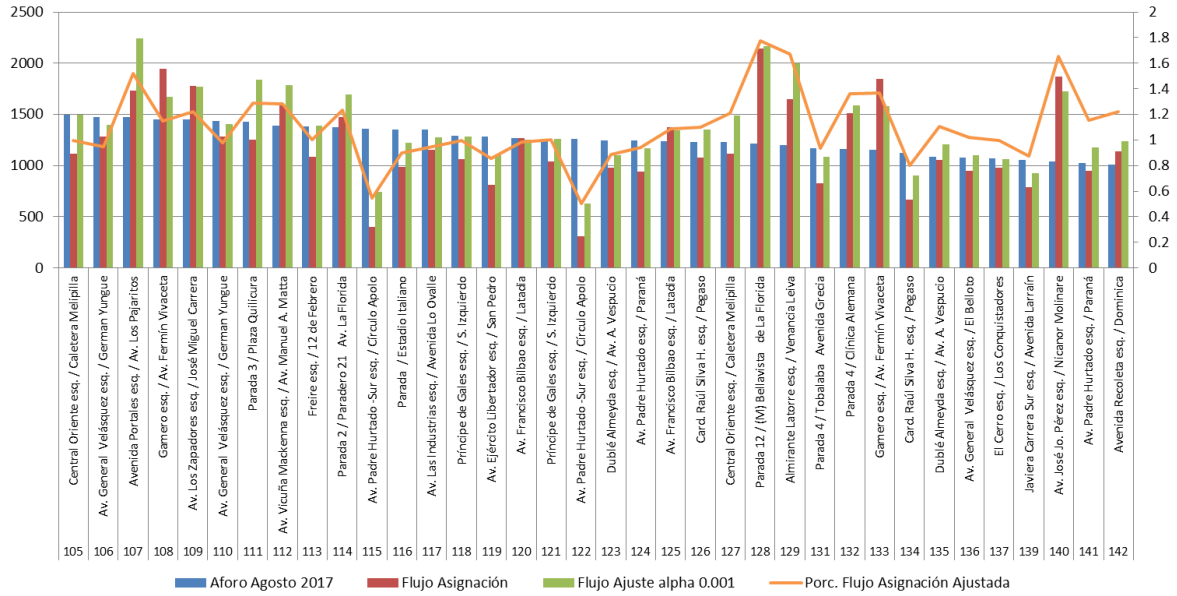
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-12: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 2.000-1.500



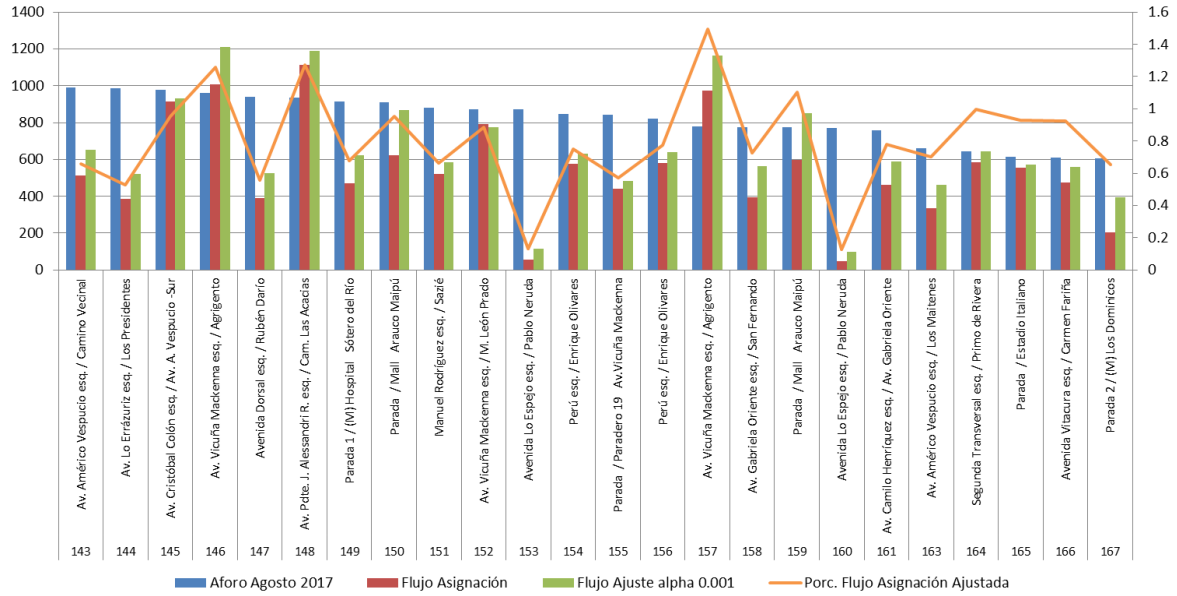
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-13: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 1.500-1.000



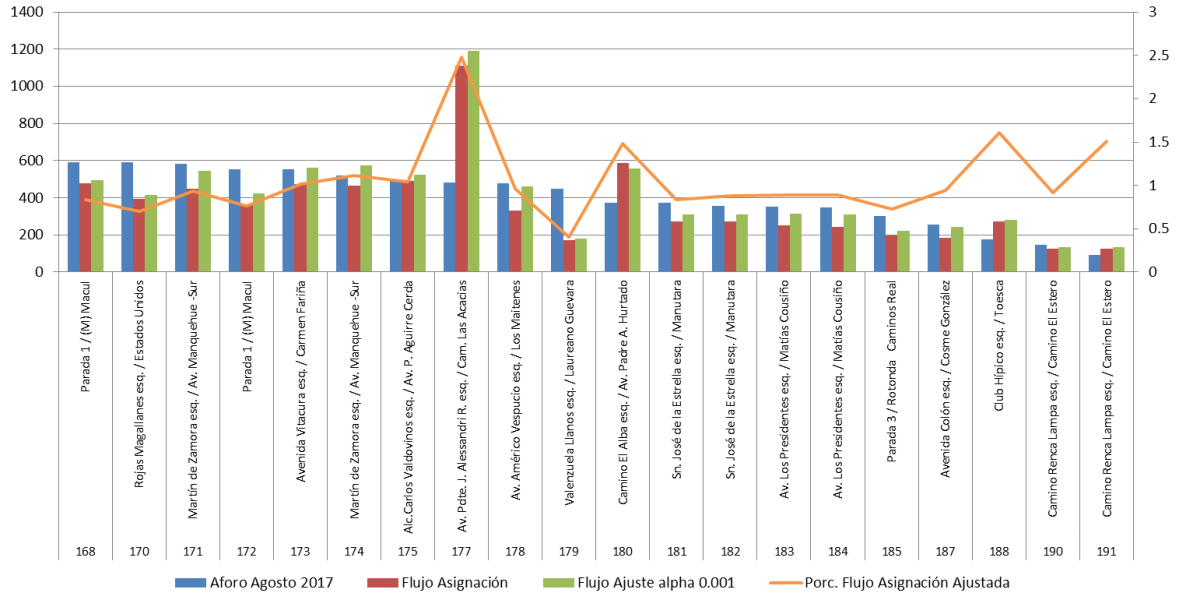
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-14: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 1.000-600



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-15: Ajuste Flujos vs Aforos, Rango 600-0

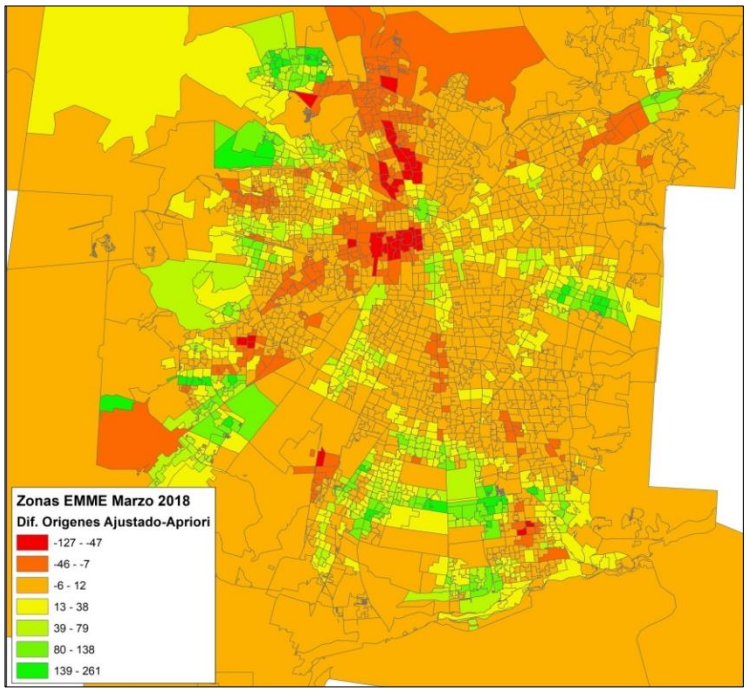


Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Independiente al flujo, no se observan aumentos de flujo individuales específicos entre la asignación y la modelación de ajuste de matriz.

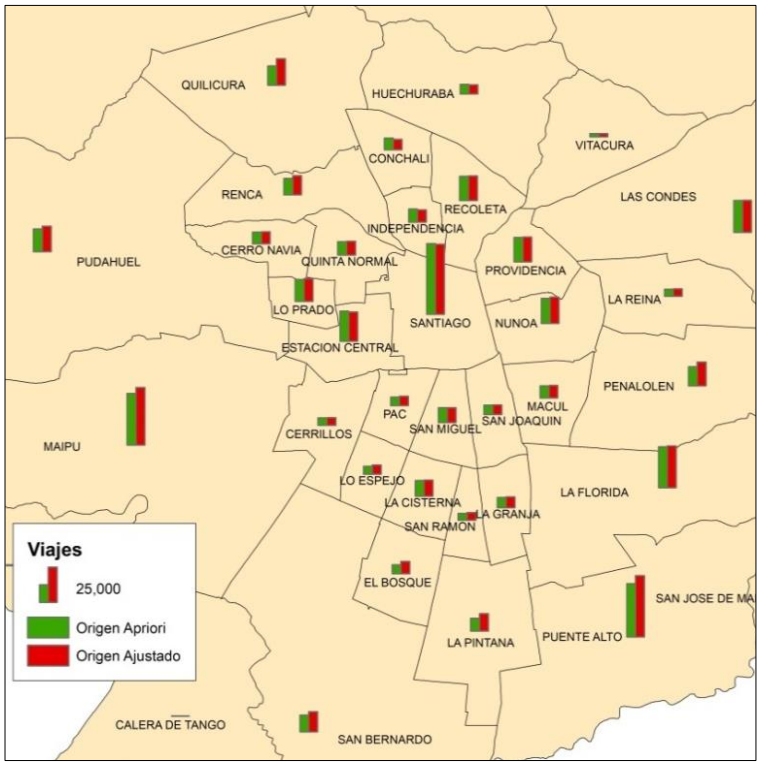
A continuación se presenta 2 figuras que comparan la matriz a priori versus la matriz ajustada, a nivel de orígenes y destinos. La agregación utilizada corresponde a la zonificación generada en el contexto de este Estudio.

Figura 8-16: Comparación Matriz A priori- Matriz ajustada-orígenes



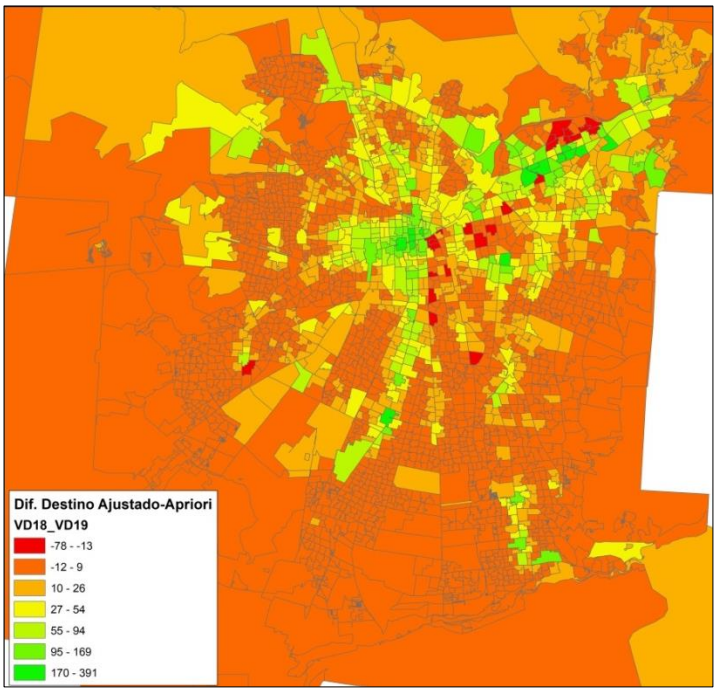
Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Figura 8-17: Comparación Matriz A priori- Matriz ajustada-orígenes por Comuna



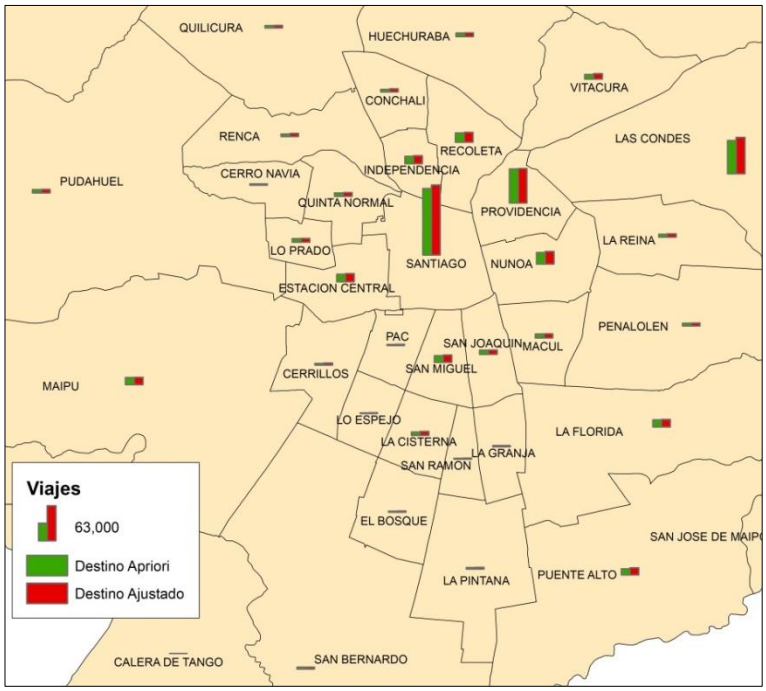
Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Figura 8-18: Comparación Matriz A priori- Matriz ajustada-destinos



Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Figura 8-19: Comparación Matriz A priori- Matriz calibrada-ajustada por Comuna



Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

8.3 RESULTADOS ASIGNACIÓN DE CALIBRACIÓN

Considerando que el ajuste de la matriz a priori, se realizó utilizando la oferta ejecutada del sistema representativa del periodo de análisis, es que posteriormente la matriz obtenida fue asignada en el escenario en que la oferta corresponde al plan operacional de mayo 2017, quedando este como la base para los escenarios que se presentarán en los próximos acápites. Sin embargo, en la presentación de resultados de la asignación de la matriz calibrada, la asignación es comparada con datos observados, por lo que la asignación considera la oferta ejecutada del sistema, es decir, utilizando ICF.

Tabla 8-22: Parámetros de asignación escenarios de modelación

Definición de Parámetros	Escenario 10
Matriz	**Matriz ajustada mf4**
Valor del Tiempo ($/min)	0,01714
Peso del Tiempo de Espera	3
Peso del Tiempo de Caminata	2
Peso del Tiempo de Abordaje	1
α (BPR función de hacinamiento)	2
β (BPR función de hacinamiento)	4
α (Intervalo de Espera – Modo Bus)	5
β (Intervalo de Espera – Modo Bus)	1,5
α (Intervalo de Espera – Modo Metro)	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metro)	2
α (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	2
Penalidad por Transbordo Metro	8
Penalidad por Transbordo Metrotren	8
Penalidad por Transbordo Bus	15

Fuente: Modelo EMME ® DTPM 2011. *Actualizado a pesos 2017

A continuación se presentan los resultados globales del escenario de modelación.

Tabla 8-23: Resultados Globales

Ítem	Etapas Matriz a priori	Escenario 9	Esc10 – matriz ajustada	Variación % Esc 10/Datos Obs
Etapas Buses	398,448	418,054	468,843	18%
Etapas Metro	275,993	249,186	266,291	-4%
Etapas Metro (con transbordo metro metro)	S/I	380,295	100,379	-
Total Etapas (sin transbordo metro metro)	679,339	673,668	742,281	9%
Matriz de viajes	460,150	460,149	494,730	8%
Etapas de viaje por Bip	1.48	1.47	1.51	2%
Etapas caminando	0	362	1,049	-

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-20: Subidas y Bajadas escenario de modelación buses – Escenario Ajuste Matriz



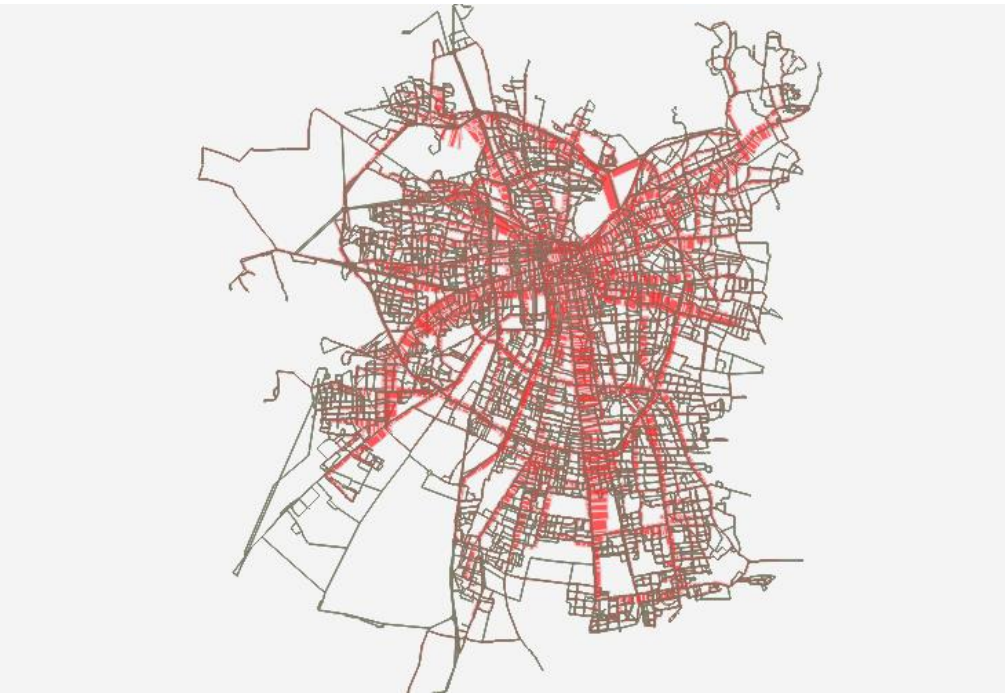
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-21: Subidas y Bajadas escenario de modelación Metro y Metrotren – Escenario Ajuste Matriz



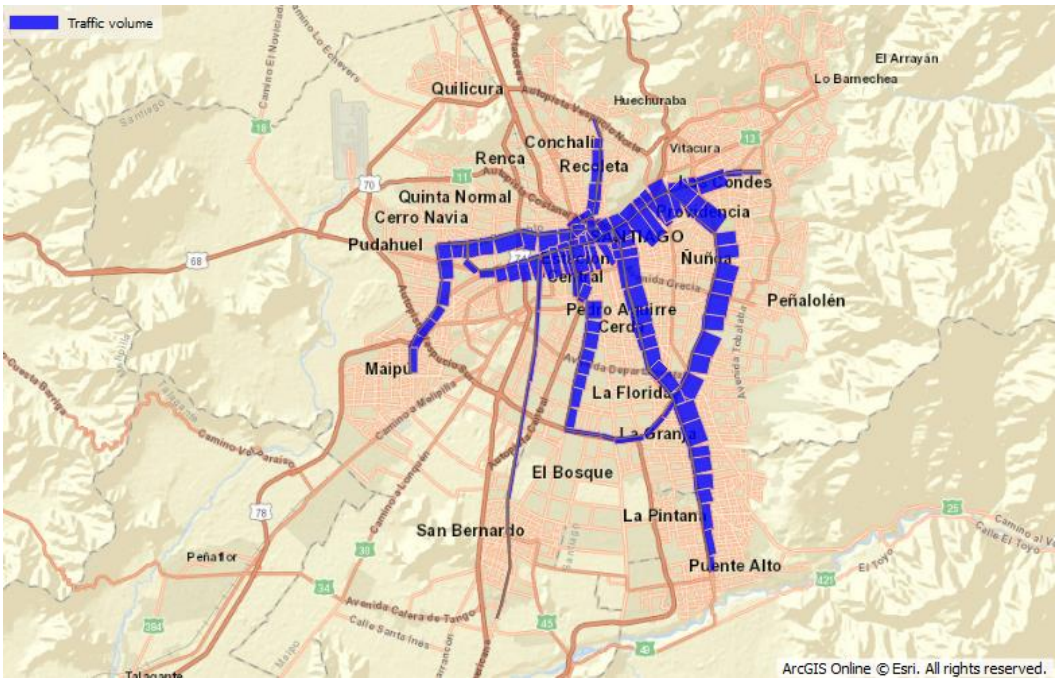
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-22: Flujos modelados en la red buses – Escenario Ajuste Matriz



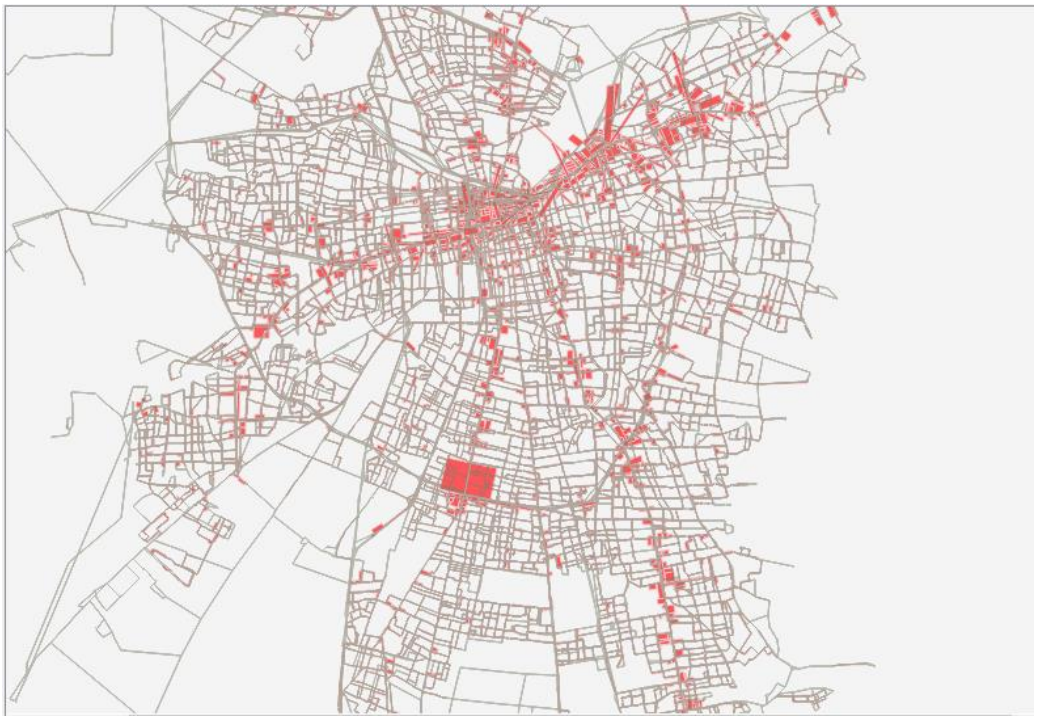
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-23: Flujos modelados en la red Metro y Metrotren – Escenario Ajuste Matriz



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-24: Flujos Peatonales modelados en la red vial – Escenario Ajuste Matriz



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

A continuación se presentan las etapas por Unidad de Negocio y los transbordos entre modos y entre Unidades de Negocio. La información de etapas es comparada con los datos observados, provenientes de la matriz construida.

Tabla 8-24: Resultados Etapas por Unidad de Negocio

Etapas por UN	Etapas Matriz a priori	Esc 9– Matriz asignada	Esc10 – Matriz Ajustada	Variación % Esc 10/Datos Obs
U1	46.961	50,371	55,895	19.0%
U2	70.959	87,005	98,396	38.7%
U3	74.587	68,654	76,400	2.4%
U4	66.520	74,464	84,226	26.6%
U5	71.411	75,438	82,386	15.4%
U6	40.190	34,033	38,243	-4.8%
U7	27.820	28,089	33,297	19.7%

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observa una sobreestimación de las etapas de viaje en la mayoría de las Unidades de negocio.

Tabla 8-25: Transbordos entre Modos

Etapas Transbordo	Etapas Matriz a priori	Esc 9 – Matriz asignada	Esc10 – Matriz Ajustada	Variación % Esc 10/Datos Obs
Bus-Bus	59.327	49,951	62,993	6%
Bus-Metro	117.261	122,125	136,631	17%
Metro-Metro	S/I	104,264	114,004	-
Metro-Bus	37.459	35,669	41,673	11%
Bus-Metrotren	957	2,130	2,630	175%
Metro-Metrotren	239	374	389	63%
Metrotren-Bus	539	435	583	8%
Metrotren-Metro	3.345	4,783	5,272	58%

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

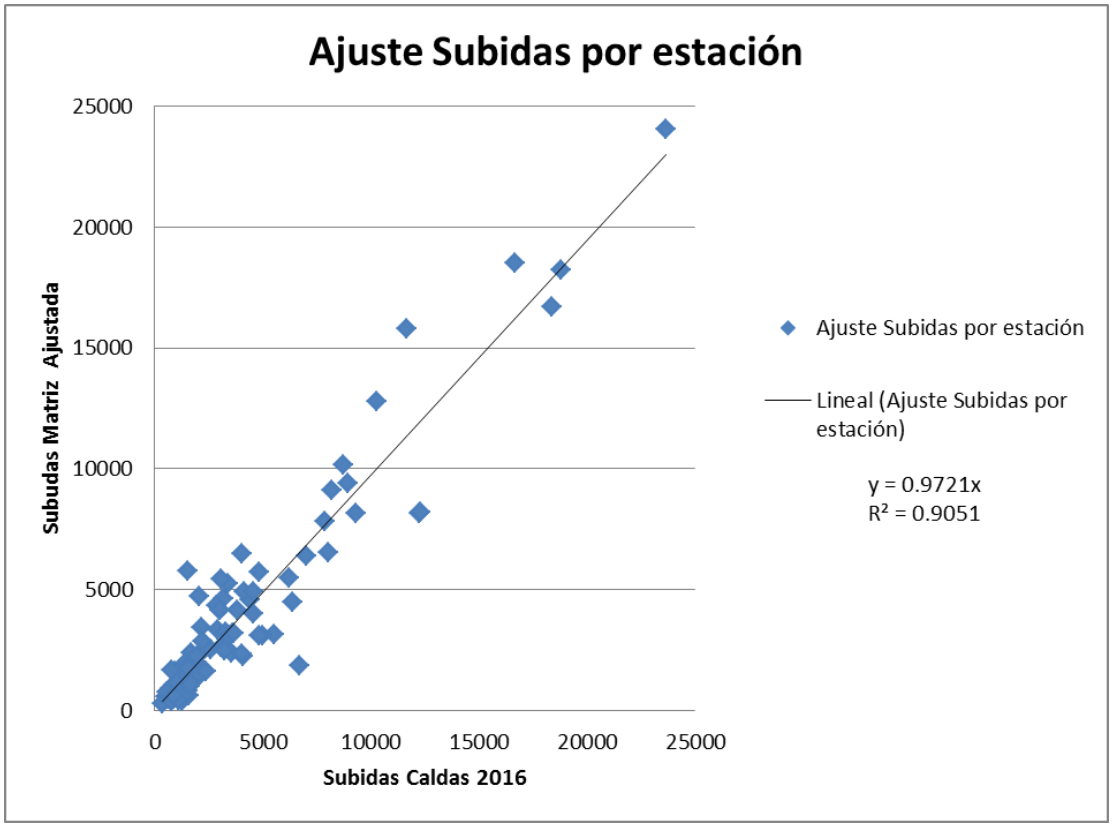
Tabla 8-26: Principales Transbordos entre Unidades de Negocio

Unidad de Negocio	Etapas Matriz a priori	Esc 9 – Matriz asignada	Esc10 – Matriz Ajustada
UN1-UN5	1.751	1,888	2,359
UN1-Metro		15,586	16,314
UN2-UN4	2.055	1,805	2,255
UN2-Metro		20,972	24,819
UN3-UN2	2.346	1,968	2,462
UN3-UN4	2.378	1,594	2,138
UN3-Metro		26,865	29,520
UN4-Metro		16,371	18,418
UN5-UN4	2.445	1,859	2,280
UN5-Metro		19,003	21,236
UN6-Metro		7,535	7,714
UN7-Metro		15,793	18,611
Metro-UN2		4,775	5,555
Metro-UN3		4,110	4,575
Metro-UN4		9,297	10,955
Metro-UN5		6,266	7,126
Metro-UN6		6,364	7,829
Metrotren-Metro	3.345	4,783	5,272

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

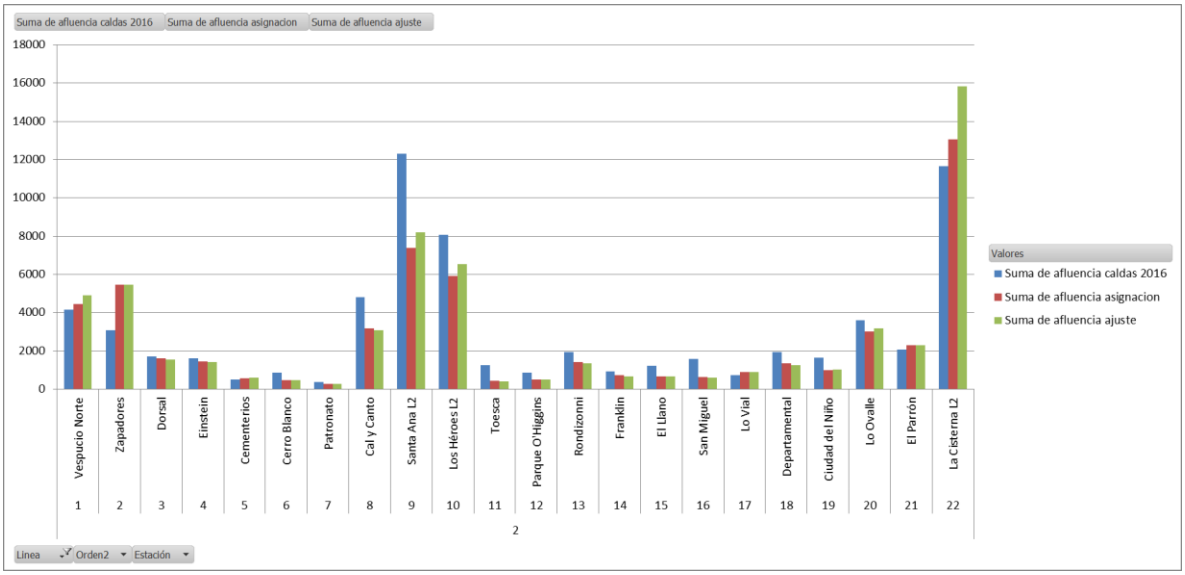
A continuación se presentan un comparativo de subidas por estación y perfiles de carga para Metro.

Figura 8-25: Subidas por Estación Metro comparadas



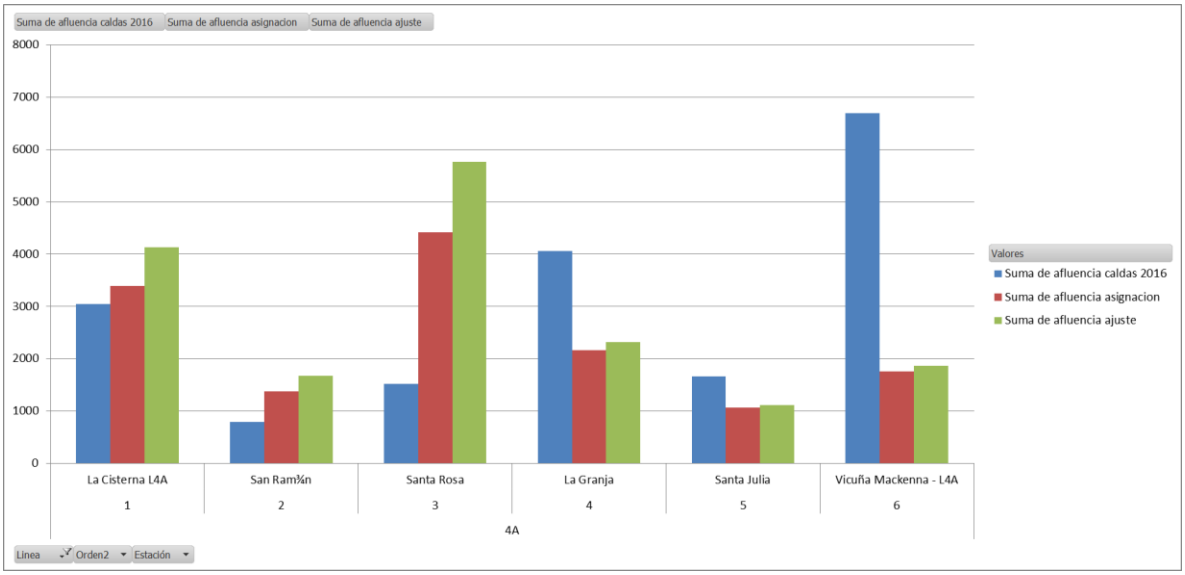
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-26: Afluencia Línea 2



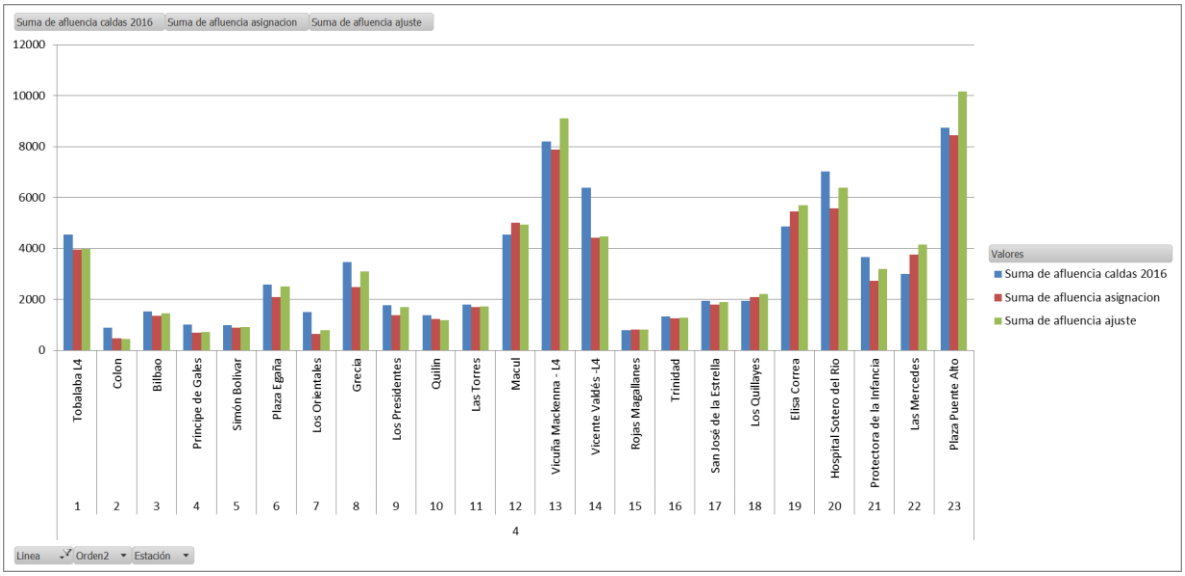
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-27: Imagen. Afluencia Línea 4A



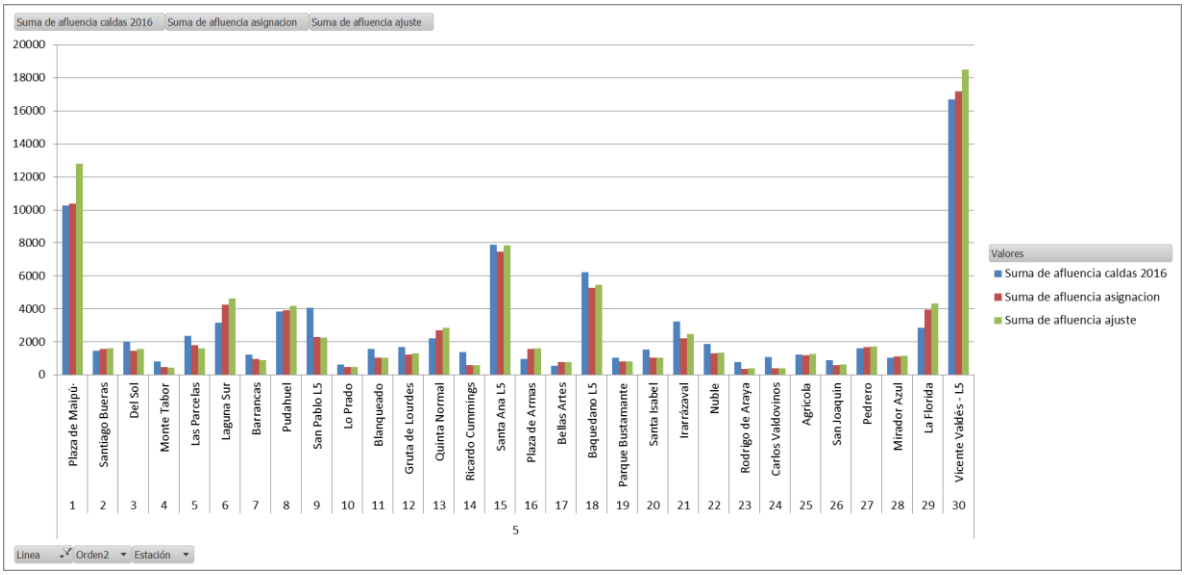
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-28: Imagen. Afluencia Línea 4



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-29: Afluencia Línea 5



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

A continuación se presenta el ajuste de la afluencia estaciones por línea.

Tabla 8-27: Ajuste Afluencia por Línea

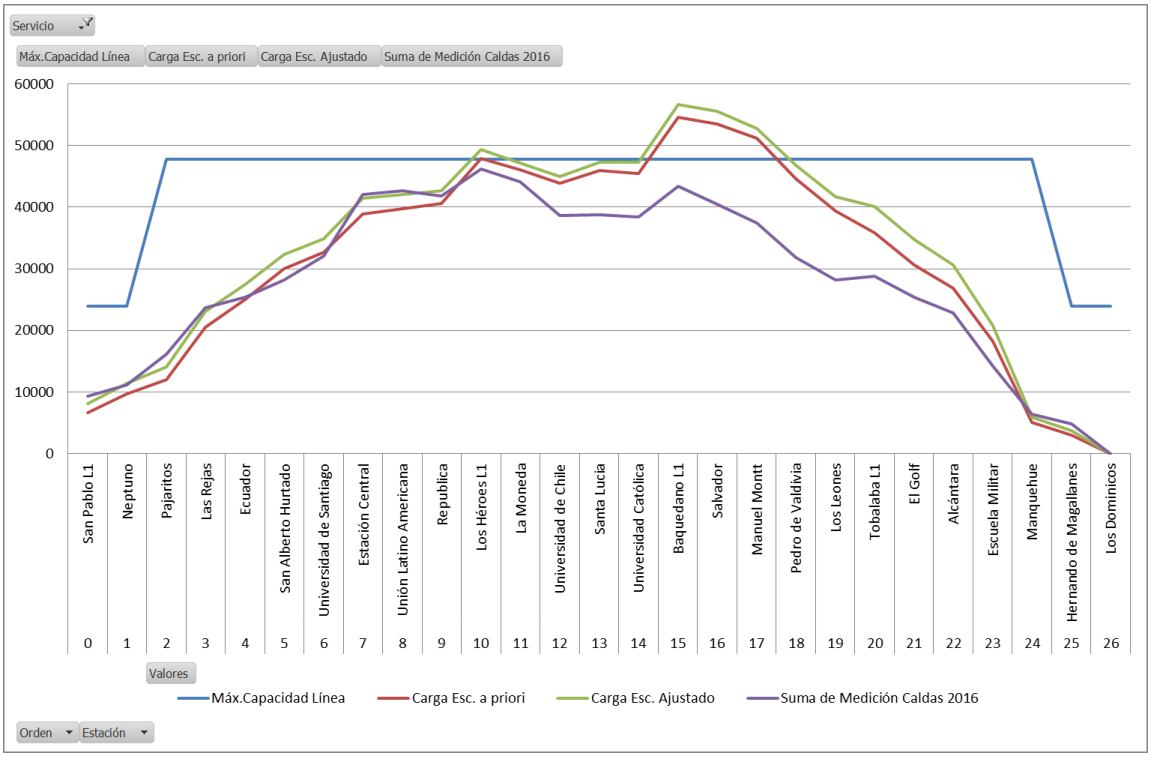
Línea	Esc 9 – Matriz asignada	Esc10 – Matriz Ajustada
1	89,6%	97,1%
2	99,6%	84,3%
4A	81,5%	77,5%
4	98,6%	87,9%
5	95,1%	84,9%

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observa que los niveles de ajuste son mayores al 84% en todas las líneas, exceptuando la Línea 4A con un 77,5% de ajuste.

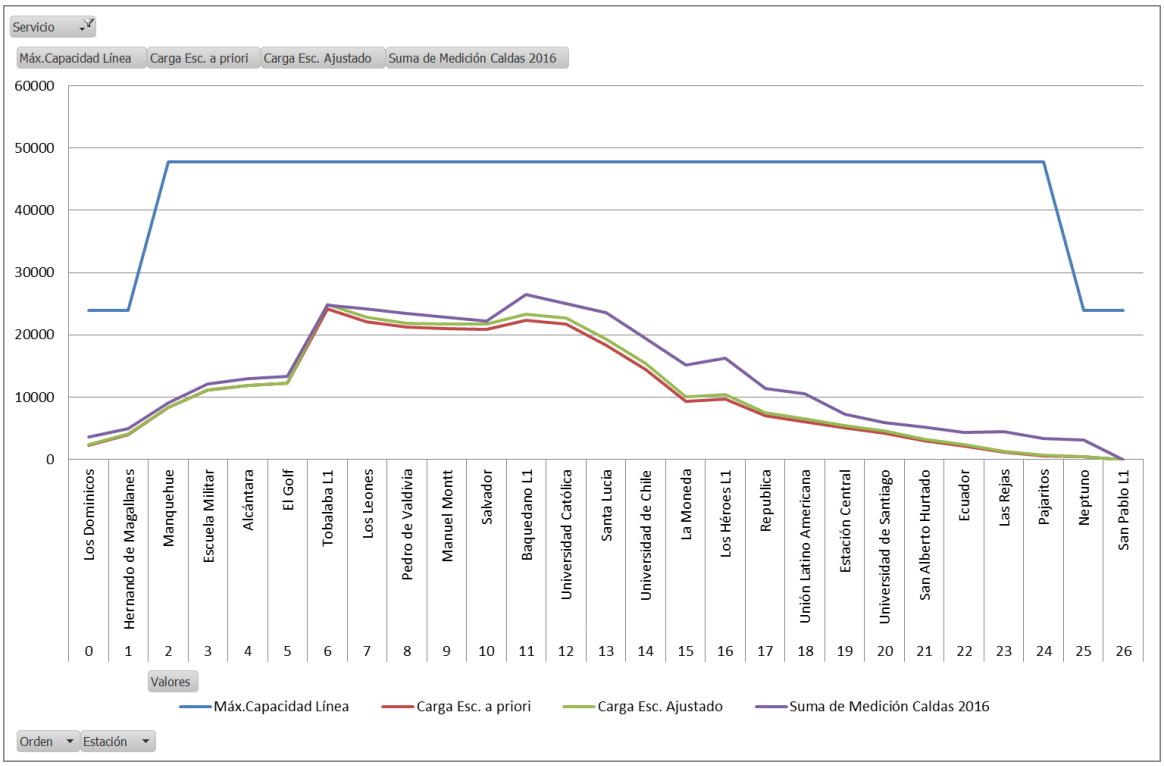
A continuación se presentan los perfiles de carga por línea sentido.

Figura 8-30: Perfil de Carga L1I



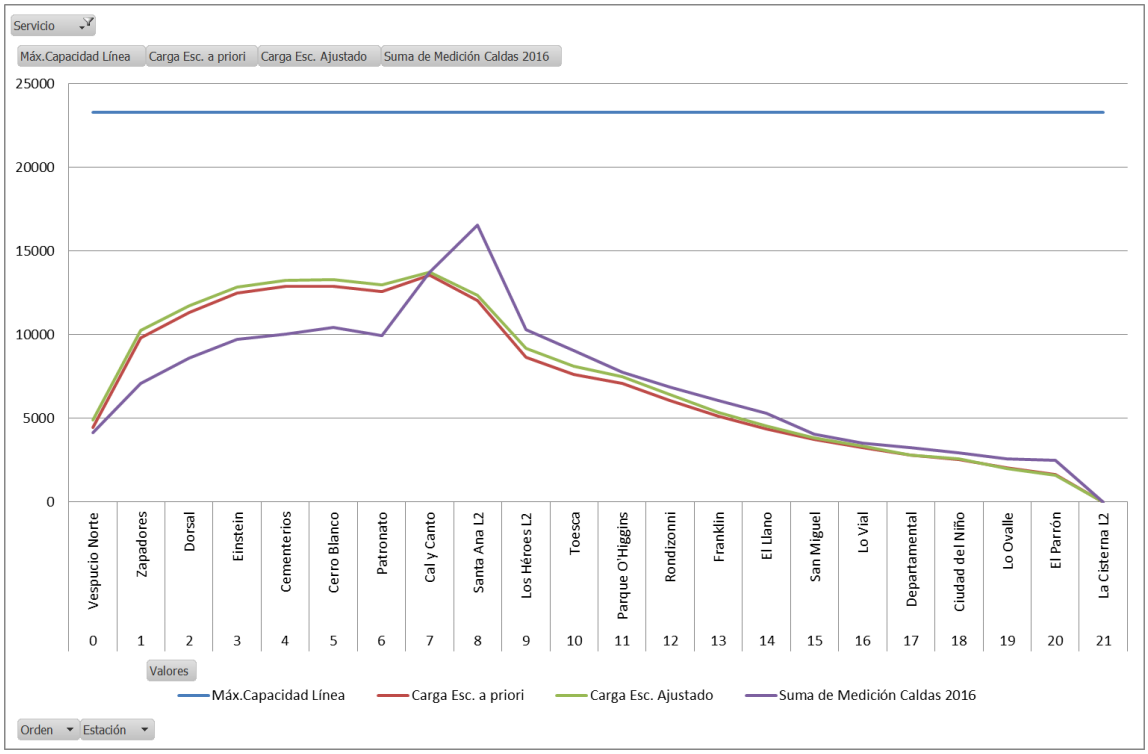
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-31: Perfil de Carga L1R



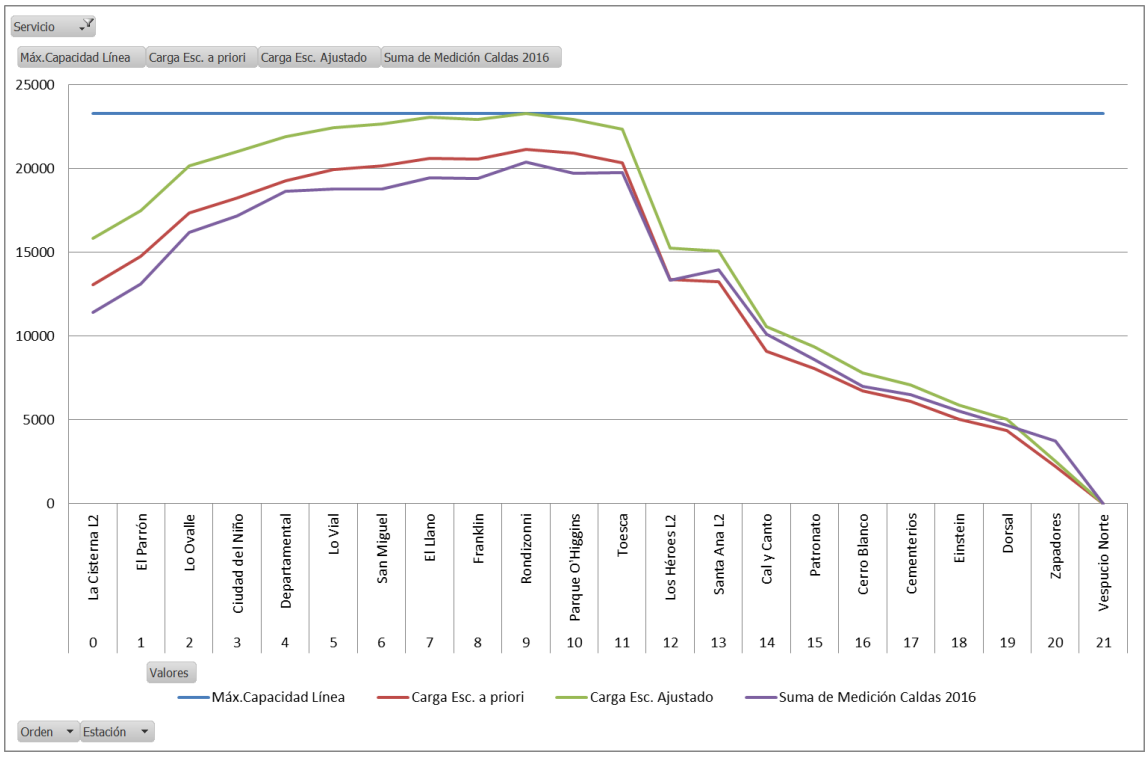
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-32: Perfil de Carga L2I



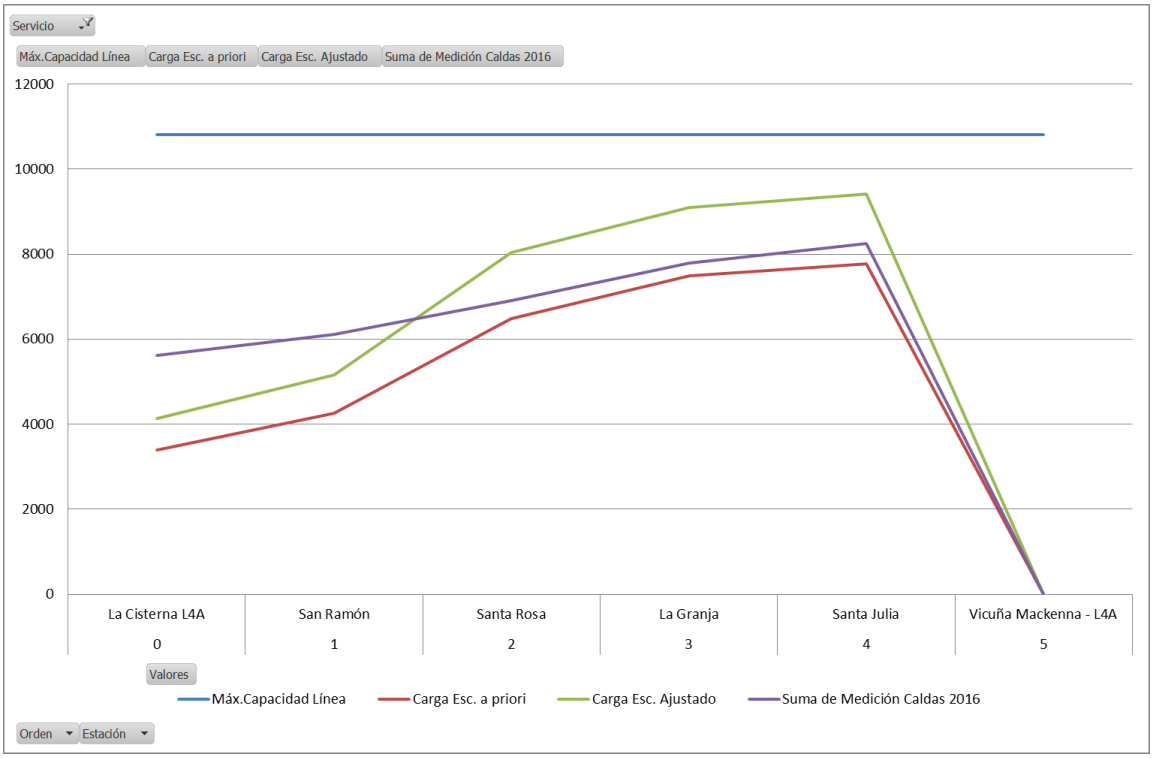
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-33: Perfil de Carga L2R



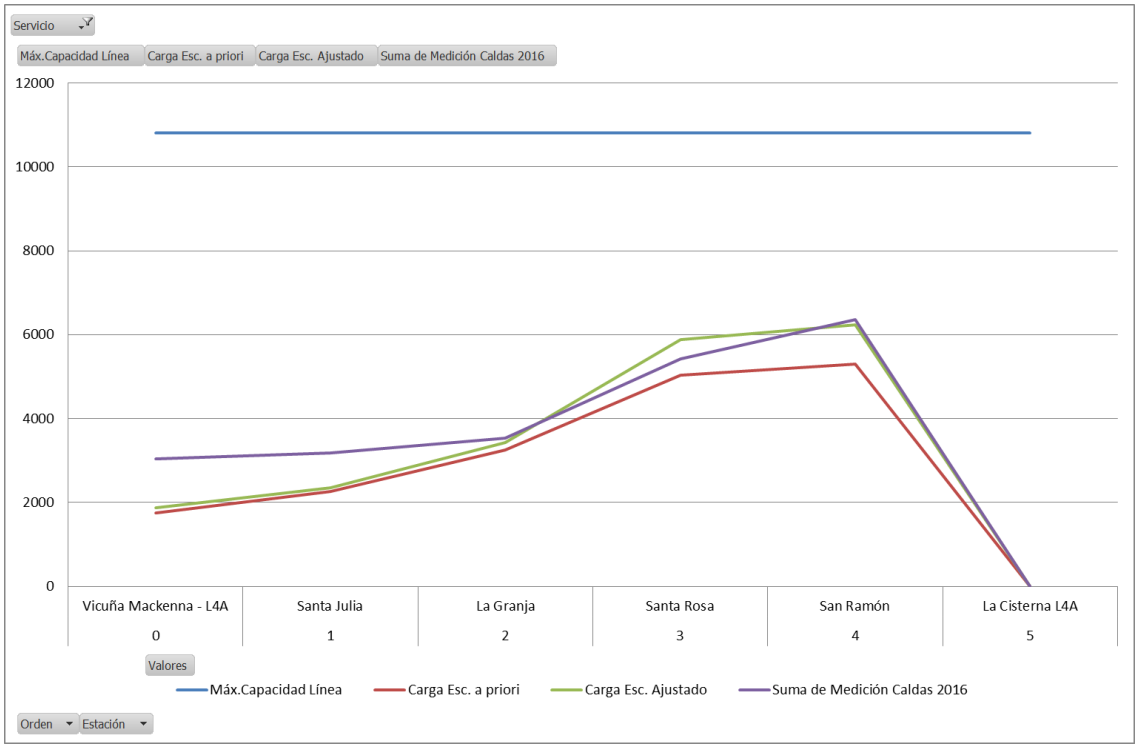
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-34: Perfil de Carga L4AI



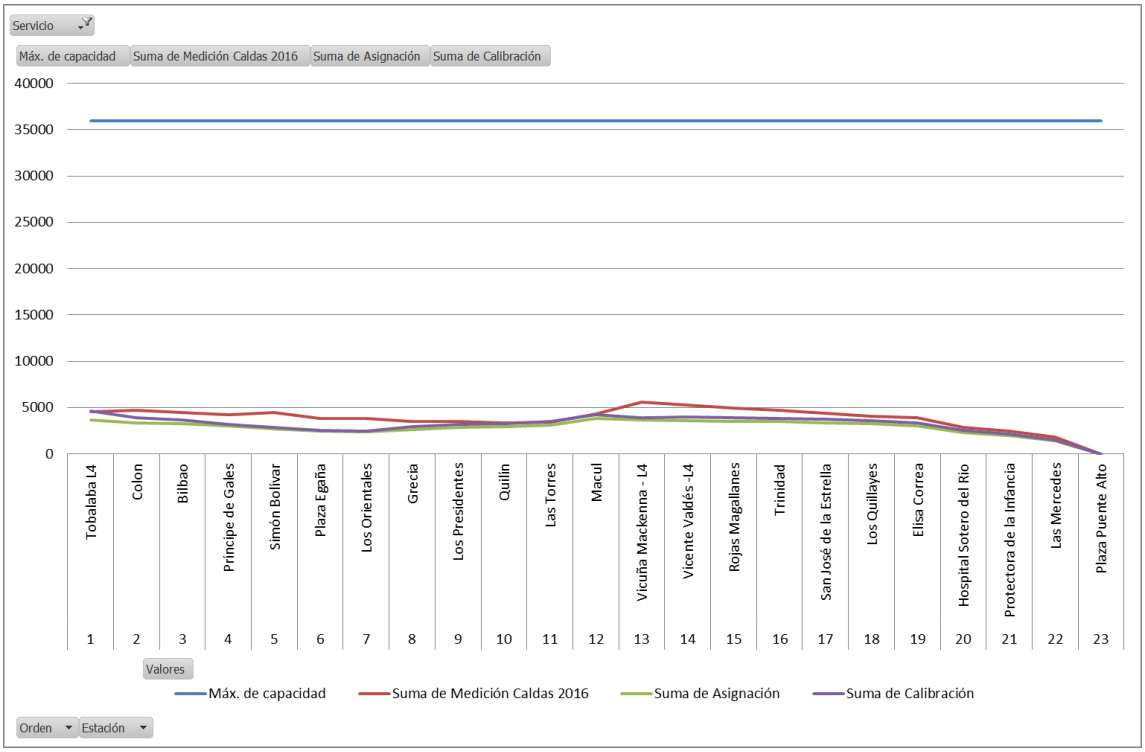
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-35: Perfil de Carga L4AR



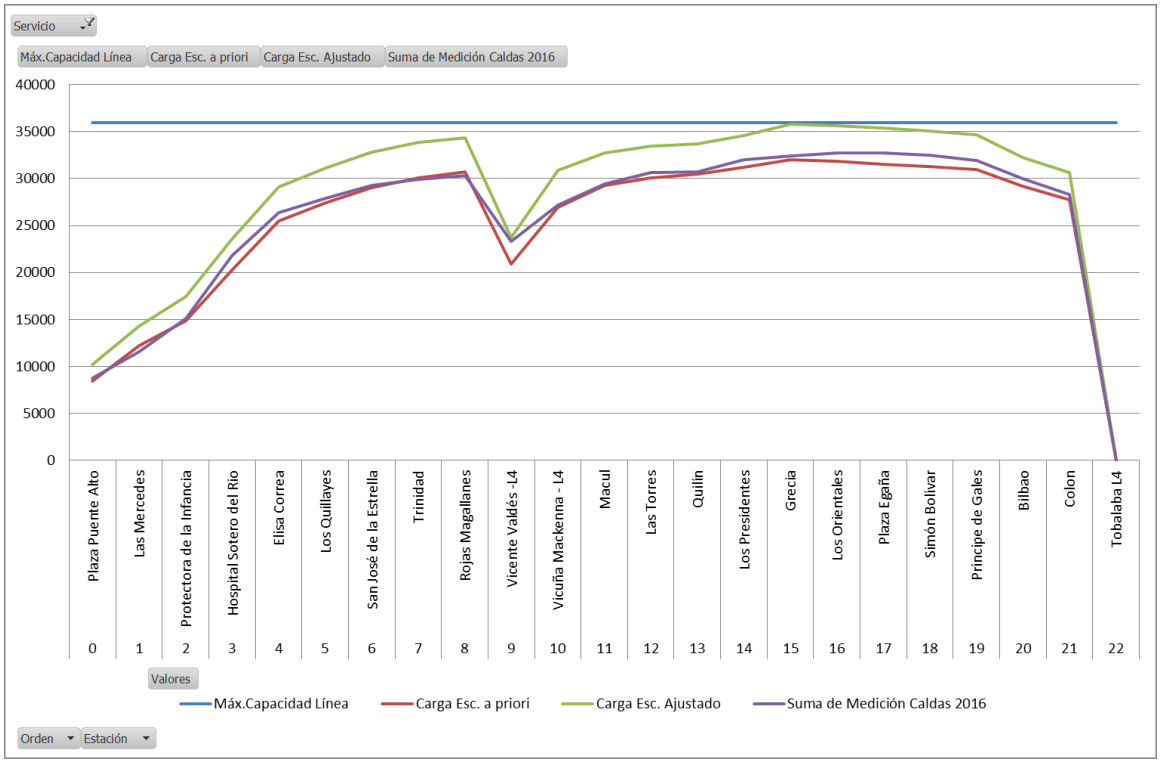
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-36: Perfil de Carga L4I



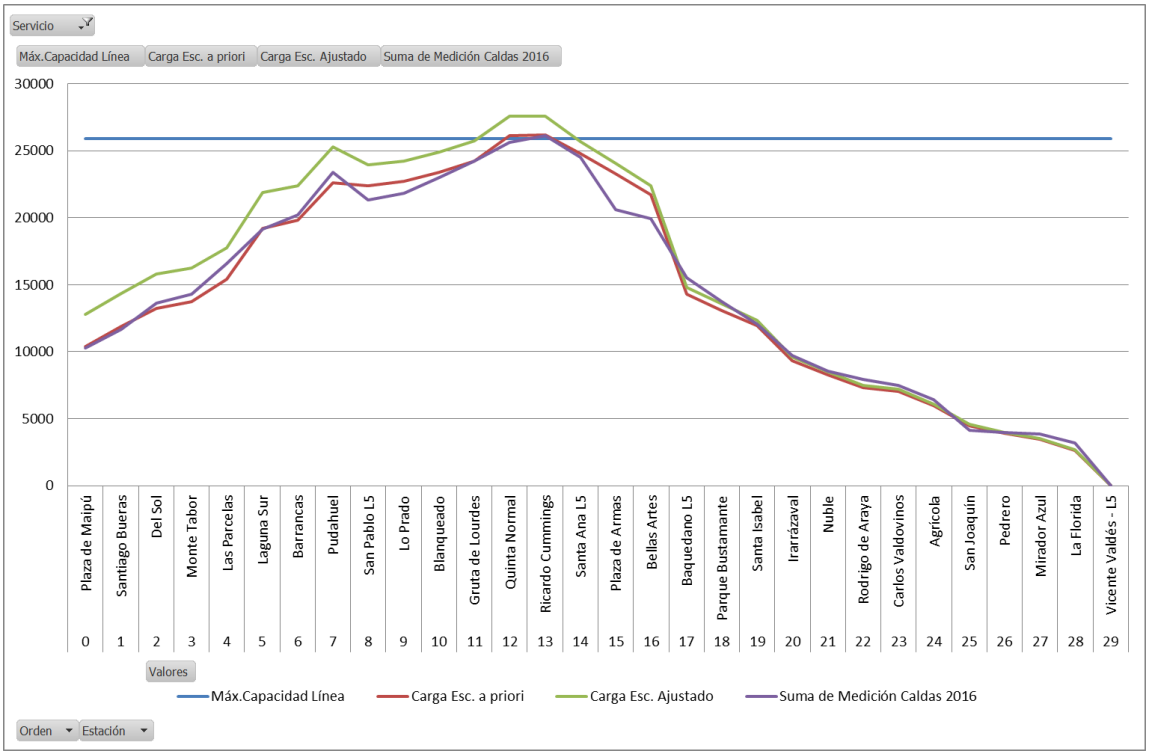
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-37: Perfil de Carga L4R



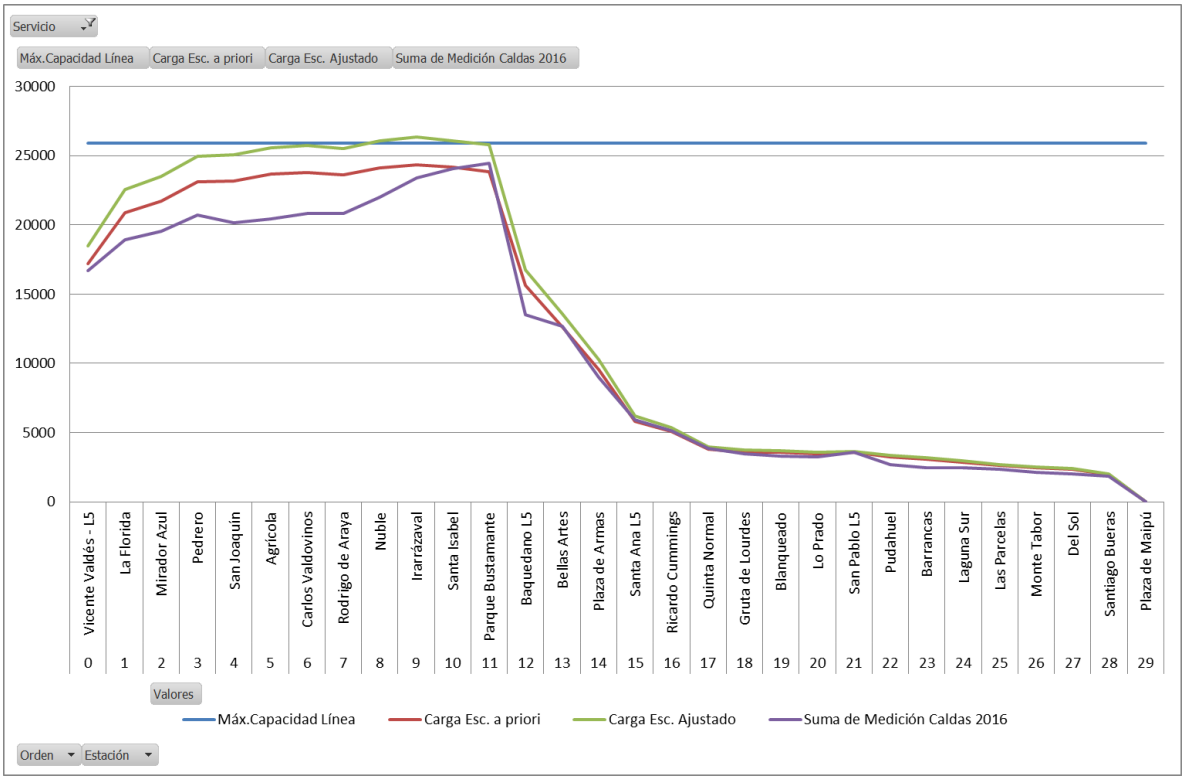
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-38: Perfil de Carga L5I



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-39: Perfil de Carga L5R



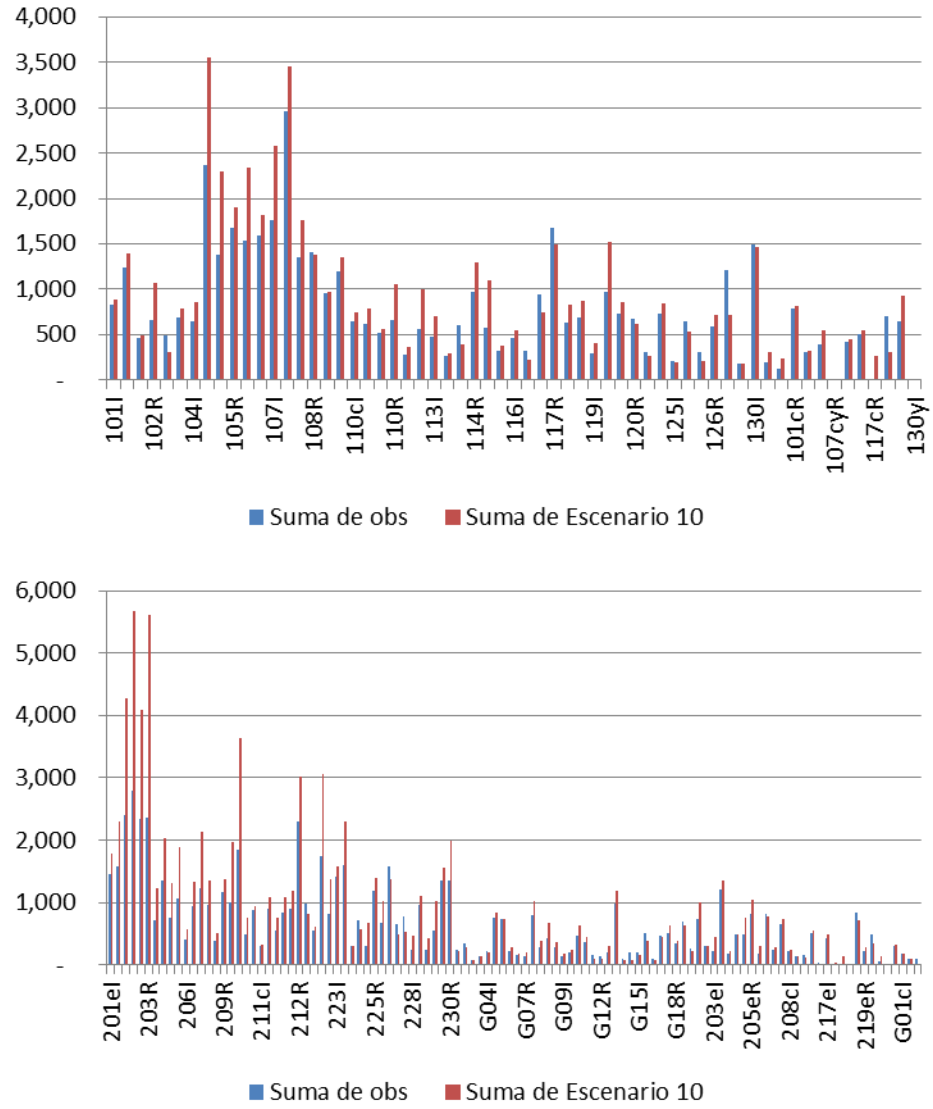
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

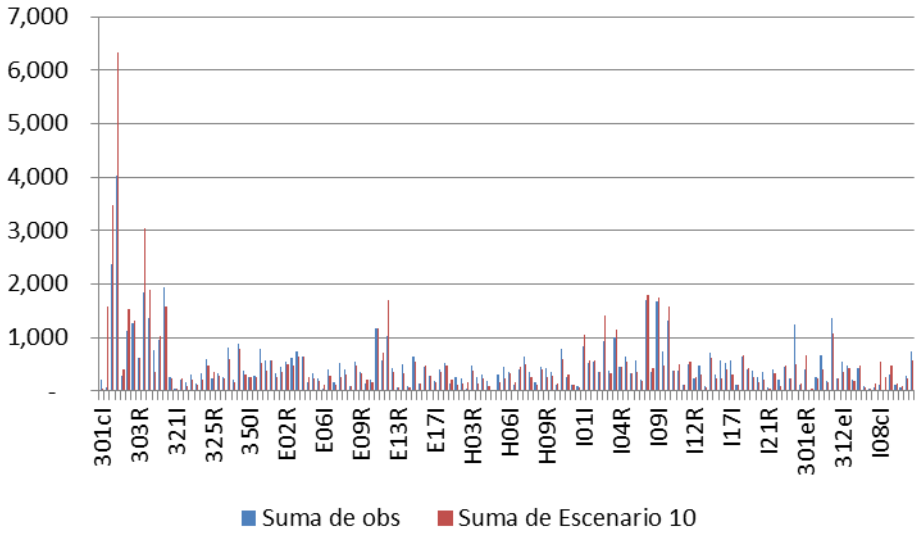
En todas las líneas se observan ajustes de perfiles de carga razonables, respecto a su comparación con Caldas.

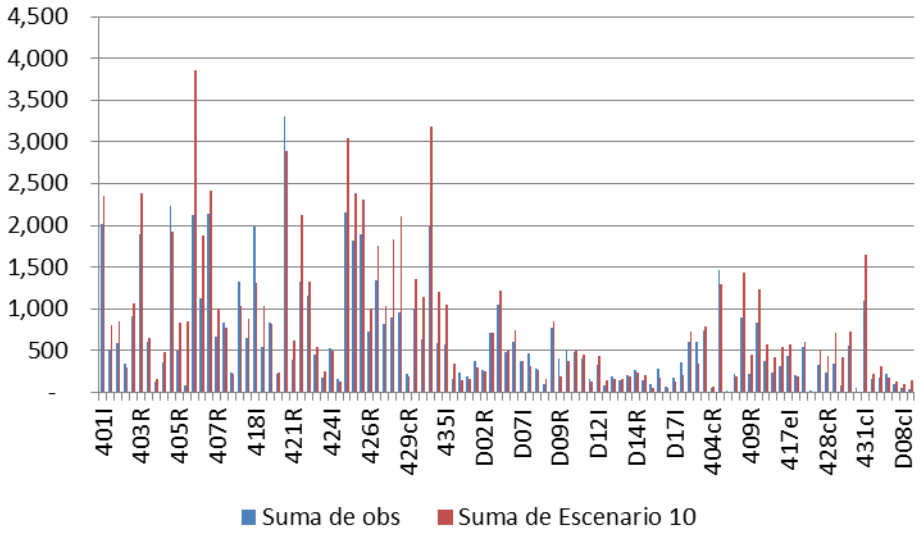
A continuación se muestra otros resultados de interés de la asignación de la matriz ajustada, relativo a los servicios de buses.

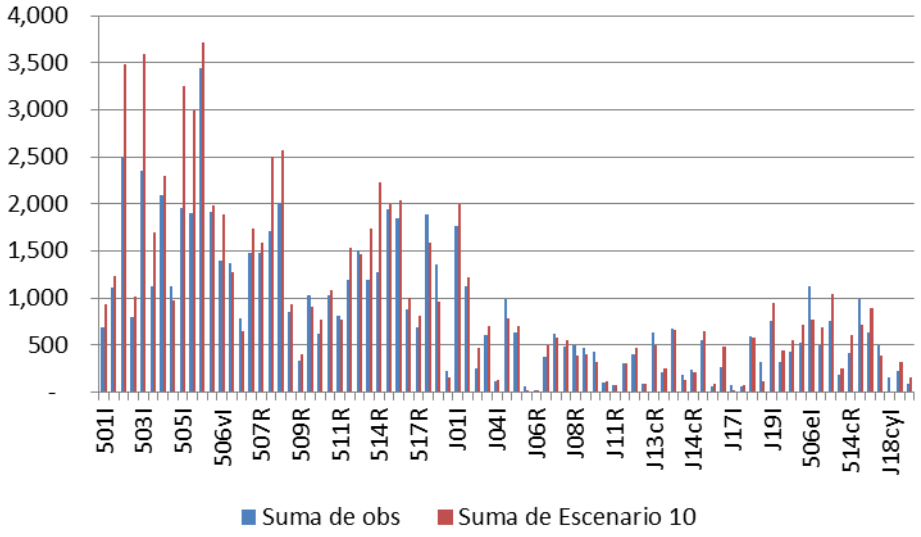
Como primer análisis se comparan las etapas a nivel de servicio para el escenario 10.

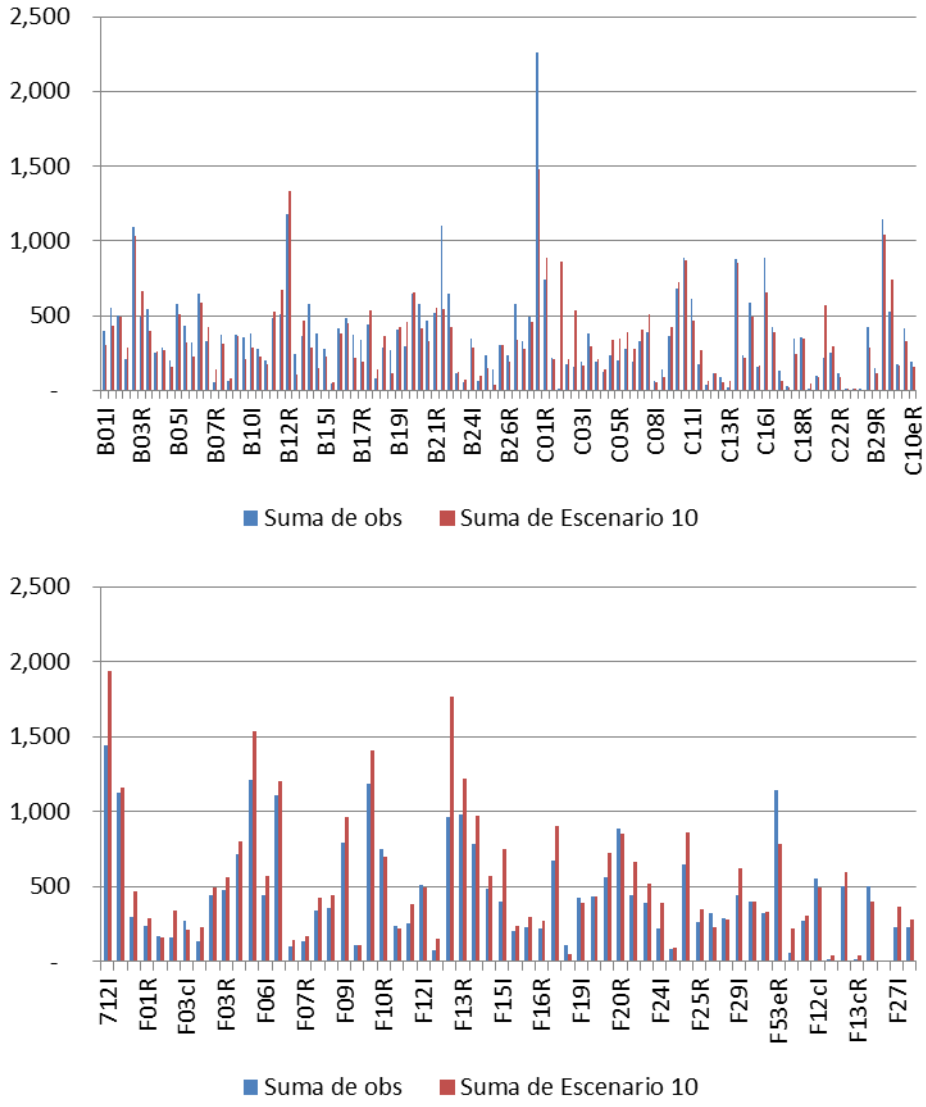
Figura 8-40: Comparación de Estación Buses comparadas-Escenario 10




7,000
6,000
5,000
4,000
3,000
2,000
1,000
-
301cI
303R
321I
325R
350I
E02R
E06I
E09R
E13R
E17I
H03R
H06I
H09R
I01I
I04R
I09I
I12R
I17I
I21R
301eR
312eI
I08cI
Suma de obs
Suma de Escenario 10


4,500
4,000
3,500
3,000
2,500
2,000
1,500
1,000
500
-
401I
403R
405R
407R
418I
421R
424I
426R
429cR
435I
D02R
D07I
D09R
D12I
D14R
D17I
404cR
409R
417eI
428cR
431cI
D08cI
Suma de obs
Suma de Escenario 10


4,000
3,500
3,000
2,500
2,000
1,500
1,000
500
-
501I
503I
505I
506vI
507R
509R
511R
514R
517R
J01I
J04I
J06R
J08R
J11R
J13cR
J14cR
J17I
J19I
506eI
514cR
J18cyI
Suma de obs
Suma de Escenario 10



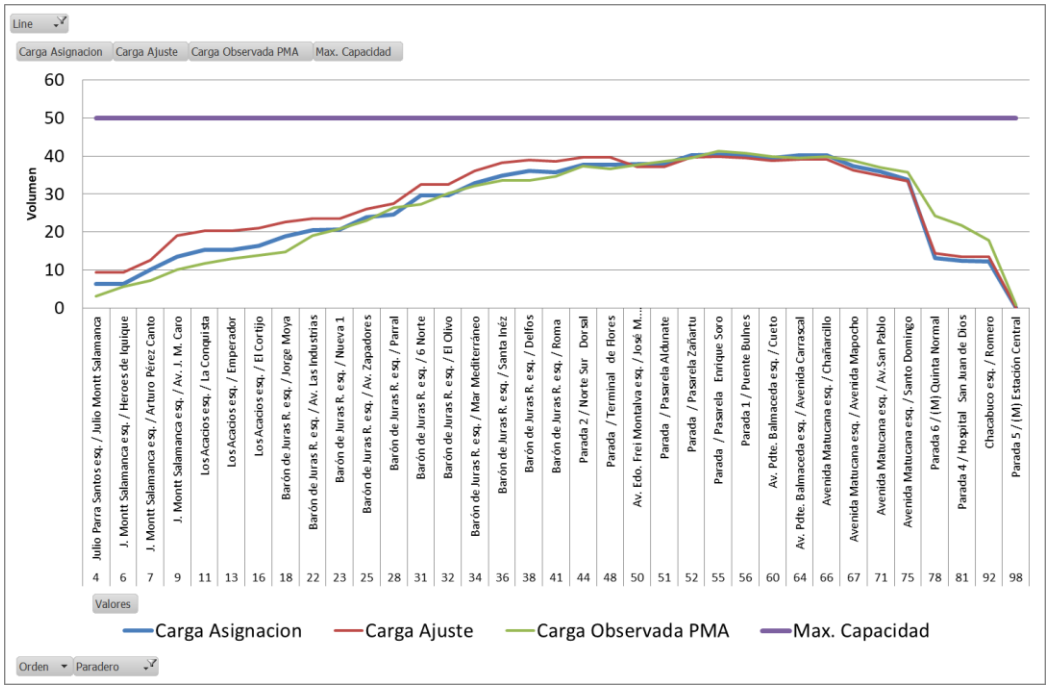
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En la información medida, se utiliza como información de contraste los servicios medidos en la Orden de Trabajo N°3 del Estudio de Indicadores III de DTPM, donde se construye un perfil de una salida promedio del periodo. Se midieron 41 servicios sentido en el periodo de la punta mañana. El periodo de medición fue entre Octubre y Noviembre de 2017.

Por su parte, la información modelada que es reportada por hora, se divide por la frecuencia del periodo, para homologar con los datos medidos. El PO modelado es de Mayo de 2017.

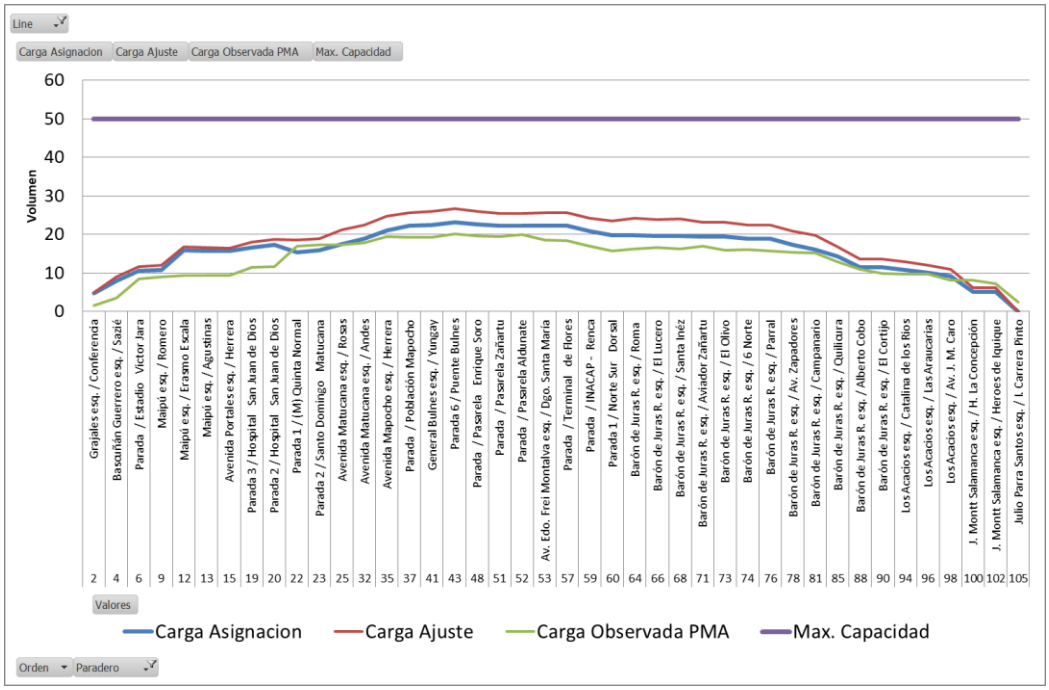
En Anexo 8 del capítulo, se entrega el detalle de los perfiles de carga de cada servicio. A continuación una selección.

Figura 8-41: Perfil de carga Servicio B26I



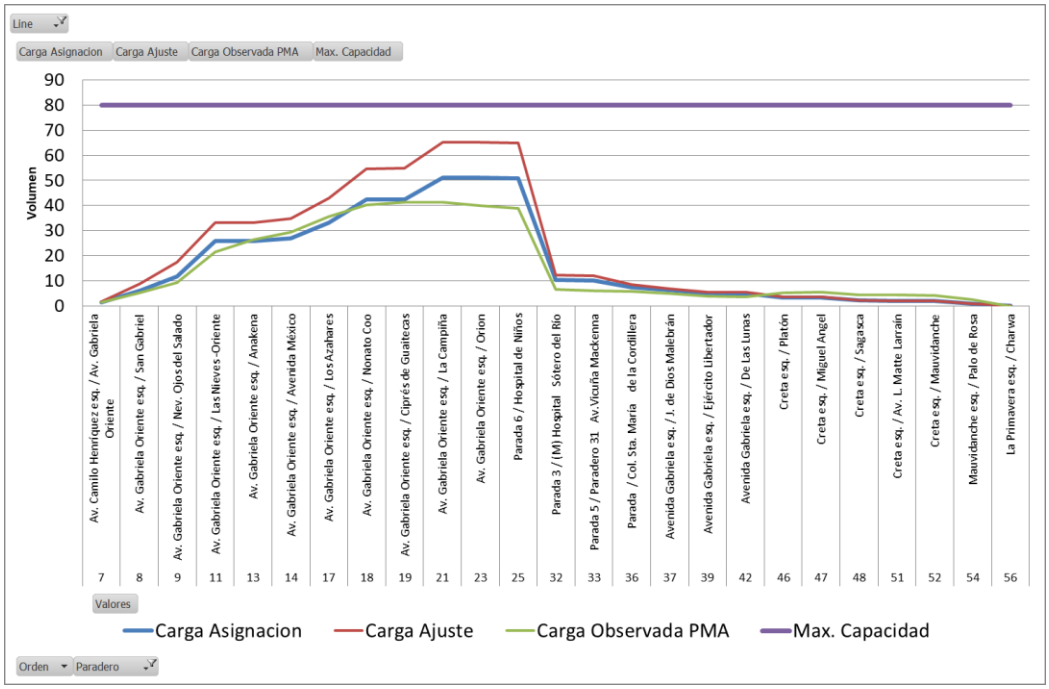
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-42: Perfil de carga Servicio B26R



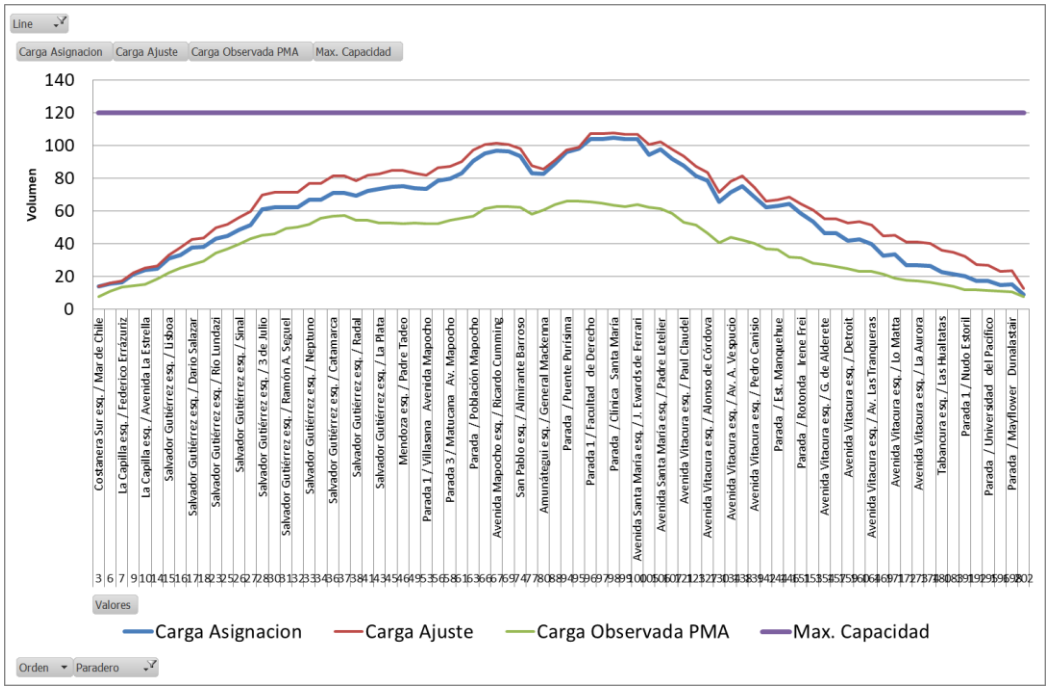
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-43: Perfil de carga Servicio F23R



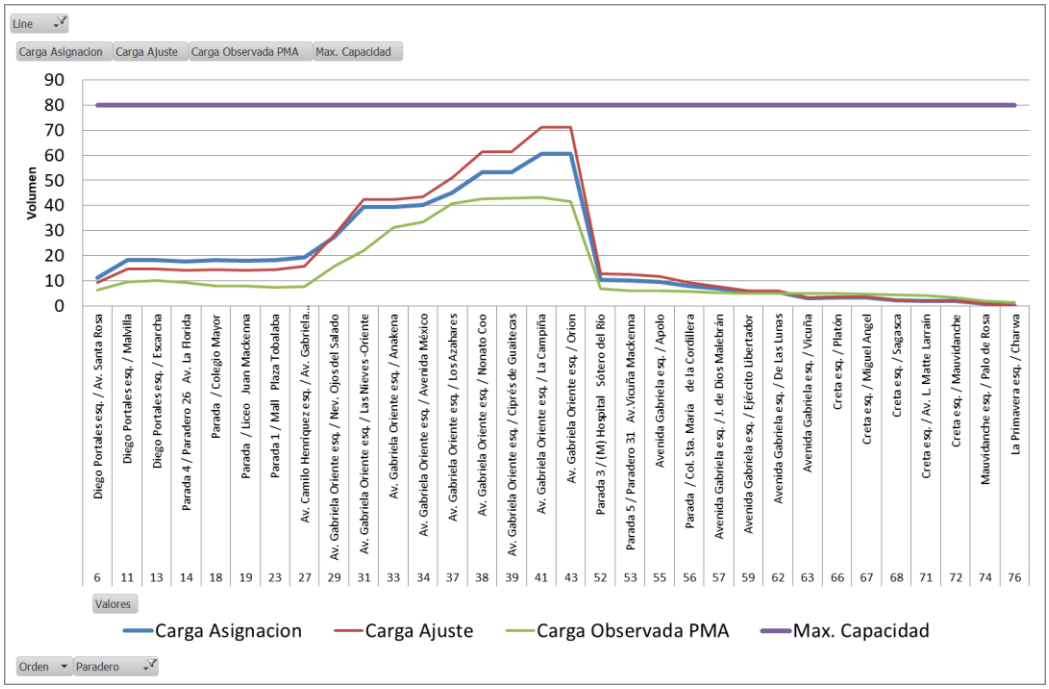
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-44: Perfil de carga Servicio 502I



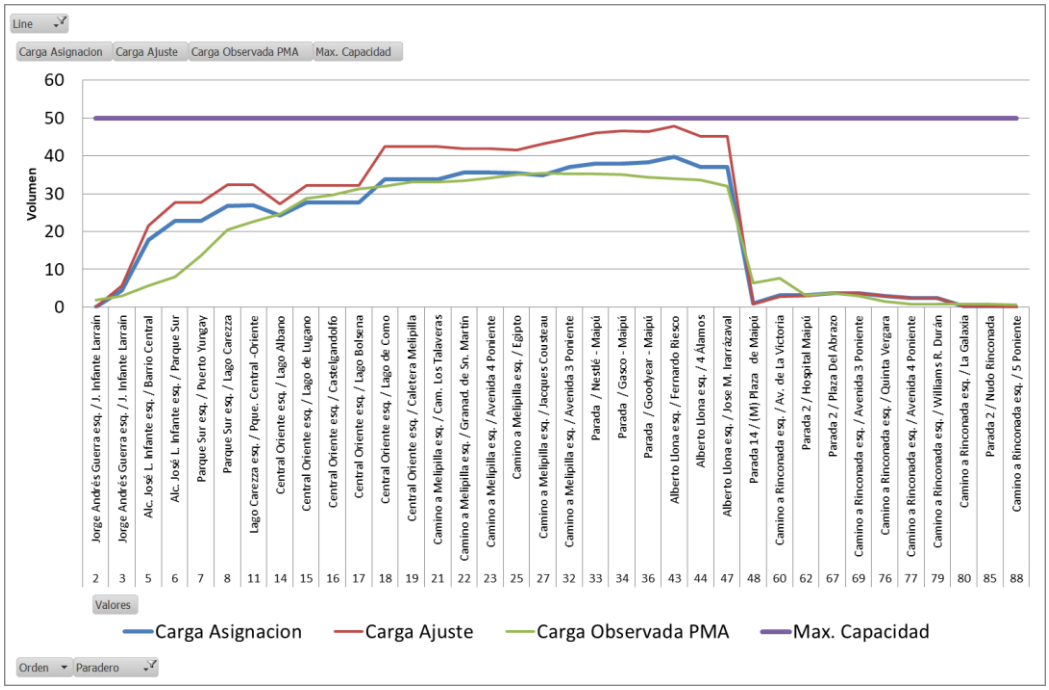
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-45: Perfil de carga Servicio F08R



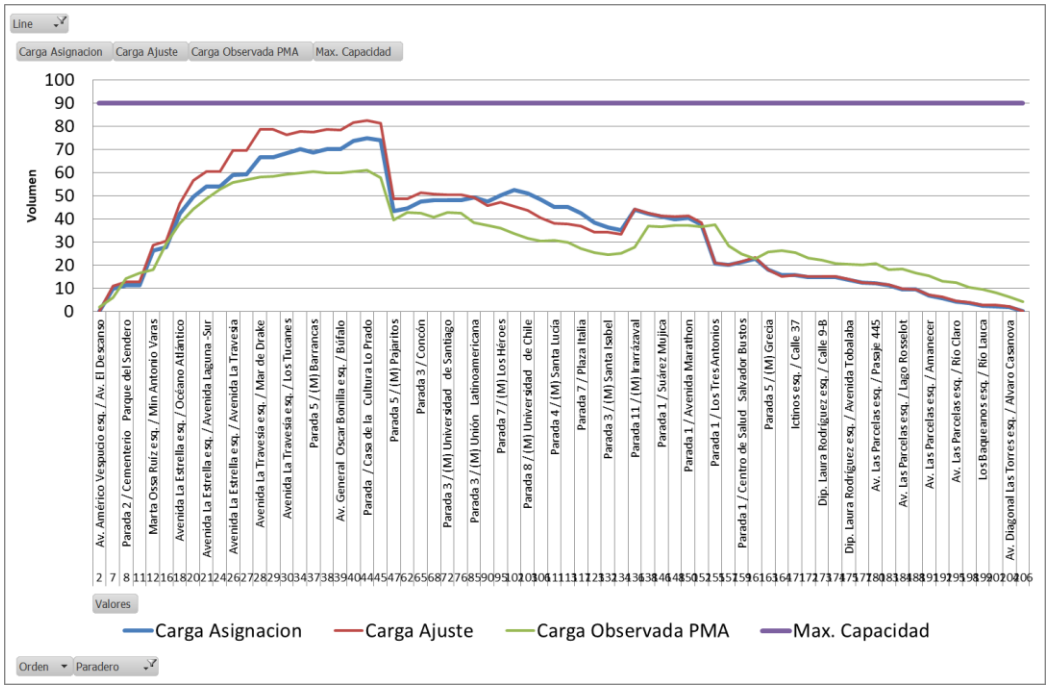
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-46: Perfil de carga Servicio 350I



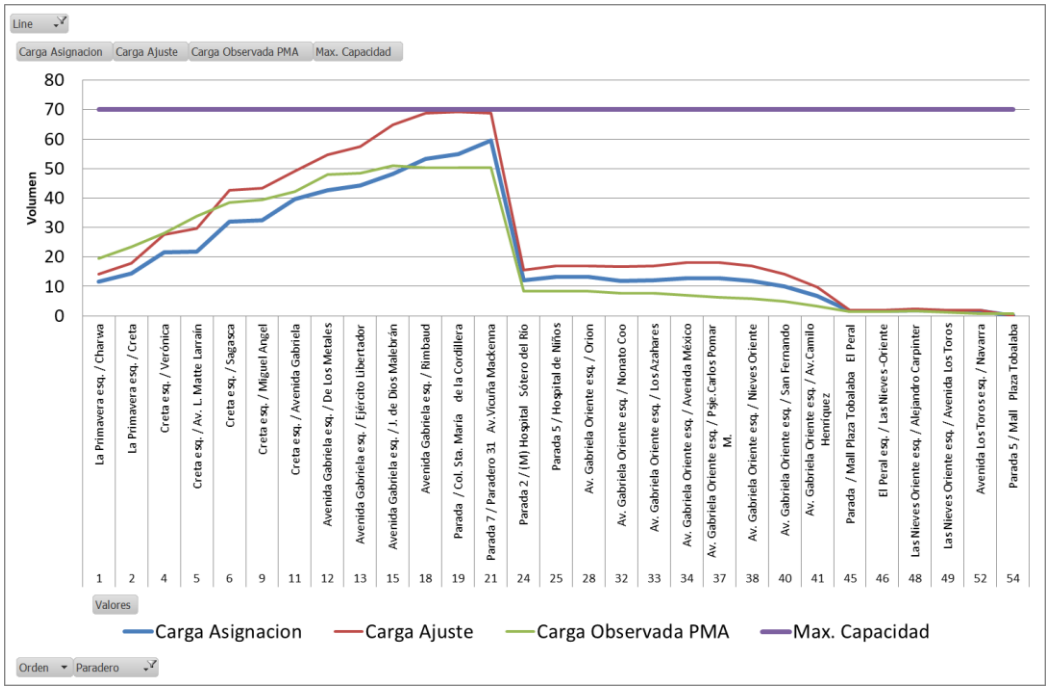
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-47: Perfil de carga Servicio 516I



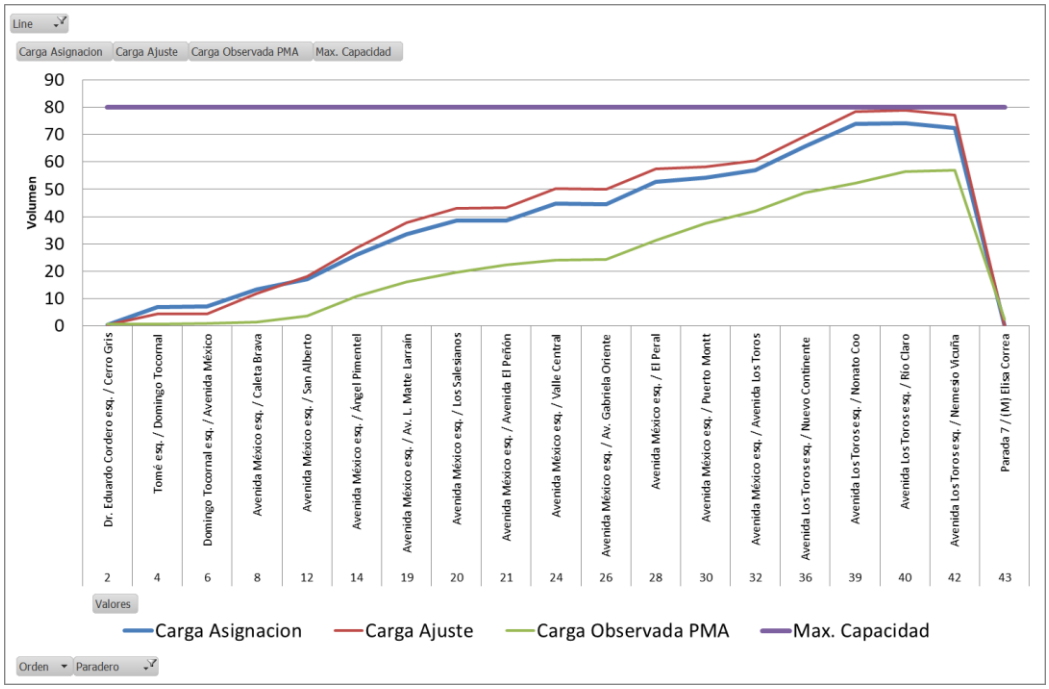
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-48: Perfil de carga Servicio F23I



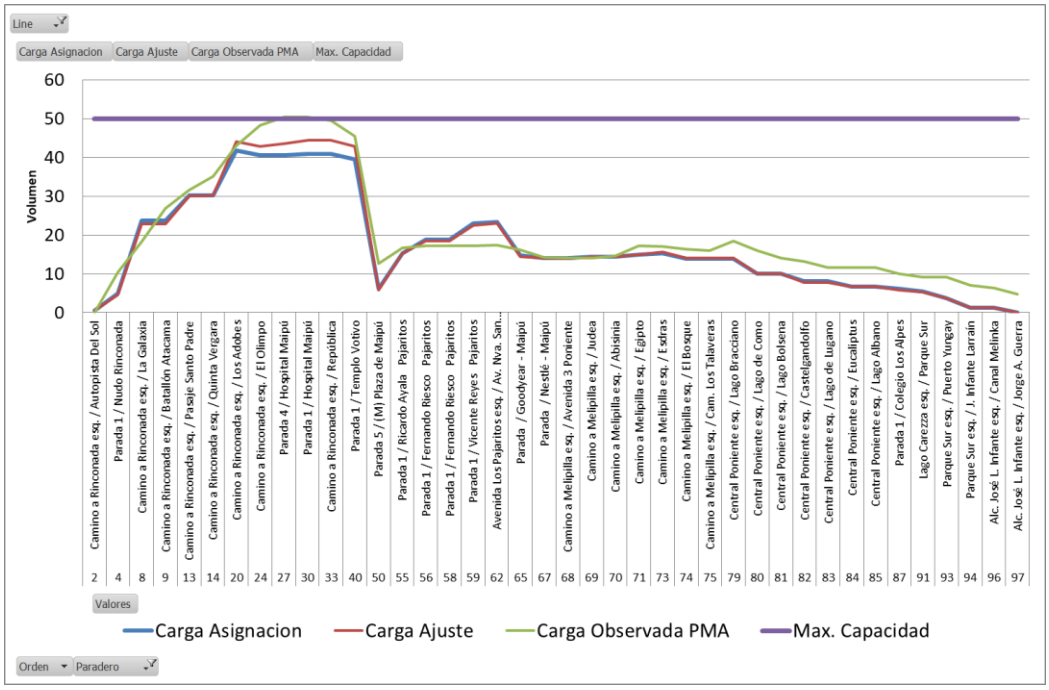
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-49: Perfil de carga Servicio F09I



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-50: Perfil de carga Servicio 350R



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Una dimensión necesaria de observar es la distribución de la demanda, entre Metro y buses, en los lugares donde se posea información real. En efecto, para los arcos donde se midieron aforos para la calibración, se presenta a continuación el flujo total y la participación del modo bus, observando un notable nivel de ajuste.

Tabla 8-28: Comparación de partición de flujo bus Metro

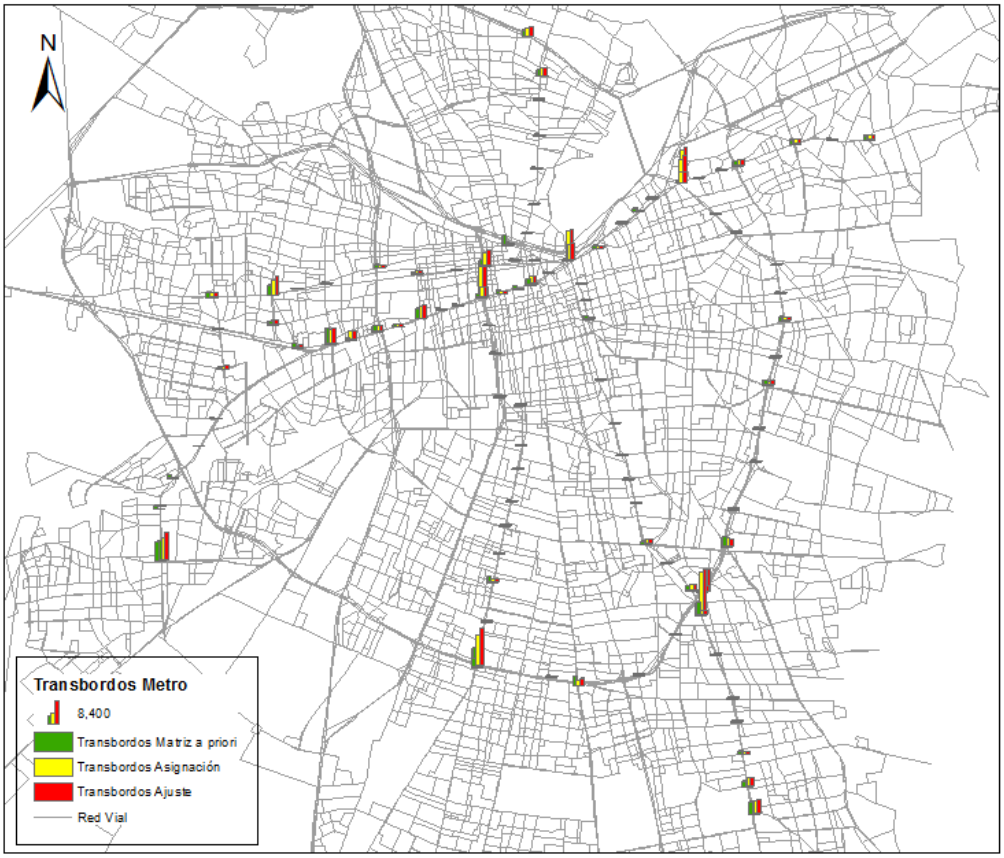
Punto	Sentido	Flujo total bus + Metro			Partición Modal Bus		
		Medición	Asignación	Ajuste	Medición	Asignación	Ajuste
Pajaritos - Plaza Maipú	SN	13,492	14,225	17,163	24%	27%	26%
Alameda - Las Rejas	PO	24,733	20,489	22,964	35%	41%	39%
San Pablo - Las Rejas	PO	24,845	24,602	26,961	12%	8%	10%
Manuela Rodriguez - Alameda	NS	11,178	9,153	9,769	8%	6%	6%
Alameda - U. de Chile	PO	44,990	56,180	56,634	2%	18%	17%
Alameda - U. Católica	OP	31,693	27,799	29,366	21%	22%	23%
Recoleta - Dominica	NS	12,316	15,036	15,373	15%	14%	14%
Recoleta - La Unión	NS	12,615	15,427	15,770	20%	16%	16%
Vic. Mackenna - Grecia	SN	23,361	25,732	27,852	6%	6%	6%
Vic. Mackenna - Victoria	NS	10,594	10,103	10,366	8%	8%	7%
Vic. Mackenna - Olivares	SN	30,763	30,534	34,310	3%	1%	1%
Vic. Mackenna - Gabriela Oriente	NS	3,552	2,802	3,198	21%	13%	15%
Concha y Toro - Pimentel	SN	12,716	13,887	15,967	9%	12%	10%
Vespucio - Vic. Mackenna	SN	10,312	9,119	11,017	20%	15%	15%
Vic. Mackenna - Vespucio	SN	17,895	19,329	20,660	7%	11%	10%
Vespucio - Quilin	SN	31,149	30,444	33,948	2%	1%	1%
Providencia - Carlos Antunez	PO	43,676	58,015	59,753	14%	12%	12%
Providencia - Carlos Antunez	OP	25,581	23,922	24,535	9%	11%	11%
Apoquindo - Las Condes	PO	7,709	6,082	7,175	18%	16%	17%
Apoquindo - Las Condes	OP	5,590	4,591	4,660	11%	12%	12%

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Como se observa en la tabla, en todos los ejes donde se dispone de información, tanto los flujos por eje están en el orden de magnitud como la partición entre bus y Metro.

El siguiente análisis se revisa la información de transbordos a nivel espacial.

Figura 8-51: Comparación de Transbordos Metro a nivel de estación



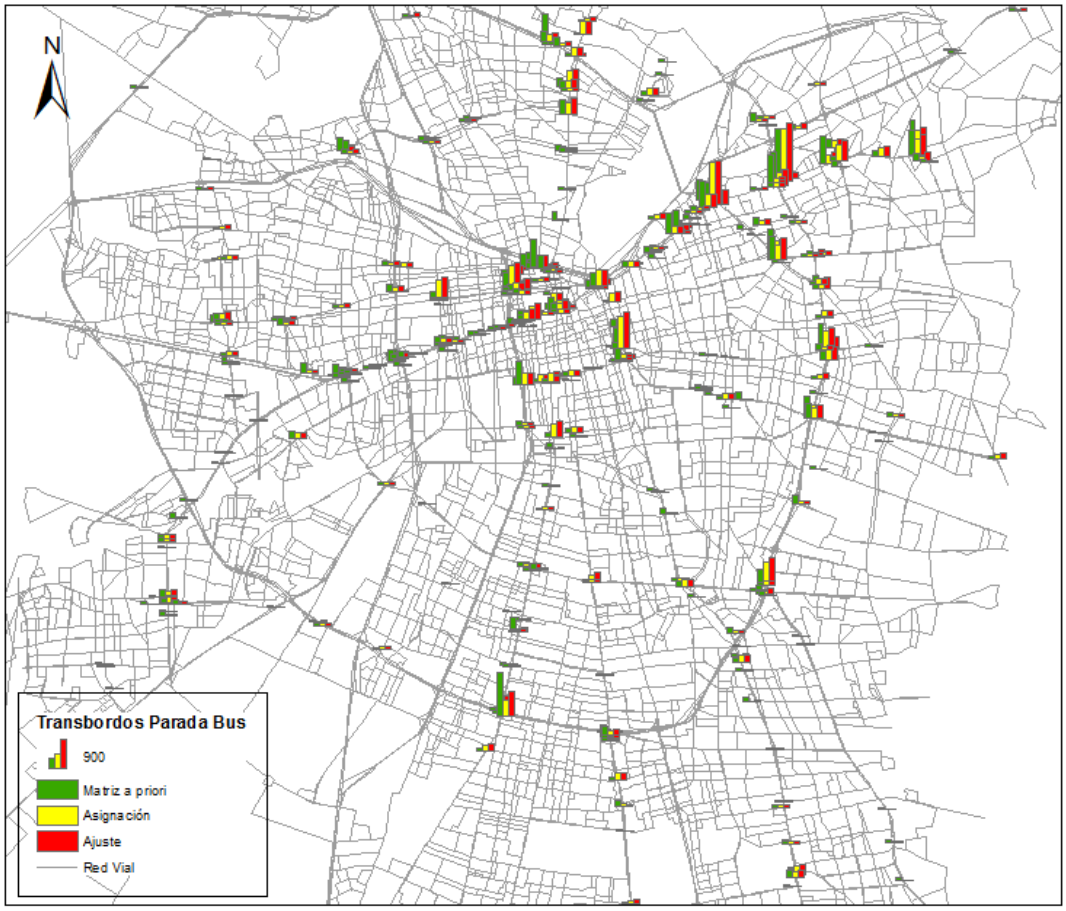
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 8-29: Transbordos por estación de Metro, 20 estaciones con más flujo

Nombre Parada	Etapas Matriz a priori	Esc9 Asignación	Esc10 Ajuste Matriz
Plaza de Maipú ·	7,047	7,658	9,998
La Cisterna L2	6,698	11,414	13,969
Las Rejas	5,826	5,391	5,863
Plaza Puente Alto	5,490	5,267	6,587
Hospital Sotero del Rio	4,703	4,567	5,167
Vicente Valdés -L4	4,143	3,001	3,059
Estación Central	3,572	5,361	5,894
San Pablo L1	3,360	5,156	6,598
Cal y Canto	3,255	1,748	1,678
Santa Rosa	3,137	3,469	4,727
Macul	3,133	3,585	3,507
La Cisterna L4A	3,106	2,934	3,633
Pudahuel	2,333	2,545	2,702
Zapadores	2,165	3,136	3,143
Vespucio Norte	2,145	3,082	3,555
Las Mercedes	2,035	2,005	2,324
Elisa Correa	1,970	3,121	3,280
San Alberto Hurtado	1,816	2,502	2,515
Grecia	1,796	1,680	2,226

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-52: Comparación transbordos buses a nivel de parada



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 8-30: Transbordos por paradero, 20 paradas con más flujo

Nombre Parada	Etapas Matriz a priori	Esc9 Asignación	Esc10 Ajuste Matriz
Parada 4 / (M) Escuela Militar	1,625	1,614	1,803
Parada / Est. Intermodal La Cisterna	1,390	509	797
Parada 5 / (M) Escuela Militar	1,062	431	515
Parada 1 / (M) Los Dominicos	1,053	769	862
Parada 6 / (M) Francisco Bilbao	947	458	509
Parada 7 / Estación Mapocho	863	222	364
Parada 4 / (M) Manquehue	850	261	370
Parada 8 / (M) Escuela Militar	839	129	102
Parada 12 / (M) Irarrázaval	839	37	70
Parada 5 / (M) Plaza Egaña	811	600	694
Parada 2 / (M) Los Dominicos	792	494	649
Parada 7 / (M) Tobalaba	791	374	396
Parada 3 / (M) Francisco Bilbao	731	427	680
Parada 4 / (M) Parque O'Higgins	720	366	369
Parada 9 / (M) Pedro de Valdivia	695	105	96
Parada 4 / (M) Grecia	688	419	305
Parada 1 / (M) Tobalaba	679	1,313	1,364
Parada 2 / (M) Tobalaba	666	358	378
Parada 3 / (M) Pedro de Valdivia	650	232	227
Parada 1 / (M) Escuela Militar	626	174	213
Parada 1 / (M) Francisco Bilbao	588	464	501
Parada 2 / (M) Macul	506	705	851

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

El siguiente análisis que se presenta, tiene relación con las componentes del tiempo de viaje del sistema.

Tabla 8-31: Comparación de Niveles de servicio (min)

Tiempos	ADATRAP	Promedio Viaje 2014 Informe Gestión	Esc9- Asignación	Esc10 – Ajuste Matriz
Tiempo Caminata	0,57	S/I	16,93	17.5
Tiempo Espera	1,15	6,1	4.39	4,7
Tiempo vehículo	35,5	30,9	33.59	33.3
Tiempo de Viaje	37,21		54.91	55,4

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

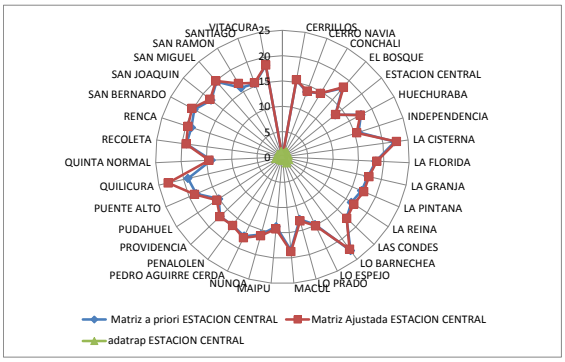
Cabe mencionar que la información consignada en ADATRAP, para el tiempo de caminata solo considera las caminatas en los transbordos, pues no contiene el acceso y egreso del viaje, de modo que el valor esta intrínsecamente subestimado. Por otra parte, el valor de tiempo de

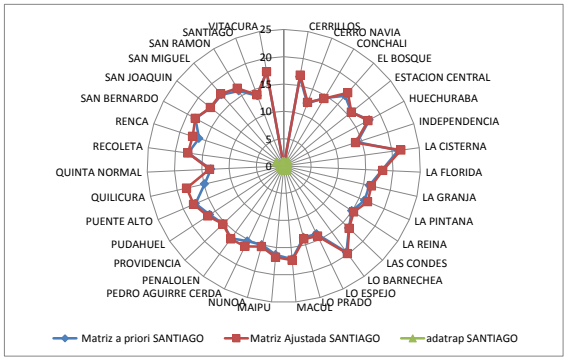
espera en ADATRAP también está subestimado, pues solo considera la espera en el transbordo, no incorporando la espera de la primera etapa.

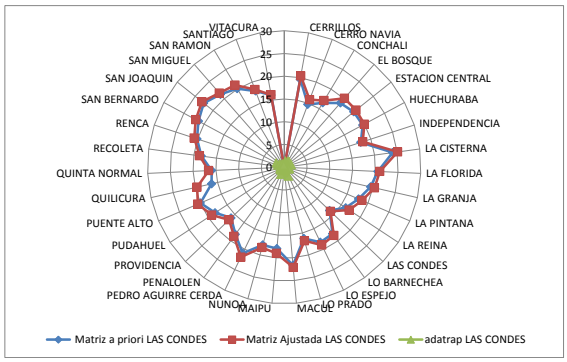
Si bien pudiera en principio pudiera parecer excesivo el tiempo de caminata en los escenarios Esc9 y Esc10, se debe recordar que éste incluye acceso, transferencia y egreso, de modo que el modelo entrega una visión integral de este particular nivel de servicio, que por lo tanto permite ser considerado en la evaluación de cambios en los Programas de Operación.

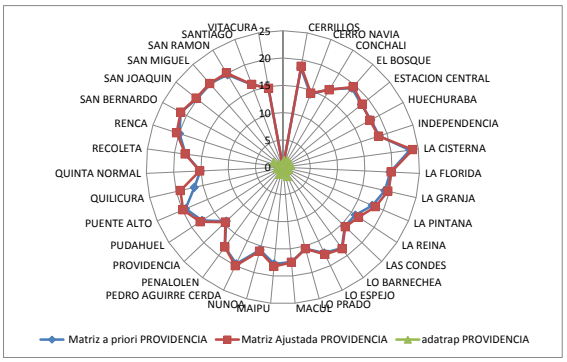
Sin perjuicio de lo anterior, fueron comparadas las fuentes de información a nivel general y según algunas comunas de destino relevantes.

Figura 8-53: Tiempos de caminata – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes









Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

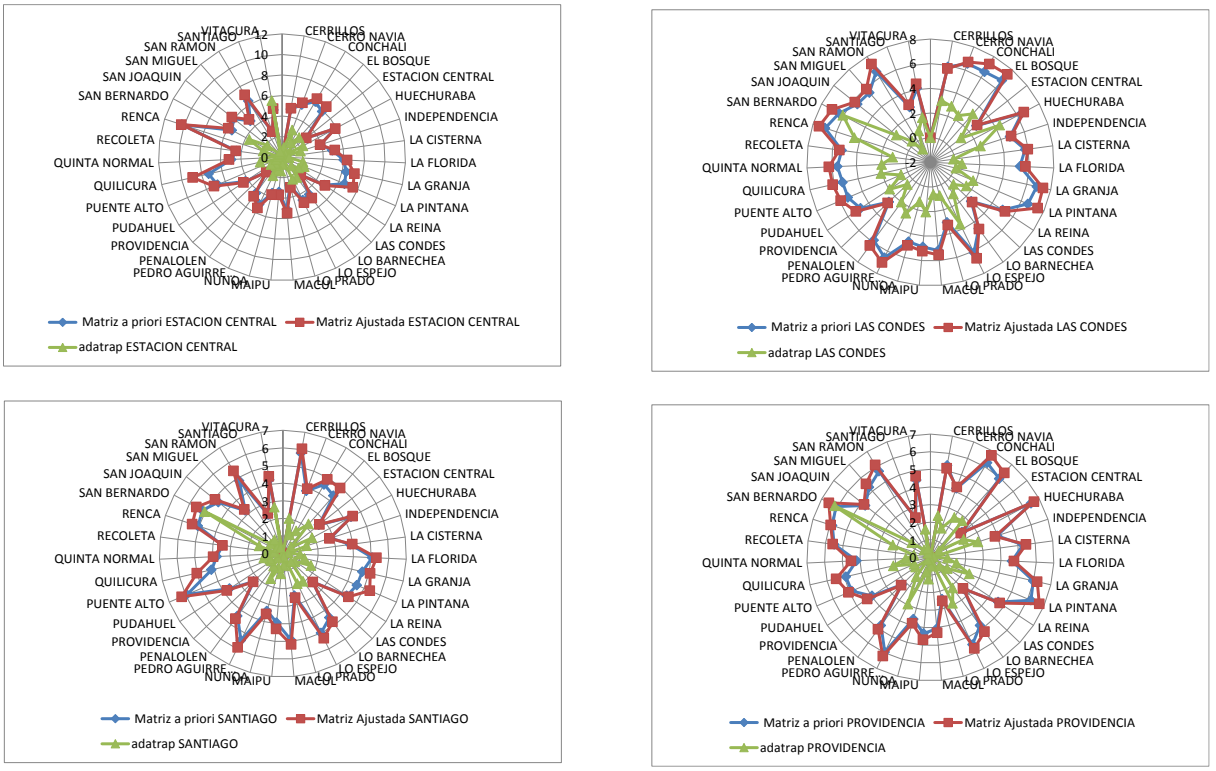
Se observa que para los destinos de Santiago y Estación Central, la comuna de origen que presenta mayor tiempo de caminata es Lo Barnechea, no así, para los destinos de Providencia y Las Condes, donde la comuna de origen con mayor tiempo de caminata es La Cisterna.

Al analizar los tiempos de espera se observa que tanto en el asignado como en el de matriz ajustada, en el destino Estación Central la comuna con más espera es Renca, para Las Condes es La Granja, para Santiago es Puente Alto y para Providencia es San Bernardo.

La revisión de los tiempos de espera, caminata y viaje por mercado, es otra de las posibilidades de análisis que ofrece la herramienta de modelación en EMME, de modo que análisis más finos son posibles. En efecto, es posible diagnosticar/identificar mercados mal

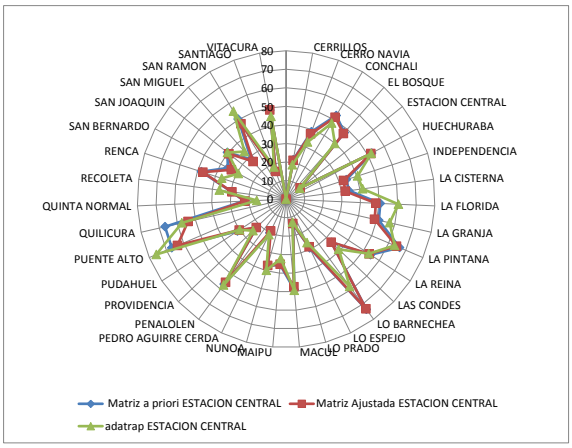
atendidos o con peor nivel de servicio, así como y evaluar en mercados específicos cambios en los Programas de Operación.

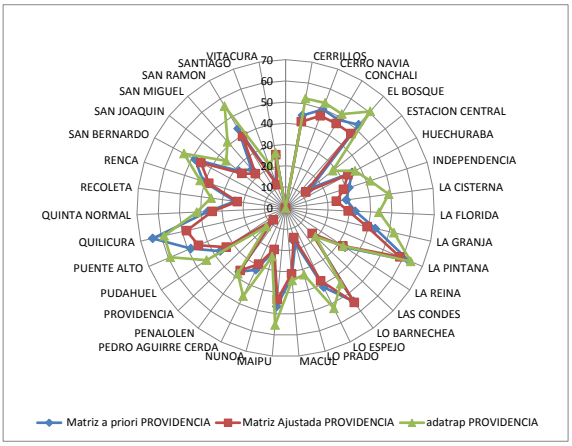
Figura 8-54: Tiempos de espera – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes

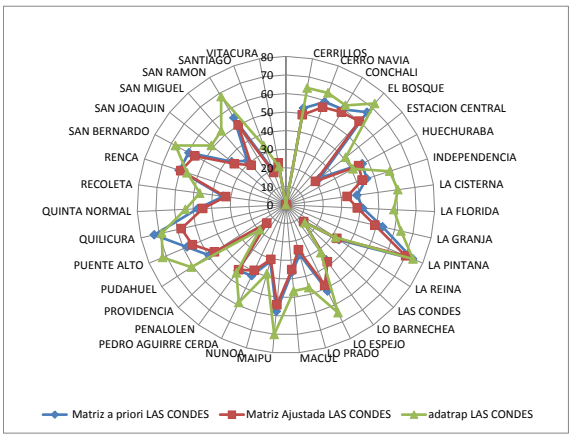


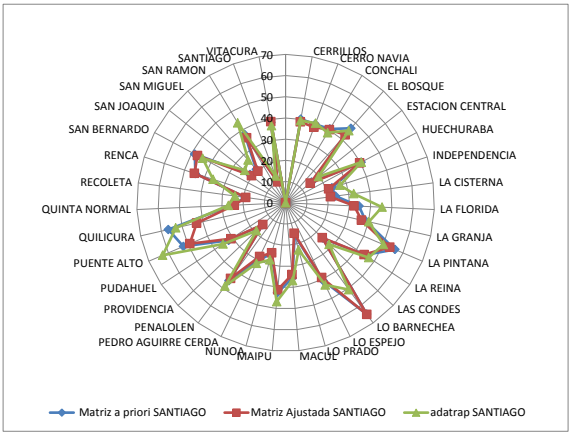
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 8-55: Tiempos de viaje – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes









Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

A nivel general, se observa que el tiempo de viaje en vehículo es parecido en todos los escenarios analizados, cuestión que se ve también en los destinos analizados.

En el Anexo 8 del capítulo se reporta el archivo donde se presenta el tiempo según componente para cada par OD comunal. Además, se encuentra el modelo de asignación con los escenarios generados en el proceso de calibración y los principales resultados del escenario asignado con la matriz calibrada.

9 ESCENARIOS DE MODELACIÓN PUNTA MAÑANA

9.1 INTRODUCCIÓN

A continuación, se describen los escenarios modelados y que son reportados en el presente capítulo.

- **E0: Escenario BASE_ JULIO 2018:** este escenario considera la actualización de la oferta de buses (trazados, frecuencia y capacidad), según lo programado para Julio 2018. Además, se procedió a actualizar de los parámetros de operación de Metro a la misma fecha, incorporando a la red la operación de la Línea 6 y ajustando la oferta, capacidad y tiempos entre estaciones del resto de las líneas.
- **E1**: **E0 + L3 + INDEPENDENCIA**: Sobre el **E0**, se incorpora la operación de la Línea 3, se actualizan las condiciones de operación del resto de las líneas y se ajusta el eje de independencia, simulando su operación como la de un corredor, ajustando así las velocidades por arco de eje y la ubicación de los paraderos
- **E2 (E2V)***: **E1 + Ajuste de Malla por L3**: Sobre el escenario **E1**, se incorporan ajustes a la malla de buses (trazados, frecuencias y capacidad) que corresponden a propuestas para mejorar la lógica de la malla de buses producto de la entrada de operación de la Línea 3 de Metro.

***Este escenario fue evaluados en 2 instancias. El mandante luego de analizar los resultados obtenidos en la primera versión de dicho escenario realizó ajustes en la malla de buses por la entrada en operación de la Línea 3 de Metro (E2V).** En ninguno de los escenarios se consideran cambios en la información de entrada de Metrotren, ni un cambio masivo de velocidades de buses de la red respecto a lo incorporado inicialmente al modelo. Tampoco existe un cambio en la matriz a asignar.

Respecto a la matriz de viajes asignada, esta corresponde a la matriz ajustada correspondiente al mes de agosto del 2017.

En el Anexo 9 se presenta el Proyecto que contiene los escenarios asignados.

9.2 ESCENARIO BASE Julio 2018

Este escenario se construye a partir del escenario Base May17, que corresponde a la asignación de la matriz ajustada en el escenario que considera la oferta correspondiente al PO de buses vigente en mayo del 2017. Este nuevo escenario, considera la actualización de la oferta de buses (trazados, frecuencia y capacidad), según lo programado para Julio 2018. Además, se actualizaron los parámetros de operación de Metro a la misma fecha, incorporando a la red la operación de la Línea 6 y ajustando la oferta, capacidad y tiempos entre estaciones del resto de las líneas.

A continuación, se muestra un resumen de los servicios modificados respecto al Escenario Base May17.

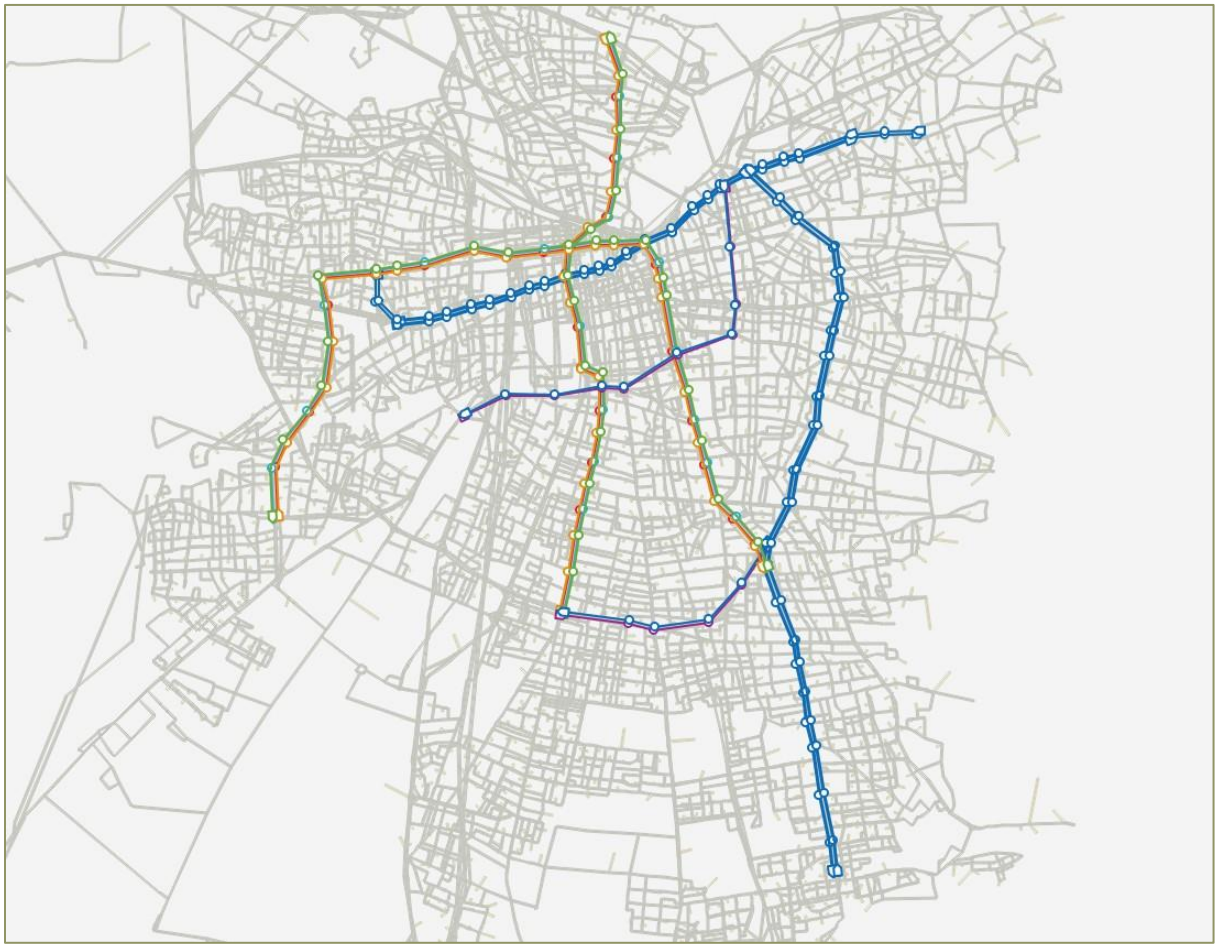
Tabla 9-1: Resumen Modificaciones

UN	Servicios Nuevos	Servicios Eliminados	Itinerarios Modificados	Cambio Oferta
1	2	2	18	23
2	4	6	38	48
3	2		14	33
4	4	2	23	36
5			13	27
6		2	4	17
7		1	7	13

Fuente: Información entregada por DTPM

Tal como fue mencionado, se actualizó la red de Metro, incorporando la Línea 6.

Figura 9-1: Red Metro Modelo



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9-2: Frecuencia y capacidad Metro

	L1	L2	L4	L4A	L5	L6
Frecuencia	33/35	19	23	14	25	14
Capacidad	51,072	23,472	36,468	11,099	29,015	19,054

Fuente: Información entregada por DTPM

Los resultados de la asignación con restricción de capacidad, se presentan a continuación:

Tabla 9-3: Resultados Globales

Ítem	Etapas Matriz a priori	Escenario Base_May17	Escenario Base_Jul18
Etapas Buses	398.481	493.947	482.515
Etapas Metro	275.993	249.971	261.005
Etapas Metro (con transbordo Metro Metro)	-	349.786	366.147
Total Etapas (sin transbordo Metro Metro)	674.474	750.387	750.234
Matriz de viajes	460.149	494.730	494.730
Etapas de viaje por Bip	1,48	1,52	1,52
Etapas caminando	0	152	410

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observa un aumento en las etapas de metro y una disminución de las etapas de buses en el escenario de Julio 18 respecto de Mayo 2017, principalmente explicado por la incorporación de la Línea 6. Las etapas totales se mantienen casi invariantes, así como también las etapas de viaje por bip.

Las siguientes figuras muestran la diferencia de flujo entre los escenarios Mayo 2017 y Julio 2018 para buses y Metro

Figura 9-2: Comparación Flujo entre Escenarios Mayo 2017 y Julio 2018 - Buses



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-3: Comparación Flujo entre Escenarios Mayo 2017 y Julio 2018 - Buses



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observa que las diferencias de flujo en la red, son explicadas básicamente producto de la incorporación de la línea 6 a la operación de Metro. Se observa la reasignación de flujo a la línea 6, desde la Línea 1 y se observa una disminución de flujo en el resto de las líneas. En el caso de los buses, se observa una disminución de flujo de pasajeros extendida en la red.

A continuación se presentan las etapas por Unidad de Negocio y los transbordos entre modos. La información de etapas es comparada con los datos observados, provenientes de la matriz construida.

Tabla 9-4: Resultados Etapas por Unidad de Negocio

Etapas por UN	Etapas Matriz a priori	Escenario Base_May17	Escenario Base_Jul18
U1	46.416	59.310	57.014
U2	70.136	103.836	101.084
U3	73.731	80.946	77.894
U4	65.762	88.750	88.280
U5	70.585	85.480	83.626
U6	39.729	41.472	40.572
U7	27.498	34.153	34.045

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

La baja a nivel de etapas de bus, es generalizada por Unidad de Negocio. Sin perjuicio de esto se observa que el 87% de la pérdida se concentra en las Unidades 1, 2, 3 y 5.

Tabla 9-5: Transbordos entre Modos

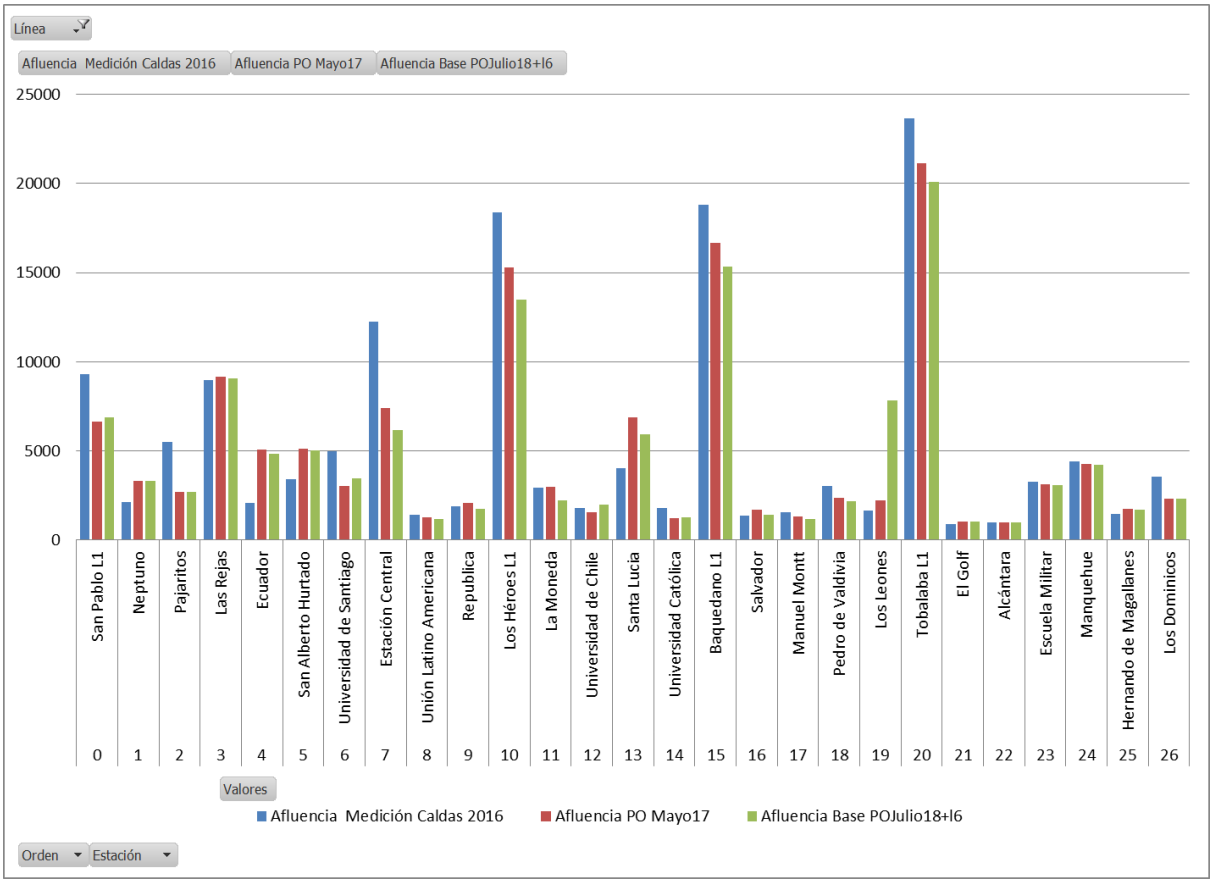
Etapas Transbordo	Etapas Matriz a priori	Escenario Base_May17	Escenario Base_Jul18
Bus-Bus	59.327	69.820	62.215
Bus-Metro	117.261	136.894	142.645
Metro-Metro	125.541	99.815	105.142
Metro-Bus	37.459	42.610	43.763
Bus-Metrotren	957	2.455	2.961
Metro-Metrotren	239	337	395
Metrotren-Bus	539	629	559
Metrotren-Metro	3.345	4.655	4.957

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Como se observa de los transbordos entre modos, aumentan los que involucran a Metro y disminuye el resto, todo esto consistente con la incorporación de la Línea 6.

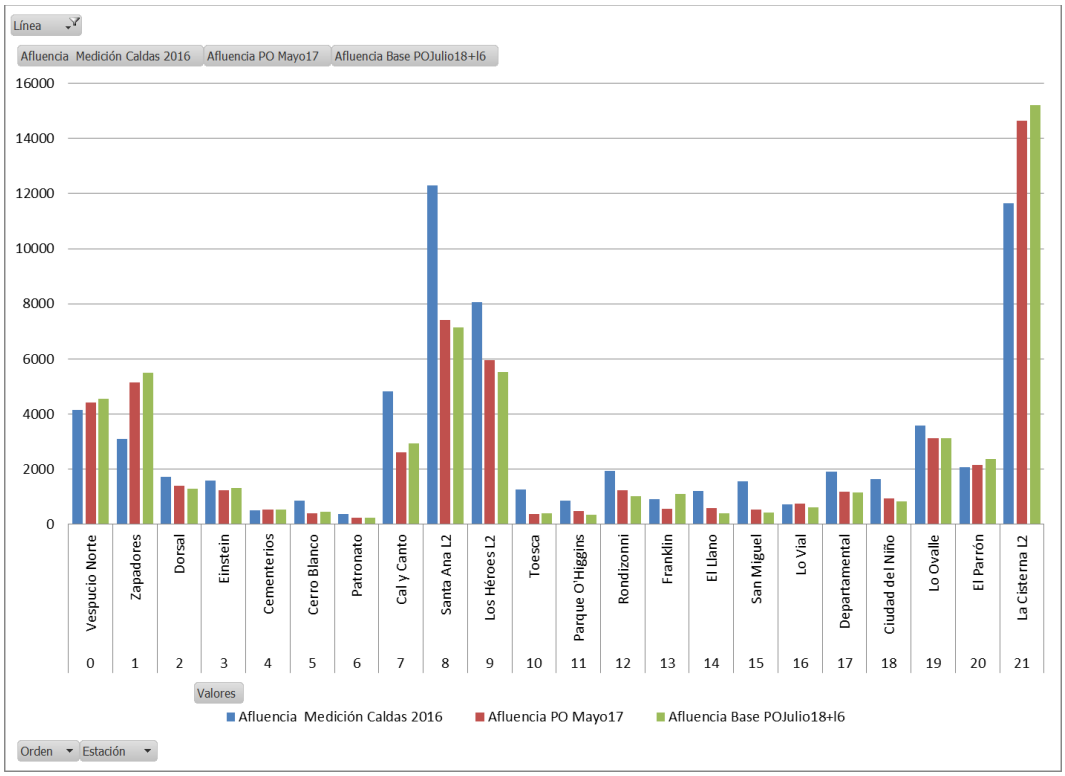
A continuación se presentan un comparativo de subidas por estación y perfiles de carga para Metro.

Figura 9-4: Afluencia Línea 1



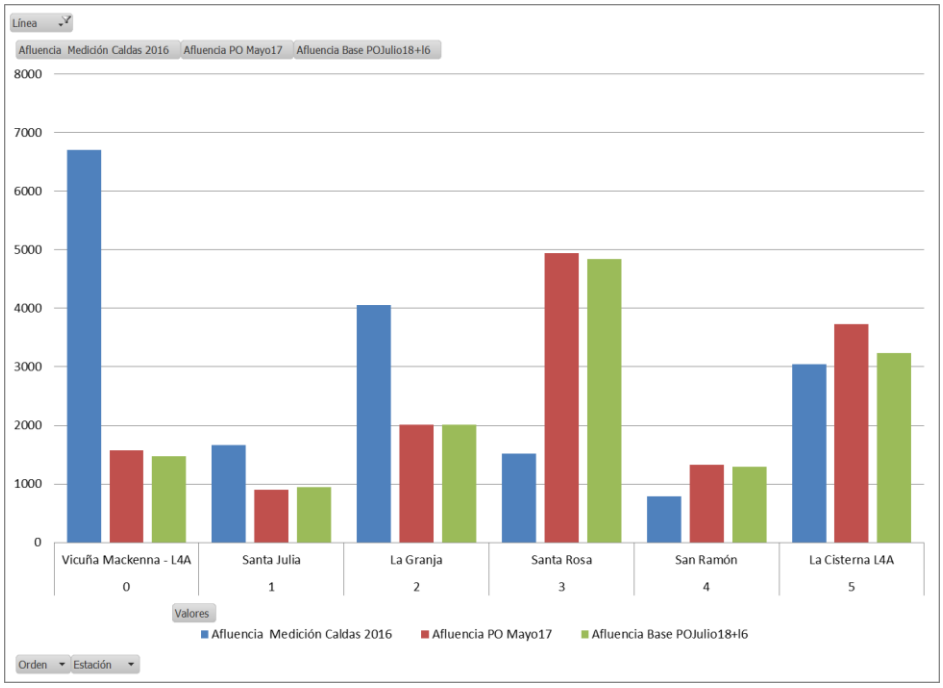
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-5: Afluencia Línea 2



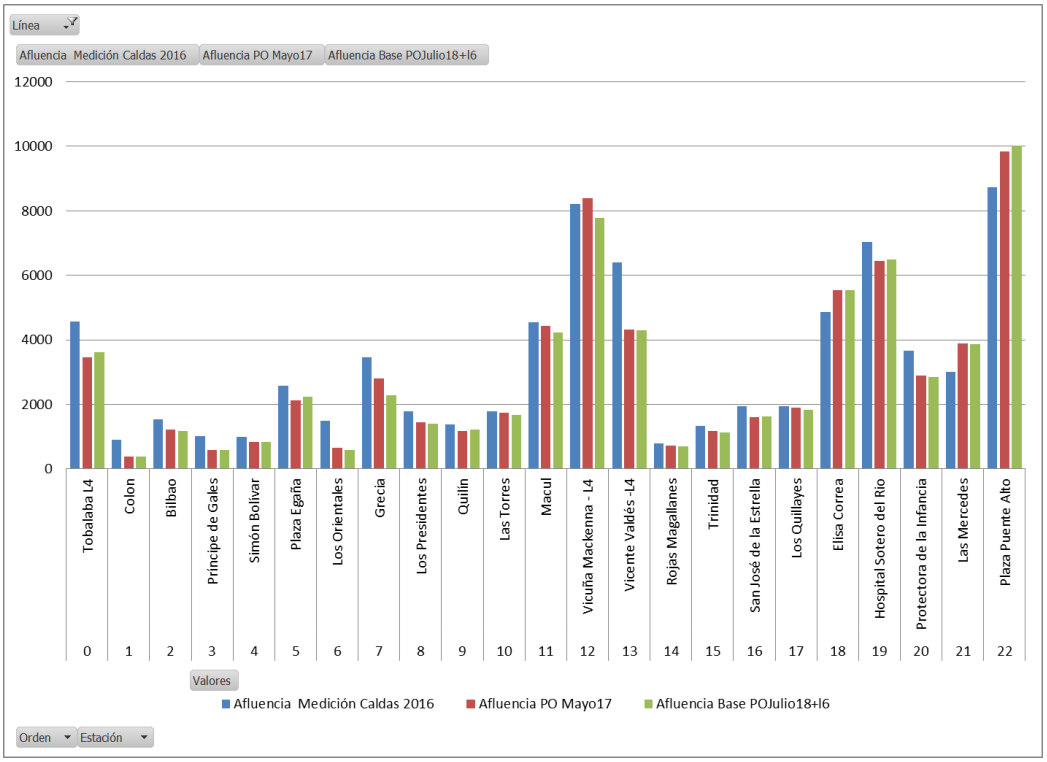
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-6: Imagen. Afluencia Línea 4A



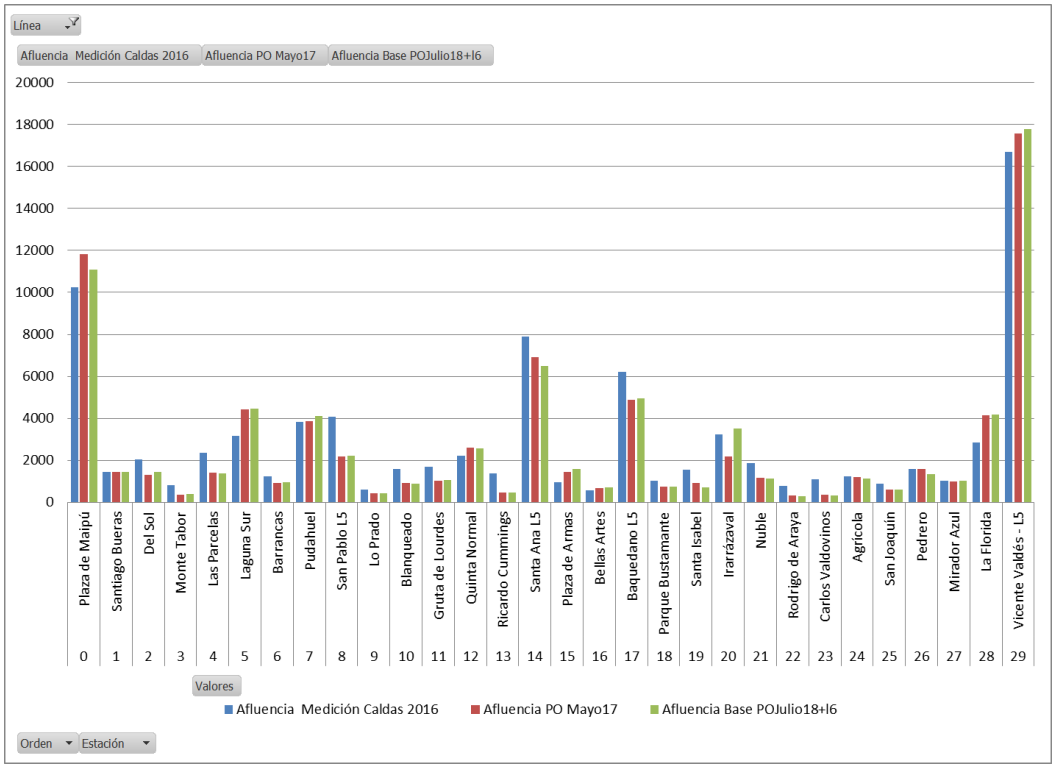
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-7: Afluencia Línea 4



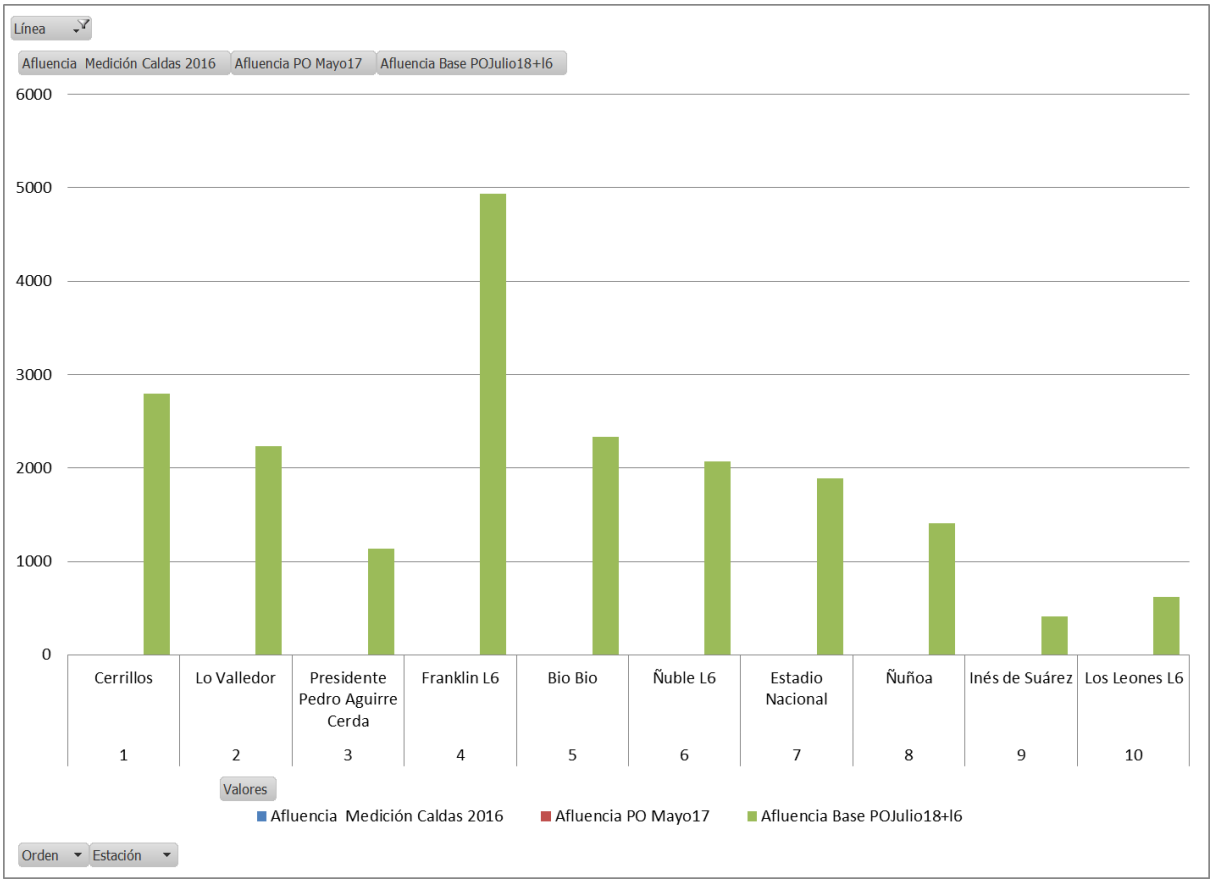
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-8: Afluencia Línea 5



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

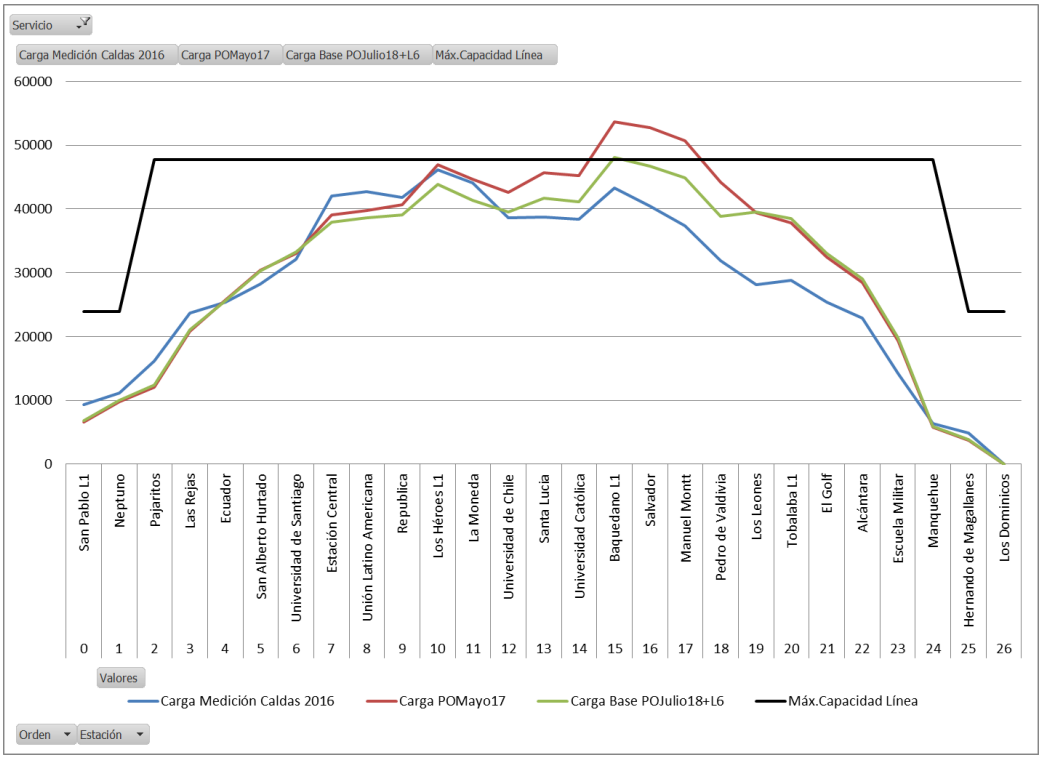
Figura 9-9: Afluencia Línea 6



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

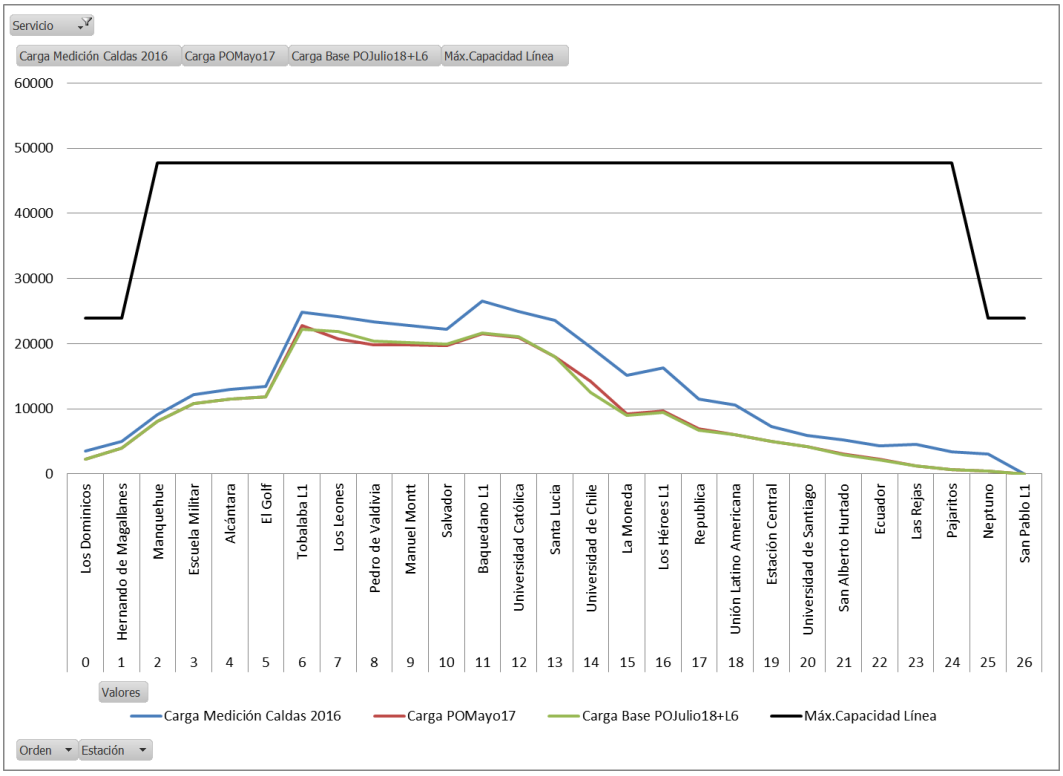
A continuación, se presentan los perfiles de carga por línea sentido.

Figura 9-10: Perfil de Carga L1I



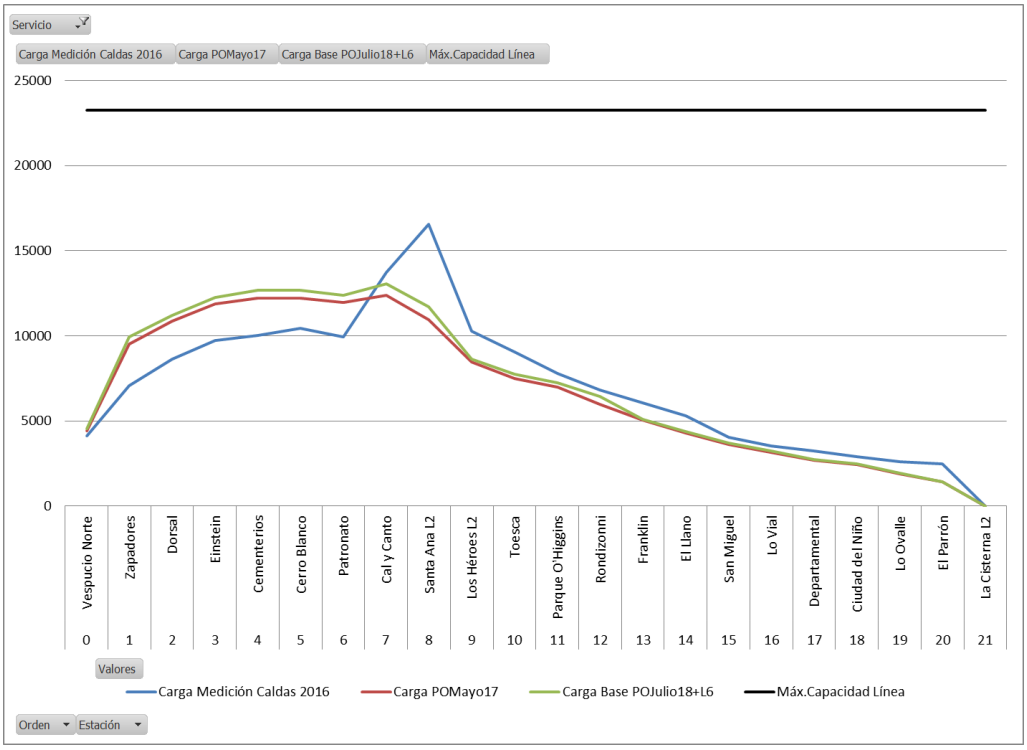
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-11: Perfil de Carga L1R



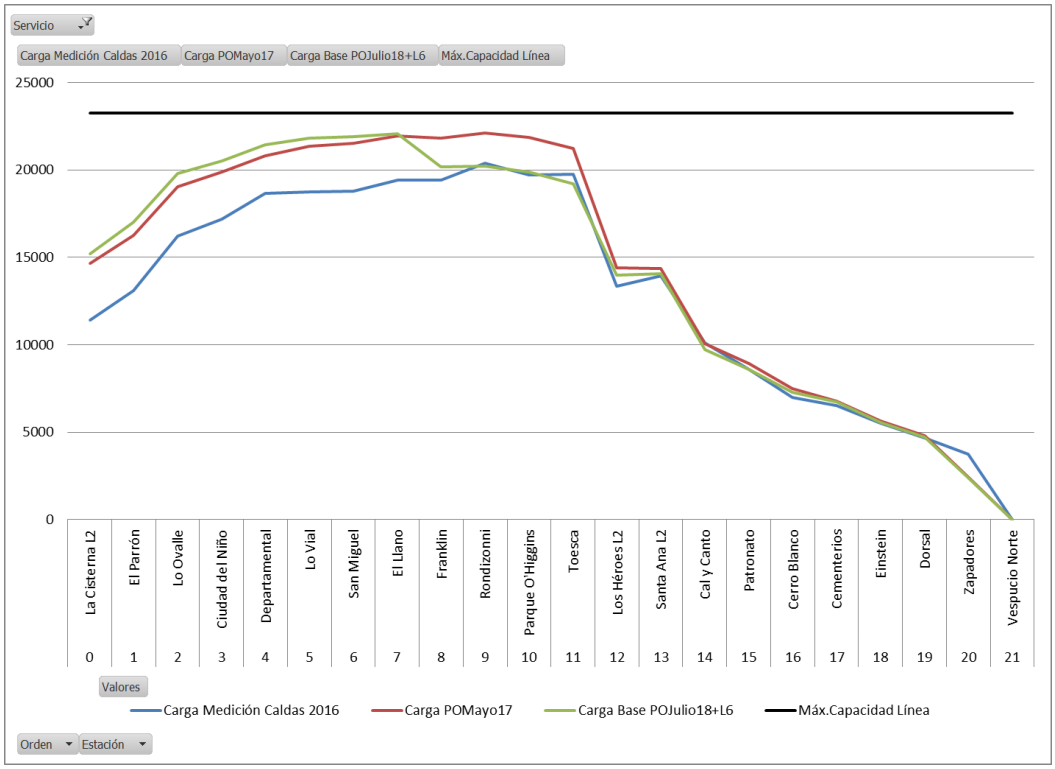
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-12: Perfil de Carga L2I



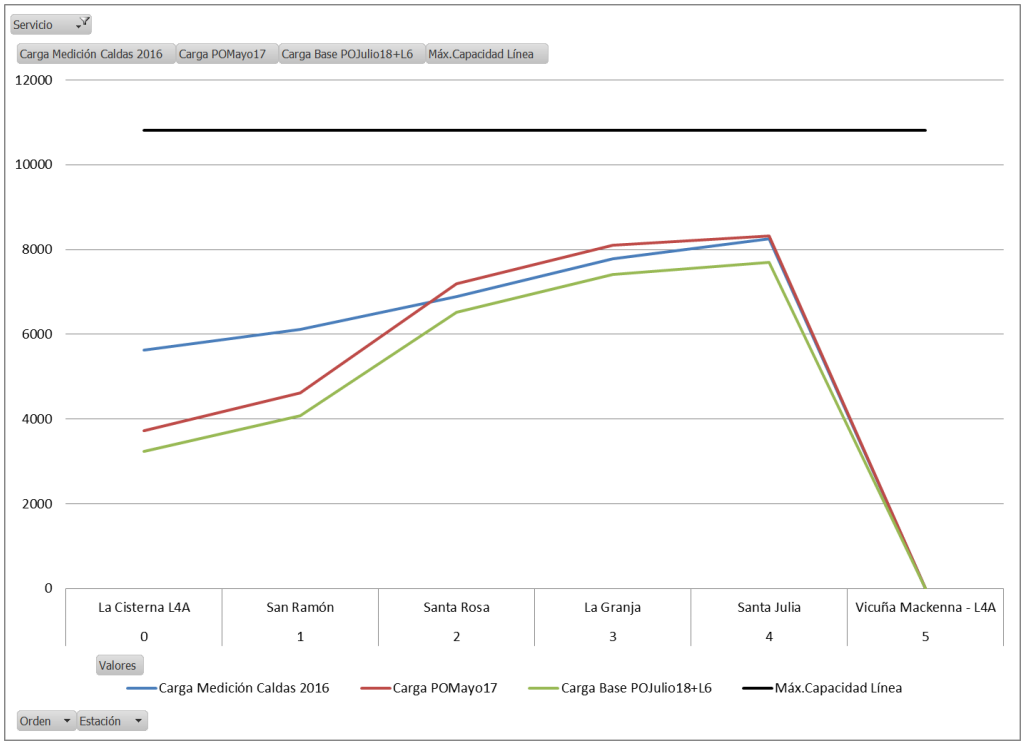
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-13: Perfil de Carga L2R



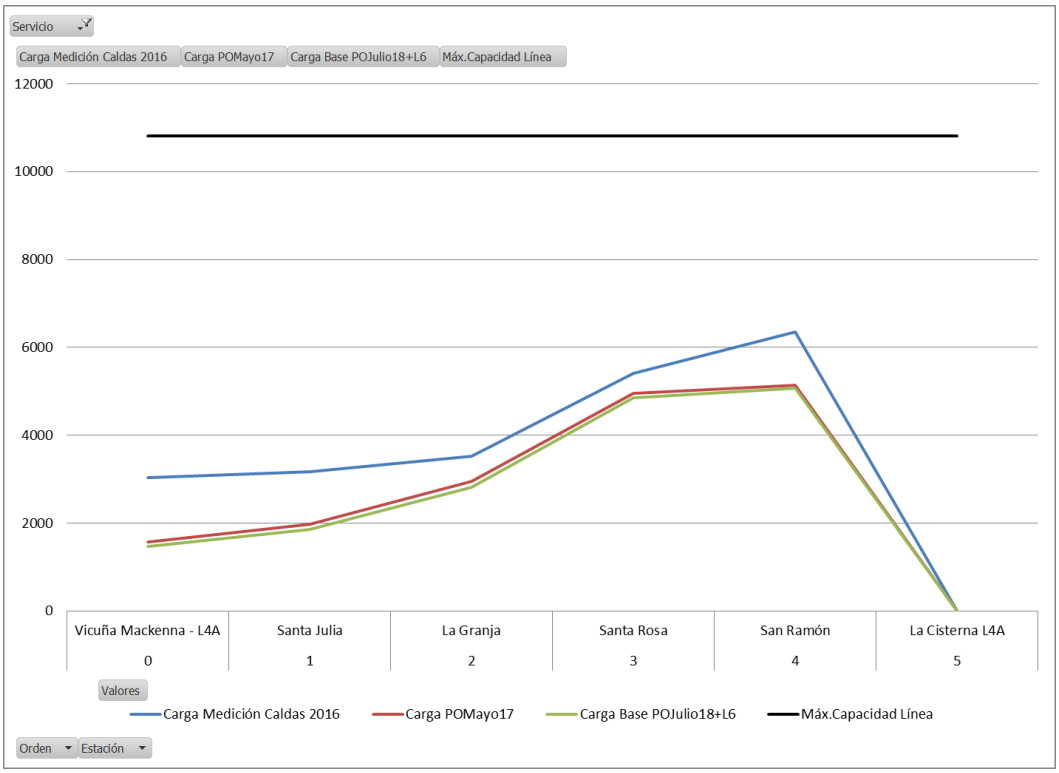
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-14: Perfil de Carga L4AI



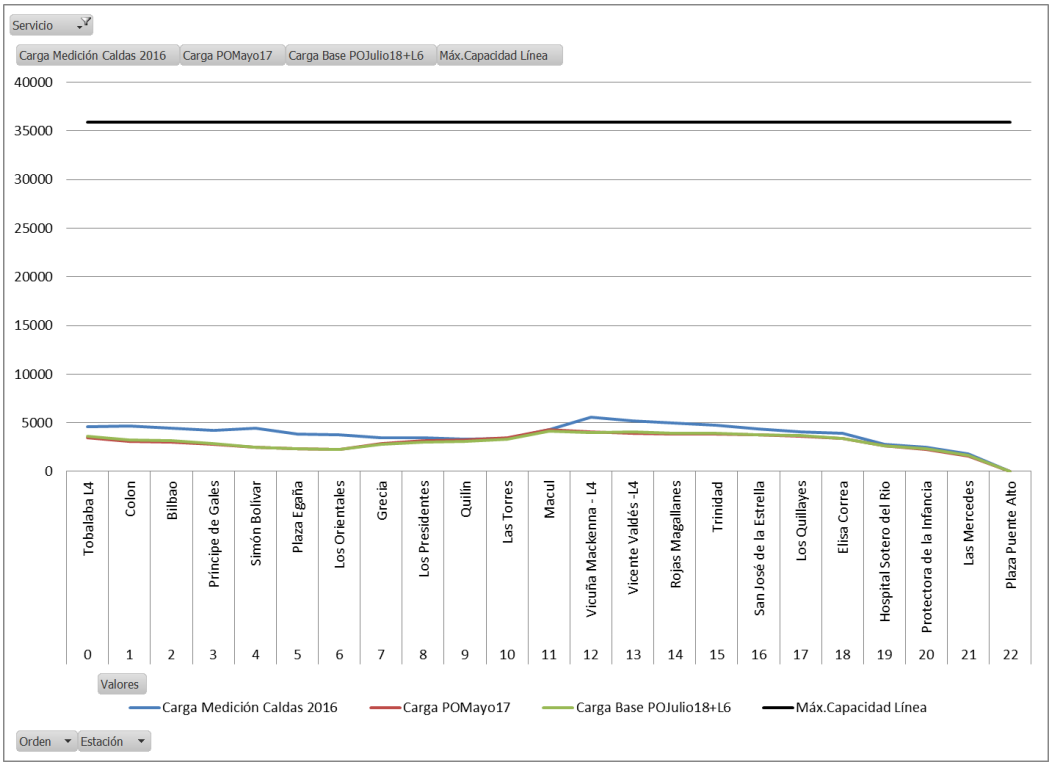
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-15: Perfil de Carga L4AR



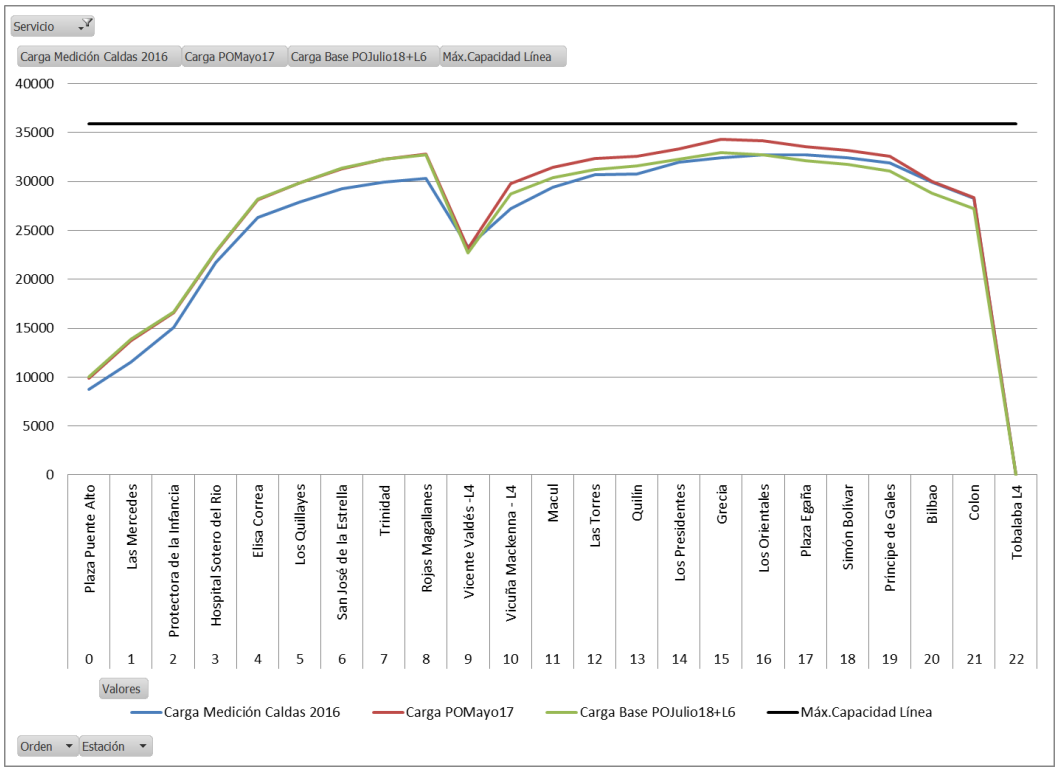
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-16: Perfil de Carga L4I



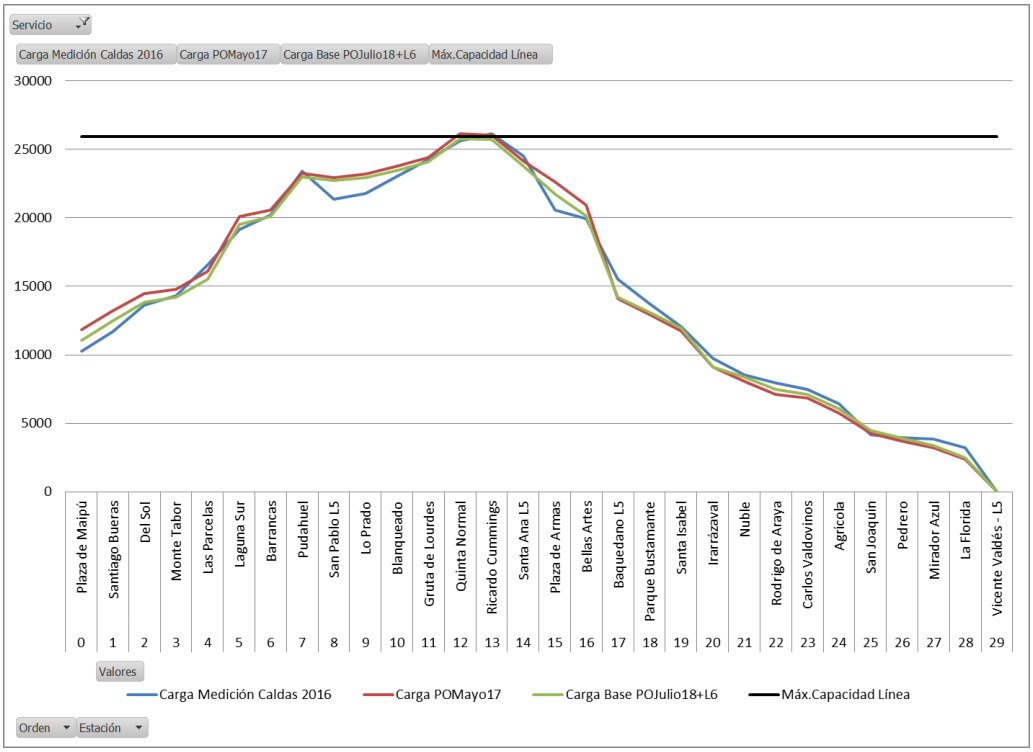
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-17: Perfil de Carga L4R



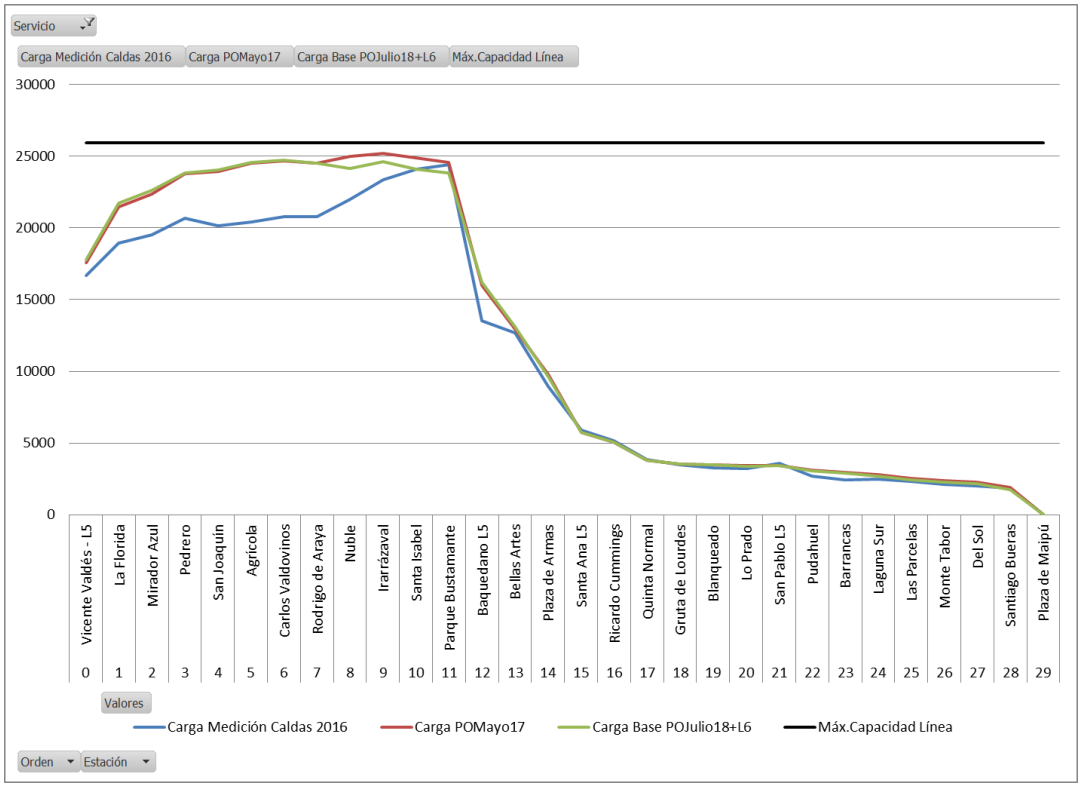
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-18: Perfil de Carga L5I



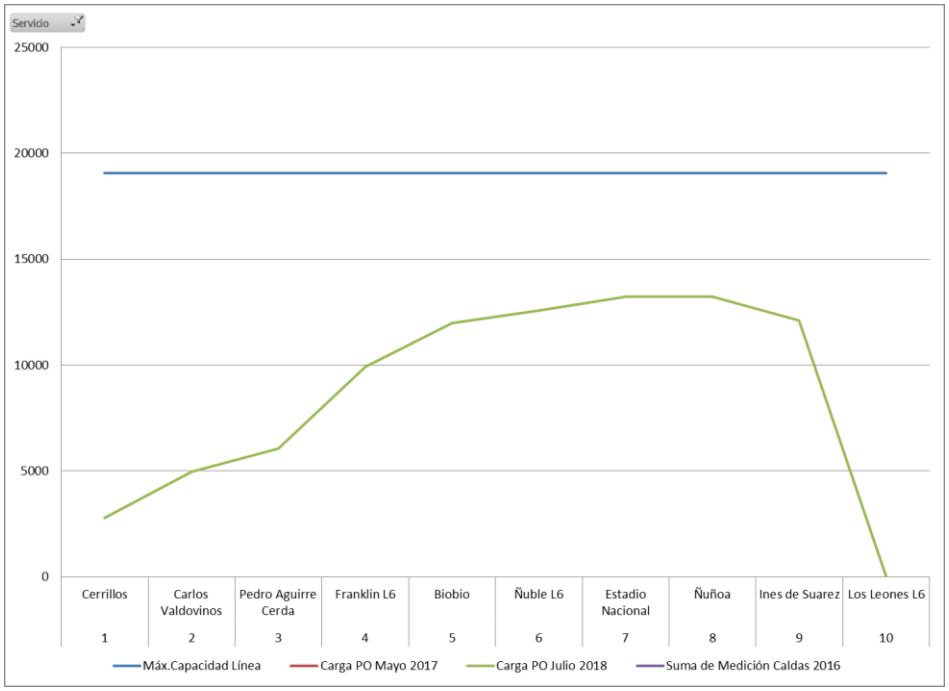
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-19: Perfil de Carga L5R



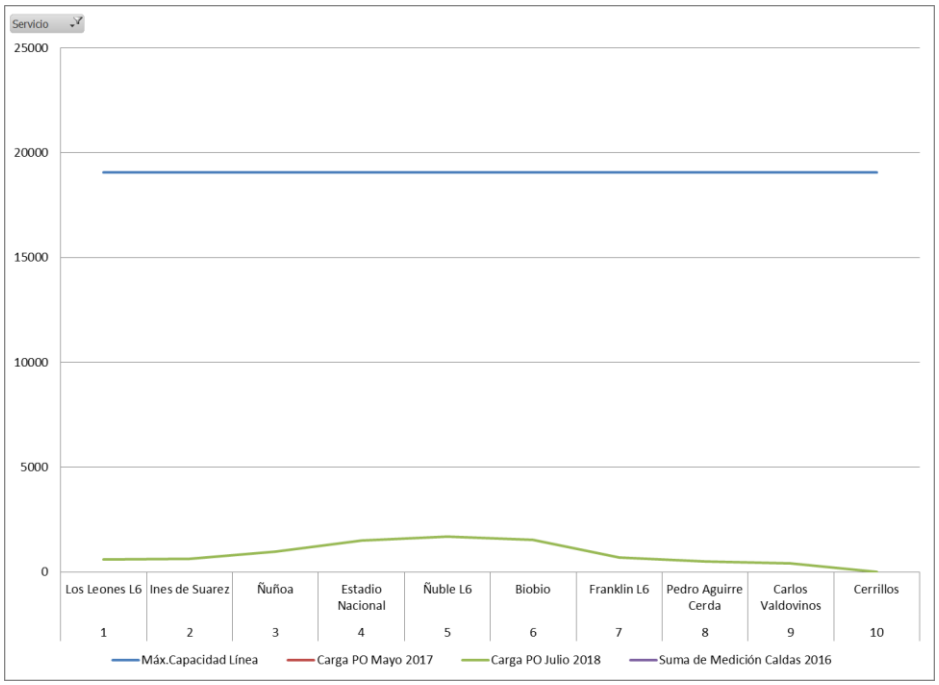
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-20: Perfil de Carga L6I



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-21: Perfil de Carga L6R



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observan disminuciones en la carga de las líneas L1 y L2, producto de la incorporación de la L6.

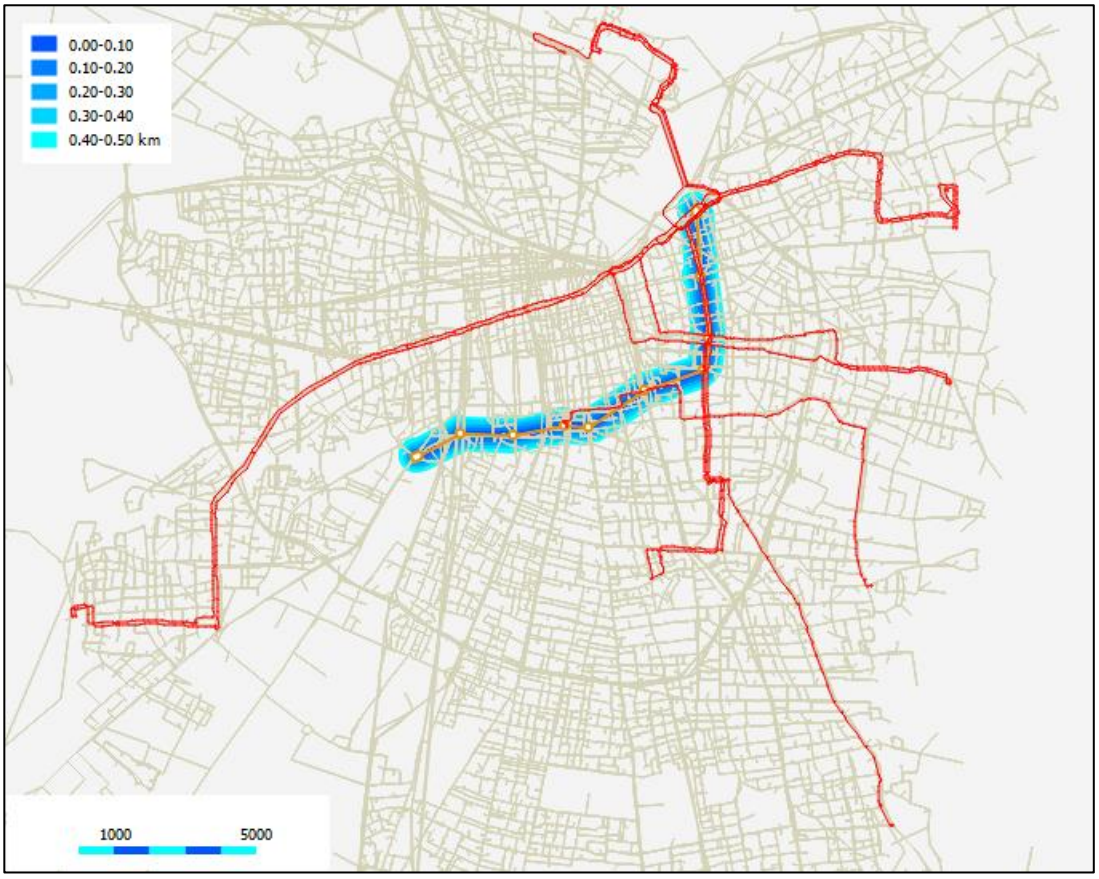
En la dimensión buses, se comparan las etapas a nivel de servicio y se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 9-6: Etapas de servicios con mayor modificación.

UN	Servicios	Escenario Base_May17	Escenario Base_Jul18	Variación %	Itinerario Modificado
1	103I	380	258	-32%	
1	114I	426	269	-37%	Si
1	116I	584	843	44%	Si
1	117cI	521	807	55%	Si
2	202cR	290	472	63%	Si
2	208cI	197	311	58%	
2	208cR	108	163	51%	
2	228I	347	230	-34%	
2	G08R	369	578	57%	Si
2	G09I	236	334	42%	Si
2	G09R	292	382	31%	Si
2	G14I	78	103	32%	Si
2	G14R	96	249	159%	Si
3	303eI	161	18	-89%	
3	307eR	310	146	-53%	Si
3	308R	363	626	72%	
3	315eR	242	339	40%	
3	H04R	236	101	-57%	
3	I08cI	570	79	-86%	Si
3	I17R	124	84	-32%	
3	I22I	332	461	39%	
4	401I	2438	3247	33%	
4	401R	914	1329	45%	
4	406cI	681	471	-31%	
4	420eI	179	308	72%	
4	D05I	556	328	-41%	Si
4	D17I	129	77	-40%	Si
4	D17R	213	122	-43%	Si
5	513vI	248	351	42%	
5	J06R	6	11	83%	
6	B06I	254	355	40%	
6	B08R	89	165	85%	
6	B13I	93	204	119%	
6	B14I	379	238	-37%	
6	B24R	104	72	-31%	
6	C13R	66	38	-42%	
7	F01cR	313	603	93%	Si
7	F25eR	16	4	-75%	

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

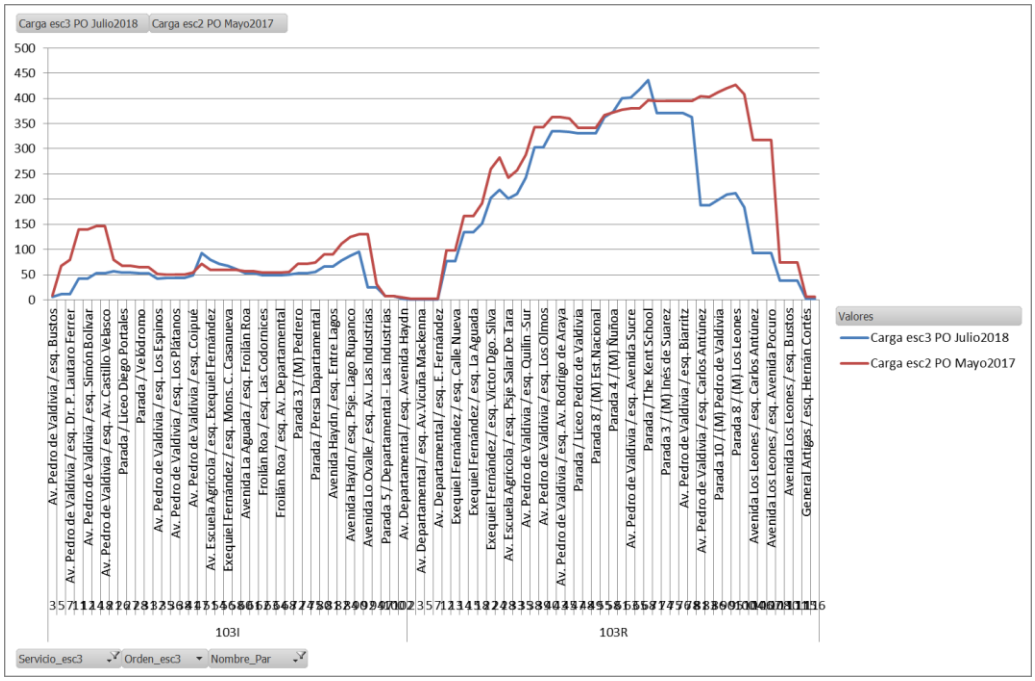
Figura 9-22: Servicios con mayores modificaciones e influencia Línea L6.



Fuente: Elaboración Propia

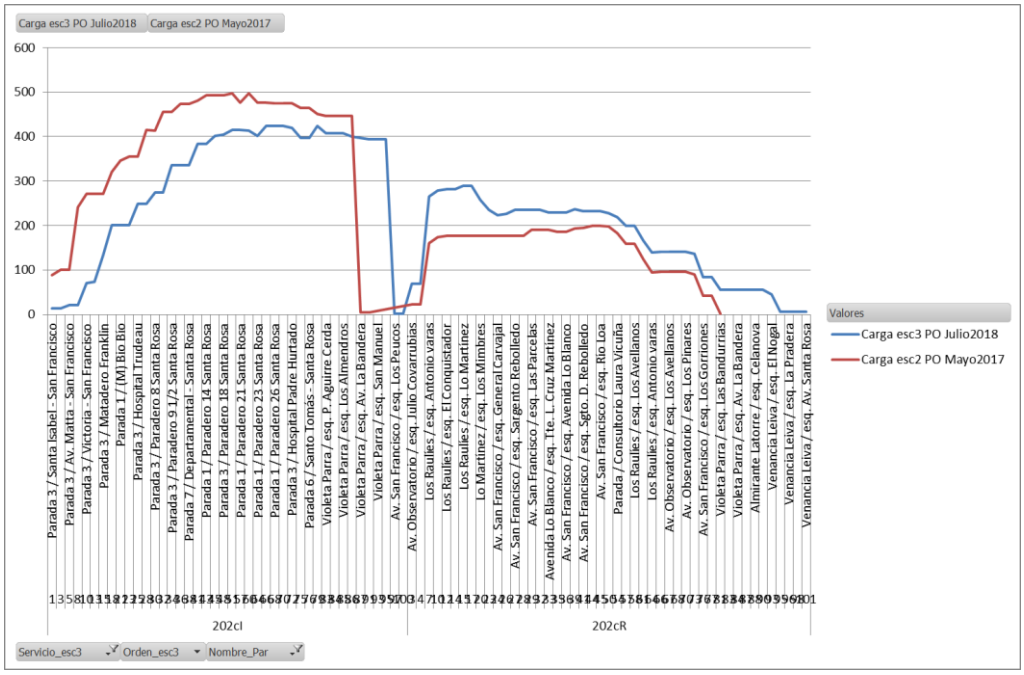
A continuación se presentan algunos perfiles de carga en buses comparados.

Figura 9-23: Perfil de Carga



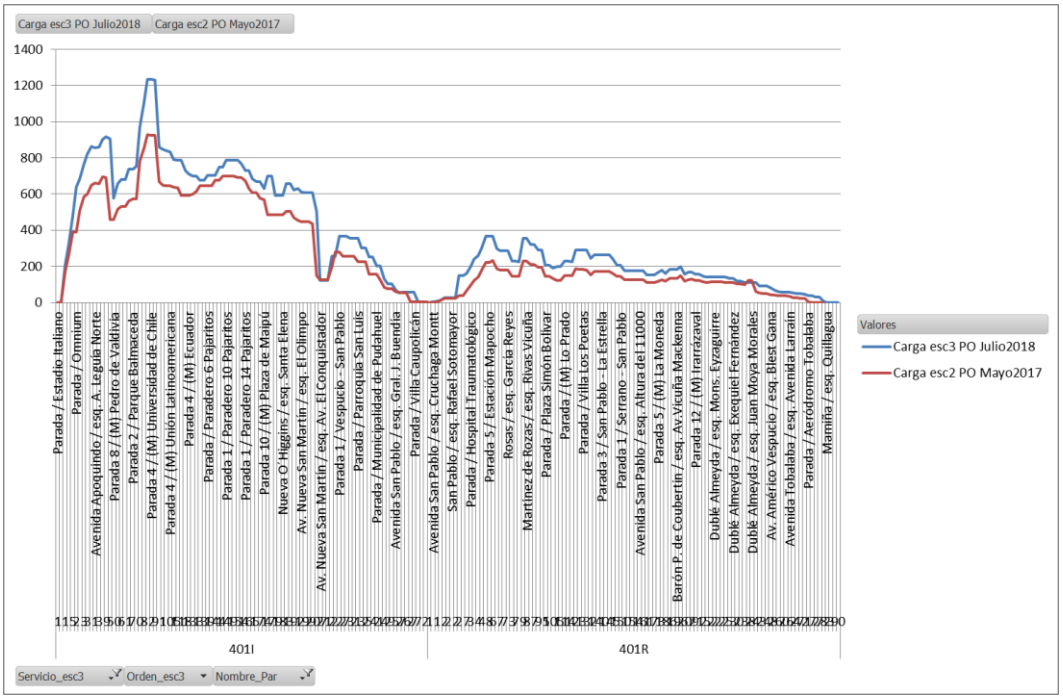
Fuente: Elaboración Propia

Figura 9-24: Perfil de Carga



Fuente: Elaboración Propia

Figura 9-25: Perfil de Carga



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa la mayoría de los servicios cambian sus etapas producto de la línea 6. En Anexo 9 del capítulo se presenta Excel con la comparación de los perfiles entre escenarios.

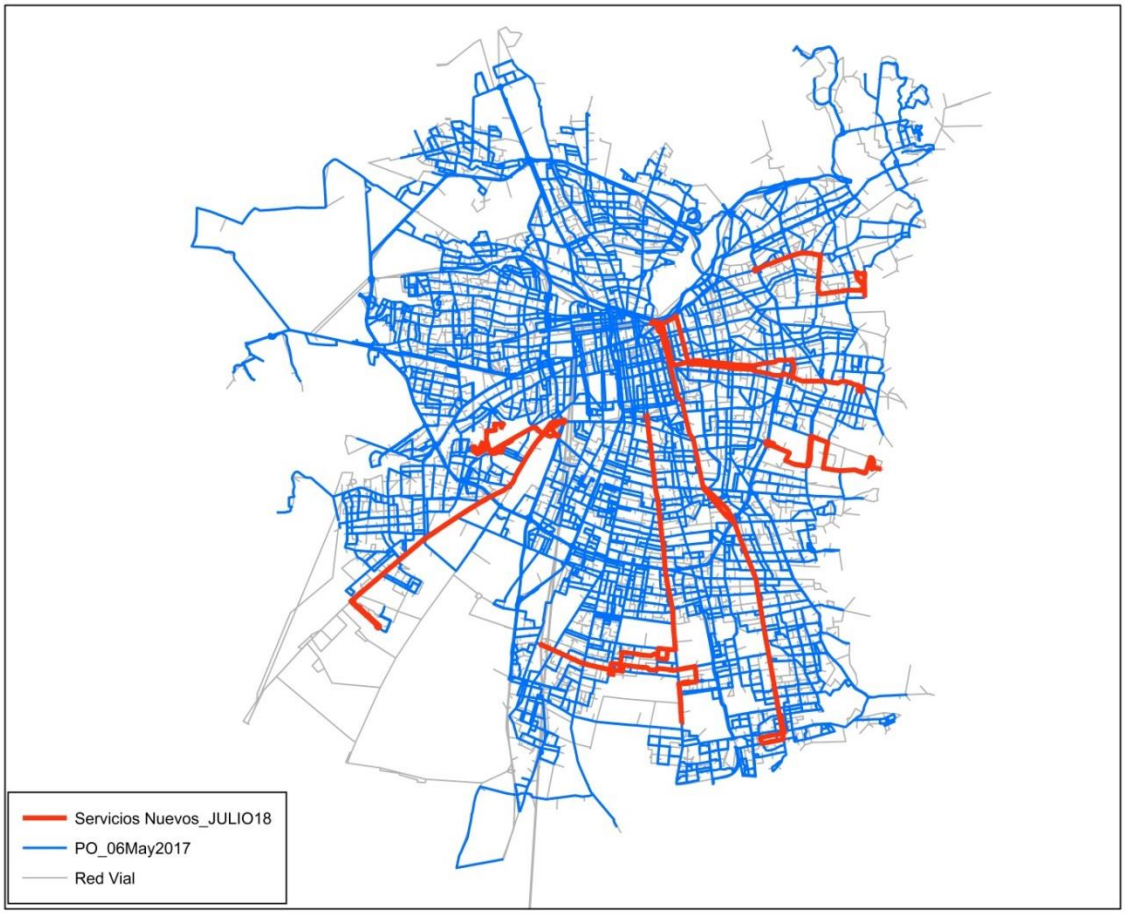
A continuación, se presentan los servicios nuevos del escenario de Julio 2018.

Tabla 3 6: Etapas Servicios Nuevos, Escenario Julio 2018

Servicio	Etapas
113cI	354
113cR	89
206cI	107
206cR	917
401cI	48
401cR	87
D17vI	41
D17vR	76
G23I	139
G23R	339
I25I	68
I25R	147

Fuente: Elaboración Propia

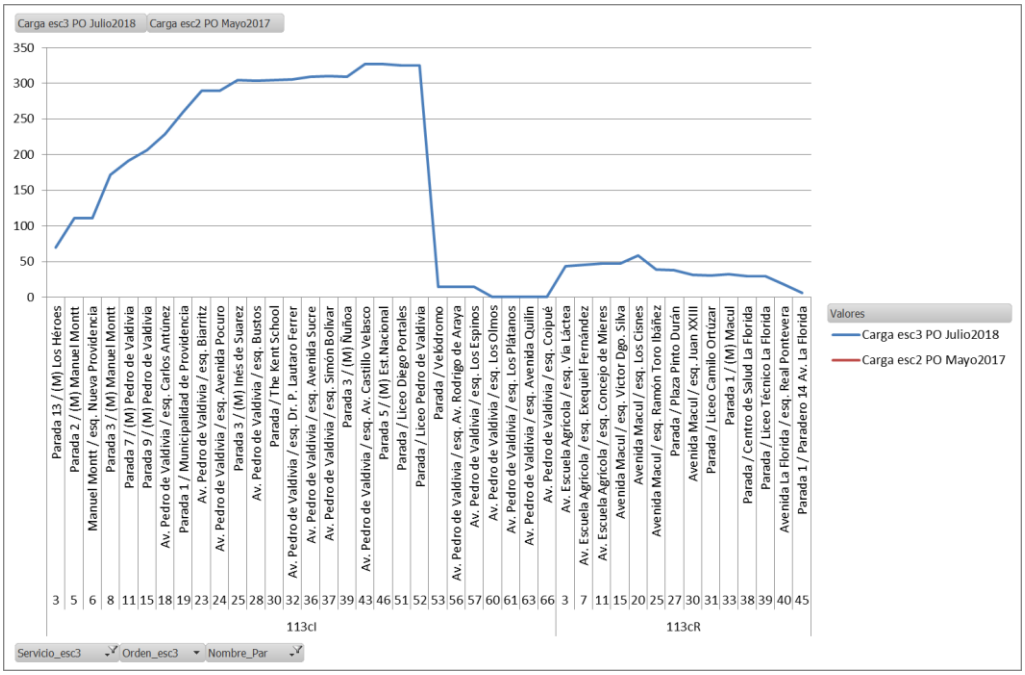
Figura 9-26: Mapa Servicios Nuevos Escenario Julio 2018



Fuente; Elaboración Propia

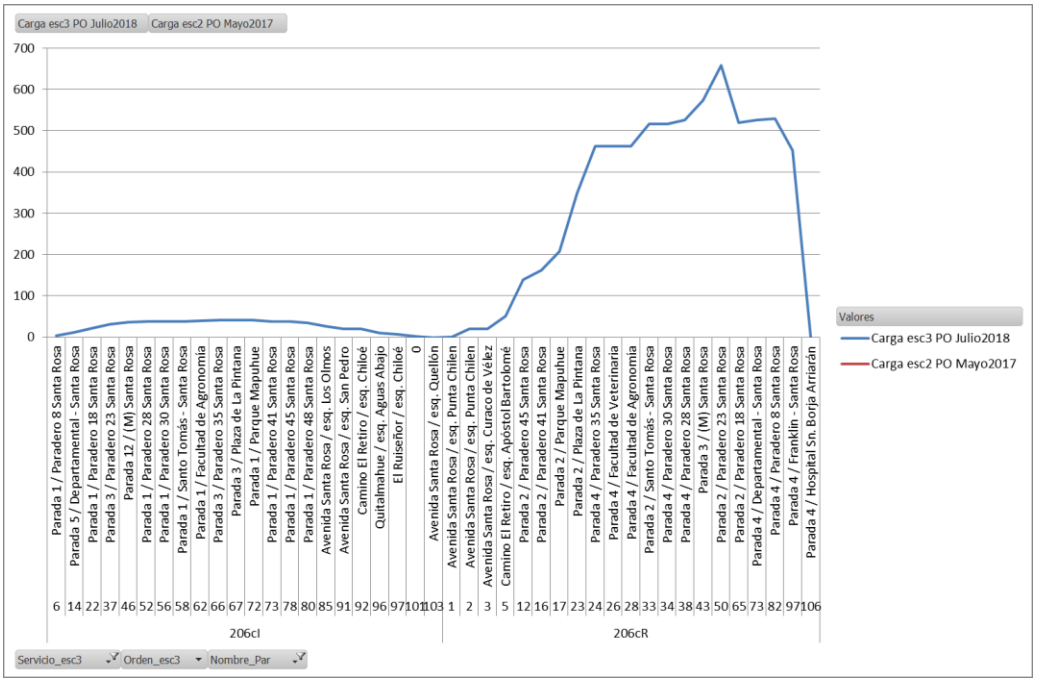
A continuación, se presentan algunos de los perfiles de carga de los servicios nuevos.

Figura 9-27: Perfil de Carga



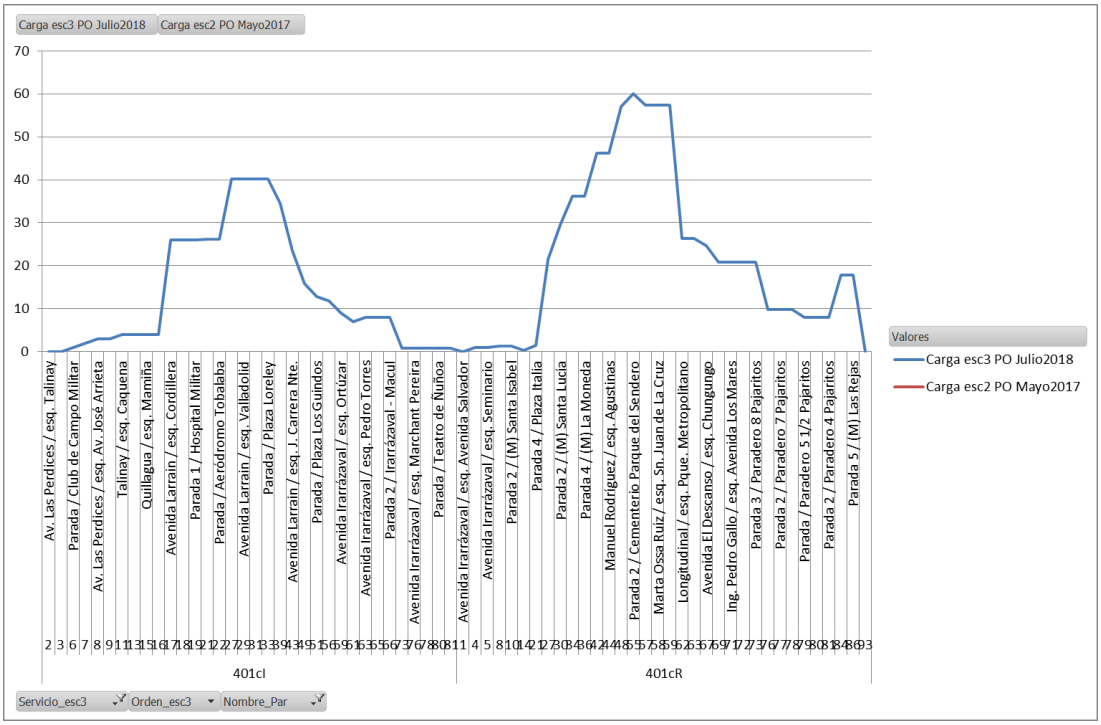
Fuente: Elaboración Propia

Figura 9-28: Perfil de Carga



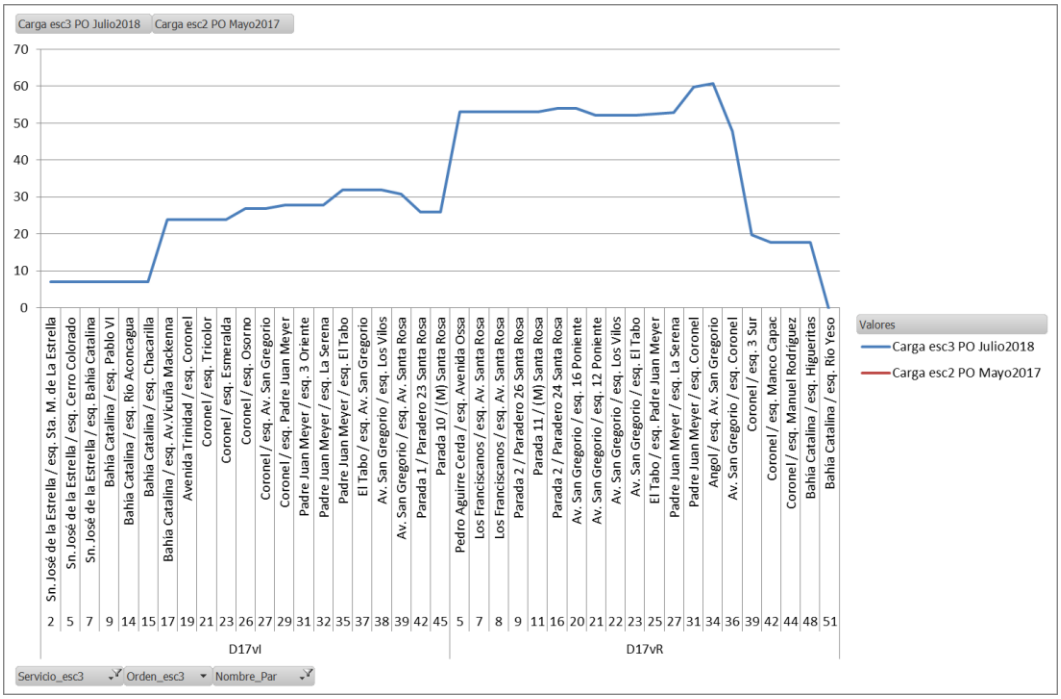
Fuente: Elaboración Propia

Figura 9-29: Perfil de Carga



Fuente: Elaboración Propia

Figura 9-30: Perfil de Carga



Fuente: Elaboración Propia

En Anexo del capítulo se encuentra la comparación de todos los perfiles del sistema.

Finalmente, se presentan las componentes del tiempo de viaje del sistema.

Tabla 9-7: Comparación de Niveles de servicio (min)

	ADATRAP	Promedio Viaje 2014 Informe Gestión	Escenario Base_May17	Escenario Base_Jul18
Tiempo Caminata	0,57	S/I	16.32	16.4
Tiempo Espera	1,15	6,1	4.14	4.2
Tiempo vehículo	35,5	30,9	36.00	36.2
Tiempo de Viaje	37,21		56.46	56.7

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

9.3 ESCENARIOS DE MODELACIÓN

En el presente acápite se reportan los escenarios que incorporan la Línea 3 en operación, el corredor independencia y el ajuste de malla producto de ello. Estos escenarios fueron desarrollados sobre el escenario **E0: Escenario BASE_ JULIO 2018** reportado en el acápite anterior.

En consecuencia, se modelaron los siguientes escenarios:

- **E1**: **E0 + L3 + INDEPENDENCIA**: Sobre el **E0**, se incorpora la operación de la Línea 3, se actualizan las condiciones de operación del resto de las líneas y se ajusta el eje de independencia, simulando su operación como la de un corredor, modificando así las velocidades por arco de eje y la ubicación de los paraderos
- **E2 (E2V)**: **E1 + Ajuste de Malla por L3**: Sobre el escenario **E1**, se incorporan ajustes a la malla de servicios buses (trazados, frecuencias y capacidad) que corresponden a propuestas para mejorar la lógica de la malla de servicios de buses producto de la entrada de operación de la Línea 3 de Metro.

9.3.1 Escenario L3 + Corredor Independencia - E1

Primeramente, se procedió a actualizar la red de Metro, incorporando la Línea 3.

Figura 9-31: Red Metro Modelo



Fuente: Elaboración Propia

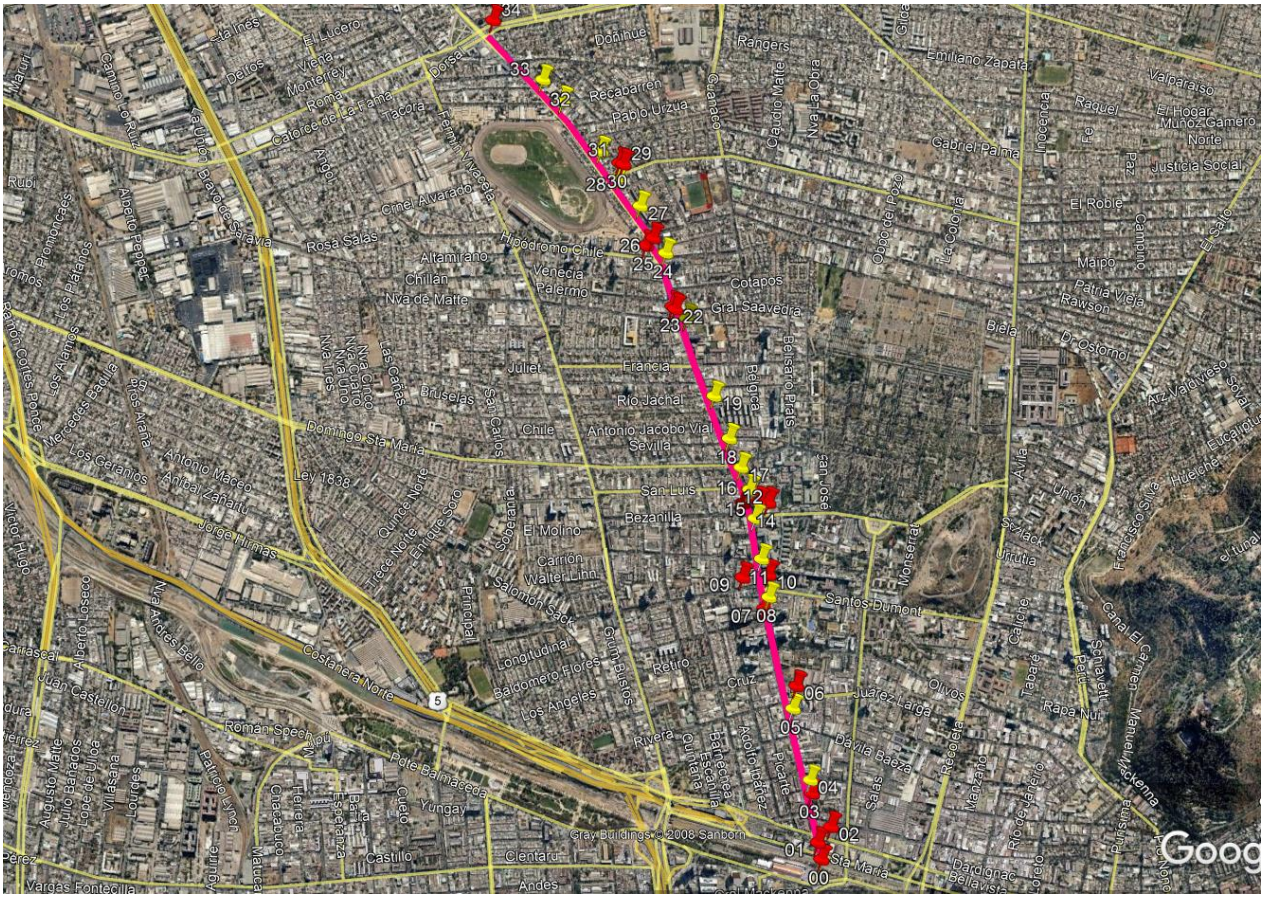
Tabla 9-8: Frecuencia y capacidad Metro

	L1	L2	L4	L4A	L5	L6	L3
Frecuencia	33/35	19	23	14	25	14	15
Capacidad	51,072	23,472	36,468	11,099	29,015	19,054	20,498

Fuente: Información entregada por DTPM

Para modelar el corredor de Independencia, y con ello generar el Escenario 1 de modelación, se procedió a modificar la velocidad de los arcos de ambos sentidos del tramo Santa María hasta Dorsal a 20km/hr, siempre y cuando el arco presentara velocidades menores a este valor. Además, se actualizaron las paradas del corredor y su correspondiente asignación a los servicios que por ahí operan, según la siguiente figura entregada por DTPM.

Figura 9-32: Tramo y paraderos Corredor Independencia



Fuente: Elaboración DTPM

De acuerdo a las paradas definidas para el corredor Independencia, en este escenario se modificaron las paradas de los servicios que utilizan dicho eje, permitiendo la detención en los paraderos definidos por el mandante. Los servicios modificados por esta razón se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 9-9: Resumen Modificaciones

UN	Servicios Modificados
1	
2	10
3	2
4	
5	
6	9
7	

Fuente: Información entregada por DTPM

Los resultados de la asignación de este escenario se presentan a continuación.

Tabla 9-10: Resultados Globales

Ítem	Escenario Base_Jul18	Escenario 1 L3+Indep.	Variación %
Etapas Buses	482.515	467.106	-3.2%
Etapas Metro	261.005	274.126	5.0%
Etapas Metro (con transbordo metro metro)	366.147	385.482	5.3%
Total Etapas (sin transbordo metro metro)	750.234	747.928	-0.3%
Matriz de viajes	494.730	494.730	0.0%
Etapas de viaje por Bip	1,52	1,52	0.0%
Etapas caminando	410	384	-6.3%

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Al analizar el escenario 1, respecto a la base, se observa una disminución en las etapas totales y en las etapas de buses, en contra posición con el aumento en las etapas en Metro. Cabe destacar que esto es consistente con la incorporación de la Línea 3 al escenario de Modelación. Se mantienen las etapas por viaje y se reduce levemente los viajes que se resuelven en modo caminata.

A continuación, se presentan las etapas por Unidad de Negocio y los transbordos entre modos. La información de etapas es comparada con los resultados del escenario Base correspondiente al PO de Julio 2018+L6.

Tabla 9-11: Resultados Etapas por Unidad de Negocio

Etapas por UN	Escenario Base_Jul18	Escenario 1 L3+Indep.	Variación %
U1	57.014	56.059	-1.7%
U2	101.084	95.405	-5.6%
U3	77.894	75.708	-2.8%
U4	88.280	85.578	-3.1%
U5	83.626	80.153	-4.2%
U6	40.572	40.161	-1.0%
U7	34.045	34.041	0.0%
Sin Unidad			-
Total Buses	482.515	467.106	-3.2%

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observa que todas las Unidades de Negocio con excepción de la Unidad 7, disminuyen sus etapas de viaje.

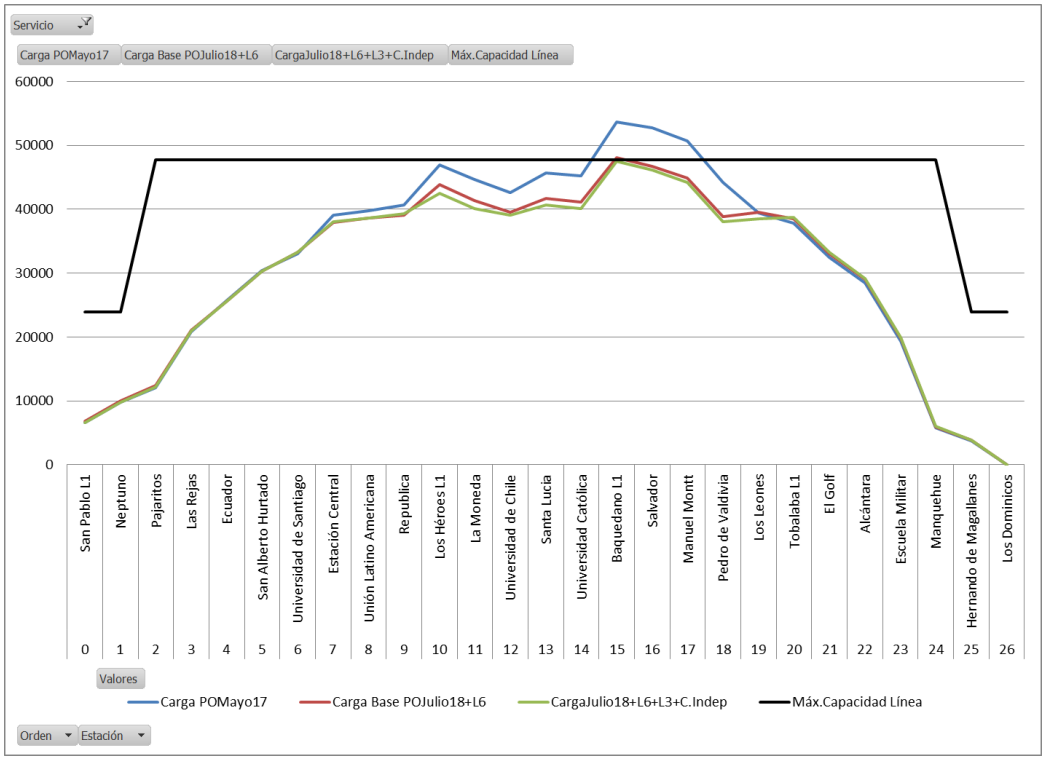
Tabla 9-12: Transbordos entre Modos

Etapas Transbordo	Escenario Base_Jul18	Escenario 1 L3+Indep.	Variación %
Bus-Bus	62.215	55.599	-10.6%
Bus-Metro	142.645	148.555	4.1%
Metro-Metro	105.142	111.356	5.9%
Metro-Bus	43.763	42.189	-3.6%
Bus-Metrotren	2.961	2.925	-1.2%
Metro-Metrotren	395	398	0.8%
Metrotren-Bus	559	549	-1.8%
Metrotren-Metro	4.957	4.950	-0.1%

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

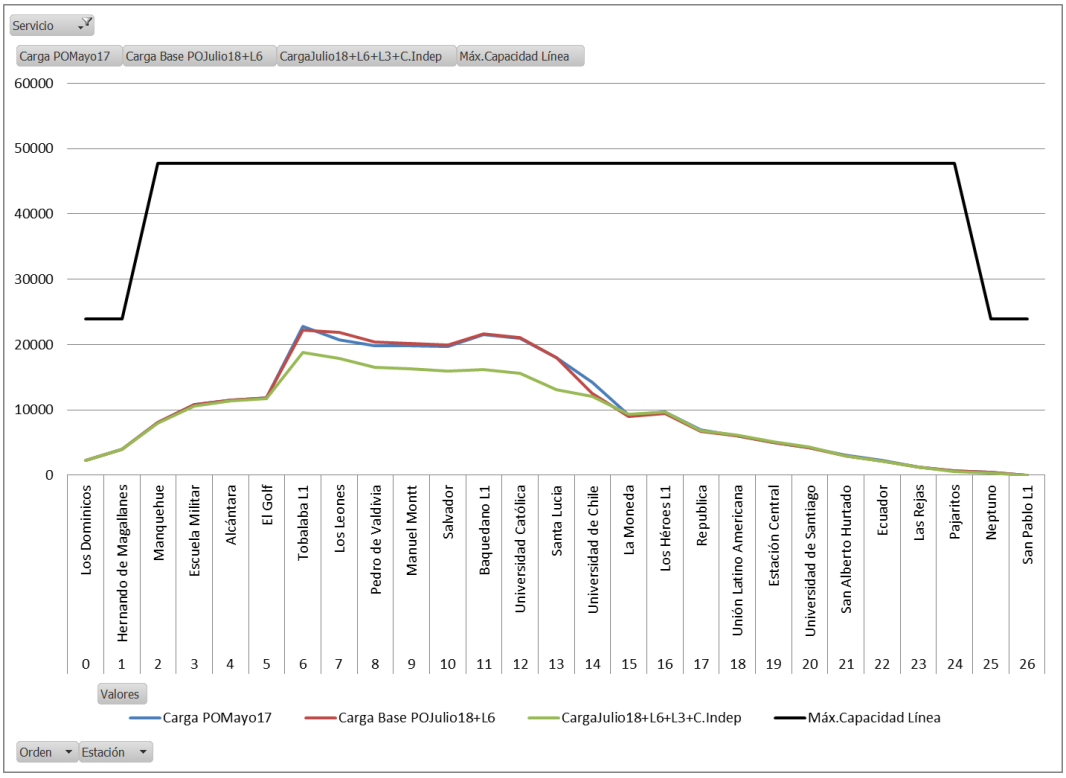
A continuación, se presenta un comparativo de perfiles de carga para Metro, donde se compara el escenario base julio 2018 con el escenario que incorpora la nueva Línea 3 de Metro y el funcionamiento del corredor de Independencia.

Figura 9-33: Perfil de Carga L1I



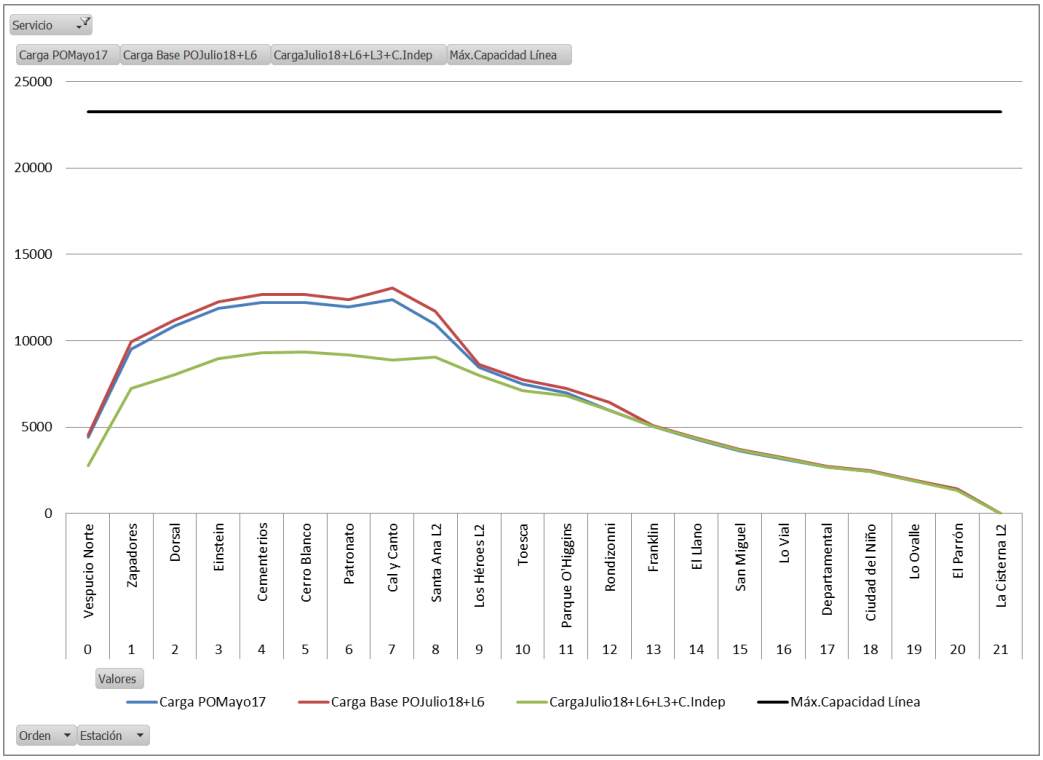
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-34: Perfil de Carga L1R



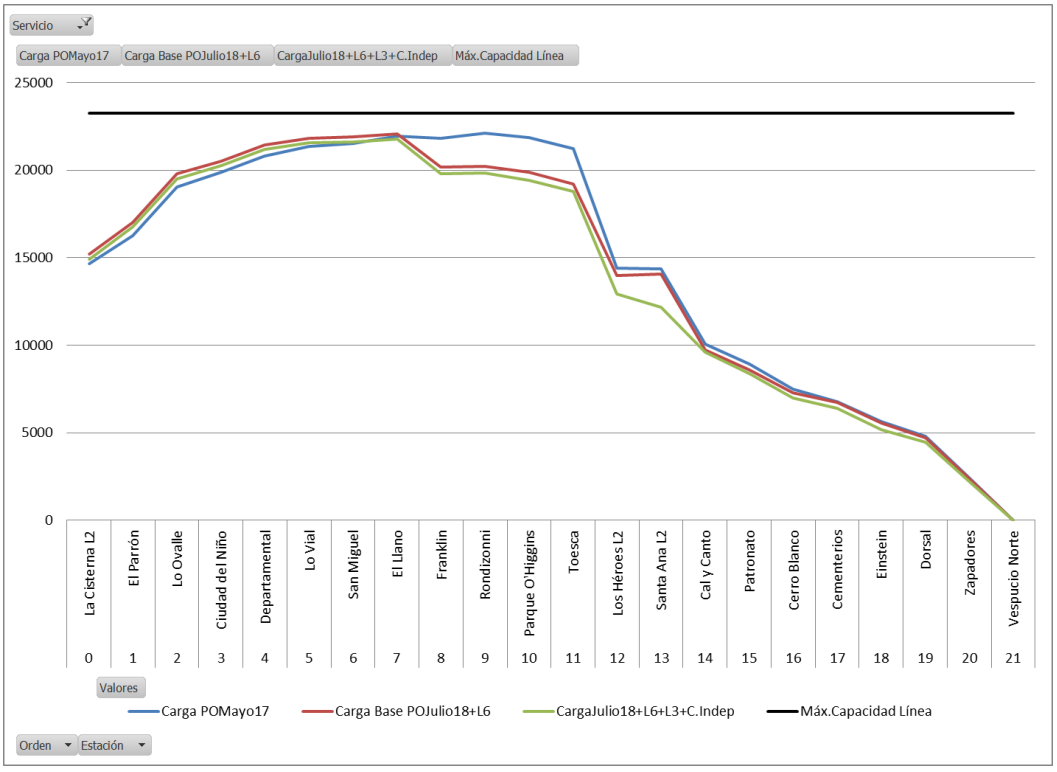
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-35: Perfil de Carga L2I



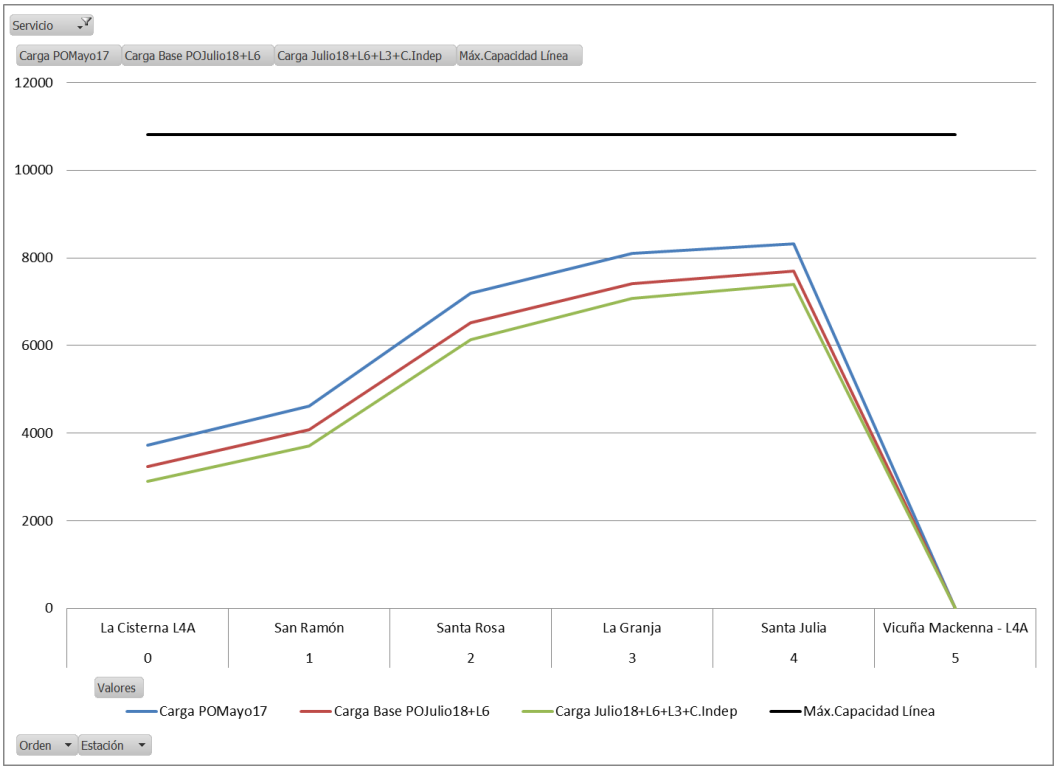
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-36: Perfil de Carga L2R



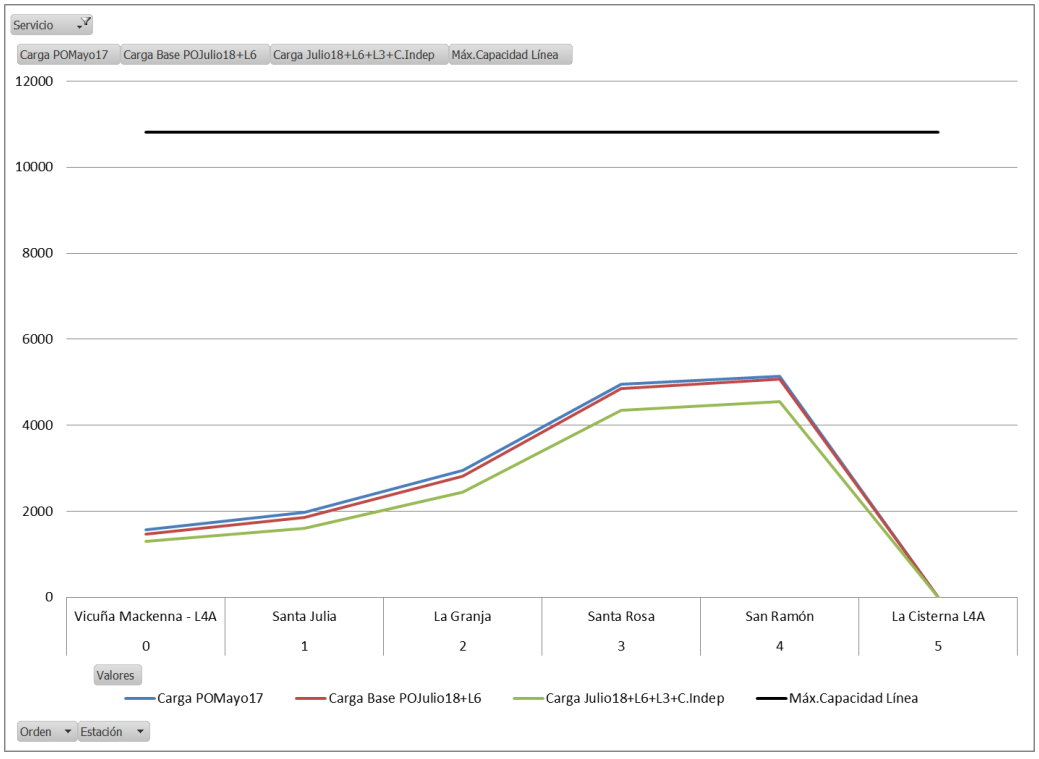
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-37: Perfil de Carga L4AI



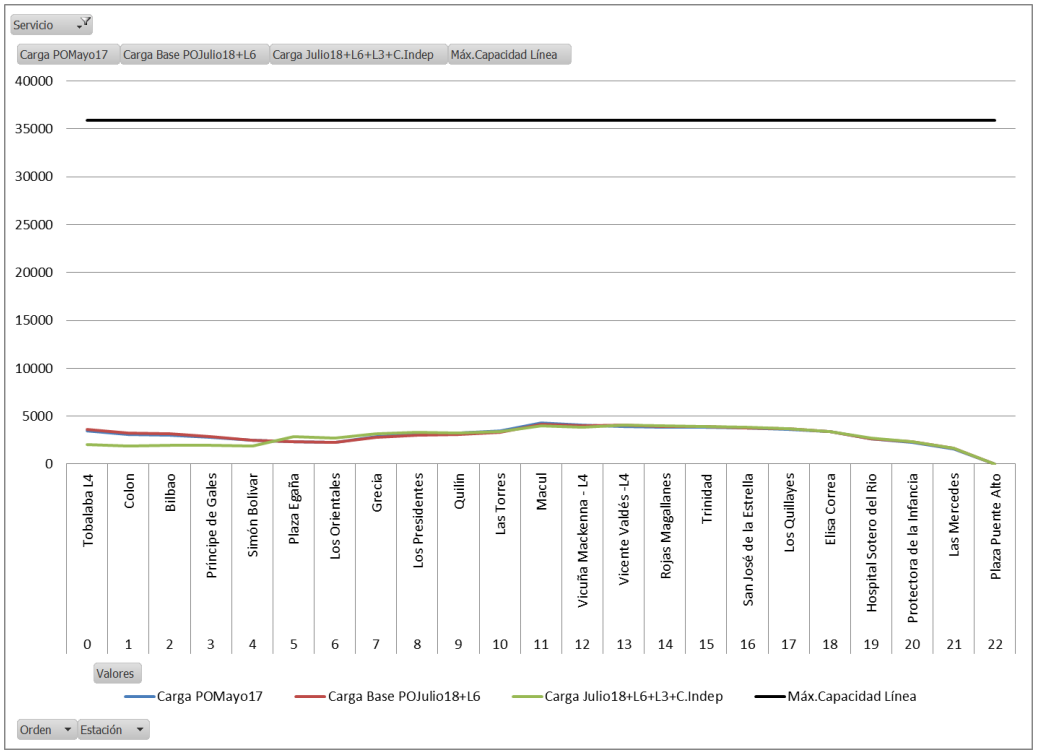
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-38: Perfil de Carga L4AR



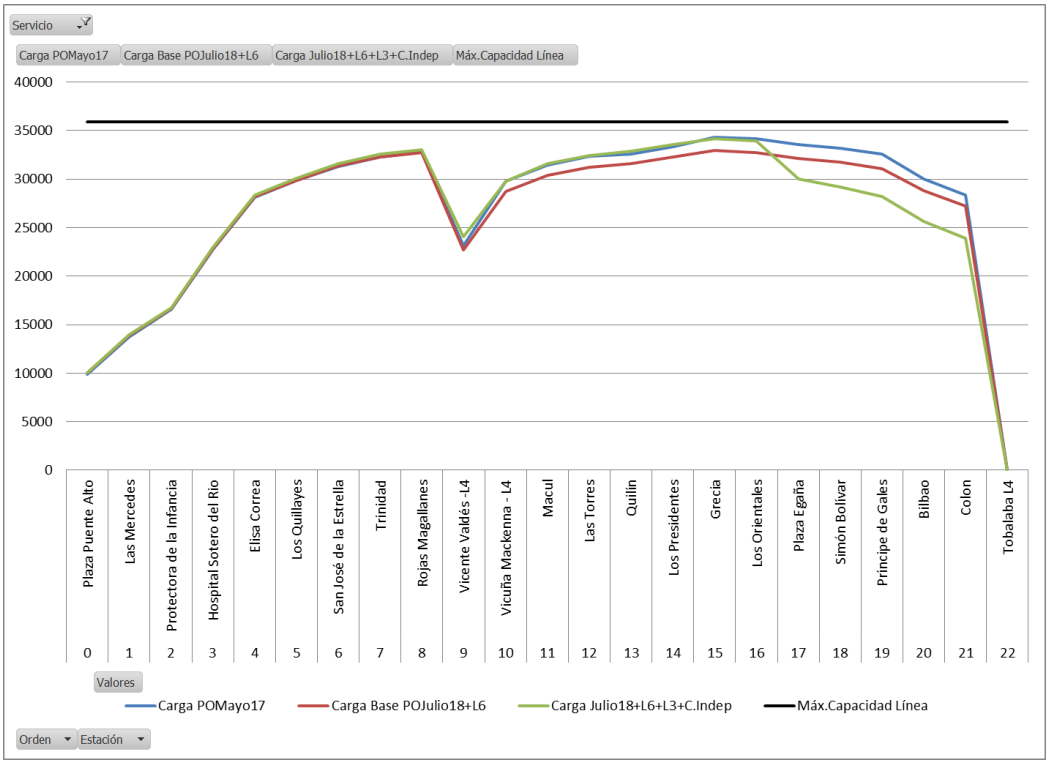
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-39: Perfil de Carga L4I



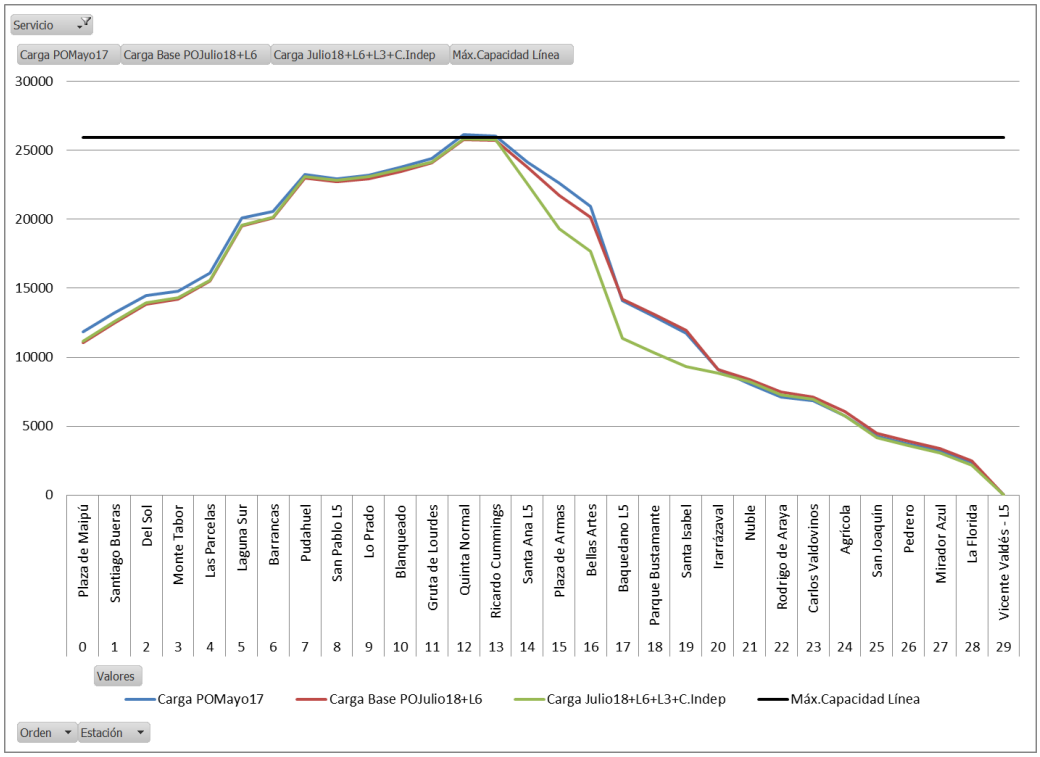
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-40: Perfil de Carga L4R



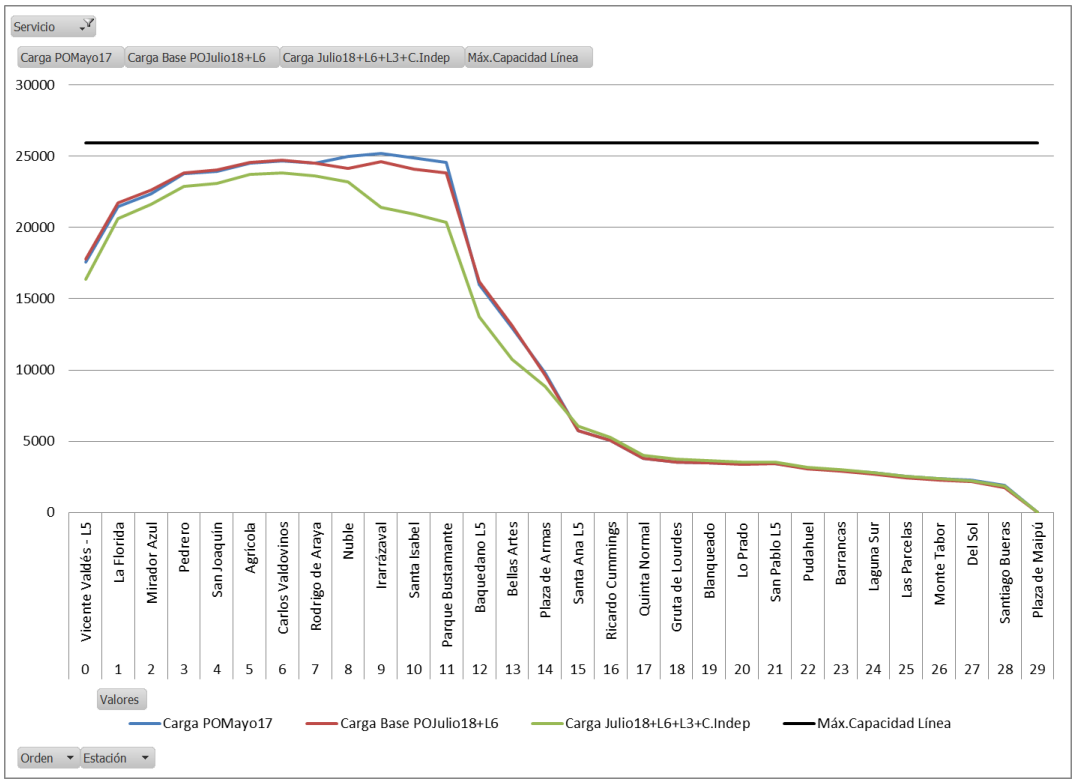
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-41: Perfil de Carga L5I



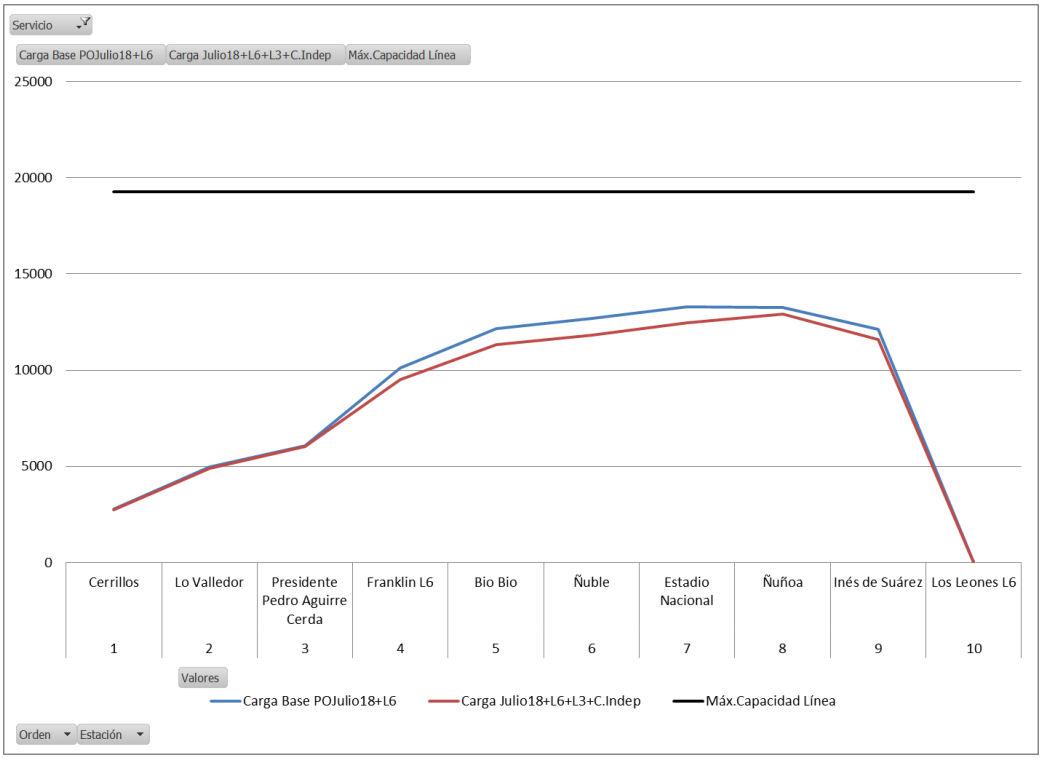
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-42: Perfil de Carga L5R



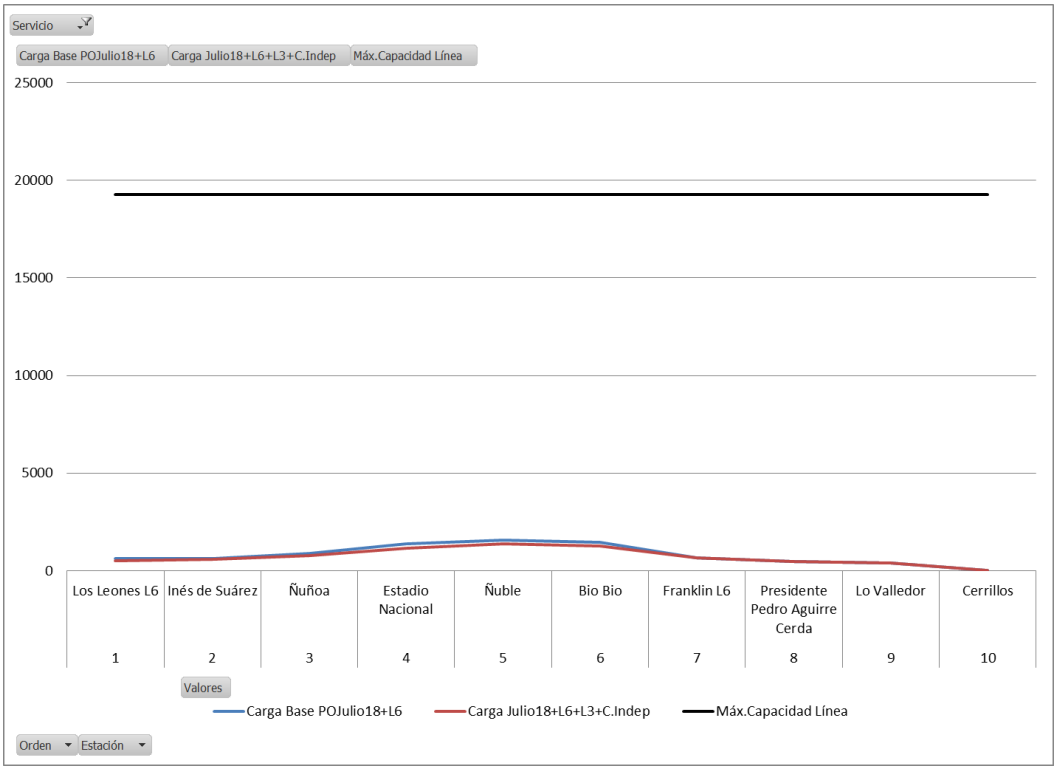
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-43: Perfil de Carga L6I



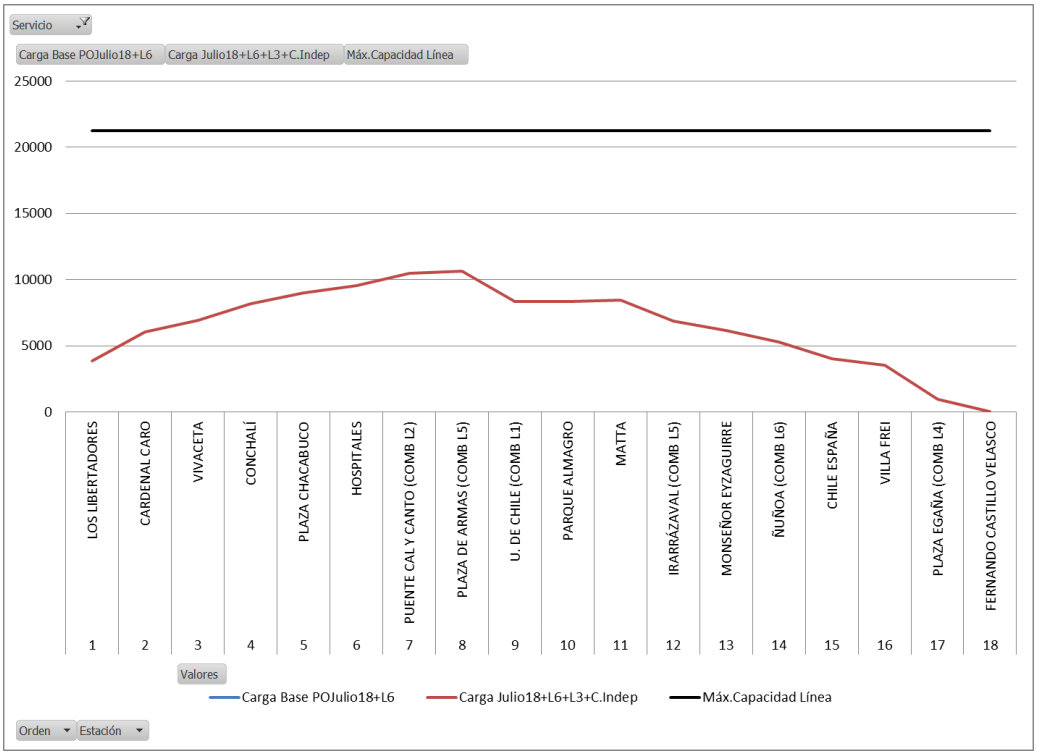
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-44: Perfil de Carga L6R



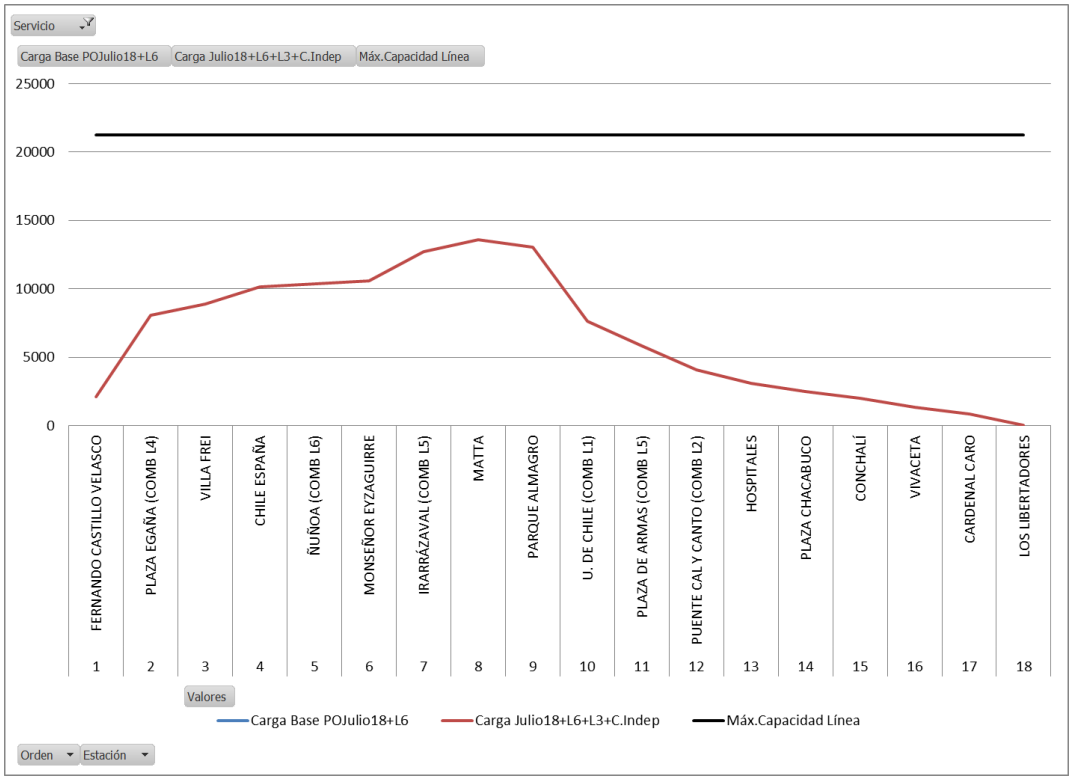
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-45: Perfil de Carga L3I



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-46: Perfil de Carga L3R

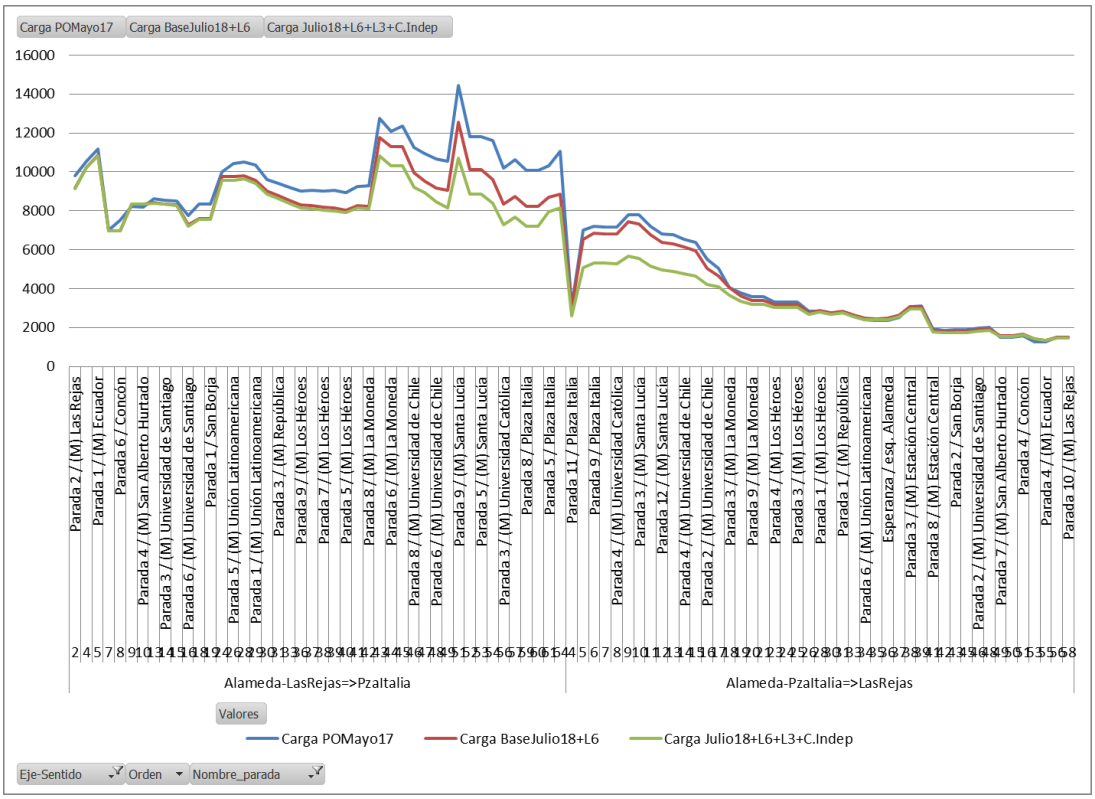


Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En general, el cambio observado en los perfiles de carga es consiste con la entrada en funcionamiento de la nueva Línea 3 al modelo de asignación, donde el resto de las líneas presentan bajas en los tramos que compiten con la nueva línea 3.

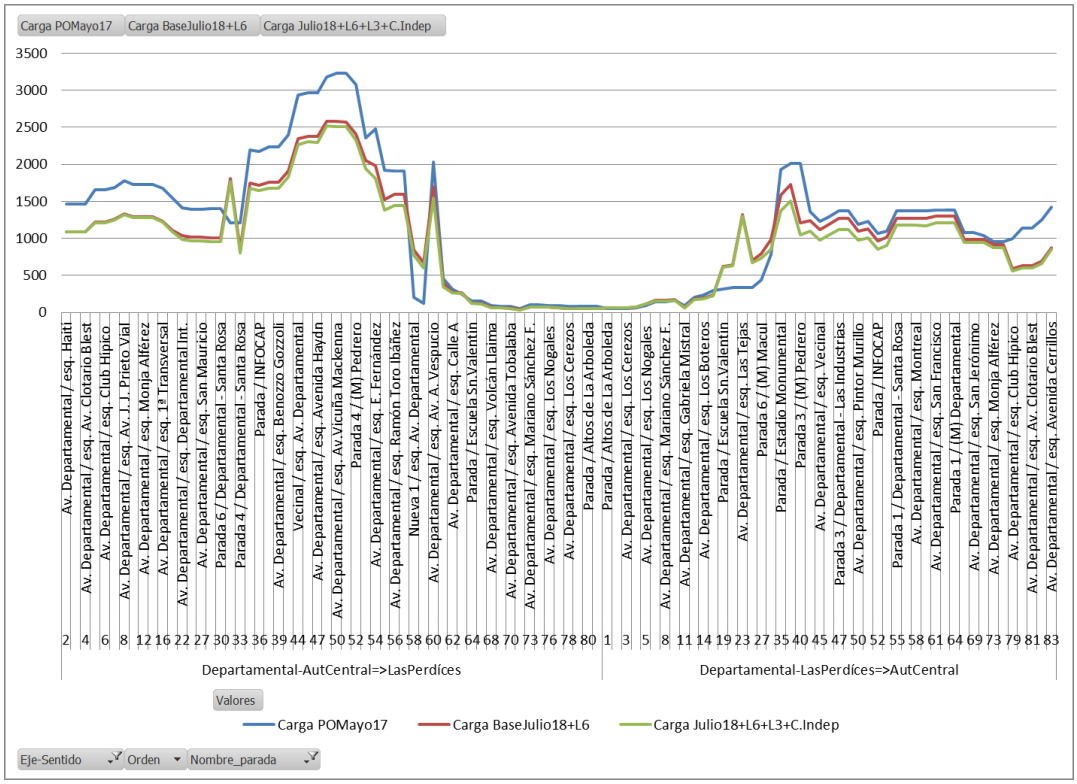
A continuación, se presenta el flujo de pasajeros de los escenarios en algunos ejes relevantes de la ciudad.

Figura 9-47: Perfil de Eje Alameda



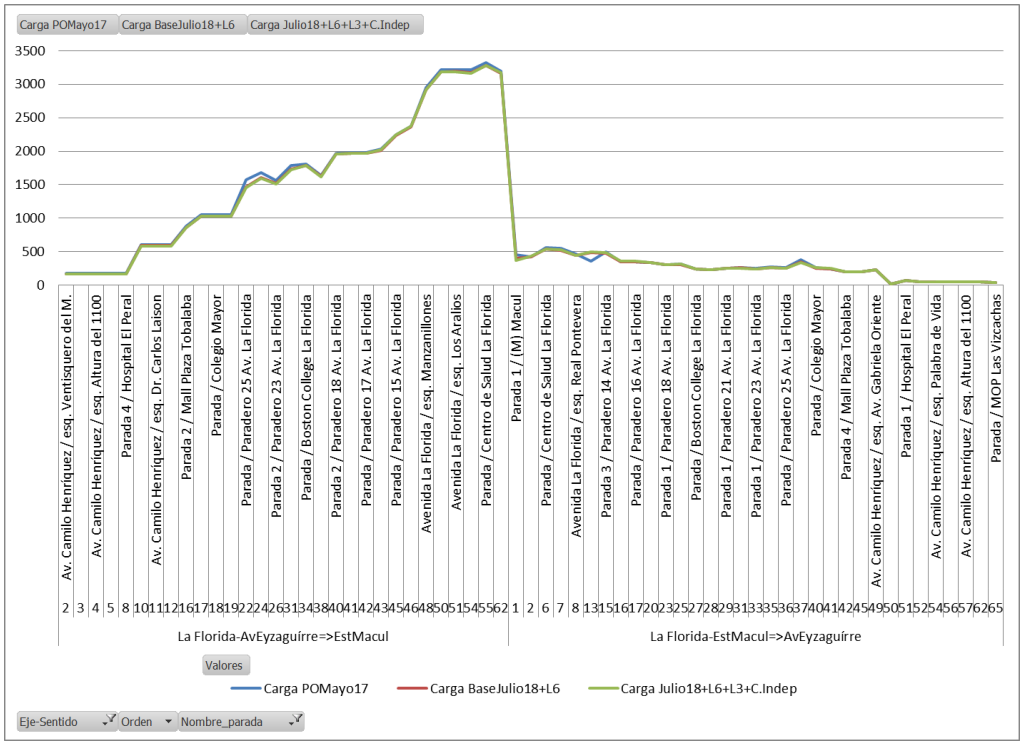
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-48: Perfil de Eje Departamental



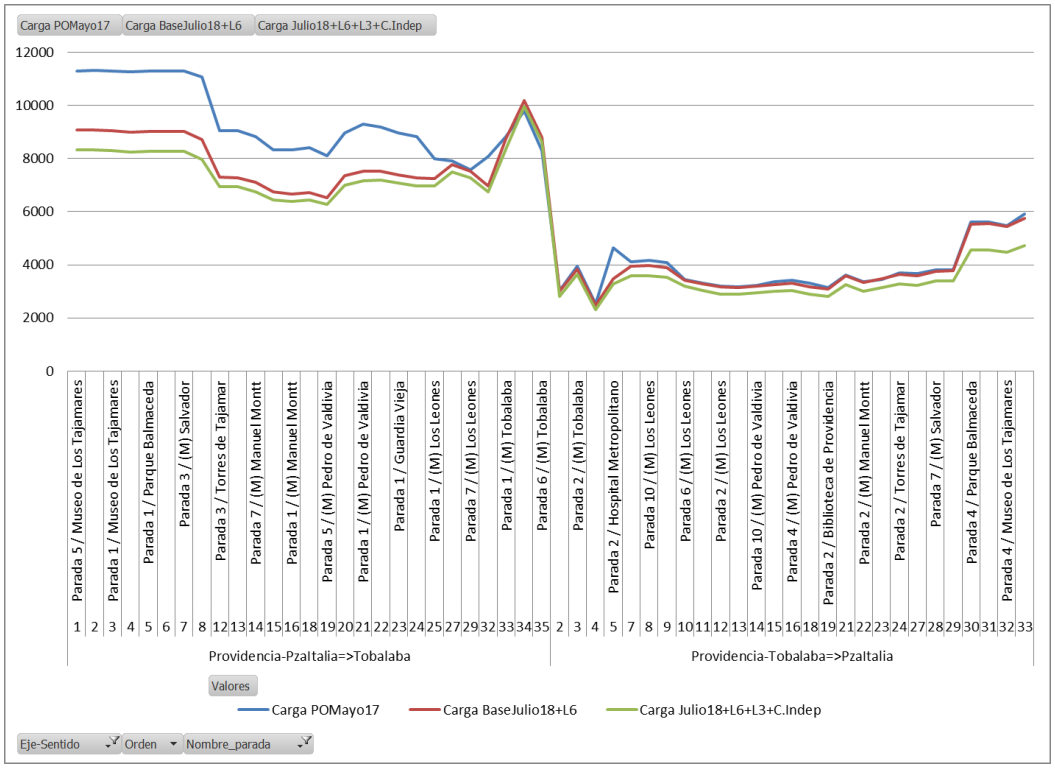
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-49: Perfil de Eje La Florida



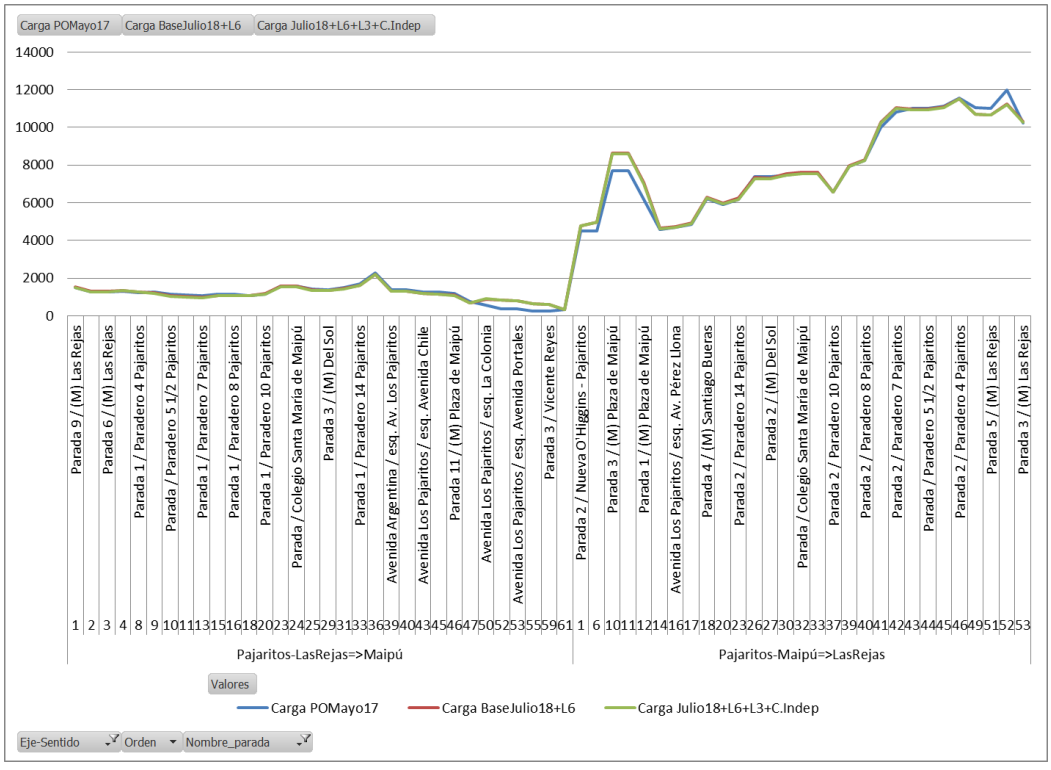
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-50: Perfil de Eje Providencia



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-51: Perfil de Eje Pajaritos



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

El siguiente análisis que se presenta, tiene relación con las componentes del tiempo de viaje del sistema.

Tabla 9-13: Comparación de Niveles de servicio (min)

	Escenario Base_Jul18	Escenario 1 L3+Indep.	Variación %
Tiempo Caminata	16.36	16.36	0.0%
Tiempo Espera	4.16	4.11	-1.2%
Tiempo vehículo	36.17	35.53	-1.8%
Tiempo de Viaje	56.70	56.00	-1.2%
Distancia Promedio de Viaje	12.32	12.31	-0.1%

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En Anexo 9 se presenta un conjunto de archivos con resultados desagregados de los escenarios.

9.3.2 Escenario Ajuste Malla Buses L3 - E2V

Este escenario se construye a partir del escenario reportado en el acápite anterior, que considera el PO Base Julio18, que corresponde a la asignación de demanda de STPS, considerando el PO de buses y Metro vigente en Julio de 2018 + L6. A partir del escenario anterior, en el que está incorporada la línea L3 de Metro. Además, está caracterizada la operación del eje Independencia, entre Dorsal y Santa María, como corredor y fueron ajustadas las velocidades y los servicios de buses que utilizan dicho eje. Se incorpora el ajuste de malla de buses por la entrada en operación de la nueva Línea 3 de Metro, considerando las modificaciones realizadas por el consultor, luego de revisar los resultados de la primera versión de dicha malla.

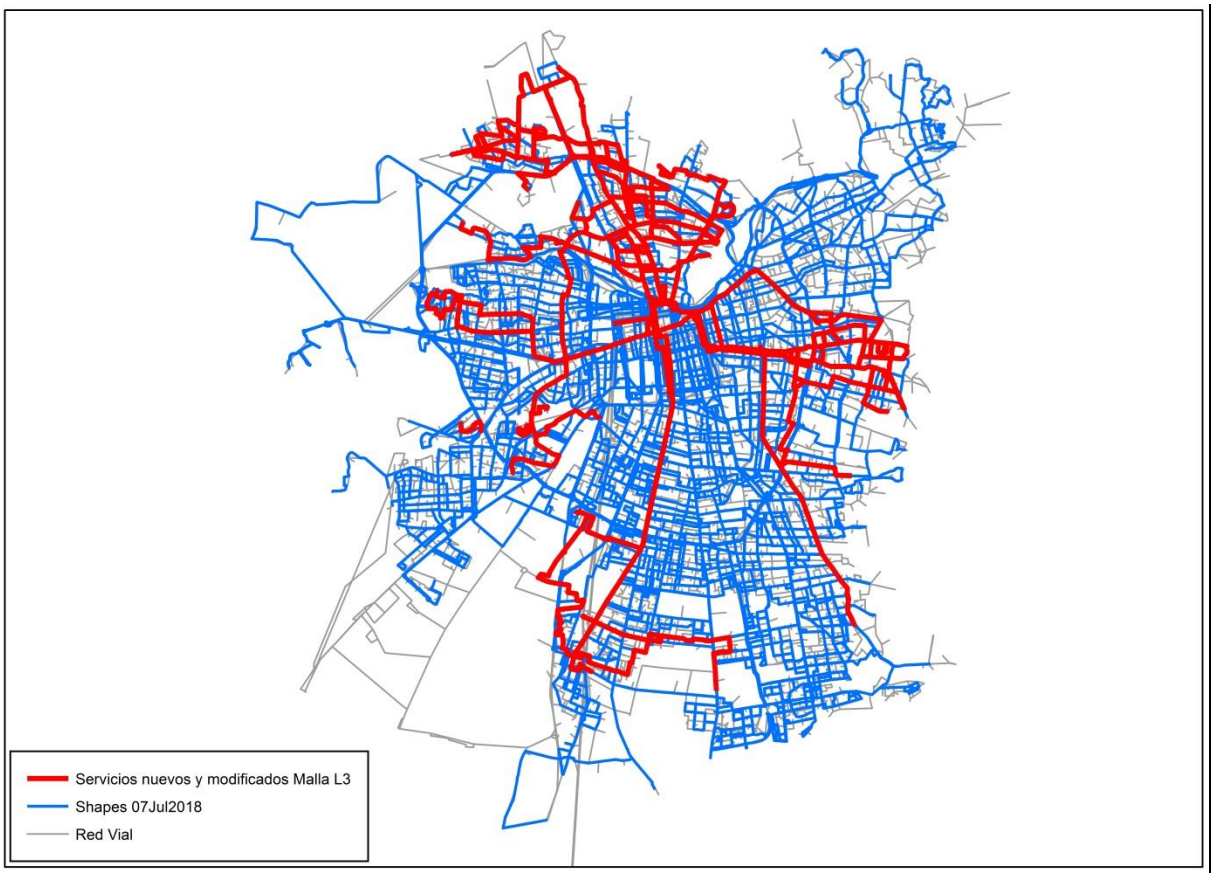
A continuación, un resumen de los servicios modificados respecto al Escenario Base Julio 18.

Tabla 9-14: Resumen Modificaciones

UN	Servicios Nuevos	Servicios Eliminados	Itinerarios Modificados	Cambio Oferta
1	2	2	1	2
2		4	10	8
3	6	4	4	10
4		3	10	8
5	2	2	2	3
6	2	3	23	14
7				

Fuente: Información entregada por DTPM

Figura 9-52: Servicios Modificados Escenario 2 Ajuste L3



Fuente: Información entregada por DTPM

Los resultados de la asignación con restricción de capacidad, se presentan a continuación:

Tabla 9-15: Resultados Globales

Ítem	POJulio18+L6	E2V – Malla L3
Etapas Buses	482,261	463,198
Etapas Metro	261,404	278,676
Etapas Metro (con transbordo metro metro)	366,698	392,833
Total Etapas (sin transbordo metro metro)	750,359	748,603
Matriz de viajes	494,730	494,730
Etapas Bip por Viaje	1.52	1.52
Etapas caminando	411	484

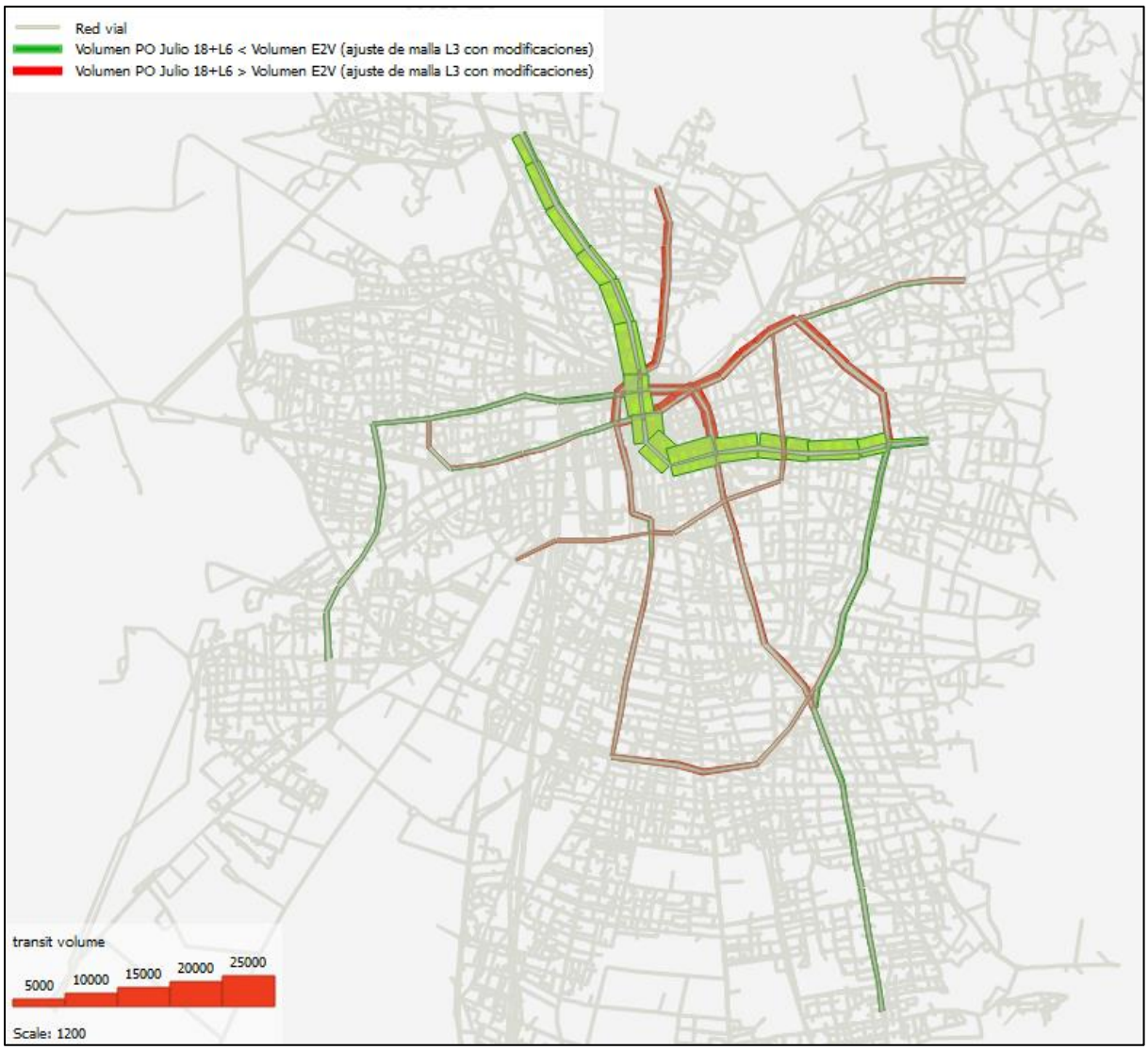
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Al analizar el escenario E2V, respecto a la base PO Julio18, se observa una disminución en las etapas totales, debido a la baja en las etapas asignadas a bus. Mientras que las etapas

asignadas a Metro aumentan, aunque no en el mismo nivel que la disminución en las etapas de bus. Con todo lo anterior, las etapas bip por viaje no registran una variación significativa.

Las siguientes figuras muestran la diferencia de flujo entre los escenarios E0 y E2V para buses y Metro

Figura 9-53: Comparación Flujo entre Escenarios Base Julio18 y E2V – Metro



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-54: Comparación Flujo entre Escenarios Base Julio18 y E2V – Buses



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Las diferencias de flujo en la red de metro como de buses muestran un efecto acotado principalmente al área de influencia de la nueva Línea 3, junto con las modificaciones en la malla de buses como consecuencia de esta nueva línea. Se observa una reasignación de flujo importante en la zona nor-oriente de la red de metro, disminuyendo de manera significativa la carga en las líneas 1, 2, 4 y 5.

Respecto a los cambios de flujo en la red de buses, estos se concentran principalmente en el área de influencia de la Línea 3. Estos cambios registrados son consistentes con los reportados en el periodo Fuera de Punta, que se detallarán más adelante.

A continuación, se presentan las etapas por Unidad de Negocio y los transbordos entre modos. La información de etapas es comparada con los reportados en el escenario del PO de Julio del 2018 + L6.

Tabla 9-16: Resultados Etapas por Unidad de Negocio

Etapas por UN	Base POJulio18+L6	E2V- L3+Malla L3
U1	57,132	55,148
U2	101,478	90,774
U3	78,018	77,560
U4	86,977	84,424
U5	83,464	79,939
U6	41,118	41,206
U7	34,074	34,147
Sin Unidad	0	0
Total Buses	482,261	463,198

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

A nivel de unidad de negocio, el mayor impacto de la implementación de la Línea 3 de metro y las modificaciones en la malla de buses asociadas, se registran en la UN2, que reporta una baja del 10%. Le siguen las unidades UN1, UN4 y UN 5 con bajas del orden del 3%.

Tabla 9-17: Transbordos entre Modos

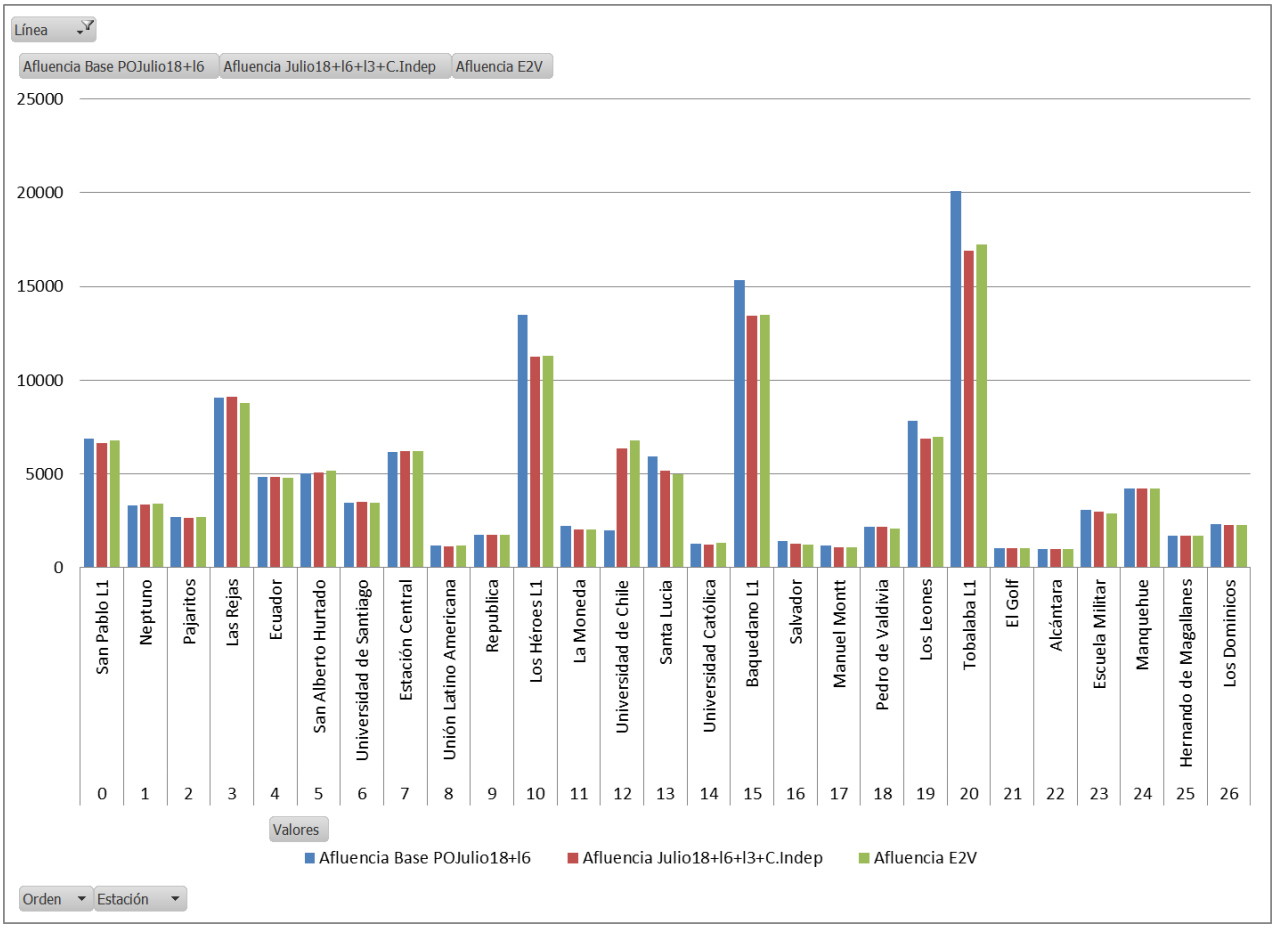
Etapas Transbordo	Base POJulio18+L6	E2V- L3+Malla L3
Bus-Bus	61,576	54,219
Bus-Metro	143,278	150,590
Metro-Metro	105,294	114,157
Metro-Bus	43,942	42,337
Bus-Metrotren	2,956	2,900
Metro-Metrotren	397	400
Metrotren-Bus	559	579
Metrotren-Metro	4,953	4,963

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Respecto a los transbordos entre modos, se observa que los transbordos Bus-Bus disminuyen en el mismo rango en que aumentan los transbordos Bus-Metro. Además, disminuyen levemente los transbordos Metro-Bus.

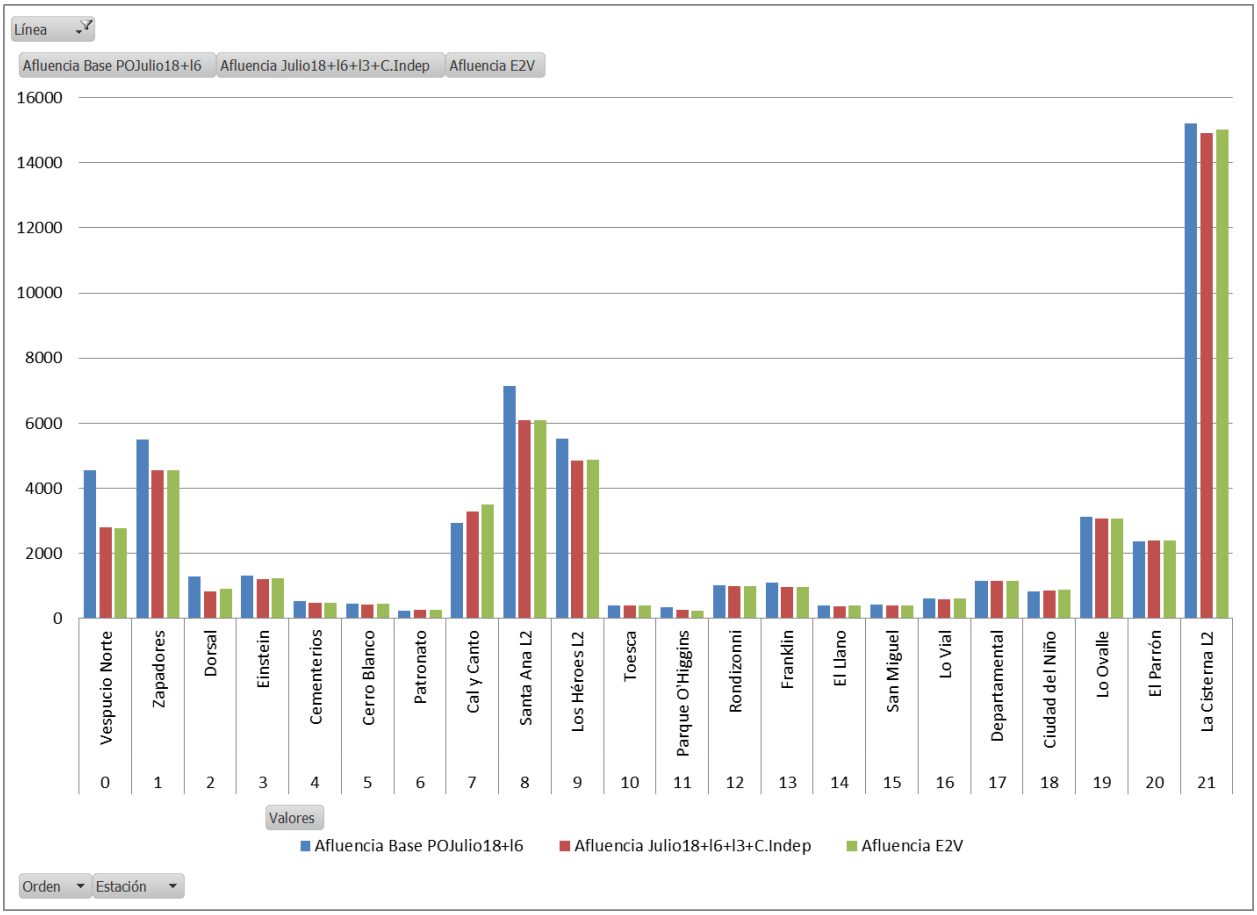
A continuación, se presentan un comparativo de subidas por estación y perfiles de carga para Metro.

Figura 9-55: Afluencia Línea 1



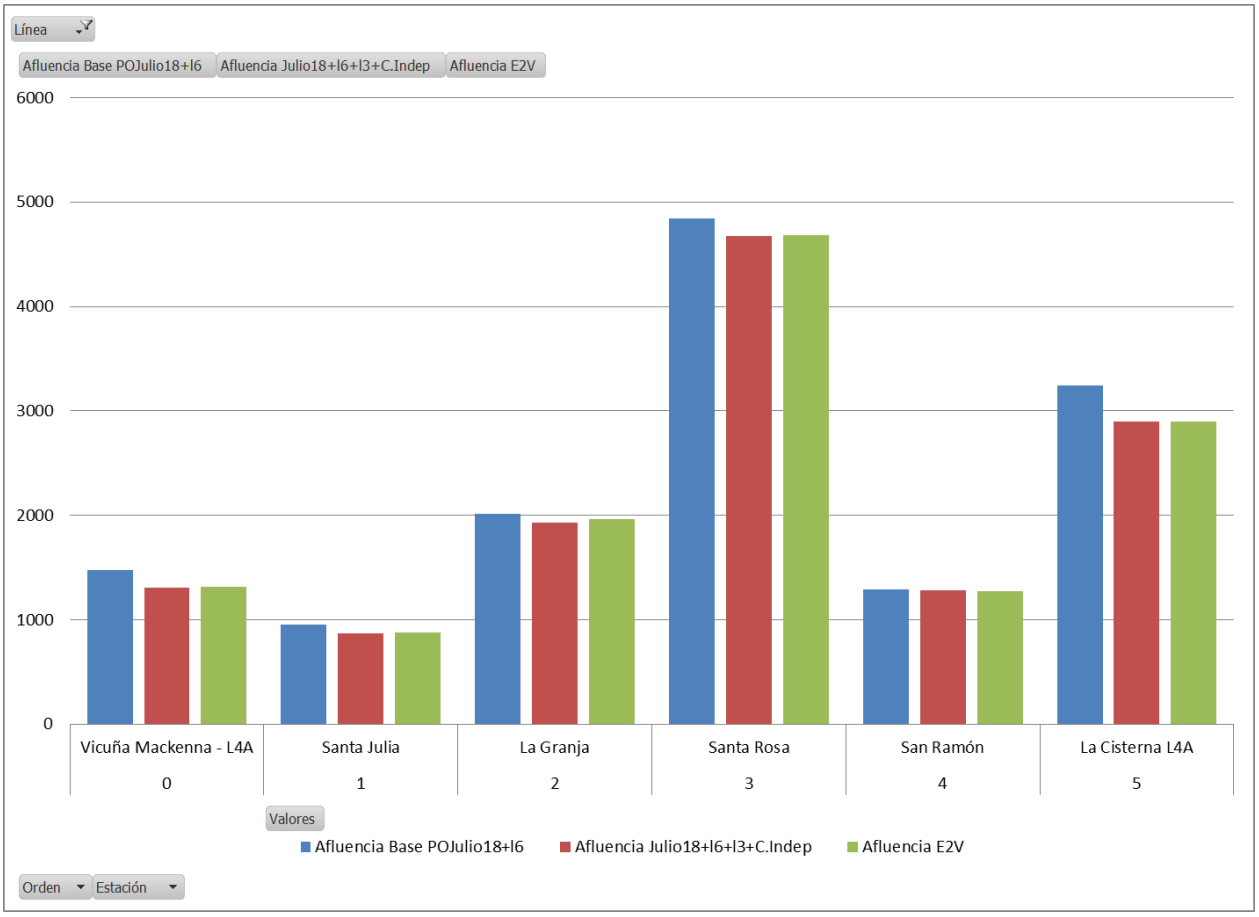
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-56: Afluencia Línea 2



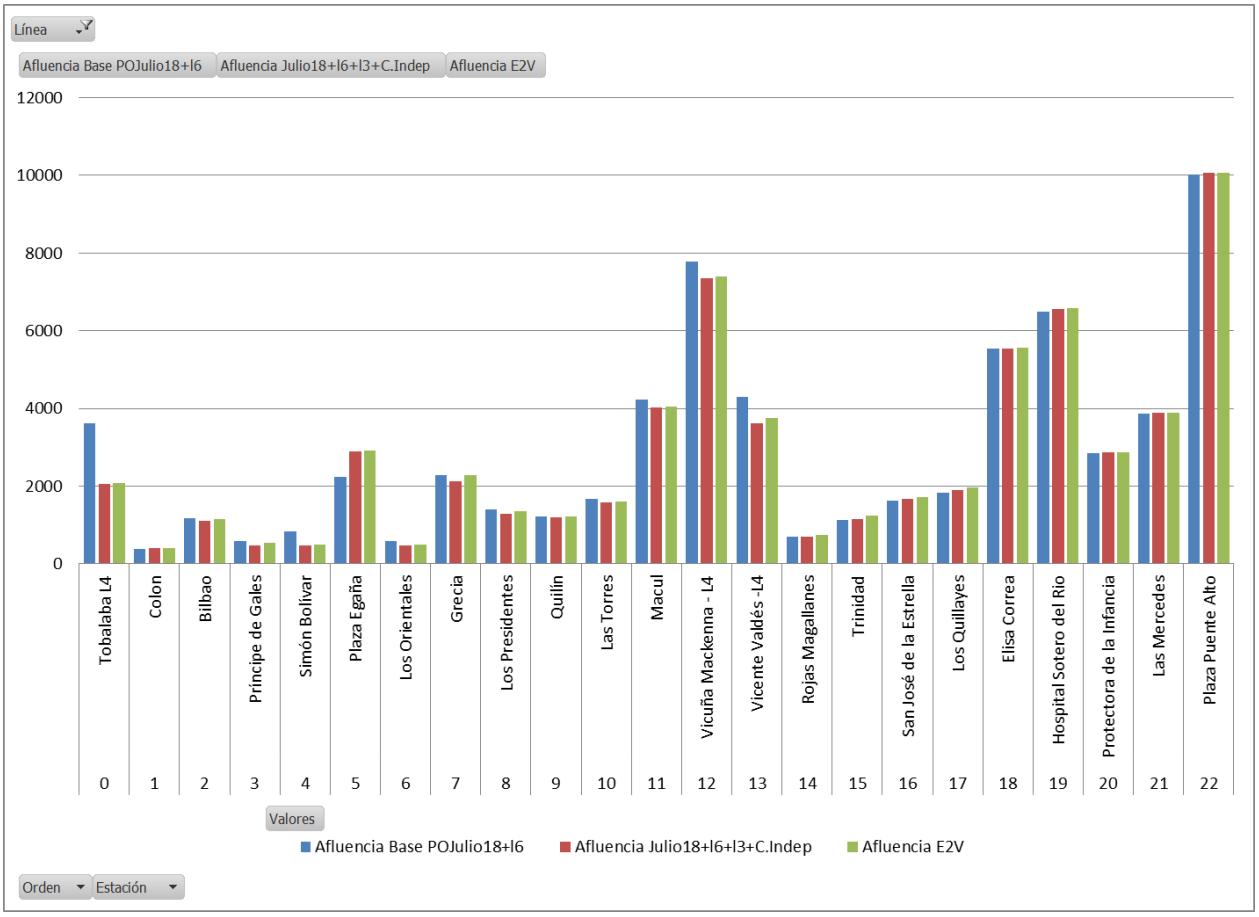
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-57: Imagen. Afluencia Línea 4A



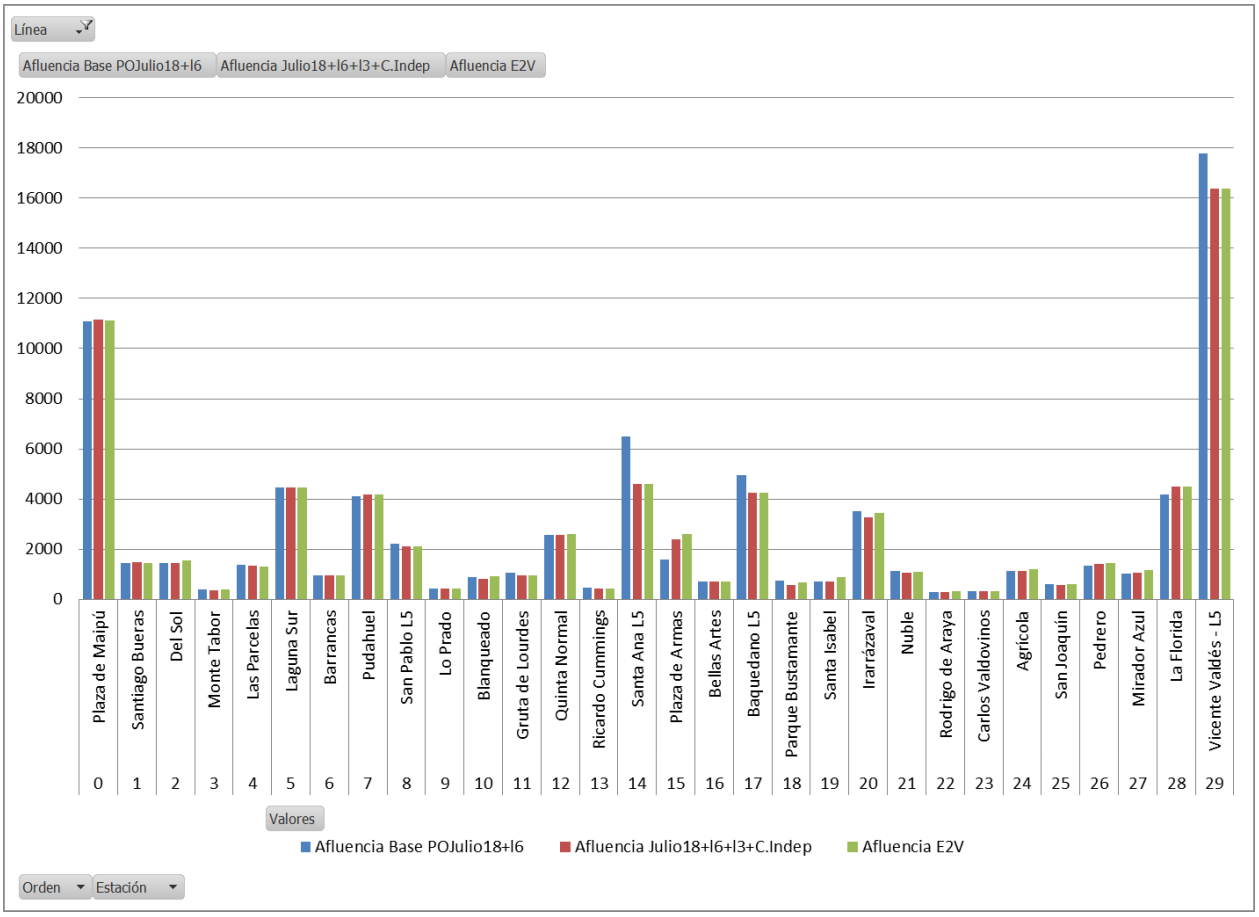
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-58: Afluencia Línea 4



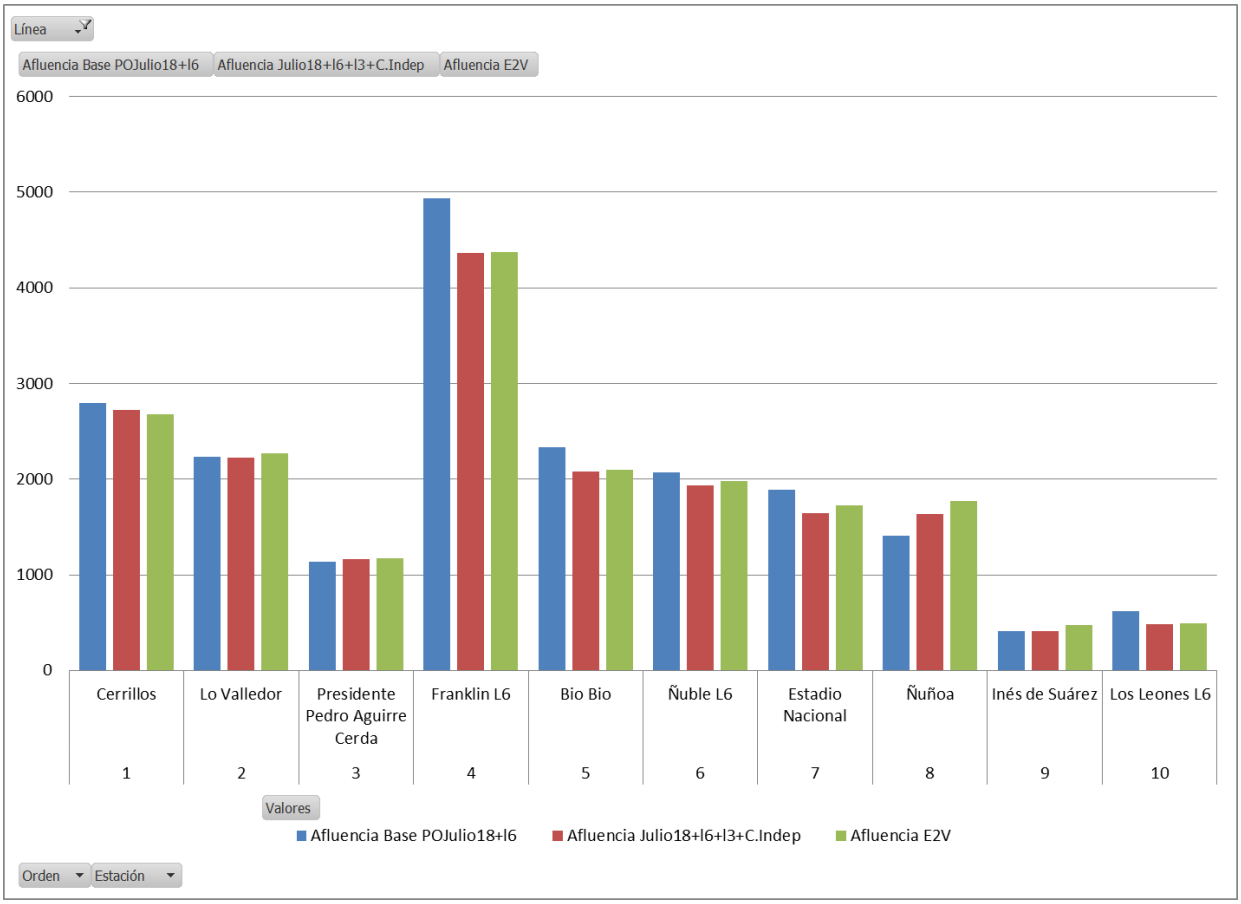
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-59: Afluencia Línea 5



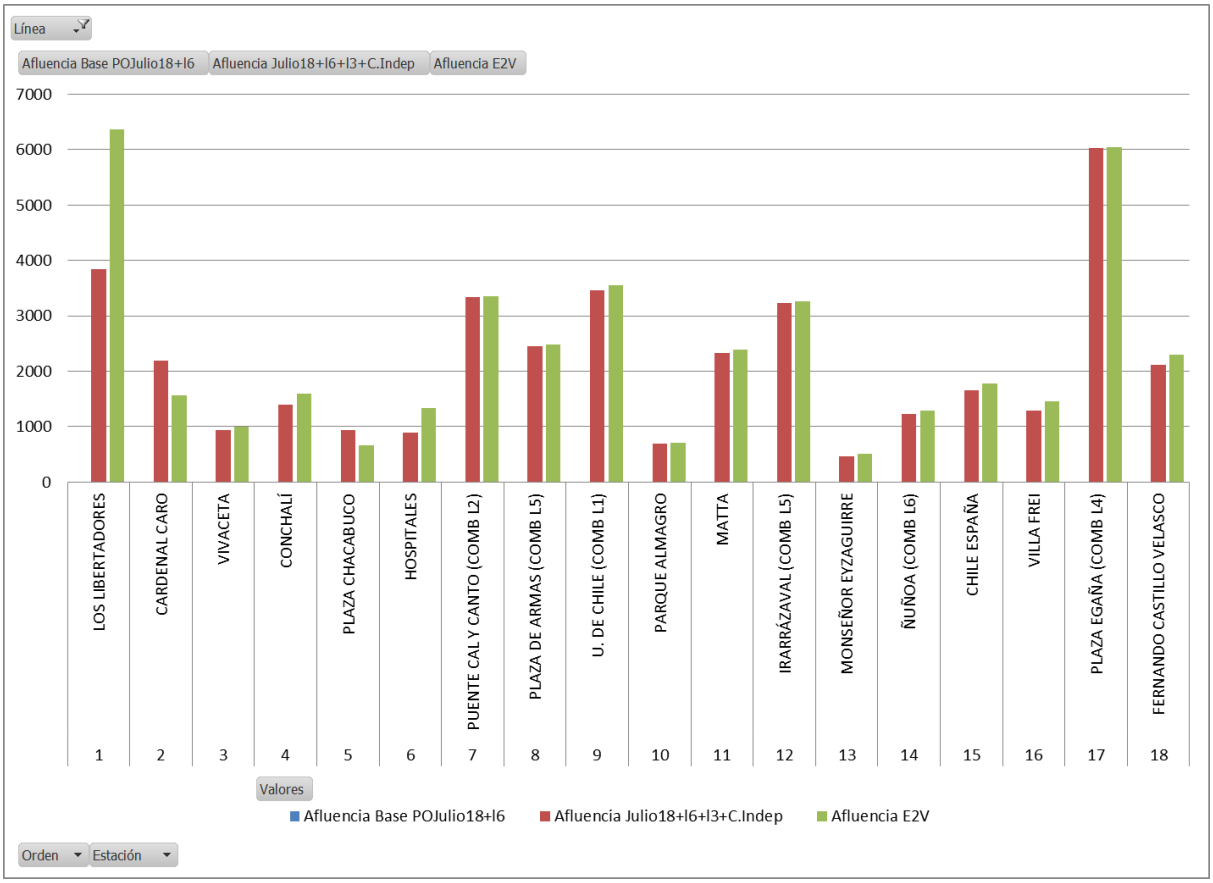
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-60: Afluencia Línea 6



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

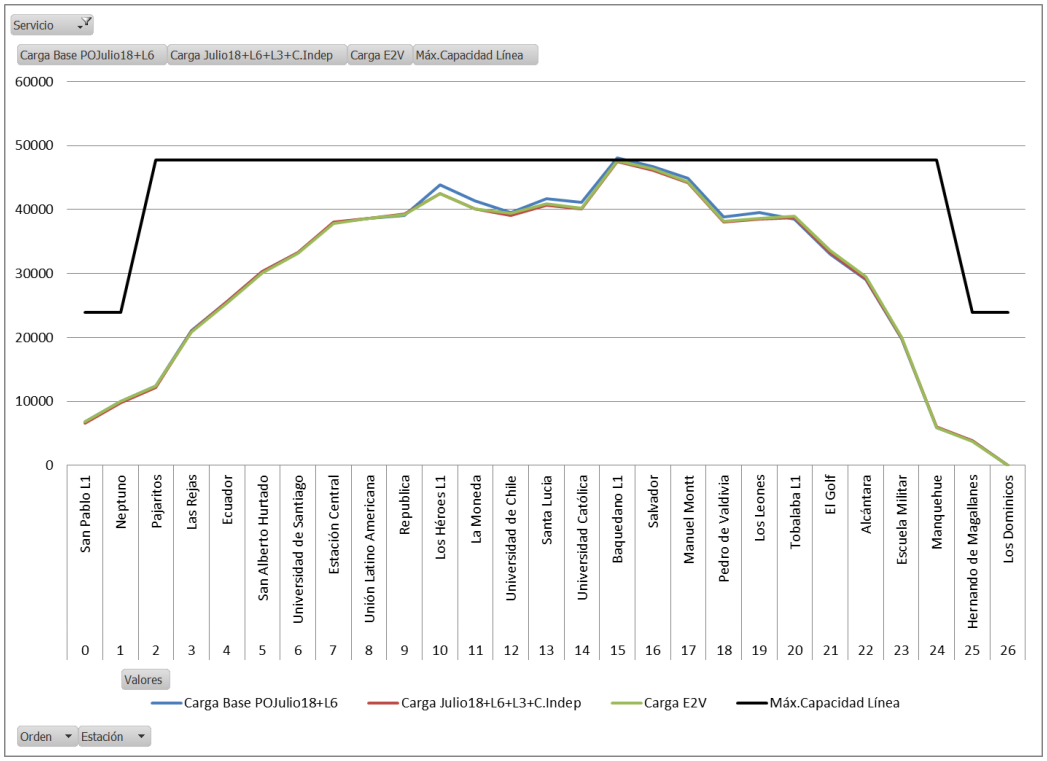
Figura 9-61: Afluencia Línea 3



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

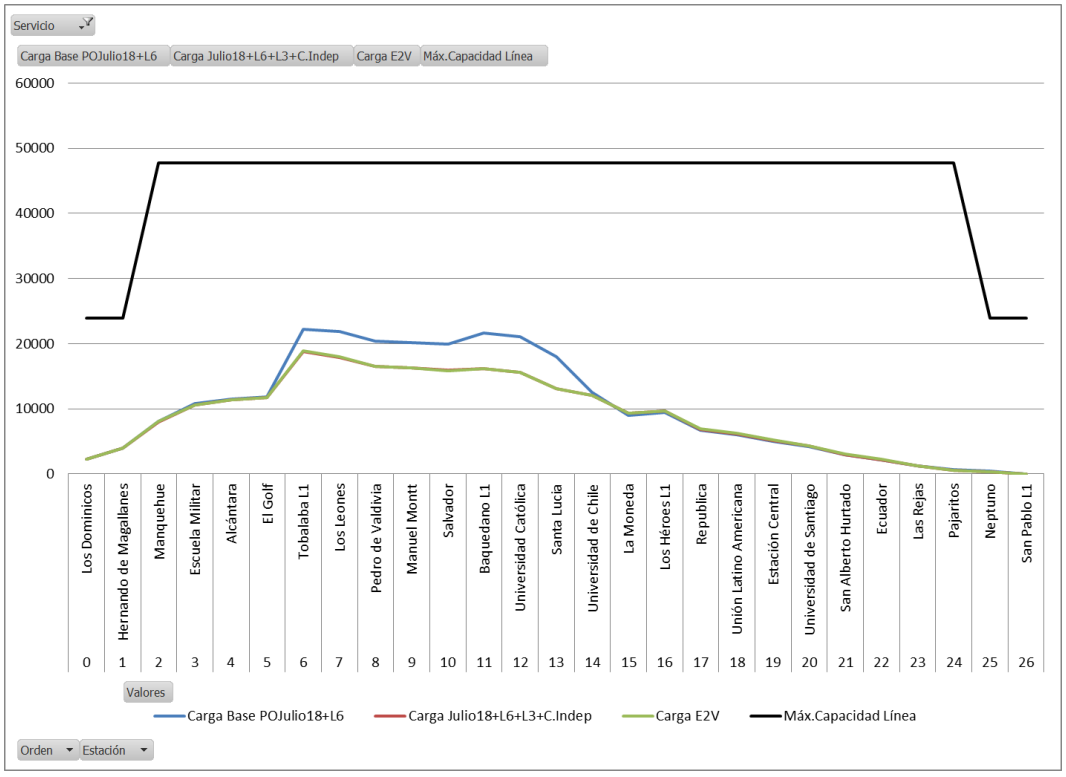
A continuación, se presenta un comparativo de perfiles de carga para Metro, donde se compara el escenario base julio 2018 con el escenario E2V.

Figura 9-62: Perfil de Carga L1I



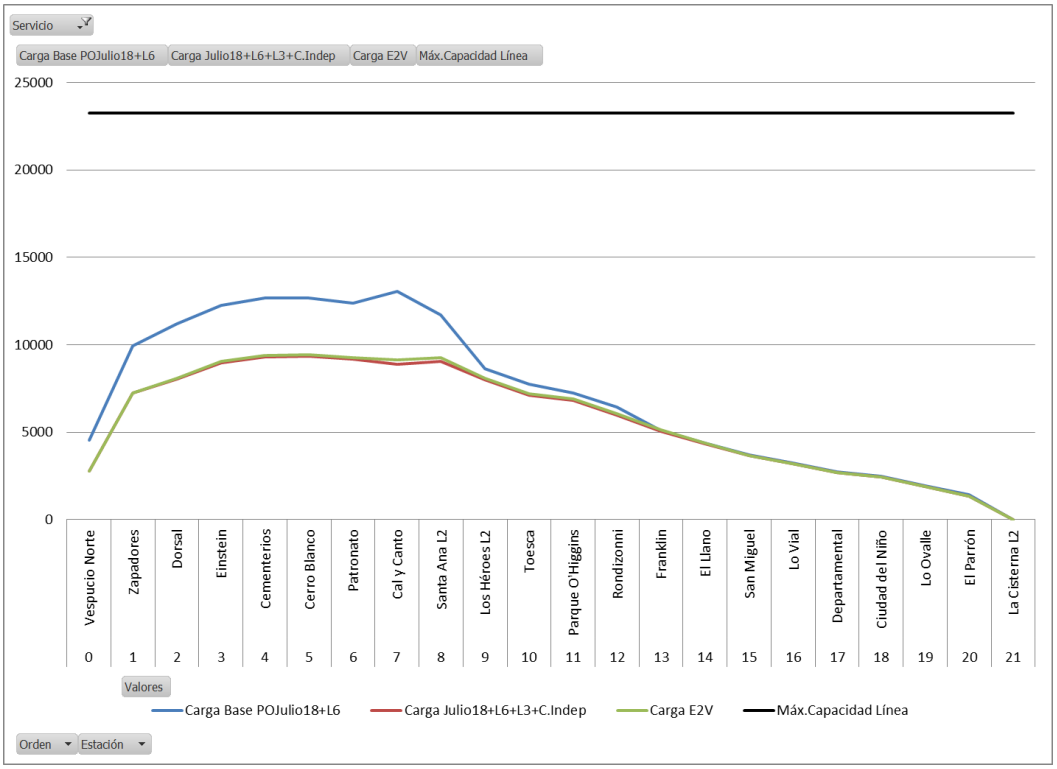
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-63: Perfil de Carga L1R



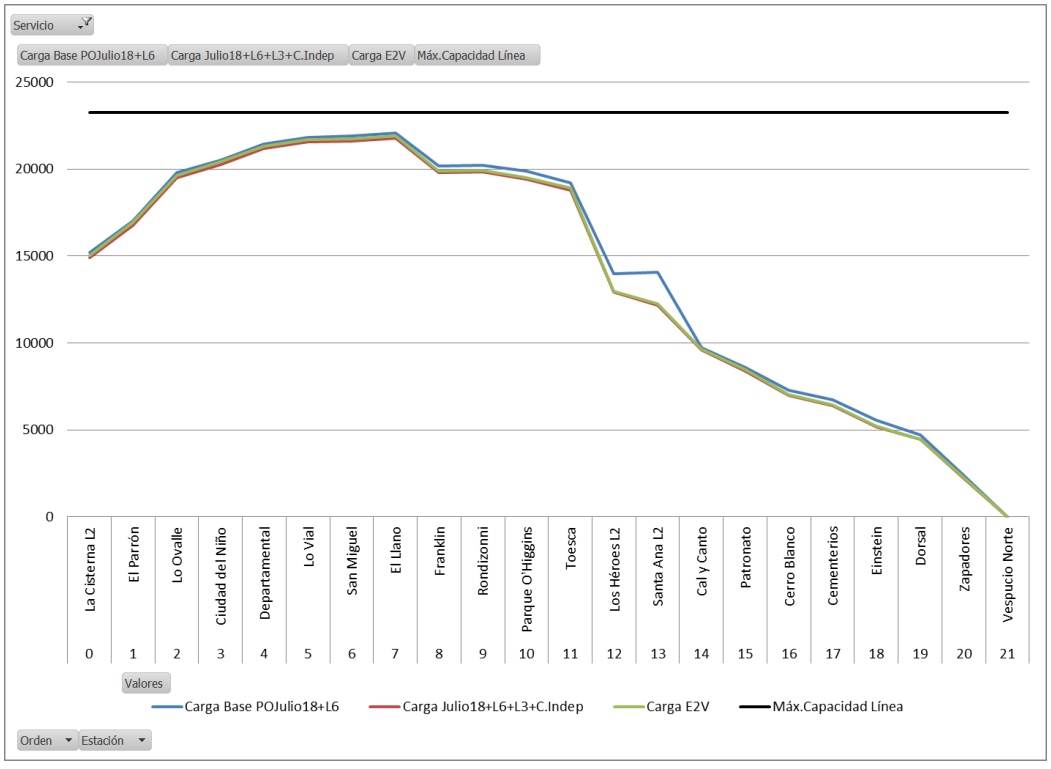
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-64: Perfil de Carga L2I



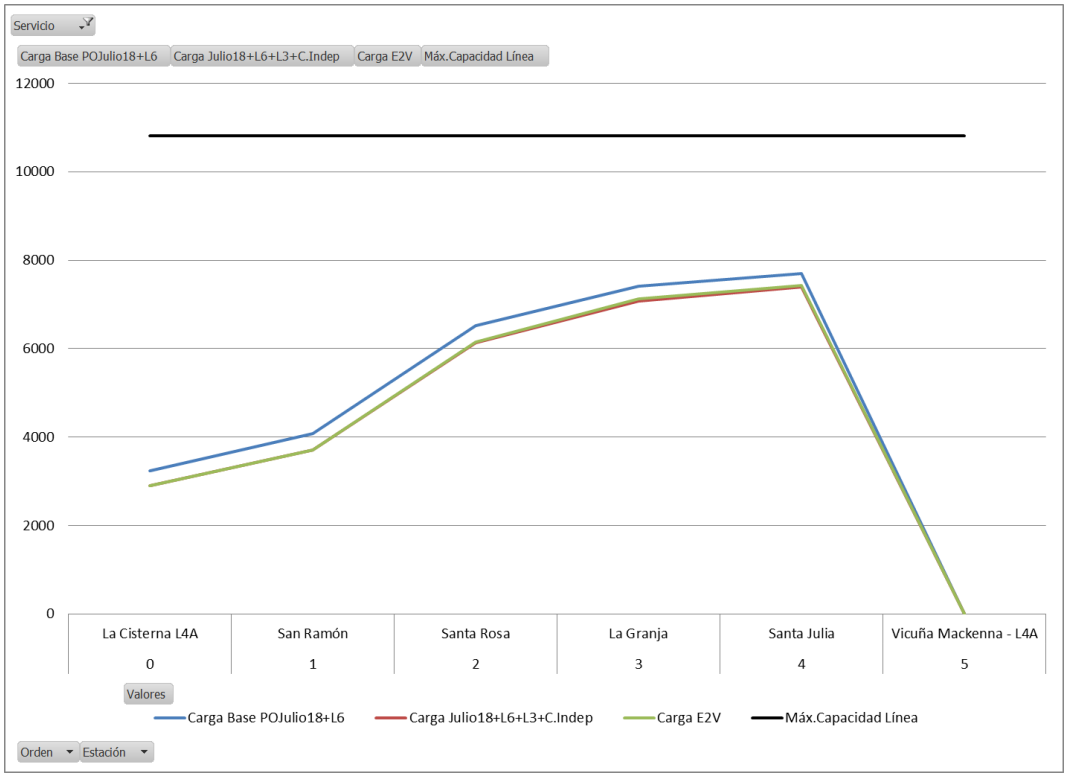
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-65: Perfil de Carga L2R



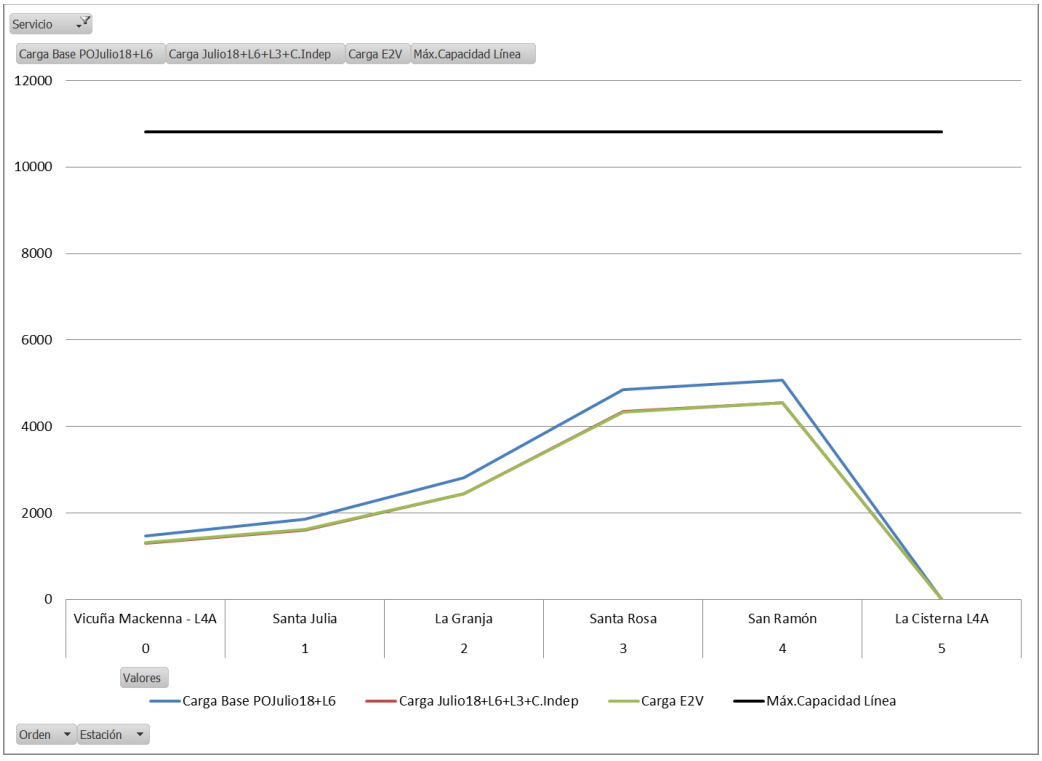
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-66: Perfil de Carga L4AI



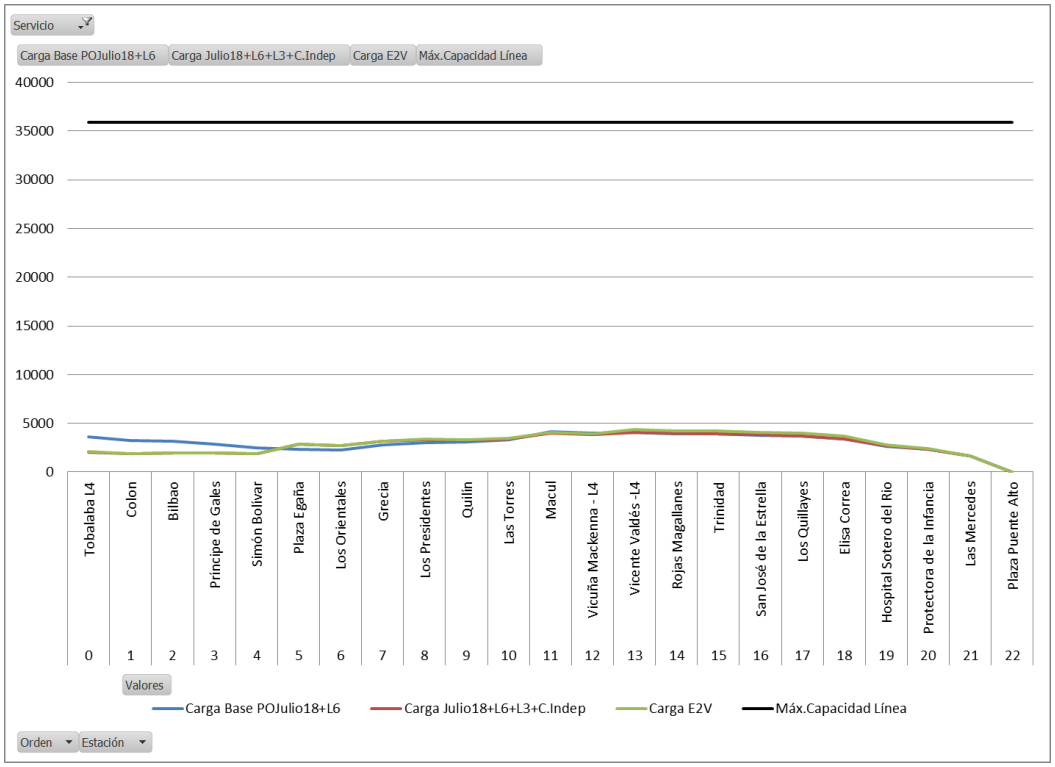
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-67: Perfil de Carga L4AR



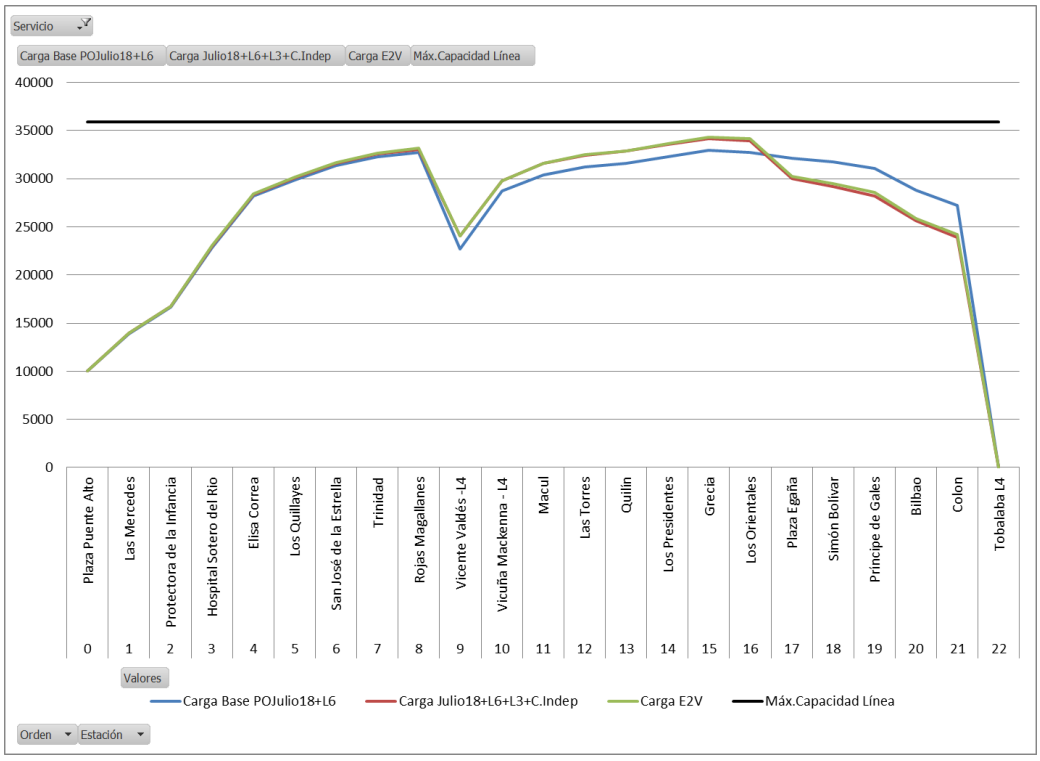
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-68: Perfil de Carga L4I



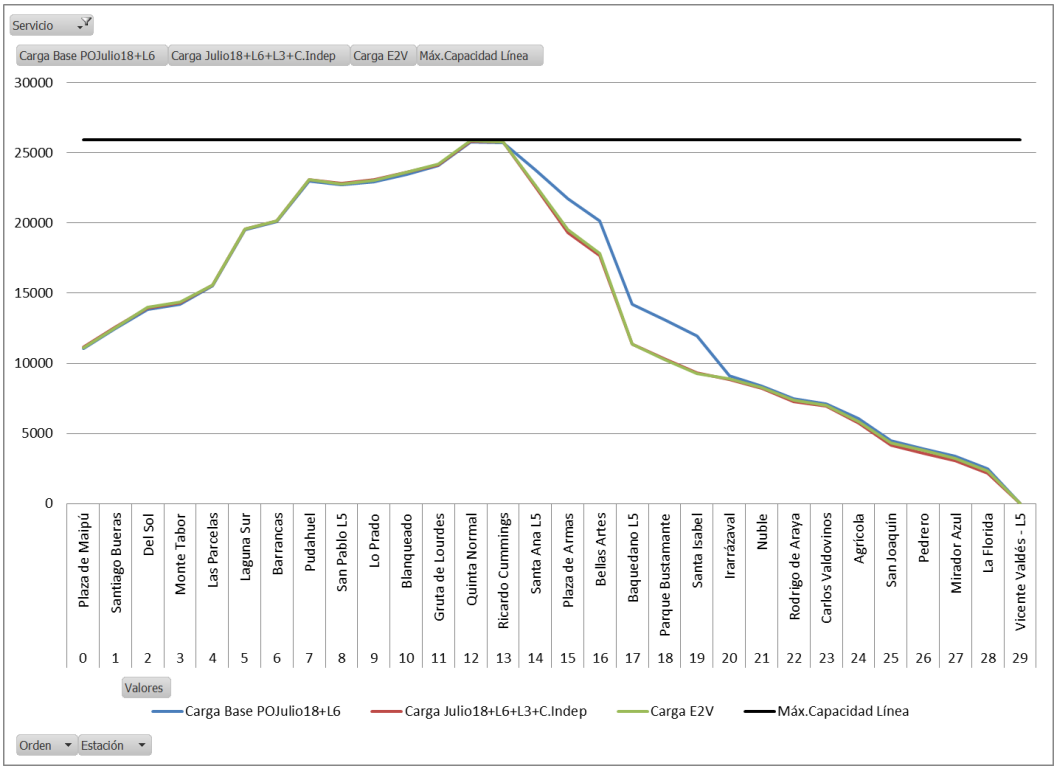
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-69: Perfil de Carga L4R



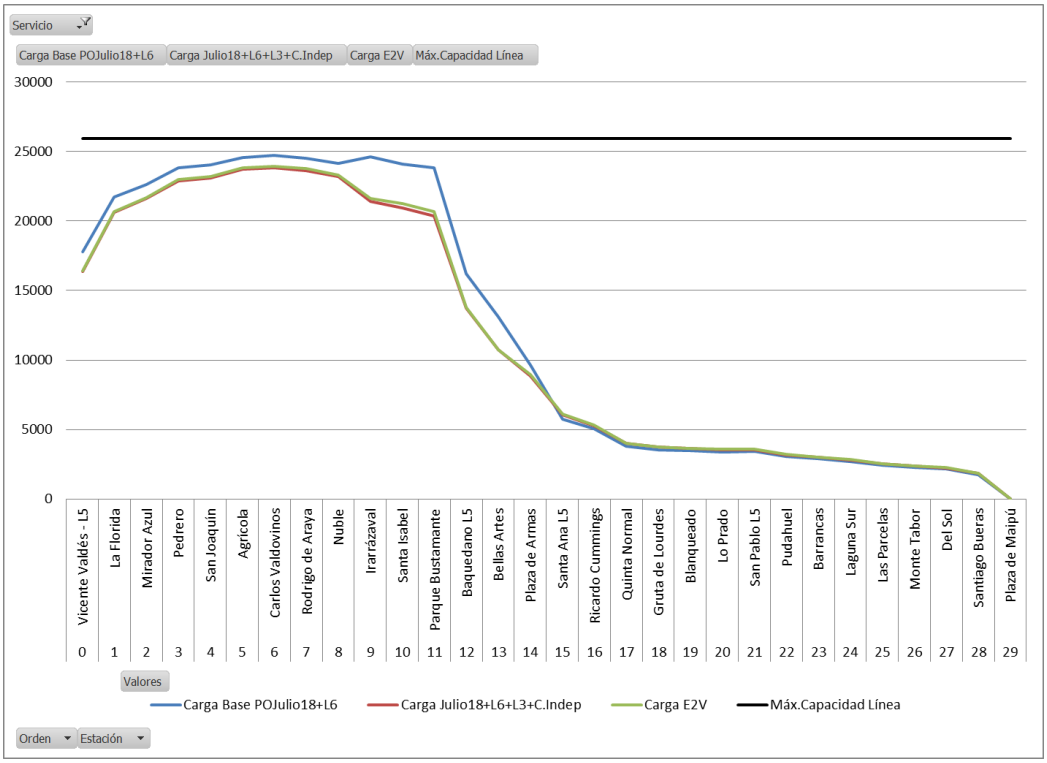
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-70: Perfil de Carga L5I



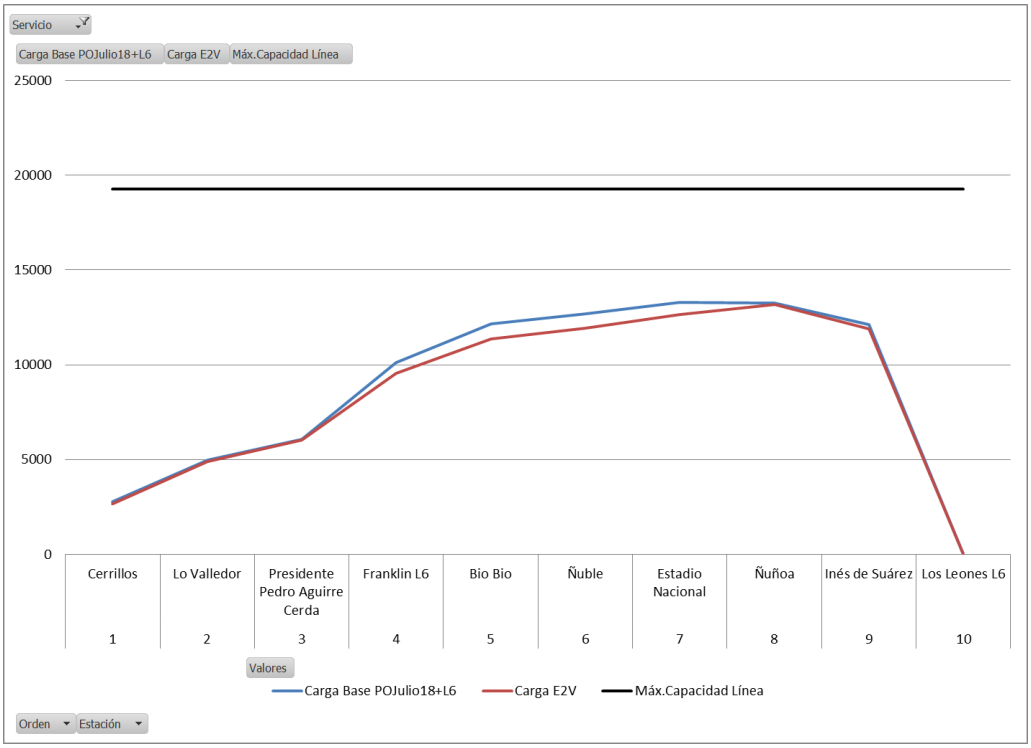
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-71: Perfil de Carga L5R



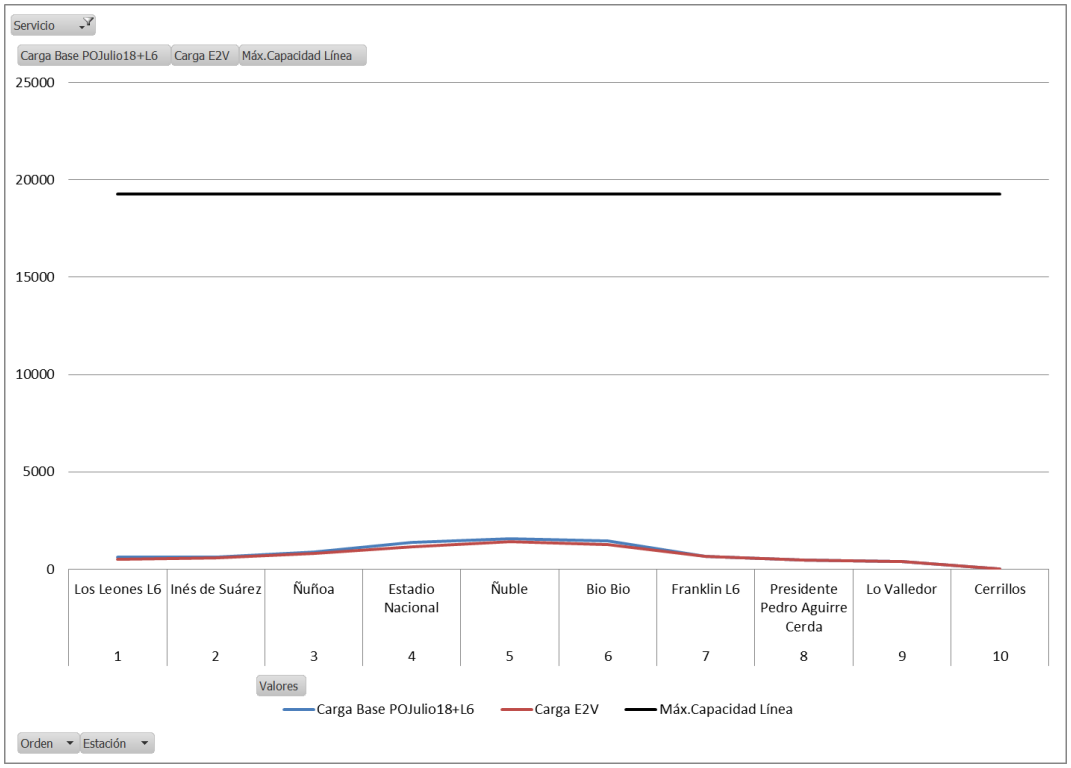
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-72: Perfil de Carga L6I



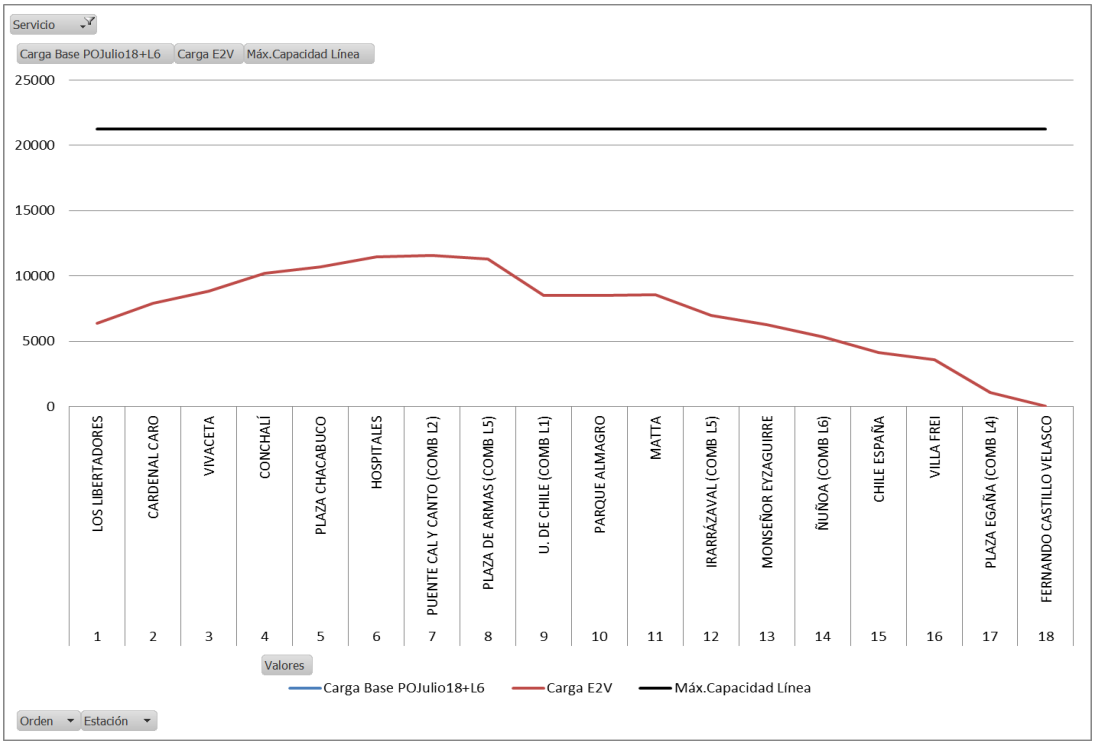
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-73: Perfil de Carga L6R



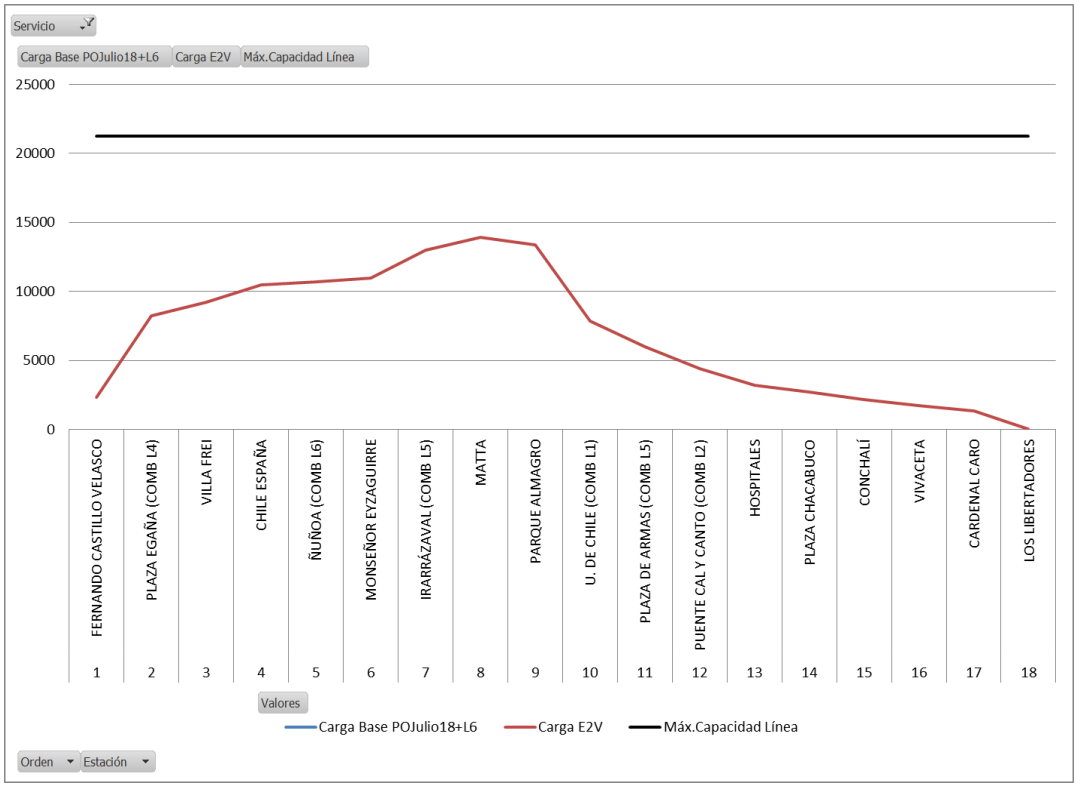
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-74: Perfil de Carga L3I



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-75: Perfil de Carga L3R



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

La incorporación de la Línea 3 de Metro, produce una baja significativa en la demanda del tramo Tobalaba hacia el centro en la Línea 1 y Plaza Egaña hacia Tobalaba en la Línea 4, dicha demanda es captada por la Línea 3. Lo mismo ocurre con parte de la demanda del tramo norte de la Línea 2 hacia el centro.

A continuación, se muestran las etapas a nivel de servicio.

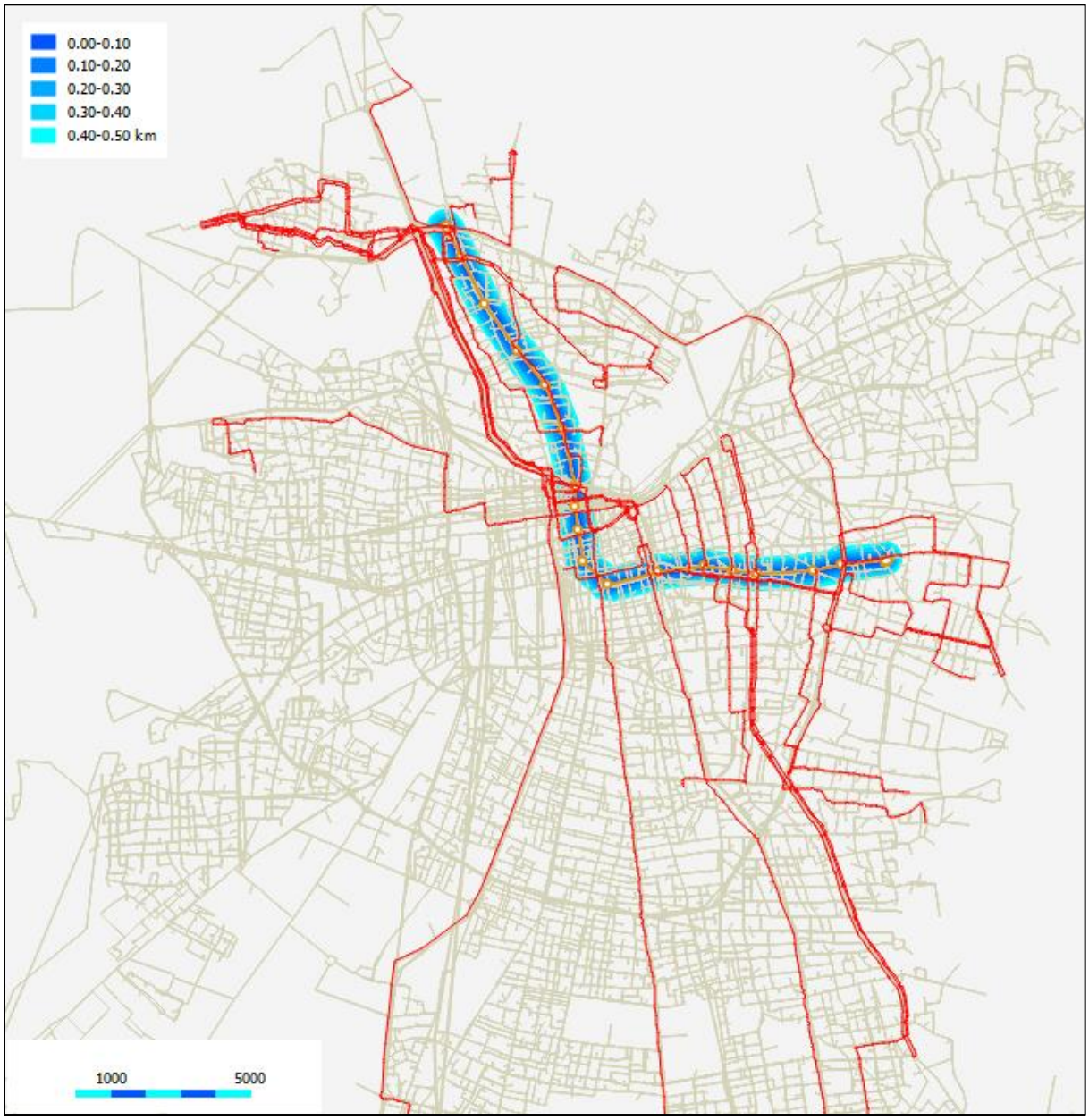
Figura 9-76: Comparación de Etapas según Servicio de Buses

UN	Servicios	POJulio18	esc5_E2V	Variación %	Itinerario Modificado
1	103I	260	322	24	
1	104I	706	503	-29	
1	104R	3393	1839	-46	
1	126I	216	247	14	
1	103I	260	322	24	
2	201eI	1756	449	-74	X
2	207eI	204	672	229	
2	207eR	870	2553	193	
2	230R	2384	308	-87	X
3	303eR	206	84	-59	
3	307I	2756	1474	-47	
3	314I	1250	1883	51	
3	I08cI	81	365	351	X
4	D01R	90	208	131	
4	D02R	245	97	-60	X
4	D03I	779	363	-53	
4	D17vI	37	72	95	
5	505I	3119	2144	-31	
5	514cR	667	413	-38	X
5	J06I	10	13	30	
5	J16I	419	704	68	
6	B04vI	219	521	138	
6	B07I	472	132	-72	X
6	B08R	87	292	236	
6	B11R	580	292	-50	X
7	F18R	41	44	7	
7	F25R	460	479	4	
7	F53eI	354	190	-46	
7	712I	1824	1888	4	

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

A nivel de servicio, las mayores variaciones en las etapas asignadas no se registran en servicios con modificación de trazado.

Figura 9-77: Servicios con mayores modificaciones e influencia Línea L3.



Fuente: Elaboración Propia

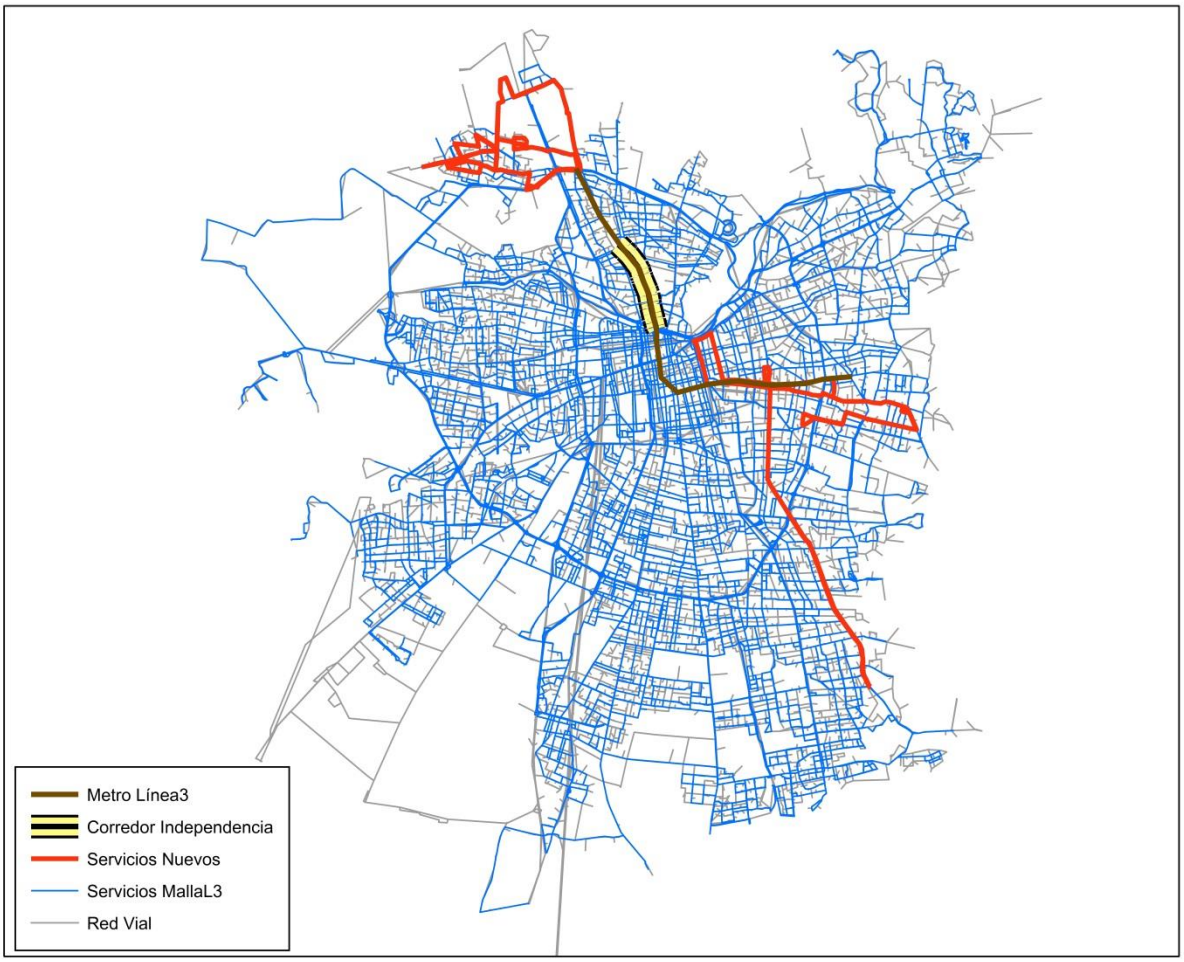
A continuación, se presentan los servicios nuevos del escenario E2V

Tabla 3 6: Etapas Servicios Nuevos, Escenario E2V

Servicio	Etapas
104cI	138
104cR	893
307cI	1135
307cR	21
308cI	1277
308cR	65
315cI	555
315cR	88
505cI	50
505cR	162
513vR	283
B12cI	233
B12cR	642

Fuente: Elaboración Propia

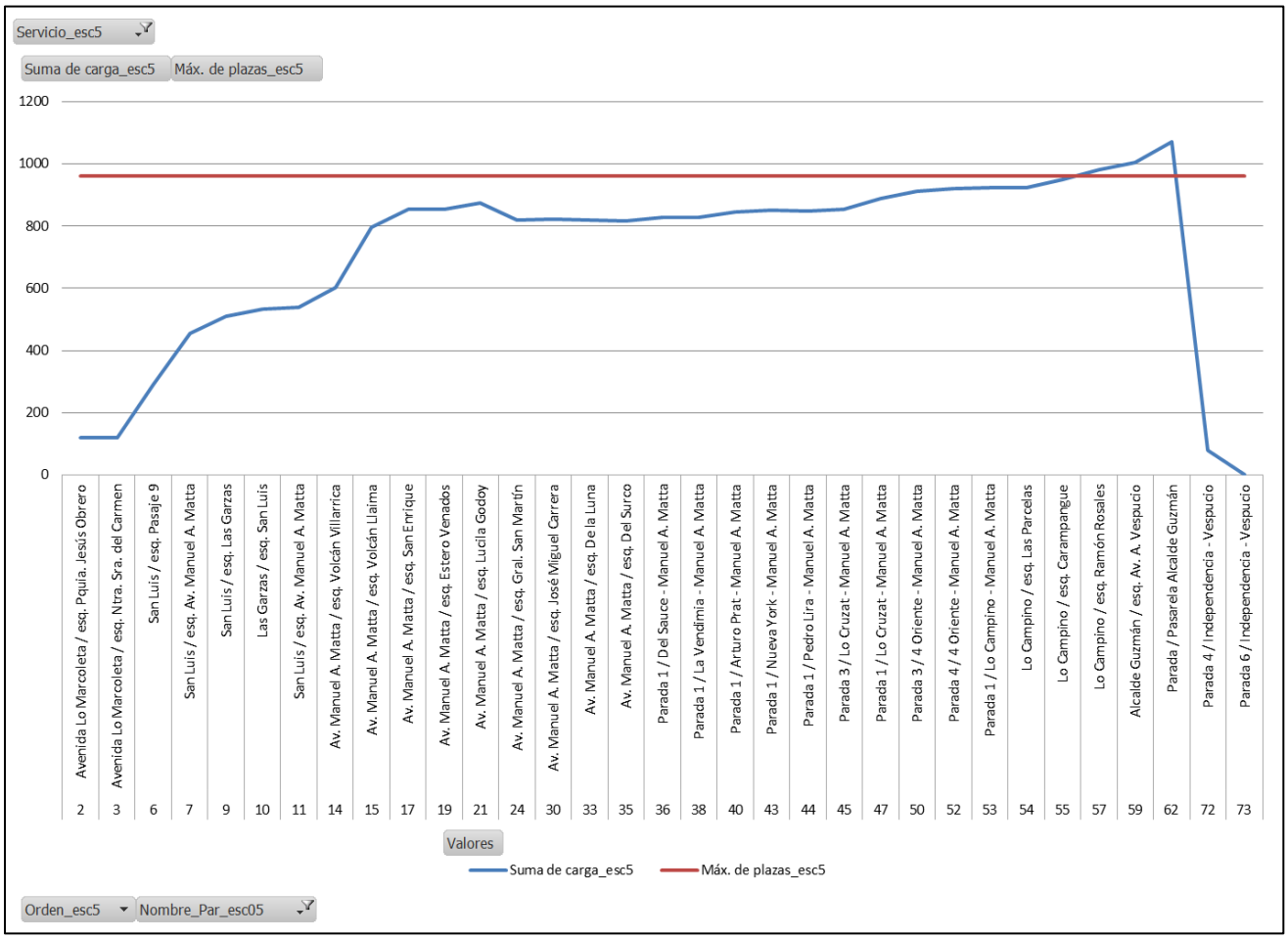
Figura 9-78: Mapa Servicios Nuevos Escenario E2V



Fuente; Elaboración Propia

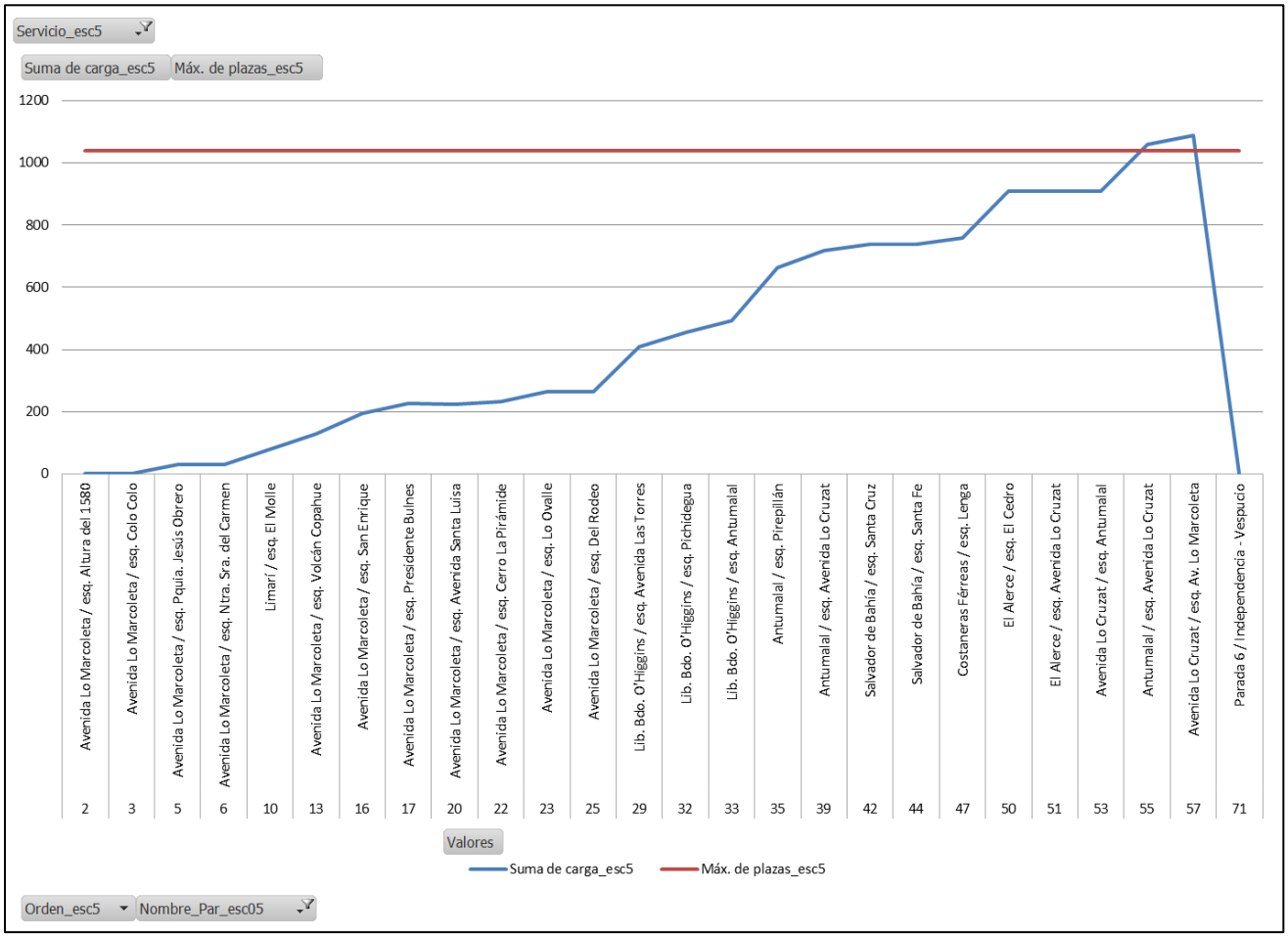
A continuación, se presentan algunos de los perfiles de carga de los servicios nuevos.

Figura 9-79: Perfil de Carga 308cI



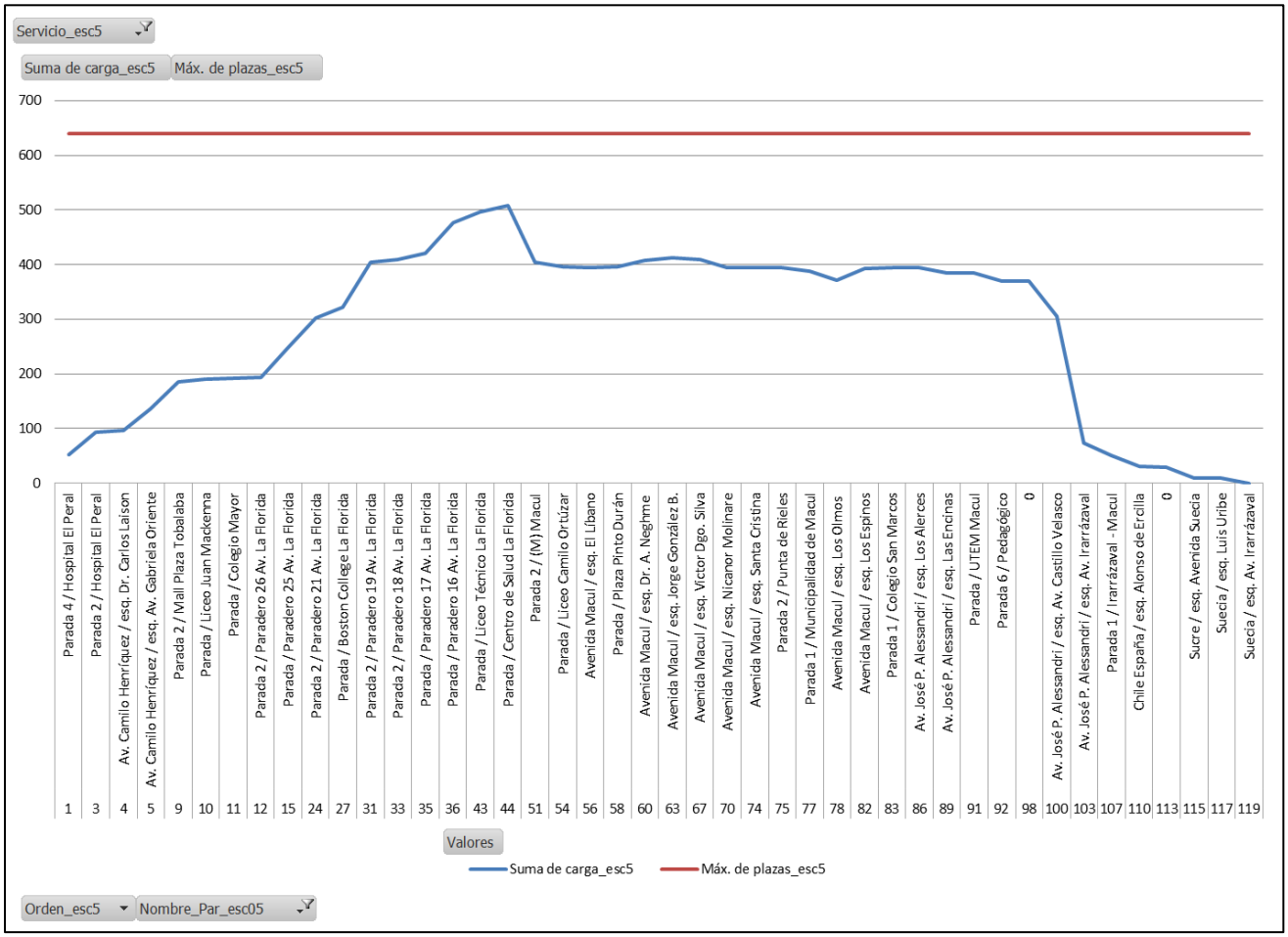
Fuente: Elaboración Propia

Figura 9-80: Perfil de Carga 307cI



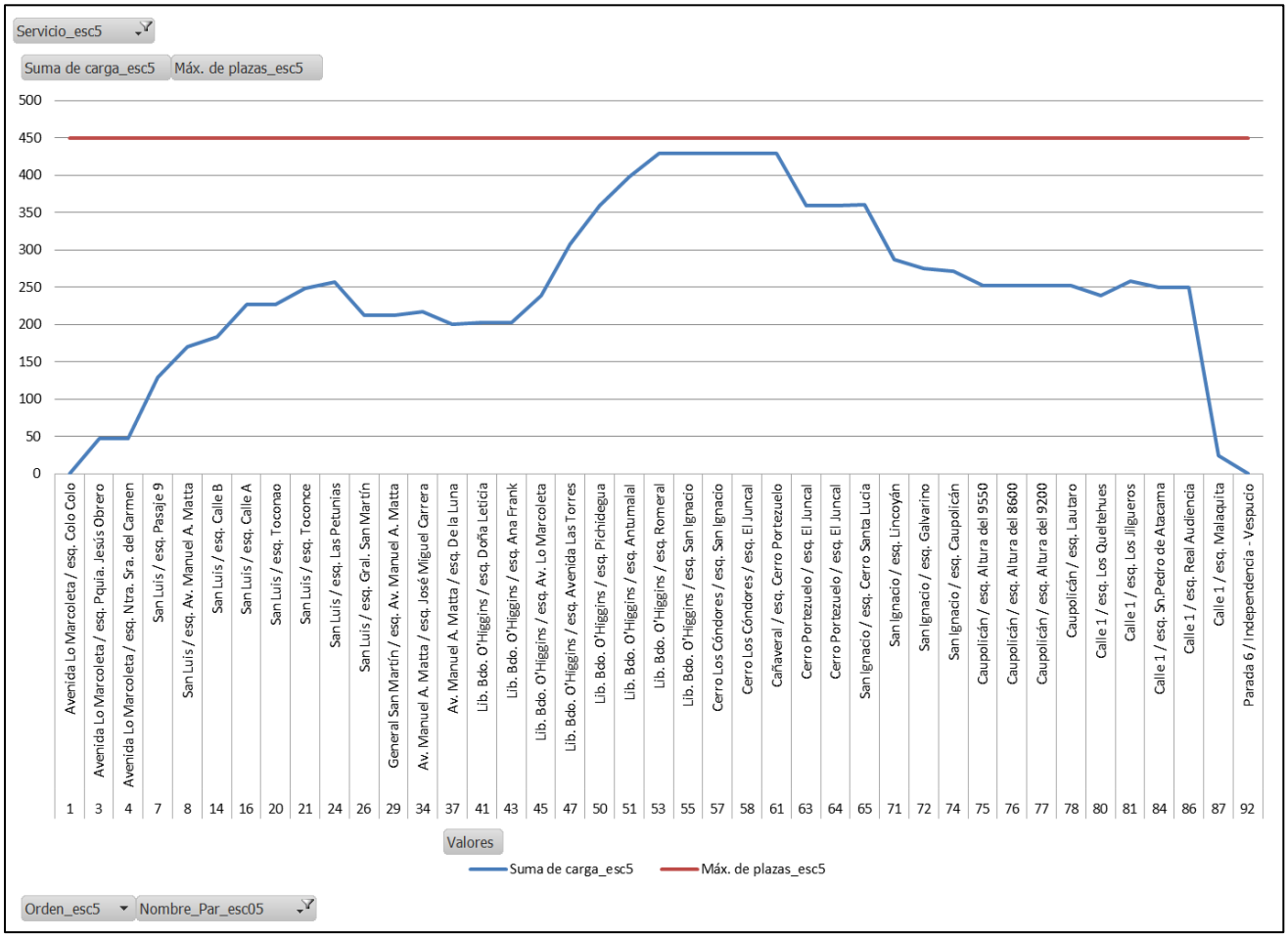
Fuente: Elaboración Propia

Figura 9-81: Perfil de Carga 104cR



Fuente: Elaboración Propia

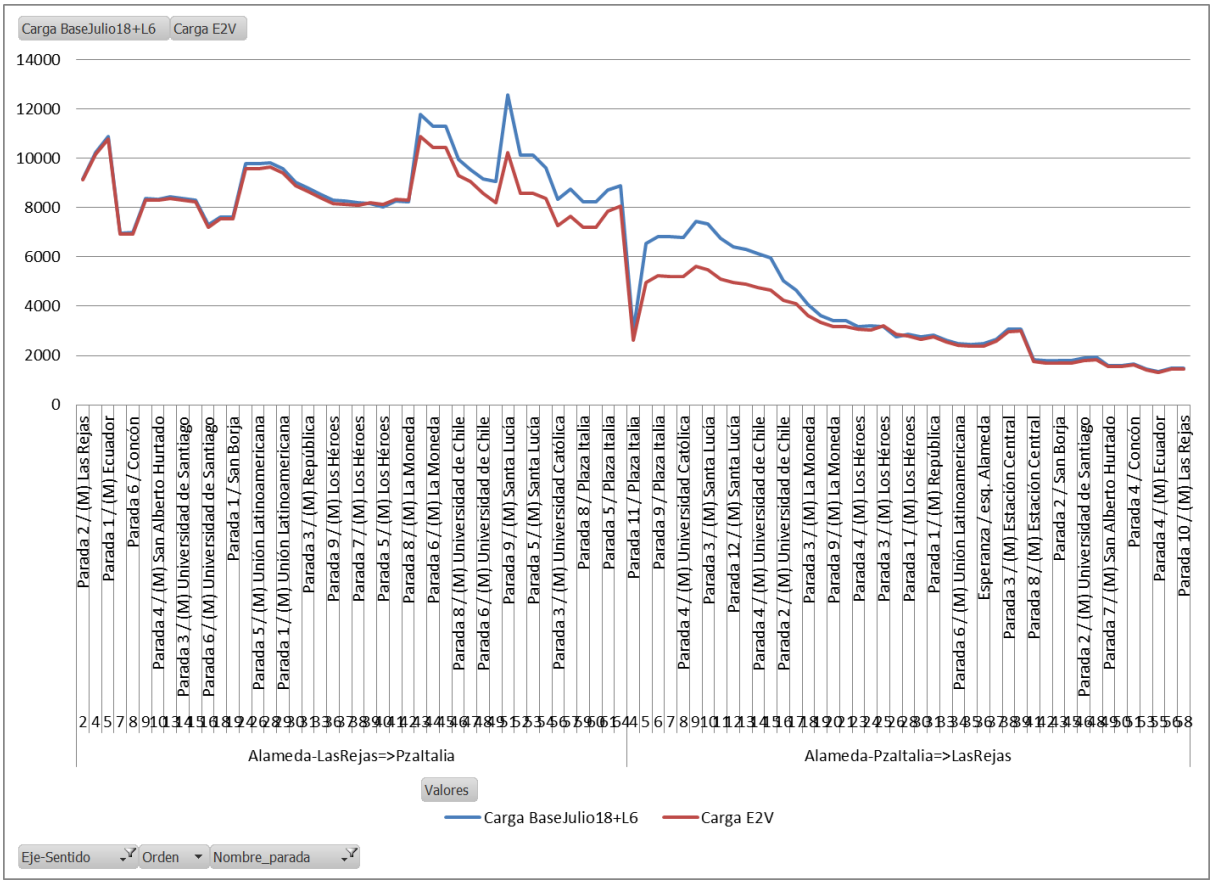
Figura 9-82: Perfil de Carga B12cR



Fuente: Elaboración Propia

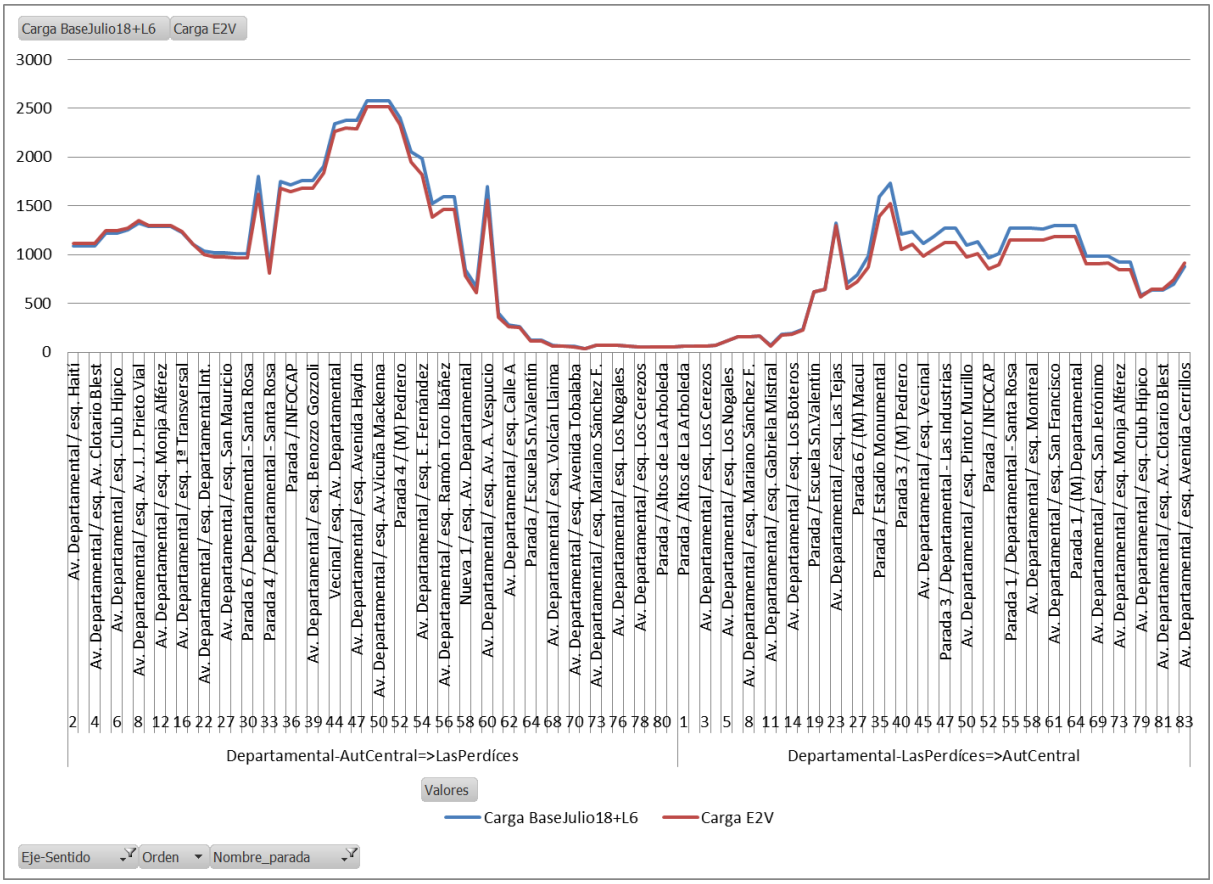
A continuación, se presenta el flujo de pasajeros de los escenarios en algunos ejes relevantes de la ciudad.

Figura 9-83: Perfil de Eje Alameda



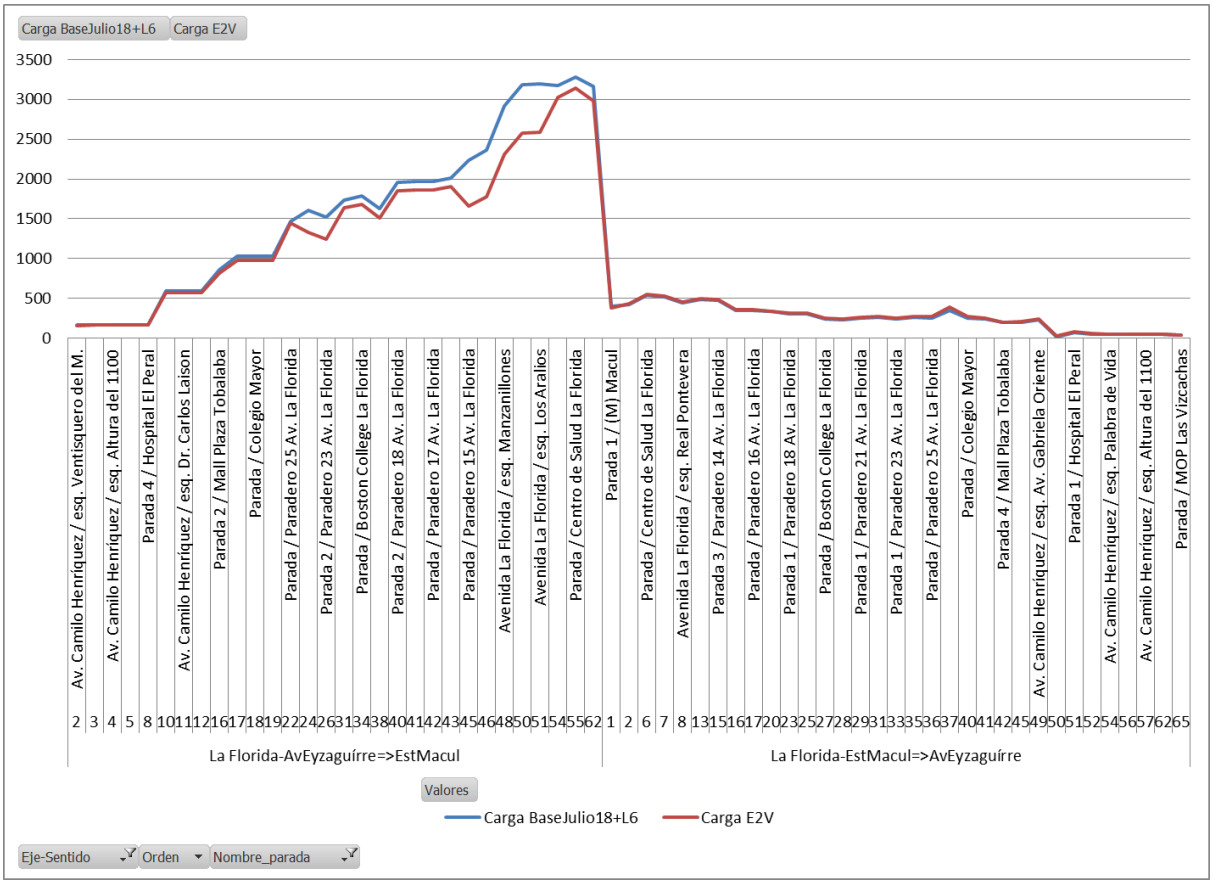
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-84: Perfil de Eje Departamental



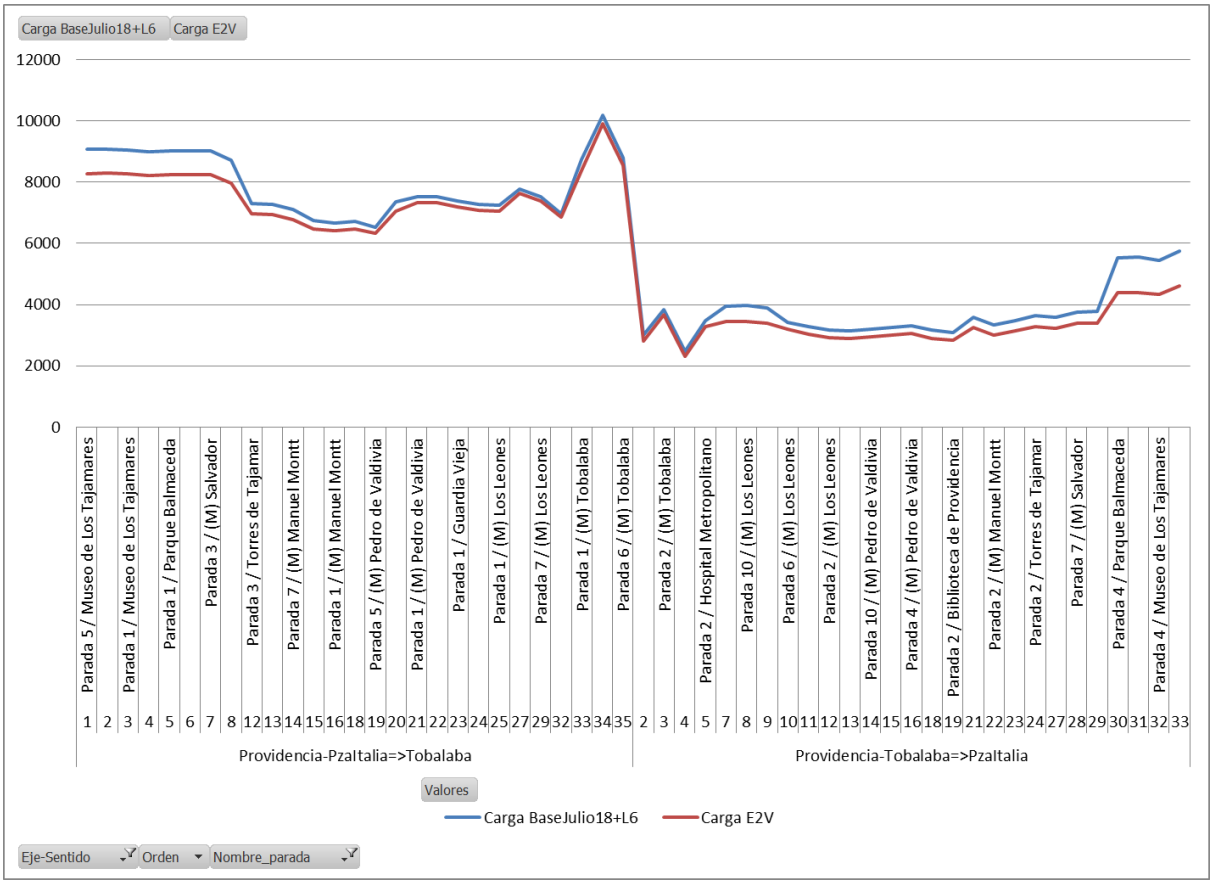
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-85: Perfil de Eje La Florida



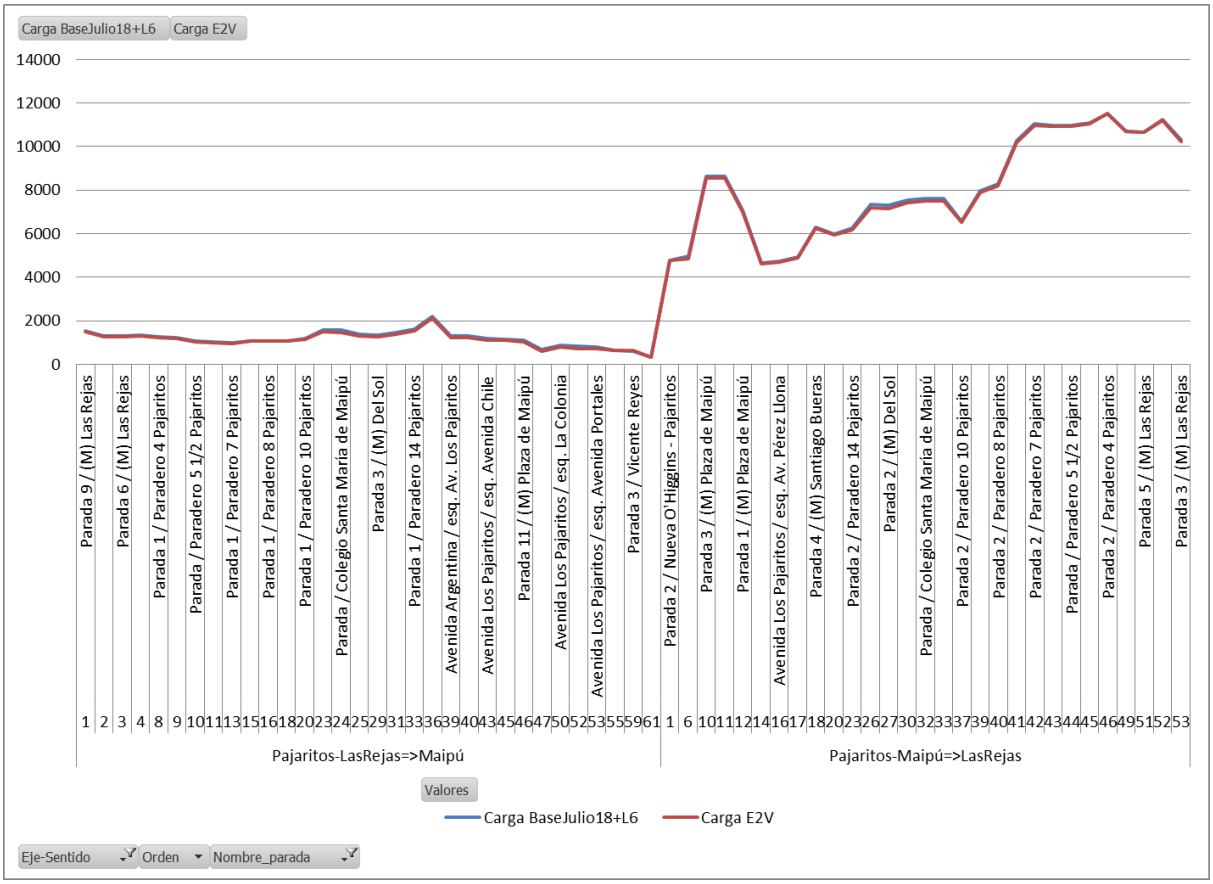
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-86: Perfil de Eje Providencia



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 9-87: Perfil de Eje Pajaritos



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En general existe una disminución del volumen en los ejes principales en el escenario E2V, a excepción del eje pajaritos, mostrándose este último sin efectos notorios a raíz de la Línea 3 o de las modificaciones de la malla.

A continuación se reportan los principales cambios en cada una de las componentes de tiempo de viaje estimados por el modelo de asignación:.

Tabla 9-18: Comparación de Niveles de servicio (min)

	Escenario Base_Jul18	Escenario E2V
Tiempo Caminata	16.41	16.50
Tiempo Espera	3.89	3.89
Tiempo vehículo	28.98	28.27
Tiempo de Viaje	49.27	48.66
Distancia Promedio de Viaje	11.59	11.58

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 9-19: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Caminata

Origen	Destino	Variación
CALERA DE TANGO	RENCA	9.50
SAN JOAQUIN	CONCHALI	6.52
LA REINA	COLINA	6.35
SAN JOAQUIN	LAMPA	5.88
LAMPA	SAN JOAQUIN	5.76
LO BARNECHEA	CONCHALI	5.68
PADRE HURTADO	CONCHALI	5.64
NUNOA	CONCHALI	5.40
VITACURA	COLINA	5.24
PUENTE ALTO	CONCHALI	5.19

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 9-20: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Caminata

Origen	Destino	Variación
INDEPENDENCIA	PADRE HURTADO	-3.10
QUINTA NORMAL	COLINA	-3.19
COLINA	PUDAHUEL	-3.81
PEDRO AGUIRRE CERDA	COLINA	-4.01
PENALOLEN	PADRE HURTADO	-4.89
COLINA	CERRO NAVIA	-5.30
MACUL	COLINA	-5.33
MAIPU	COLINA	-5.37
SAN MIGUEL	CALERA DE TANGO	-6.36
LO PRADO	COLINA	-7.61

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 9-21: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo espera

Origen	Destino	Variación
COLINA	LA CISTERNA	2.84
CONCHALI	LAMPA	2.82
COLINA	PUDAHUEL	2.38
LA CISTERNA	LAMPA	2.37
SAN MIGUEL	LAMPA	2.36
RECOLETA	LAMPA	2.22
LA PINTANA	LAMPA	2.22
LA GRANJA	LAMPA	2.14
SAN JOSE DE MAIPO	LA GRANJA	2.10
EL BOSQUE	LAMPA	2.04

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 9-22: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo espera

Origen	Destino	Variación
PUENTE ALTO	COLINA	-2.41
RECOLETA	SAN JOSE DE MAIPO	-2.49
LA REINA	COLINA	-2.69
MACUL	COLINA	-2.85
RENCA	COLINA	-2.94
CALERA DE TANGO	RENCA	-2.95
SAN MIGUEL	CALERA DE TANGO	-3.02
PENALOLEN	COLINA	-3.59
INDEPENDENCIA	SAN JOSE DE MAIPO	-4.46
CONCHALI	SAN JOSE DE MAIPO	-5.37

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 9-23: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Vehículo

Origen	Destino	Variación
SAN MIGUEL	CALERA DE TANGO	24.89
PEDRO AGUIRRE CERDA	SAN BERNARDO	7.54
SAN MIGUEL	SAN BERNARDO	6.71
SAN JOAQUIN	SAN BERNARDO	5.45
CALERA DE TANGO	QUILICURA	5.40
PADRE HURTADO	EL BOSQUE	5.29
PENALOLEN	PADRE HURTADO	4.83
PEDRO AGUIRRE CERDA	MAIPU	3.38
RECOLETA	QUILICURA	3.29
PADRE HURTADO	LA FLORIDA	2.93

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 9-24: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Vehículo

Origen	Destino	Variación
PENALOLEN	CONCHALI	-32.77
CONCHALI	NUNOA	-32.84
MACUL	CONCHALI	-33.85
LA REINA	CONCHALI	-35.43
COLINA	NUNOA	-38.04
CONCHALI	LA REINA	-38.16
COLINA	PENALOLEN	-38.85
NUNOA	CONCHALI	-41.78
LA REINA	COLINA	-42.80
COLINA	LA REINA	-48.53

10 Fuente: Proyecto DTPM EMME ®ESCENARIOS DE MODELACIÓN CAMBIOS TARIFARIOS

10.1 Sensibilidad sobre el Escenario PO Julio 2018

Se desarrollaron 4 escenarios de sensibilidad de tarifa que se describen en el siguiente cuadro.

Tabla 10-1: Escenarios Tarifarios

ESCENARIO	SET DE DATOS para PMA
E1: Base PO 07 JULIO 2018	✓ Actualización PO Julio2018 ✓ Actualización parámetros Línea 6 Julio 2018 ▪ Tarifa Bus: $660 ▪ Tarifa Metro: $760 ▪ Transbordo Bus-Metro: $100 ▪ Transbordo Bus-Metrotren: $100 ▪ Otros Transbordos: $0
E7: E1 + Modificación Tarifa Metro 1 (-$20)	▪ Tarifa Bus: $660 ▪ Tarifa Metro: $740 ▪ Transbordo Bus-Metro: $80 ▪ Transbordo Bus-Metrotren: $80 ▪ Otros Transbordos: $0
E8: E1 + Modificación Tarifa Metro 2 (+$20)	▪ Tarifa Bus: $660 ▪ Tarifa Metro: $780 ▪ Transbordo Bus-Metro: $120 ▪ Transbordo Bus-Metrotren: $120 ▪ Otros Transbordos: $0
E9: E1 + Modificación Tarifa Metro 3 (-$130)	▪ Tarifa Bus: $660 ▪ Tarifa Metro: $630 ▪ Transbordo Metro-Bus: $30 ▪ Transbordo Metrotren-Bus: $30 ▪ Otros Transbordos: $0
E10: E1 + Modificación Tarifa Metro 4 (-$80)	▪ Tarifa Bus: $660 ▪ Tarifa Metro: $680 ▪ Transbordo Metro-Bus: $20 ▪ Transbordo Metrotren-Bus: $0 ▪ Otros Transbordos: $0

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presentan los resultados de cada asignación.

Tabla 10-2: Resultados generales

Ítem	Escenario Base_Jul18	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Etapas Buses	482,515	481,289	483,217	473,581	480,402
Etapas Metro	261,005	263,173	259,737	270,860	269,611
Etapas Metro (con transbordo Metro Metro)	366,147	368,486	364,916	377,375	372,744
Total Etapas (sin transbordo Metro Metro)	750,234	751,186	749,650	751,214	756,757
Matriz de viajes	494,730	494,730	494,730	494,730	494,730
Etapas Bip por Viaje	1.523	1.525	1.521	1.524	1.536
Viajes Caminata	410	402	420	341	372

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que en los Escenarios Tarifa1 y Tarifa3, la disminución de la tarifa en metro produce un aumento en las etapas de viaje. Por su parte, disminuyen las etapas en bus y aumentan las etapas en Metro. Además, disminuyen los viajes solo caminata, respecto a la situación base.

En el Escenario Tarifa2, el aumento de la tarifa en metro, produce una disminución de las etapas por viaje. Además, aumenta las etapas en bus y disminuyen las etapas en Metro.

En el escenario tarifa4, se produce un efecto contrario a la intuición toda vez que a pesar de disminuir la tarifa aumentan las etapas de viaje, esto se explica porque el precio relativo del transbordo de metro a bus es menor respecto a los escenarios tarifa 1 tarifa 2 y Base, donde el transbordo es 80, 120 y 100, mientras que en el escenario en comento es 20, por lo que comparativamente con dichos escenarios los viajes de dos etapas para resolver un viaje son más atractivos.

El resumen de etapas por unidad de negocio se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 10-3: Etapas por Unidad de Negocio

Etapas por UN	Escenario Base_Jul18	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
U1	57,014	57,068	57,204	56,479	57,088
U2	101,084	101,202	101,754	99,232	100,754
U3	77,894	77,955	78,102	77,088	78,088
U4	88,280	86,567	87,307	84,023	85,772
U5	83,626	83,310	83,614	82,070	83,454
U6	40,572	41,123	41,120	40,864	41,109
U7	34,045	34,064	34,116	33,825	34,137

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que en todos los escenarios las Unidades 4 y 5 pierden etapas de viaje. En el escenario 3, que corresponde al más favorable en tarifa de metro, es donde se produce la mayor cantidad de fuga de etapas de los buses.

El siguiente cuadro presenta los transbordos entre modos.

Tabla 10-4: Transbordos entre modos

Etapas Transbordo	Escenario Base_Jul18	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Bus-Bus	62,215	60,984	62,179	59,000	58,576
Bus-Metro	142,645	144,303	142,330	146,014	150,594
Metro-Metro	105,142	105,313	105,179	106,515	103,133
Metro-Bus	43,763	44,289	43,595	44,514	45,890
Bus-Metrotren	2,961	2,964	2,939	2,951	3,029
Metro-Metrotren	395	396	398	406	391
Metrotren-Bus	559	567	553	568	607
Metrotren-Metro	4,957	4,953	4,951	4,959	4,913

Fuente: Elaboración Propia

Se observa una disminución de los transbordos bus-bus en todos los escenarios., medido respecto a la base. El siguiente cuadro muestra los viajes, los viajes que se resuelven solo con metro y aquellos que se resuelven con etapas combinadas de bus y metro.

Tabla 10-5: Viajes

Viajes	Escenario Base_Jul18	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Viajes TP	492,728	492,736	492,718	492,797	492,766
Viajes Solo Metro	95,614	96,227	95,037	101,657	96,143
Viajes Solo Bus	231,309	229,547	232,965	221,918	223,136
Viajes Metro+Bus	165,788	166,945	164,699	169,203	173,470
		0.6%	-0.6%	6.3%	0.6%
		-0.8%	0.7%	-4.1%	-3.5%
		0.7%	-0.7%	2.1%	4.6%

Fuente: Elaboración Propia

Al analizar la configuración de los viajes, se observa plena consistencia con la tarifa, aumentan los viajes solo metro a medida que disminuye su tarifa y aumentan los viajes combinados a medida que el precio relativo entre ambos modos disminuye.

El siguiente cuadro presenta los tiempos del sistema en cada escenario.

Tabla 10-6: Tiempos de viaje

ÍTEM	Escenario Base_Jul18	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Tiempo Generalizado Promedio	108.63	109.43	109.77	108.65	109.65
Tiempo Vehículo	36.19	36.15	36.23	35.88	36.05
Tiempo Espera	4.16	4.17	4.16	4.17	4.17
Tiempo Caminata	16.31	16.32	16.31	16.38	16.31
Tiempo Total	56.66	56.63	56.70	56.43	56.53

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el escenario tarifa3 tiene una disminución de tiempos de viaje en vehículo y un aumento en tiempos de viaje en caminata, consistente con la mayor cantidad de etapas en metro que se observa.

El siguiente análisis corresponde a un análisis de elasticidad e ingreso. Cabe hacer notar que **el modelo tiene demanda fija por lo tanto las elasticidades corresponden a elasticidades a nivel de distribución de viajes y etapas en la red.**

No se calculan elasticidades por etapa-modo pues el precio ponderado del modo es un resultado de la asignación del escenario.

El siguiente cuadro presenta las elasticidades de los escenarios respecto a la tarifa base. Cabe hacer notar que en el caso de los viajes solo bus, se calcula una eslasticidad cruzada al cambio del precio en metro, toda vez que en los escenarios no existe variación en el precio del viaje solo bus.

Tabla 10-7: Elasticidades

ELASTICIDADES	Escenario Base_Jul18	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Viajes Solo Metro		0.2436	0.2292	0.3695	0.0525
Viajes Solo Bus *		0.2894	0.2721	0.2374	0.3357
Viajes Metro+Bus		0.2652	0.2496	0.1565	0.4401

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que en los escenarios donde el Metro tiene una tarifa mayor a la del bus, los Usuarios sólo Metro son más inelásticos que aquellos que utilizan Metro y Bus. Además, si la tarifa del metro baja, la demanda de los viajes Metro- bus se hace más elástica, esto significa que se fugan con más facilidad. Además, se observa que mientras mayor es la tarifa de transbordo, más inelástico es el viaje combinado.

El siguiente cuadro presenta un resumen de los ingresos por viajes en 1 hora de punta mañana.

Tabla 10-8: Ingresos

INGRESOS (1hr PMA)	Escenario Base_Jul18	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Viajes Solo Metro	72,666,636	71,208,020	74,129,112	64,043,936	65,377,114
Viajes Solo Bus	152,663,837	151,501,133	153,757,075	146,465,725	147,269,574
Viajes Metro+Bus	125,999,190	123,539,624	128,465,459	106,598,142	117,959,272
	351,329,663	346,248,778	356,351,646	317,107,803	330,605,960
		-1.45%	1.43%	-9.74%	-5.90%

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la mayor disminución de ingreso proviene del escenario tarifa 3, que es el que menos tarifa presenta en metro.

En anexo del capítulo se encuentra el archivo Excel con el resumen de resultados.

10.2 Sensibilidad sobre el Escenario L3+Ajustes de Malla

Se desarrollaron 4 escenarios de sensibilidad de tarifa que se describen en el siguiente cuadro.

Tabla 10-9: Escenarios Tarifarios

ESCENARIO	SET DE DATOS para PMA
E5: Base L3 con ajuste de Malla	✓ Malla PO Julio 2018 con Actualización Malla L3+Ajustes de Malla ▪ Tarifa Bus: $660 ▪ Tarifa Metro: $760 ▪ Transbordo Bus-Metro: $100 ▪ Transbordo Bus-Metrotren: $100 ▪ Otros Transbordos: $0
E11: E5 + Modificación Tarifa Metro 1 (-$20)	▪ Tarifa Bus: $660 ▪ Tarifa Metro: $740 ▪ Transbordo Bus-Metro: $80 ▪ Transbordo Bus-Metrotren: $80 ▪ Otros Transbordos: $0
E12: E5 + Modificación Tarifa Metro 2 (+$20)	▪ Tarifa Bus: $660 ▪ Tarifa Metro: $780 ▪ Transbordo Bus-Metro: $120 ▪ Transbordo Bus-Metrotren: $120 ▪ Otros Transbordos: $0
E12: E5 + Modificación Tarifa Metro 3 (-$130)	▪ Tarifa Bus: $660 ▪ Tarifa Metro: $630 ▪ Transbordo Metro-Bus: $30 ▪ Transbordo Metrotren-Bus: $30 ▪ Otros Transbordos: $0
E13: E5 + Modificación Tarifa Metro 4 (-$80)	▪ Tarifa Bus: $660 ▪ Tarifa Metro: $680 ▪ Transbordo Metro-Bus: $20 ▪ Transbordo Metrotren-Bus: $0 ▪ Otros Transbordos: $0

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presentan los resultados de cada asignación.

Tabla 10-10: Resultados generales

Ítem	Base L3-Malla	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Etapas Buses	463,198	462,049	464,398	453,439	461,624
Etapas Metro	278,676	280,623	276,774	288,911	287,438
Etapas Metro (con transbordo Metro Metro)	392,833	394,896	390,811	404,652	399,476
Total Etapas (sin transbordo Metro Metro)	748,618	749,430	747,905	749,164	755,847
Matriz de viajes	494,730	494,730	494,730	494,730	494,730
Etapas Bip por Viaje	1.520	1.521	1.518	1.520	1.534
Viajes Caminata	484	459	493	422	465

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que en los Escenarios Tarifa1 y Tarifa3, la disminución de la tarifa en metro produce un aumento en las etapas de viaje. Por su parte, disminuyen las etapas en bus y aumentan las etapas en Metro. Además, disminuyen los viajes solo caminata, respecto a la situación base.

En el Escenario Tarifa2, el aumento de la tarifa en metro, produce una disminución de las etapas por viaje. Además, aumenta las etapas en bus y disminuyen las etapas en Metro.

En el escenario tarifa4, se produce un efecto contrario a la intuición toda vez que a pesar de disminuir la tarifa aumentan las etapas de viaje, esto se explica porque el precio relativo del transbordo de metro a bus es menor respecto a los escenarios tarifa 1 tarifa 2 y Base, donde el transbordo es 80, 120 y 100, mientras que en el escenario en comento es 20, por lo que comparativamente con dichos escenarios los viajes de dos etapas para resolver un viaje son más atractivos.

El resumen de etapas por unidad de negocio se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 10-11: Etapas por Unidad de Negocio

Etapas por UN	Base L3-Malla	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
U1	55,148	55,056	55,224	54,545	55,154
U2	90,774	90,474	91,186	88,214	90,310
U3	77,560	77,470	77,659	76,469	77,620
U4	84,424	83,960	84,794	81,393	83,324
U5	79,939	79,775	80,129	78,148	79,814
U6	41,206	41,189	41,238	40,803	41,199
U7	34,147	34,125	34,168	33,867	34,203

Fuente: Elaboración Propia

Se observa una disminución general de etapas en los escenarios tarifa1 y Tarifa3. En el escenario 2, todos las UN ganan en etapas y en el escenario 4, se observa que la Unidad con mayor disminución es la N°4, concentrando el 70% de la pérdida.

El siguiente cuadro presenta los transbordos entre modos.

Tabla 10-12: Transbordos entre modos

Etapas Transbordo	Base L3-Malla	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Bus-Bus	54,219	53,596	54,868	51,634	51,372
Bus-Metro	150,590	151,616	149,565	153,119	158,600
Metro-Metro	114,157	114,273	114,037	115,741	112,038
Metro-Bus	42,337	42,700	41,995	42,844	44,268
Bus-Metrotren	2,900	2,908	2,888	2,885	2,962
Metro-Metrotren	400	401	402	415	397
Metrotren-Bus	579	586	574	591	625
Metrotren-Metro	4,963	4,964	4,964	4,971	4,931

Fuente: Elaboración Propia

Se observa una disminución de los transbordos bus-bus en todos los escenarios donde disminuye la tarifa de metro, medido respecto a la base. El siguiente cuadro muestra los viajes,

los viajes que se resuelven solo con metro y aquellos que se resuelven con etapas combinadas de bus y metro.

Tabla 10-13: Viajes

Viajes	Escenario Base_Jul18	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Viajes TP	492,654	492,679	492,645	492,716	492,673
Viajes Solo Metro	105,560	106,325	104,820	112,531	105,944
Viajes Solo Bus	213,951	212,028	215,850	203,785	205,223
Viajes Metro+Bus	173,117	174,297	171,954	176,377	181,491
		0.7%	-0.7%	6.6%	0.4%
		-0.9%	0.9%	-4.8%	-4.1%
		0.7%	-0.7%	1.9%	4.8%

Fuente: Elaboración Propia

Al analizar la configuración de los viajes, se observa plena consistencia con la tarifa, aumentan los viajes solo metro a medida que disminuye su tarifa y aumentan los viajes combinados a medida que el precio relativo entre ambos modos disminuye.

El siguiente cuadro presenta los tiempos del sistema en cada escenario.

Tabla 10-14: Tiempos de viaje

ÍTEM	Escenario Base_Jul18	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Tiempo Generalizado Promedio	108.63	109.63	110.63	111.63	112.63
Tiempo Vehículo	35.38	35.34	35.43	35.06	35.24
Tiempo Espera	4.17	4.17	4.17	4.18	4.18
Tiempo Caminata	16.44	16.45	16.44	16.52	16.44
Tiempo Total	56.00	55.96	56.04	55.76	55.86

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el escenario tarifa3 tiene una disminución de tiempos de viaje en vehículo y un aumento en tiempos de viaje en caminata, consistente con la mayor cantidad de etapas en metro que se observa. Se hace notar que el efecto no es tan pronunciado como en el grupo anterior de sensibilidad.

El siguiente análisis corresponde a un análisis de elasticidad e ingreso. Cabe hacer notar que **el modelo tiene demanda fija por lo tanto las elasticidades corresponden a elasticidades a nivel de distribución de viajes y etapas en la red.**

No se calculan elasticidades por etapa-modo pues el precio ponderado del modo es un resultado de la asignación del escenario.

El siguiente cuadro presenta las elasticidades de los escenarios respecto a la tarifa base. Cabe hacer notar que en el caso de los viajes solo bus, se calcula una elasticidad cruzada al cambio del precio en metro, toda vez que en los escenarios no existe variación en el precio del viaje solo bus.

Tabla 10-15: Elasticidades

ELASTICIDADES	Escenario Base_Jul18	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Viajes Solo Metro		0.2755	0.2664	0.3861	0.0346
Viajes Solo Bus		0.3416	0.3373	0.2778	0.3875
Viajes Metro+Bus		0.2590	0.2552	0.1432	0.4595

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que en los escenarios donde el Metro tiene una tarifa mayor a la del bus, los Usuarios sólo Metro son más inelásticos que aquellos que utilizan Metro y Bus. Además, si la tarifa del metro baja, la demanda de los viajes Metro- bus se hace más elástica, esto significa que se fugan con más facilidad. Además, se observa que mientras mayor es la tarifa de transbordo, más inelástico es el viaje combinado.

El siguiente cuadro presenta un resumen de los ingresos por viajes en 1 hora de punta mañana.

Tabla 10-16: Ingresos

INGRESOS (1hr PMA)	Escenario Base_Jul18	Tarifa 1 Metro -$20	Tarifa 2 Metro +$20	Tarifa 3 Metro -$130	Tarifa 4 Metro -$80
Viajes Solo Metro	80,225,437	78,680,656	81,759,393	70,894,313	72,042,069
Viajes Solo Bus	141,207,722	139,938,521	142,461,175	134,497,822	135,447,355
Viajes Metro+Bus	131,568,661	128,979,522	134,124,025	111,117,767	123,413,677
	353,001,820	347,598,700	358,344,594	316,509,901	330,903,102
		-1.53%	1.51%	-10.34%	-6.26%

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la mayor disminución de ingreso proviene del escenario tarifa 3, que es el que menos tarifa presenta en metro.

En anexo del capítulo se encuentra el archivo Excel con el resumen de resultados.

11 ESTIMACIÓN MATRIZ FUERA DE PUNTA

11.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta tarea es estimar una matriz de viajes que permita representar de la mejor forma posible la demanda real y comportamiento de los usuarios del STPS en el periodo Fuera Punta en la situación de calibración.

Para este objetivo se considera necesario utilizar la Tabla de Etapas y Tabla de Viajes, disponibilizadas por DTPM para el desarrollo del presente estudio, además de la información de evasión y los boletos Edmonson de Metro, que forman parte de la demanda de transporte, demanda que no se encuentra representada en las tablas mencionadas. Dicha información permite la generación de tres matrices separadas para el periodo, que posteriormente es necesario integrar, de acuerdo a las consideraciones y metodología que se exponen en este capítulo.

El objetivo de la construcción de la matriz OD es representar la estructura de viajes del periodo Fuera Punta. Respecto de la forma de agrupar los viajes, se mantiene definición adoptada previamente para la Punta Mañana, en orden a agrupar viajes según hora media de viaje.

Previo a la estimación de la matriz es necesario realizar dos definiciones:

- Si se utiliza el período Fuera de Punta Mañana o Fuera de Punta Tarde como referencia para la Fuera de Punta
- Si se utiliza una matriz de 1 hora que sea representativa del período o un matriz promedio

Para esto, en la siguiente tabla se muestra una comparación entre los períodos Fuera de Punta Mañana y Fuera de Punta Tarde, donde se muestra su definición y los pros y contras de utilizar cada uno de estos períodos como referencia para la Fuera de Punta.

Tabla 11-1: Comparación período Fuera de Punta Mañana versus Fuera de Punta Tarde

	Fuera Punta Mañana	Fuera Punta tarde
Definición	09:30 - 12:30	14:00 - 17:30
Pros	Modelos estratégicos/tácticos de fuera punta típicamente usan datos de punta mañana. En este sentido, **representar este periodo permite comparar y analizar evolución de viajes** (Ref: ESTRAUS 11:00-12:00 hrs). Dada la metodología de estimación de viajes por conjunto de etapas ordenada cronológicamente (desde inicio a fin de día), es probable que la calidad de la estimación empeore a lo largo del día en cuanto aumenta la posibilidad de error de agrupación de etapas.	Estructura de viajes menos estudiada y analizada respecto de FPM, que sin embargo, involucra una parte importante de la demanda diaria.
Contras	Estructura de viajes más estudiada y conocida respecto de FPT.	No hay modelos para comparar y evaluar evolución de viajes.

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la utilización del período Fuera de Punta Mañana posee más puntos a favor, que tienen que ver con que representar este periodo permite comparar y analizar la evolución de viajes, por lo que se recomienda usar como referencia este período en lugar del Fuera de Punta Tarde.

Por otro lado, en la siguiente tabla se muestran las características de una matriz de 1 hora representativa del período versus una matriz promedio.

Tabla 11-2: Comparación de matriz de una hora representativa versus matriz promedio

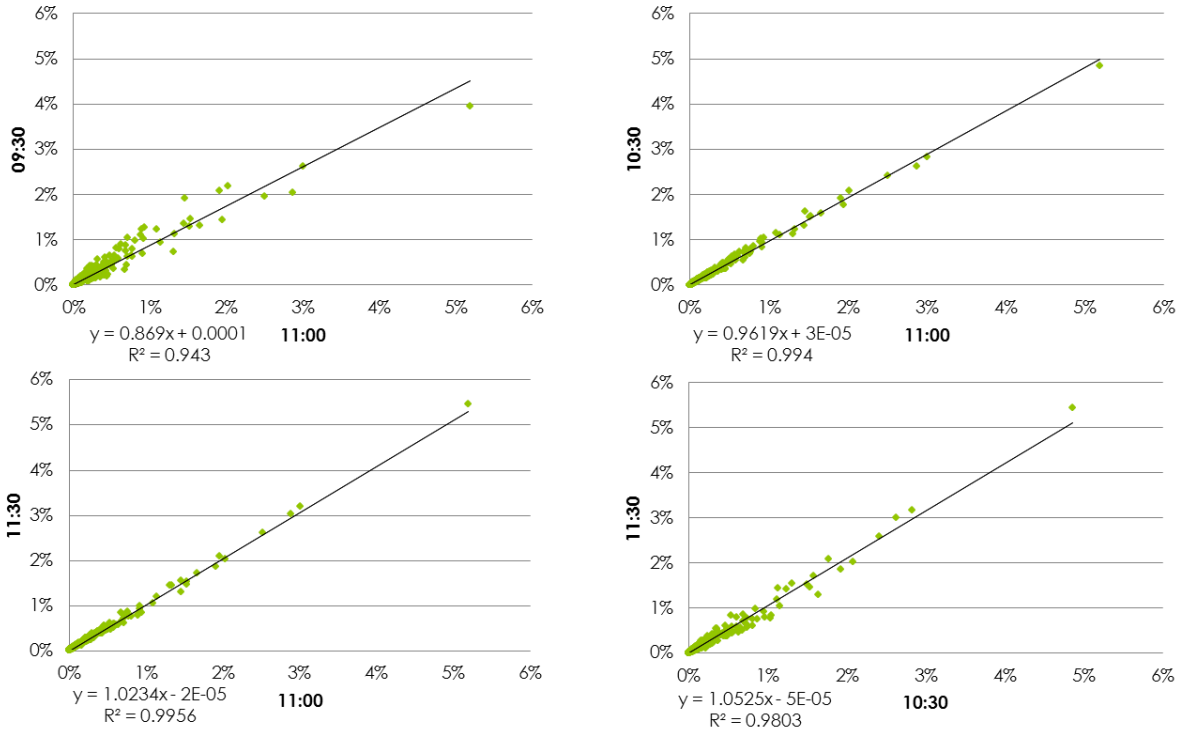
	Una hora	Hora promedio
Definición	Suma de número de viajes según hora de media de viaje, en grupos de una hora, utilizar matriz que represente el comportamiento del periodo fuera de punta.	Se calcula factor de hora más cargada como la matriz de una hora con más viajes según hora media de viaje, sobre el total de viajes de hora fuera punta promedio. La matriz de modelación es una matriz promedio de fuera de punta amplificada por este factor.
Qué representa	Una hora de viajes según hora media, escogida para que represente el periodo.	Estructura de matriz es la matriz promedio de hora fuera de punta que considera todos los viajes del periodo, amplificada por el factor de hora más cargada de medio de viaje.
Pros	Si se desea calibrar, se puede medir durante la hora escogida. Si se desea comparar con modelo ESTRAUS, esta opción es más comparable.	Representa todos los viajes del periodo fuera de punta.
Contras	Si se escoge hora colindante a periodos punta (9:30 para FPM y 16:30 para FPT) puede estar fuertemente influenciada por viajes de los periodos punta.	Si se desea calibrar se debería medir durante todo el periodo y aplicar algún tipo de corrección.

Fuente: Elaboración propia

Se observa que utilizar una matriz de 1 hora representativa del período Fuera de Punta posee más puntos a favor que la matriz promedio, los que tienen que ver en primer lugar con la posibilidad de medir durante la hora escogida si se desea calibrar, y en segundo lugar, con que si se desea comparar con modelo ESTRAUS, esta opción es más comparable, por lo que se recomienda escoger la matriz de 1 hora como representativa de Fuera de Punta en lugar de la matriz promedio, pero siempre teniendo cuidado de no escoger una hora colindante con PM o PT, de manera de no influenciar los viajes por los períodos punta.

En cuanto a la construcción de la matriz de viajes en sí misma, se debe escoger la hora más representativa del periodo fuera de punta mañana. Para este análisis se propone comparar la proporción de orígenes y destinos de viajes según el enfoque de hora media, para las matrices de viajes de una hora a partir de las 9:30, 10:30 y 11:30.En la siguiente figura se presentan gráficos de dispersión de la cantidad de viajes OD por comuna, donde se comparan las tres matrices de 1 hora (9:30, 10:30 y 11:30) con la matriz de las 11:00. En cada gráfica una observación (punto) representa el número de viajes en cada par OD de comunas observado en las matrices obtenidas y la línea corresponde a la diagonal.

Figura 11-1: Dispersión de la cantidad de viajes OD por Comuna

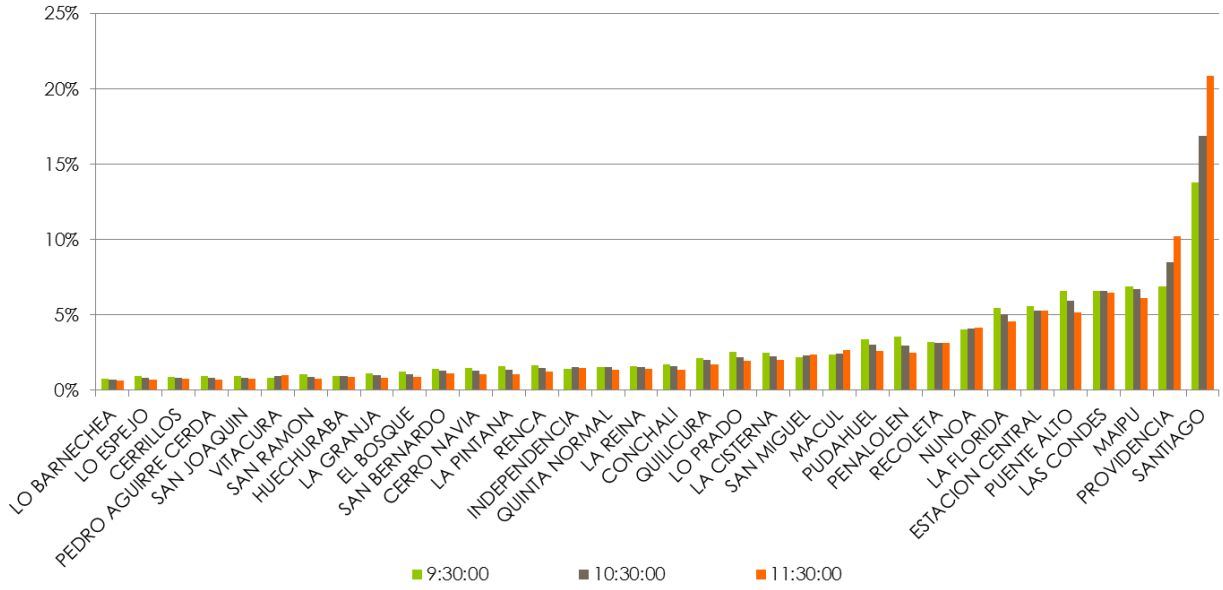


Fuente: Elaboración propia

Se observa que todas las matrices presentan altas correlaciones respecto de la matriz de las 11:00, con muy altos R^2 y pendientes cercanas a 1 en todos los casos.

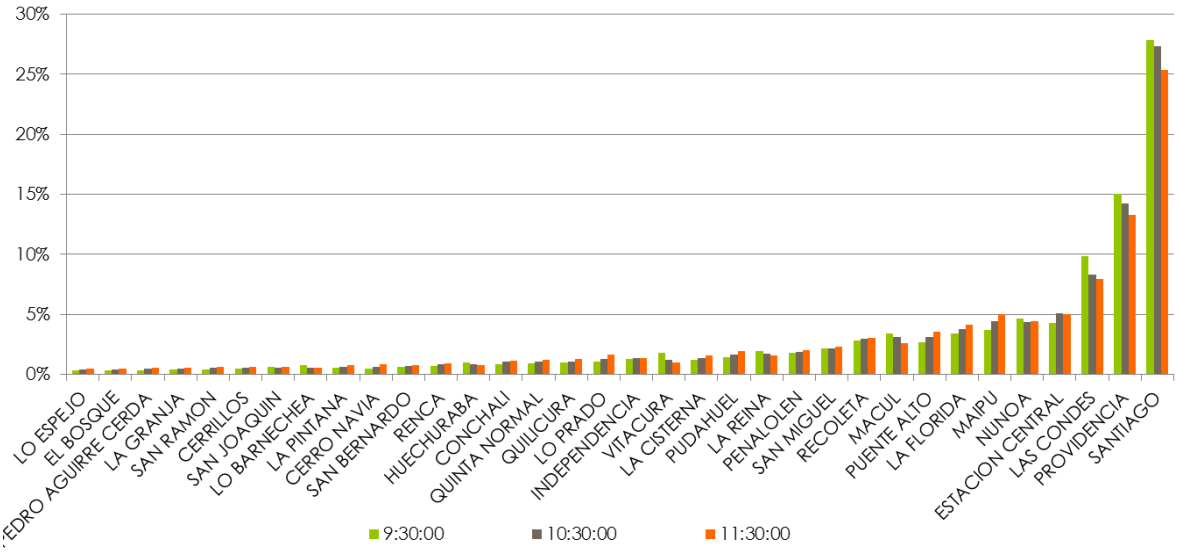
Por otro lado, en las siguientes figuras se presenta el porcentaje de viajes por comuna de origen y de destino para las tres matrices de 1 hora (9:30, 10:30 y 11:30).

Figura 11-2: Porcentaje de viajes por comuna de Origen para 3 matrices de 1 hora



Fuente: Elaboración propia

Figura 11-3: Porcentaje de viajes por comuna de Destino para 3 matrices de 1 hora

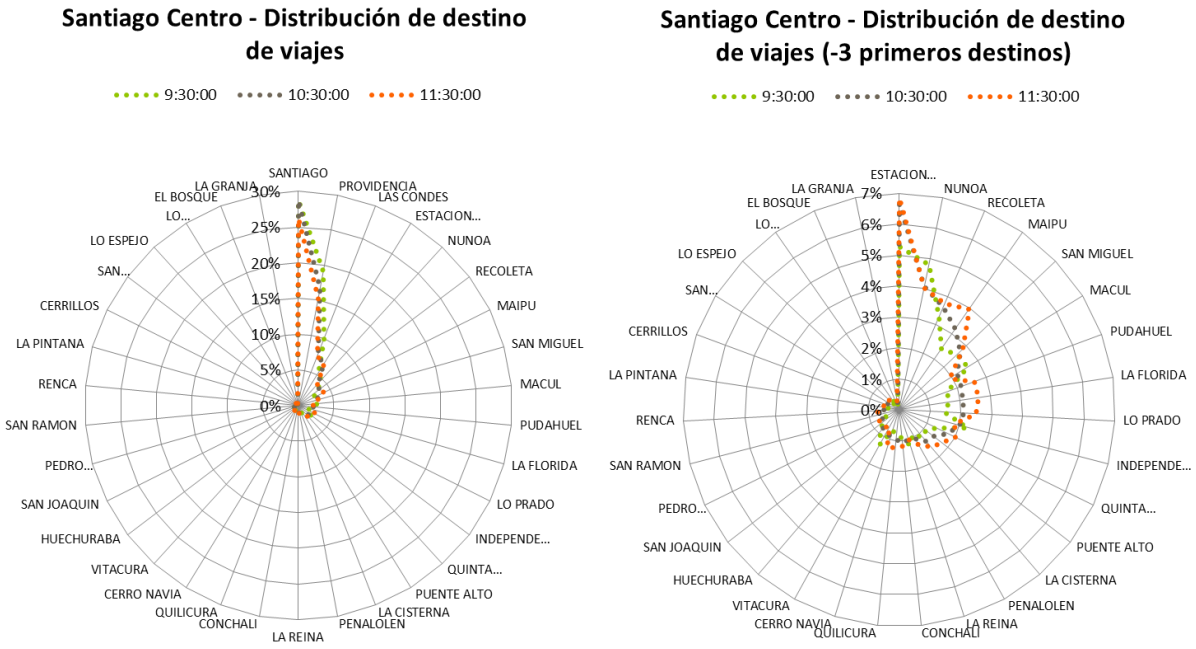


Fuente: Elaboración propia

En ambos casos se observa una estructura de viajes similar para las tres matrices, con un mayor porcentaje de viajes generados en Santiago, Providencia y Maipú, y un mayor porcentaje de viajes atraídos en Santiago, Providencia y Las Condes.

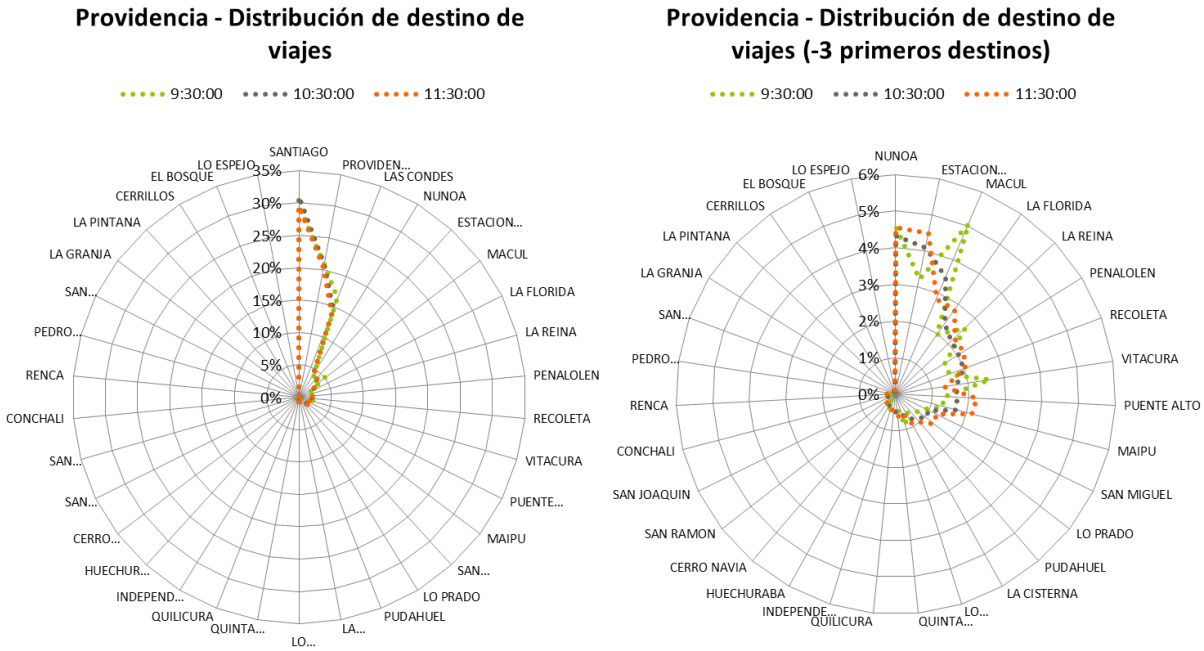
En las siguientes figuras se presenta la distribución de los destinos de viajes que tienen origen en Santiago Centro, Providencia y Las Condes para las tres matrices de 1 hora (9:30, 10:30 y 11:30), para todas las comunas de destino, y quitando del análisis a los tres principales destinos.

Figura 11-4: Distribución del destino de viajes originados en Santiago Centro



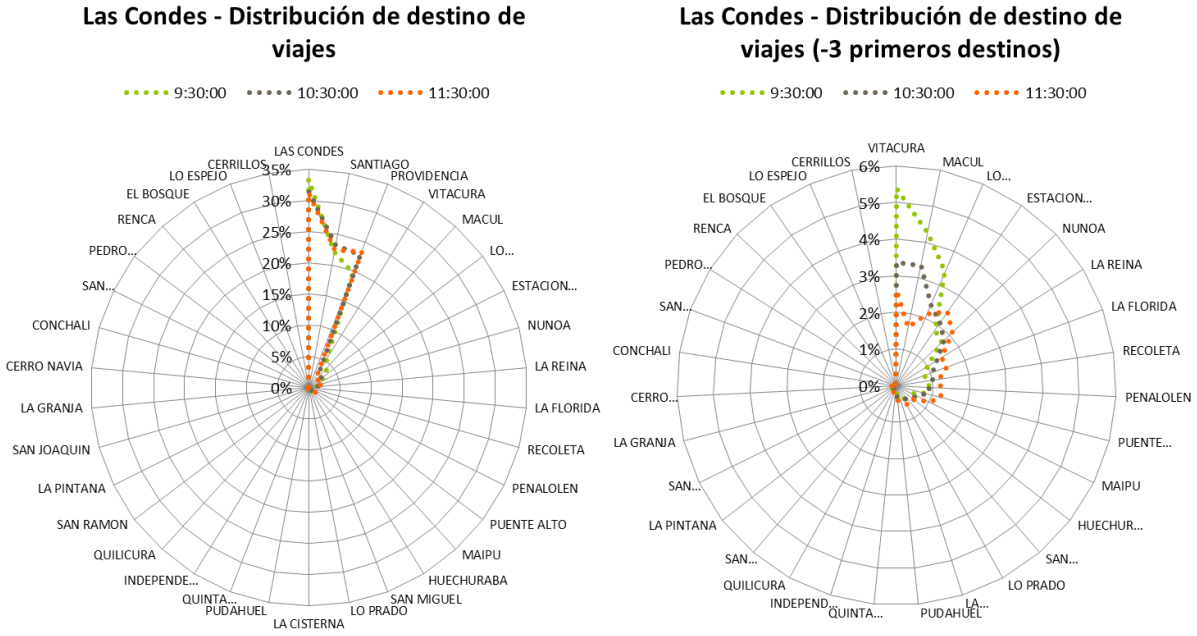
Fuente: Elaboración propia

Figura 11-5: Distribución del destino de viajes originados en Providencia



Fuente: Elaboración propia

Figura 11-6: Distribución del destino de viajes originados en Las Condes



Fuente: Elaboración propia

Se observa que los tres primeros destinos son estables para las tres matrices, pero que existe una alta variabilidad en el resto de los destinos.

Teniendo en cuenta la similar estructura de las tres matrices de una hora analizadas en estas figuras, y de acuerdo al objetivo planteado en este capítulo, el criterio recomendado para la elección de la hora de modelación es **la que contiene viajes según hora media de viaje, en un día laboral normal promedio, entre 11:00 a 12:00**.

Esta definición se acordó en la Presentación N°6 de este estudio, donde se estableció que las ventajas de esta definición respecto de las otras opciones analizadas son:

- Utilizar como referencia el periodo Fuera de Punta Mañana (en vez de Fuera Punta Tarde), por la posibilidad de comparación y análisis de evolución respecto de otros modelos.
- Utilizar una matriz de 1 hora (en vez de hora promedio), que sea representativa del periodo, para poder calibrar con medición en la hora escogida
- Mantener el criterio de agrupación de viajes según hora media de viaje
- Utilizar hora de 11:00 a 12:00 hrs. por ser la utilizada para ESTRAUS, y porque es la que presenta la mayor estabilidad en los 3 principales destinos para cualquiera de las matrices del periodo.

La estimación de la matriz OD se compone de 3 procesos y todos ellos se basan en la Tabla de Viajes, a la cual se le aplica transformaciones de estructura y/o factores de corrección según indique la información adicional. Los procesos aplicados son: Incorporación de evasión parcial (también denominada evasión blanda), Incorporación de evasión sistemática (o

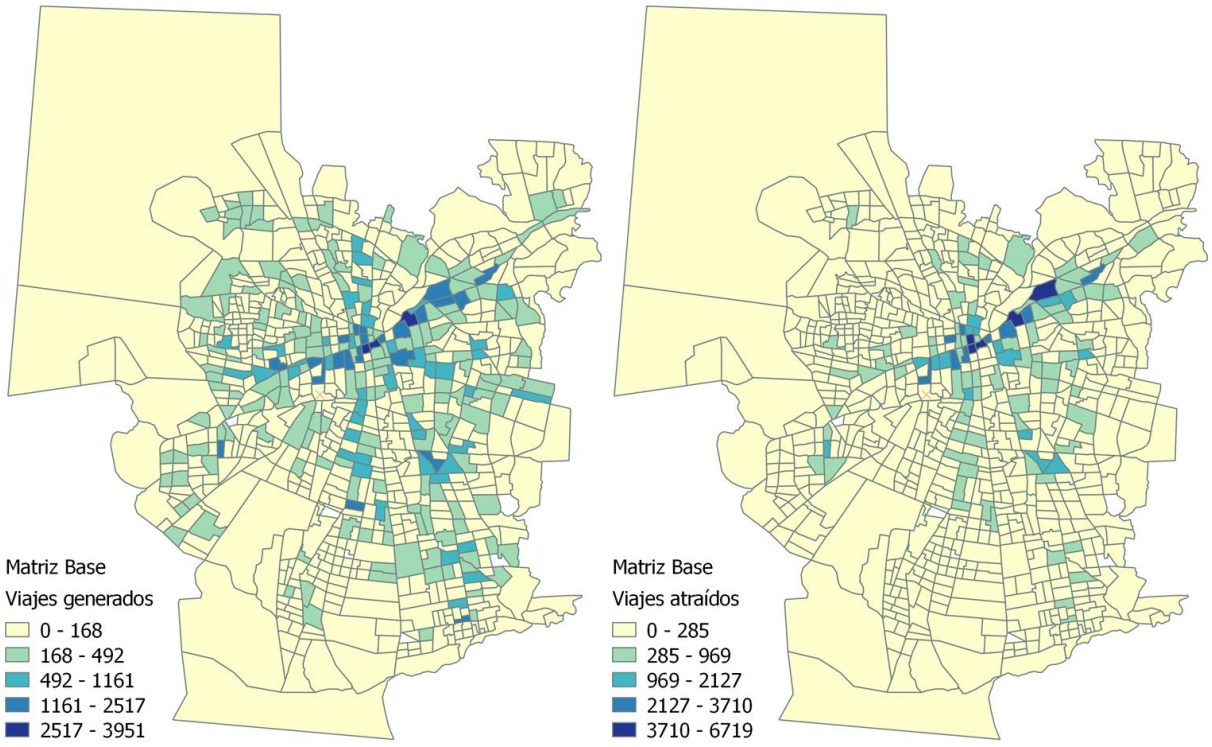
evasión dura) e Incorporación de boletos Edmonson. La metodología de cada uno de estos procesos se explica en los siguientes puntos y se aplica de manera independiente, para revisar el impacto de cada proceso sobre la matriz obtenida de la tabla de viajes TB9. La matriz OD de fuera punta se obtiene de la suma de las modificaciones o matrices generadas en cada paso.

Es preciso notar que, la zonificación utilizada corresponde a la definida en el capítulo 5 del presente estudio y corresponde a la agrupación de manzanas al interior de cada zona 777. En consecuencia, las proyecciones de demanda se realizan de la manera tradicional ya que la propia zonificación 777 respeta los límites comunales y está validada en términos de uso de suelo.

Es importante señalar que la estimación de la matriz de viajes del periodo Fuera de Punta Mañana se desarrolla a partir de las tablas de Etapas y Viajes del 31 de julio al 4 de agosto 2017. Esta tabla se obtiene de la versión de ADATRAP que estima bajada a nivel de día.

Para obtener la matriz base del modelo se selecciona todos los viajes con hora media entre 11:00 y 12:00 hrs. Se puede visualizar la generación y atracción de viajes de la matriz base, que contiene 165.498 viajes:

Figura 11-7: Viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 de matriz OD base



Fuente: Elaboración Propia

11.2 INCORPORACIÓN DE EVASION

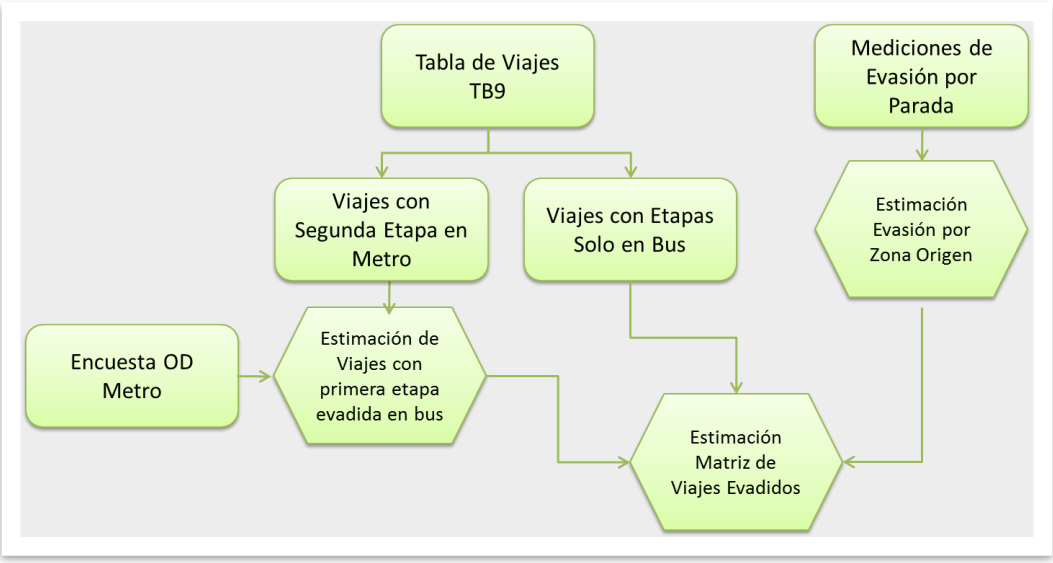
La literatura describe diversas motivaciones para la evasión del pago y que éstas se asocian a condiciones de viaje diferentes. En una primera clasificación de la evasión, ésta puede ser sistemática (también llamada evasión dura), en donde el usuario no paga en ninguna etapa del viaje; o puede ser parcial (también llamada evasión blanda) y deberse al nivel de servicio experimentado en el viaje o un transbordo, como la imposibilidad de abordar por la primera puerta del bus y pagar.

En cualquier caso, tal y como obtienen Guarda *et al.* (2016), la evasión es mayor según así lo es la demanda. Considerando lo anteriormente expuesto y el hecho de que las observaciones de demanda basadas en bip! únicamente informan de las etapas validadas, se desprenden dos conclusiones que son consideradas en la metodología:

- La evasión es mayor en los paraderos de mayor demanda.
- El transbordo responde a una situación de evasión potencial a considerar, caso en que la evasión parcial se caracteriza por la combinación de bus y metro, mientras que la evasión sistemática responde al caso en que todas las etapas son en modo bus y ninguna se valida. Ambos efectos se expresan de manera diferente en la tabla de viajes TB9, en un caso, el viaje no se reporta en la matriz y en el otro distorsiona el origen y/o destino verdadero del viaje.
- No existe evasión en Metro (o es tan baja que puede omitirse)

La metodología propuesta para incorporar la evasión a la matriz de viajes estimada, se puede ver gráficamente en el siguiente flujo de trabajo:

Figura 11-8: Flujo incorporación evasión a la matriz de viajes



Fuente: Elaboración propia

Notar algunas características de la evasión sistemática. La evasión sistemática se refiere al no pago de todas las etapas del viaje, lo que afecta viajes con una o más etapas en modo bus. Los viajes con etapas en Metro no se ven afectados por este tipo de evasión. Además, parece poco probable que los evasores sistemáticos realicen viajes de más de dos etapas en bus. Por último, es razonable considerar que los viajes de evasores sistemáticos realizan viajes con etapas de tipo bus y bus-bus. Viajes con 3 o más etapas en bus difícilmente podrían representar la estructura de viajes de evasores sistemáticos.

En cuanto a las características de la evasión parcial, esta se refiere al no pago de una etapa en bus para los viajes de dos o más etapas. En los viajes compuestos por los modos bus y Metro, el registro de la etapa en Metro se encuentra en la tabla de viajes TB9. Esto implica que los viajes están contabilizados como demanda, pero la estructura observada en la TB9 no corresponde a la realidad y su corrección requiere una deformación de la matriz. Los viajes de una etapa en bus forman parte de la evasión sistemática. En cuanto a los viajes de dos o más etapas en bus, donde se evade una de las etapas en bus, estos también deben corregirse mediante deformación de la matriz, sin embargo no existe información disponible que permita realizar esta corrección. Por lo tanto, solo es factible corregir la evasión parcial en los casos de combinación con Metro, particularmente los casos donde se evade una etapa en bus que precede a la etapa en Metro.

Las siguientes secciones explican la metodología de obtención de factores de evasión sistemática y parcial, además de la incorporación de ambos tipos de evasión en la matriz base obtenida en la sub-sección anterior.

11.2.1 Incorporación de evasión parcial

Para estimar la evasión de etapas en bus previas al modo Metro se propone calcular la proporción de viajes que realizan la combinación bus-Metro respecto del total de viajes que utilizan el modo Metro, agrupados por estación. Esta proporción se obtiene de la matriz OD Base fuera de punta para cada estación y se propuso contrastarla con la proporción real observada. Para este objetivo se utilizó la encuesta OD de Metro de 2012, que muestrea todas las estaciones de la red y que contiene el modo de acceso a la estación (se descarta el uso de encuestas OD de Metro posteriores porque no contienen suficiente información y en el detalle requerido). Con estos datos se estimó la proporción de usuarios que provienen de buses de Transantiago respecto del total de usuarios que acceden a cada estación entre las 9 y las 10 am (información disponible para periodo fuera de punta mañana) de un día laboral normal. El supuesto es que si no existiese evasión parcial, las proporciones obtenidas de la matriz base y de la encuesta de Metro serían muy similares. Por tanto, la diferencia entre estas proporciones permite cuantificar los niveles de evasión parcial a nivel de estación.

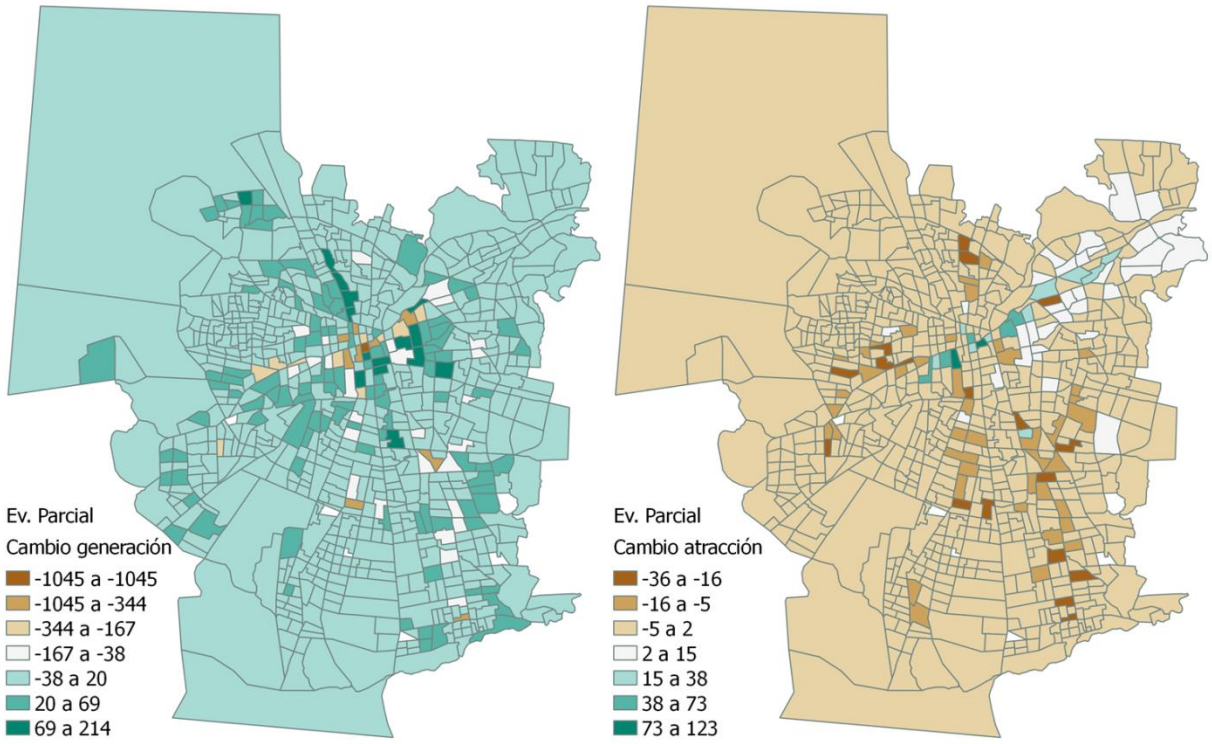
La proporción de viajes con la combinación bus-Metro respecto del total de viajes, a nivel de estación, se encuentra en el anexo 11 de este capítulo de estimación de matriz FP, tanto según la encuesta EOD Metro 2012, como según la tabla de bip!. La proporción de viajes que inician en bus que se observan en la encuesta de Metro debería ser siempre igual o mayor a la observada en la tabla de viajes, donde una gran diferencia implica una elevada evasión. Se destaca algunas anomalías observadas en los factores para algunas estaciones, donde el factor encontrado para la matriz de viajes es mayor que el encontrado en la encuesta de

Metro. Esto puede deberse a diversas razones, como diferencias significativas en los programas de operación o en los patrones de viaje en el entorno de la estación, situación difícil de evaluar con la información disponible. En estos casos particulares se considera que la estación no tiene evasión parcial (o de tenerla, no se cuenta con información necesaria para corregirla).

Con los factores mencionados fue corregida la matriz OD base FP con la siguiente consideración: Los viajes a corregir por evasión parcial tienen hasta dos etapas, es decir son de la forma Metro y Metro-bus. Esto supone que la evasión parcial no se reparte por igual en todas las combinaciones de modos y se considera nula en cualquier tipo de configuración con 3 o más etapas. Para corregir la matriz se propone aplicar un factor de expansión por estación a los viajes de la forma bus-Metro y bus-Metro-bus, bajo el supuesto de que éstos representan la estructura de viajes de aquellos con evasión parcial, respectivamente. Esto incrementa el total de viajes de la matriz, lo cual no es objetivo de la incorporación de este tipo de evasión, en cuanto la definición de esta corrección considera que los viajes se encuentran representados mediante al menos una etapa en Metro. Por tanto, se aplica un factor de reducción por estación a todos los viajes de la forma Metro y Metro-bus, considerando que éstos son los viajes que esconden la evasión parcial. Los factores de expansión y reducción aplicados son aquellos que permiten reproducir la proporción de viajes con inicio en bus que se obtienen de la encuesta OD de Metro 2012 y que además no alteran el total de viajes observados en la matriz. Notar que esta metodología permite mantener el formato de información a nivel de viaje de la TB9, pues aplica factores de expansión/reducción sobre los viajes y no sobre pares OD agregados. Además, notar que los factores de reducción podrían implicar que algunos viajes sean representados por un factor menos a 1.

Si se compara la matriz OD base obtenida en la sub-sección anterior con la matriz corregida por evasión parcial, se obtiene una variación en la estructura (pero no en el total) de viajes de la matriz, la cual puede agruparse por zona 777 tanto en orígenes como destinos. Esta diferencia de viajes generados y atraídos se muestra en la siguiente figura:

Figura 11-9: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial



Fuente: Elaboración Propia

Considerar que para la matriz PM se realizó un análisis adicional, en el cual se analiza los modos de egreso de las estaciones de Metro que se declaran en la encuesta OD de 2012. Al comparar las proporciones de usuarios que egresan de la estación y utilizan modo bus, respecto del total de usuarios que egresan de cada estación, se comprueba que existe diferencias relevantes en los porcentajes mostrados por la EOD de Metro 2012 y los observados en la matriz base, particularmente en algunas estaciones de la red. Esto implica que existe una deformación de la matriz por evasión parcial que no está siendo corregida por la metodología implementada y que no puede aplicarse de manera independiente o superpuesta a lo implementado, en la medida de que las proporciones aplicadas en origen no son independientes de las aplicadas en destino. Este mismo fenómeno podría ocurrir para la matriz FP.

Tal como se mencionó anteriormente, en el futuro es necesario re-evaluar la metodología a la vista de los datos y diseñar una corrección de este proceso que combine la corrección de las etapas de acceso y egreso al modo Metro.

11.2.2 Incorporación de evasión sistemática

Para incorporar la evasión sistemática se propuso aplicar factores de expansión a nivel de zona 777 de origen para los viajes de la matriz OD base con etapas de la forma bus y bus-bus. Detrás de esta afirmación está el supuesto de que la evasión no se distribuye por igual entre todos los viajes que solo utilizan el modo bus y que los viajes de 3 o más etapas no representan

la estructura de los viajes con evasión sistemática. Notar que esta aplicación de factores se realiza sobre la matriz base y no sobre la matriz corregida por evasión parcial. En cualquier caso, notar que los procesos aplicados son independientes, en cuanto los factores de evasión parcial se aplican sobre viajes con al menos una etapa en Metro, mientras que los factores de evasión sistemática se aplican sobre viajes solo en modo bus.

Para determinar los porcentajes de evasión a nivel de zona 777 se cuenta con dos fuentes de información: medición de perfiles de carga por DICTUC en 2012 y medición de evasión por fiscalización durante el año 2016. Ambas bases de datos son revisadas para su utilización. Se realiza revisiones de consistencia para eliminar algunos datos anómalos, como observación de una patente en la misma fecha y hora realizando dos servicios. Para la estimación de los niveles de evasión a nivel de zona se asocia cada parada a una zona 777 y se considera los registros con hora de parada en fuera de punta mañana, entre **10:30 y 12:30** (para aumentar el número de observaciones). La siguiente tabla muestra un resumen de los registros encontrados en cada base de datos (se omite registros de ZP):

Tabla 11-3: Detalle de las fuentes de información de evasión en modo bus

Fuente de datos	Año	Registros	#Zonas con información	#Evasores	#Demanda	%Evasión
DICTUC	2012	49.627	782	10.581	54.227	19,5%
Fiscalización	2016	3.263	650	2.623	9.168	28.6%

Fuente: Elaboración Propia

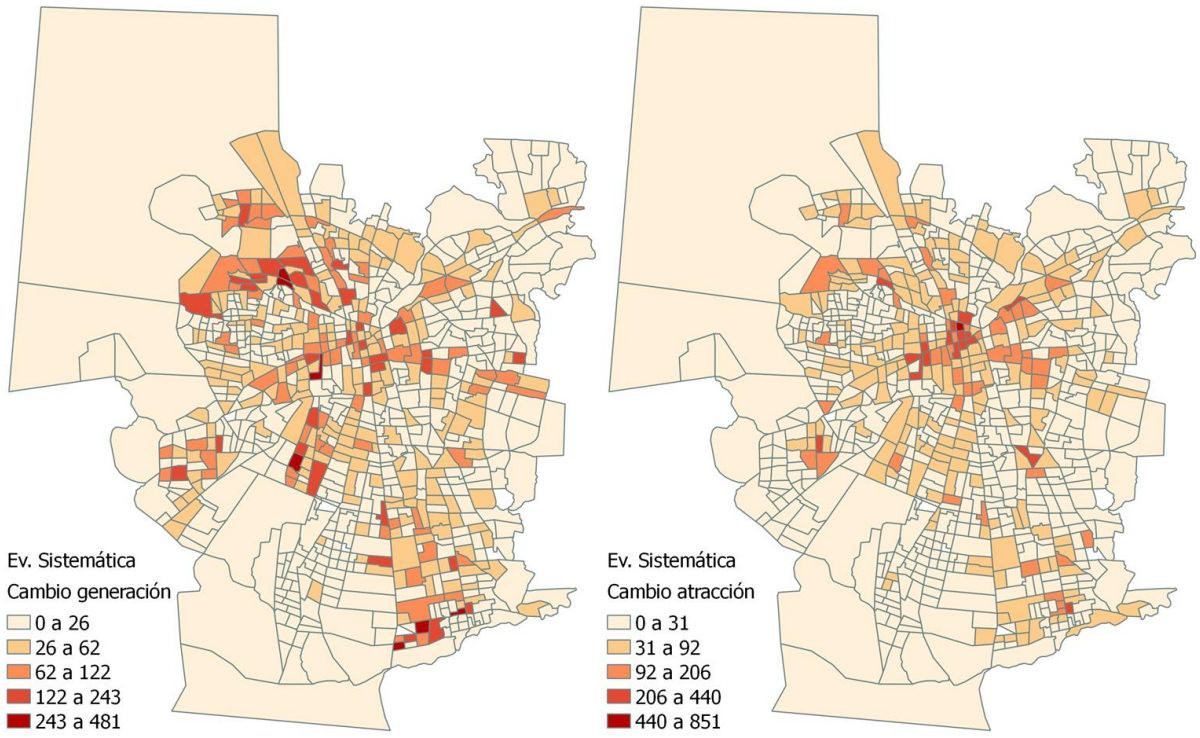
Como se observa, la información proveniente de fiscalización es mucho menor a la recogida en la medición realizada por DICTUC en 2012, particularmente en cuanto a cantidad de registros y demanda total observada. Sin embargo, la base de datos de fiscalización contiene información más actualizada. Para la actualización de la matriz OD de viajes de agosto 2017 se ha calculado indicadores de evasión a nivel de zona. Para estimar evasión a nivel de zona se utilizó la información de fiscalización 2016 en las zonas con al menos 50 datos por zona, de lo contrario, se utiliza la información de DICTUC 2012. En aquellas zonas con menos de 50 registros en ambas bases, se utiliza la evasión observada en la comuna a la que pertenece la zona, la cual se obtiene de los mismos datos estimados a nivel de comuna según la base de DICTUC 2012. Esto se debe a que la base de datos de fiscalización no cuenta con información significativa para todas las comunas y no parece apropiado mezclar indicadores de comunas provenientes de diferentes bases de datos.

Los factores de evasión a nivel de zona 777 que se obtienen de este proceso se encuentran en los anexos del capítulo.

Para incorporar la información de evasión sistemática se aplica los factores de evasión obtenidos a nivel de zona 777 a todos los viajes originados en la zona correspondiente que en la matriz OD base tengan la estructura de etapas bus y bus-bus, puesto que, como se indica anteriormente, no se considera que los viajes de 3 o más etapas representen la estructura de evasión sistemática. Notar que esta corrección implica un aumento en el número de viajes de la matriz OD base, el cual se obtiene de aplicar factores de expansión a los viajes existentes a nivel de zona 777, proporcional a la estructura de viajes afectados en la zona y combinación de modos en que se aplica e incrementando la demanda en base a la evasión observada

en cada zona. Para cuantificar este aumento de la demanda, correspondiente a 28.879 viajes, la siguiente figura muestra el incremento de viajes generados y atraídos a nivel de zona 777 debido a la incorporación de viajes de evasión sistemática:

Figura 11-10: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión sistemática



Fuente: Elaboración Propia

11.3 INCORPORACIÓN DE BOLETOS EDMONSON

El último proceso de la estimación de la matriz OD de viajes FP fue la incorporación de los viajes realizados en Metro utilizando como modo de pago los boletos Edmonson. Para este proceso se cuenta con información de uso de boletos insertados en las máquinas cada 15 minutos a nivel de estación. Para incorporar esta demanda a la matriz se realiza un supuesto: Los viajes pagados con boletos Edmonson no combinan con bus, son viajes que se realizan por completo en Metro. Si los viajes utilizaran modo bus, esto obligaría al viajero a utilizar la tarjeta bip! para pagar el pasaje en bus, generando un doble pago de pasaje innecesario puesto que este viaje podría realizarse utilizando solo la tarjeta bip! y ahorrando el pago del boleto. Esta lógica permite afirmar que los viajes realizados con boletos Edmonson son aquellos que pueden realizarse utilizando solo modo Metro.

Por lo anterior, se propone incorporar los viajes realizados con boletos Edmonson por estación de origen y siguiendo la misma distribución origen-destino de los viajes de una etapa en Metro que se observan en la matriz OD base. En cuanto a la agregación temporal, considerar que la matriz OD base se construye con los viajes del sistema con hora media de viaje entre 11 y

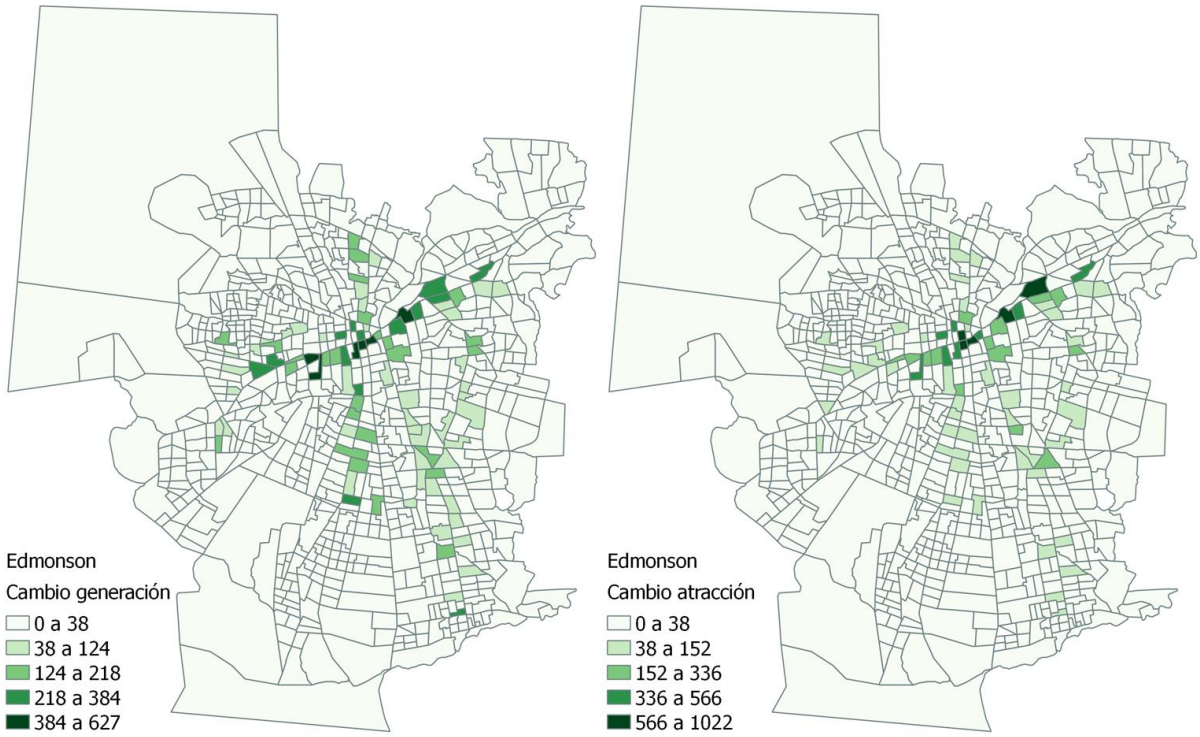
12 hrs, y que para los boletos solo se cuenta con hora de inicio. Por lo tanto, se propuso buscar la hora de inicio representativa de los viajes de una etapa en Metro, para cada estación, de la matriz OD base. Para ello se propuso agrupar por estación de origen los viajes de la matriz OD base de una etapa en Metro y en lugar de utilizar su hora media de viaje, agruparlos por hora de inicio de viaje (igualmente disponible en la TB9) como referencia para determinar qué hora de inicio de boletos Edmonson utilizar en cada estación. Por tanto, se procedió a agrupar los viajes formados por una etapa en Metro de la matriz OD base a nivel de estación y hora de inicio de viaje. Estos viajes de una etapa en Metro de la matriz OD base tienen como hora de inicio un rango mayor a 1 hora. Luego, para cada estación se seleccionó la hora de inicio con más viajes y exactamente en esta misma hora se toma el conjunto de boletos Edmonson. Ese es el volumen de boletos Edmonson que fue incorporado y recalculado para los viajes de la matriz de agosto 2017.

El detalle de la demanda y hora utilizada para incorporar los viajes de boletos Edmonson representativos de cada estación se encuentran en los anexos de este capítulo.

En total se incorporan 15.880 viajes. Para incorporar los boletos se propone generar un factor de expansión sobre los viajes de la matriz OD base, tal que incorporen la demanda de boletos Edmonson expandiendo los viajes que inician en la misma estación y que tienen como condición ser viajes de una etapa en modo Metro. Esto permite respetar la estructura de destino de viajes observada en la matriz OD base a nivel de estación de origen. El producto de este proceso es una matriz de viajes de boletos Edmonson representativa de una (1) hora del periodo Fuera Punta.

Para analizar los cambios en la matriz OD base respecto de la matriz que incorpora los boletos Edmonson, la siguiente figura muestra la diferencia en viajes generados y atraídos a nivel de zona 777:

Figura 11-11: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de boletos Edmonson



Fuente: Elaboración Propia

11.4 OBTENCIÓN DE MATRIZ OD FUERA PUNTA ZONA 777

Considerando que cada uno de los procesos aplicados se realiza de forma independiente y sobre la matriz OD base FP, para incorporar todos los procesos se suma la diferencia de viajes producida en la aplicación de cada factor sobre el factor de expansión original de cada viaje proveniente de la tabla TB9, es decir:

$$Vij = Vij_Base + \Delta Evasión_Parcial + \Delta Evasión_Sistemática + \Delta Boletos_Edmonson$$

La agregación de todos los procesos genera una nueva matriz OD de viajes de FP. Si se compara la diferencia de viajes generados y atraídos a nivel de zona, entre la matriz actualizada y la matriz base, se obtiene diferencias de viajes por zona, como se muestra en la siguiente tabla:

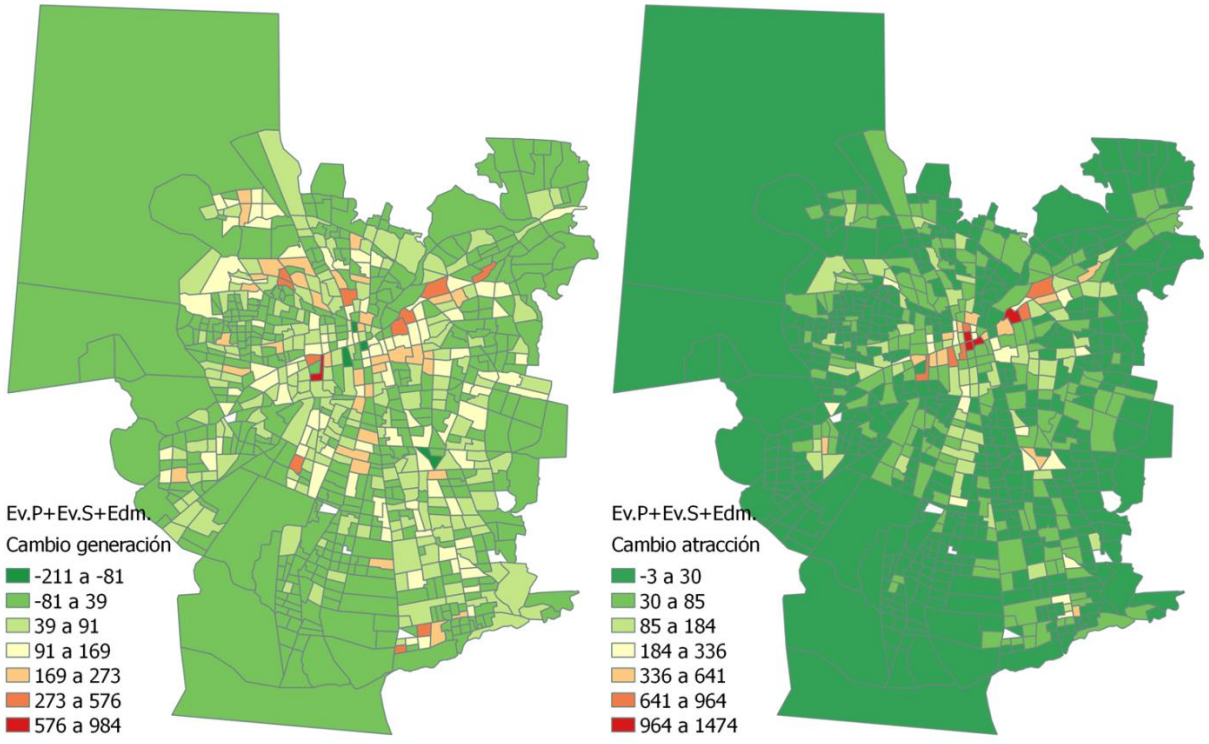
Tabla 11-4: Detalle de variación de viajes por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson

Matriz	Comentario	Viajes adicionales	Total viajes matriz
Matriz Base	viajes con hora media entre 11 y 12 hrs.	-	165.498
Matriz Ev. Parcial	corrección de estructura, no incorpora viajes	0	165.498
Matriz Ev. Sistemática	corrección r/ matriz base	28.879	194.377
Matriz Edmonson	corrección r/ matriz base	15.880	181.378
Matriz Actualizada	corrección r/ matriz base, se calcula como suma de correcciones por zona	44.759	210.257

Fuente: Elaboración Propia

Para visualizar espacialmente las modificaciones a la matriz, la siguiente imagen muestra la variación de viajes a nivel de zona:

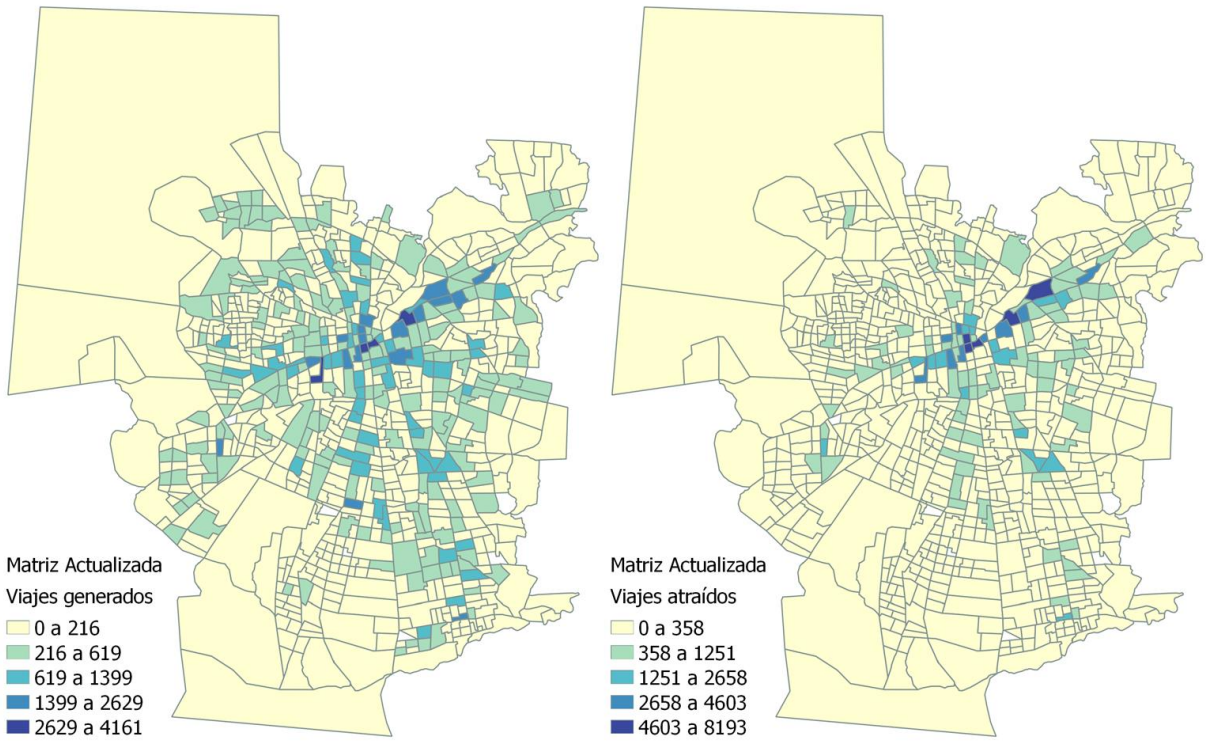
Figura 11-12: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, la siguiente figura muestra los viajes generados y atraídos en la matriz OD fuera de punta actualizada a nivel de zona 777:

Figura 11-13: Generación (izq) y atracción (der) de viajes a nivel de zona 777, matriz OD FP actualizada



Fuente: Elaboración Propia

Notar que las visualizaciones del informe se realizan a nivel de zona 777, pero que todos los factores de actualización de la matriz fueron aplicados directamente a nivel de viaje, razón por la cual se cuenta con una matriz desagregada a nivel de parada.

Al contar con la matriz actualizada a nivel de viaje, es posible analizar su composición en este mismo nivel de detalle. La matriz actualizada presenta una tasa de 1,34 etapas por viaje. La siguiente tabla muestra la cantidad de etapas por operador (contabilizadas hasta la 4ta etapa de viaje):

Tabla 11-5: Detalle de matriz actualizada, número de etapas de viaje por operador

UN	DATOS BIPS	DATOS ESTIMADOS	EVASION MATRIZ	EVASION MINISTERIO 3° TRIMESTRE 2017
U1	14.410	20.788	31%	30%
U2	20.345	28.254	28%	26%
U3	21.349	30.208	29%	28%
U4	23.527	30.387	23%	24%
U5	22.570	29.211	23%	22%
U6	11.805	15.243	23%	16%
U7	7.543	11.526	35%	42%
TOTAL BUS	**122.794**	**167.281**	**27%**	26%

UN	DATOS BIPS	DATOS ESTIMADOS	EVASION MATRIZ	EVASION MINISTERIO 3° TRIMESTRE 2017
SIN UNIDAD	1.244	1.663	25%	
METRO	**96.944**	**112.824**		
METROTREN	**1.678**	**1.659**		
TOTAL ETAPAS	**221.415**	**281.764**		
ETAPAS VIAJE		1,34		

Fuente: Elaboración Propia

La siguiente tabla muestra los transbordos observados entre tipos de transporte:

Tabla 11-6: Transbordos entre combinaciones de tipo de transporte

ETAPA N	ETAPA N+1	TRASBORDOS
BUS+ZP	BUS+ZP	20.342
BUS+ZP	METRO	38.574
BUS+ZP	METROTREN	244
METRO	BUS+ZP	11.299
METRO	METROTREN	205
METROTREN	BUS+ZP	67
METROTREN	METRO	776
TOTAL		**71.507**

Fuente: Elaboración Propia

Otra dimensión de análisis son los niveles de servicios por componente de tiempo de viaje para la matriz actualizada.

Tabla 11-7: Nivel de Servicio, matriz OD Punta Mañana

	Tiempos (Minutos)
Tiempo Caminata	0,42
Tiempo Espera	2,21
Tiempo vehículo	26,74
Tiempo de Viaje	29,38

Fuente: Elaboración Propia

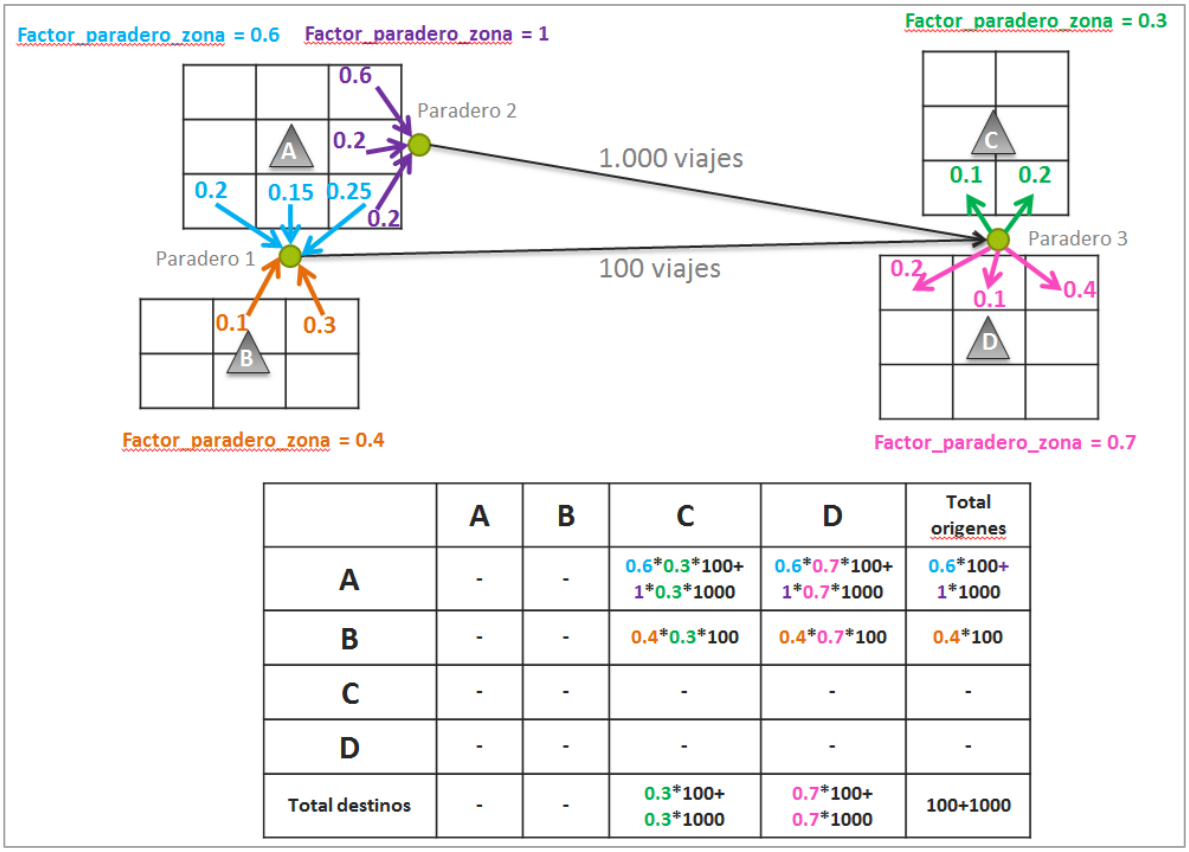
Cabe mencionar que el tiempo de caminata solo considera las caminatas en los transbordos, pues la información de ADATRAP no contiene el acceso y egreso del viaje, por lo que el valor esta intrínsecamente subestimado. Por otra parte, el valor de tiempo de espera también está subestimado, pues solo considera la espera en el transbordo, no incorporando la espera de la primera etapa.

Todas estas dimensiones son relevantes para la revisión de resultados del proceso de asignación y calibración.

11.5 CREACIÓN DE LA MATRIZ A NIVEL ZONAL

Una vez generadas las matrices a nivel de parada, se requiere crear la matriz a nivel zonal considerando la zonificación generada en el capítulo 5 del presenta informe. El proceso para ello se esquematiza en la siguiente figura:

Figura 11-14: Ejemplo esquemático de generación de la matriz de viajes a nivel zonal



	A	B	C	D	Total origenes
A	-	-	0.6*0.3*100+ 1*0.3*1000	0.6*0.7*100+ 1*0.7*1000	0.6*100+ 1*1000
B	-	-	0.4*0.3*100	0.4*0.7*100	0.4*100
C	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-
Total destinos	-	-	0.3*100+ 0.3*1000	0.7*100+ 0.7*1000	100+1000

Fuente: Elaboración Propia

En el ejemplo, del paradero 1 salen 100 viajes al paradero 3 y del 2 salen 1.000 al 3. En el radio de influencia del paradero 1 se localizan 5 manzanas: 3 de ellas pertenecen a la zona A y 2 a la zona B. En el radio de influencia del paradero 2 están 3 manzanas y las 3 pertenecen a la misma zona A. En el radio de influencia del paradero 3 se tienen 5 manzanas: 2 pertenecen a la zona C y 3 a la D.

El reparto de los viajes del paradero se realiza entre las manzanas en su radio de influencias según las siguientes dos componentes:

- Distancia: Inversamente proporcional a la distancia en red entre el paradero y el centroide de la manzana
- Superficie construida: Directamente proporcional a la superficie construida total de la manzana

Para cada combinación paradero-manzana, se asume que los viajes se reparten entre las manzanas en el radio de influencia según la suma de la proporción que cada manzana aporte al total en distancia más en superficie. Posteriormente, conociendo las manzanas de cada zona, se obtiene un factor paradero-zona, que es la suma de los factores paradero-manzana de las manzanas en esa zona en el radio de influencia de tal paradero.

Los radios de influencia considerados son los definidos por Tamblay (2015) a partir de una encuesta origen destino en paraderos y estaciones, y resultantes para el 95% de los viajes observados en ella: 250 metros para bus y 750 metros para metro (misma consideración para Metrotren).

Por cada par OD de paraderos, los viajes se reparten entre todas las combinaciones de zonas que contienen al menos una manzana en el radio de influencia del paradero origen o destino. El reparto de los viajes para cada combinación zona origen-zona destino es la multiplicación de los factores paradero-zona asociados al paradero y zona origen y al paradero y zona destino, es decir:

$$Viajes_{zonaO-zonaD} = viajes_{paraderoO-paraderoD} * factor_{paraderoO-zonaO} * factor_{paraderoD-zonaD}$$

Existen 2.700 manzanas que están dentro de los límites de las zonas 777 pero que no están bajo el radio de influencia de ningún paradero o estación. No obstante, si en el futuro la cobertura de la red alcanzara a dichas manzanas, éstas podrían generar y/o atraer viajes. En base a este aspecto se probaron dos hipótesis:

c) Asumir que si hay manzanas, hay demanda potencial: bajo esta hipótesis, estas manzanas se conectan al paradero más cercano, permitiendo la generación/atracción de una demanda que con la red actual es reducida dada la lejanía al paradero y el reparto inversamente proporcional a la distancia.
d) Asumir que la demanda observada en la red bip! está generada/atraída tan solo en su radio de influencia: bajo esta hipótesis las manzanas fuera del radio de influencia de la red no toman parte en la asignación de demanda de nivel paradero a nivel zonal, es decir, no generan ni atraen demanda.

La metodología anterior de reparto de viajes observados desde nivel paradero a nivel zonal, pasando por el nivel manzana, busca considerar de manera robusta el origen y destinos reales, es decir, la atracción y generación de cada zona.

La matriz de viajes estimada a nivel de zona del modelo de asignación se encuentra en los anexos del capítulo.

12CONSTRUCCIÓN MODELO FUERA DE PUNTA

12.1 INTRODUCCIÓN

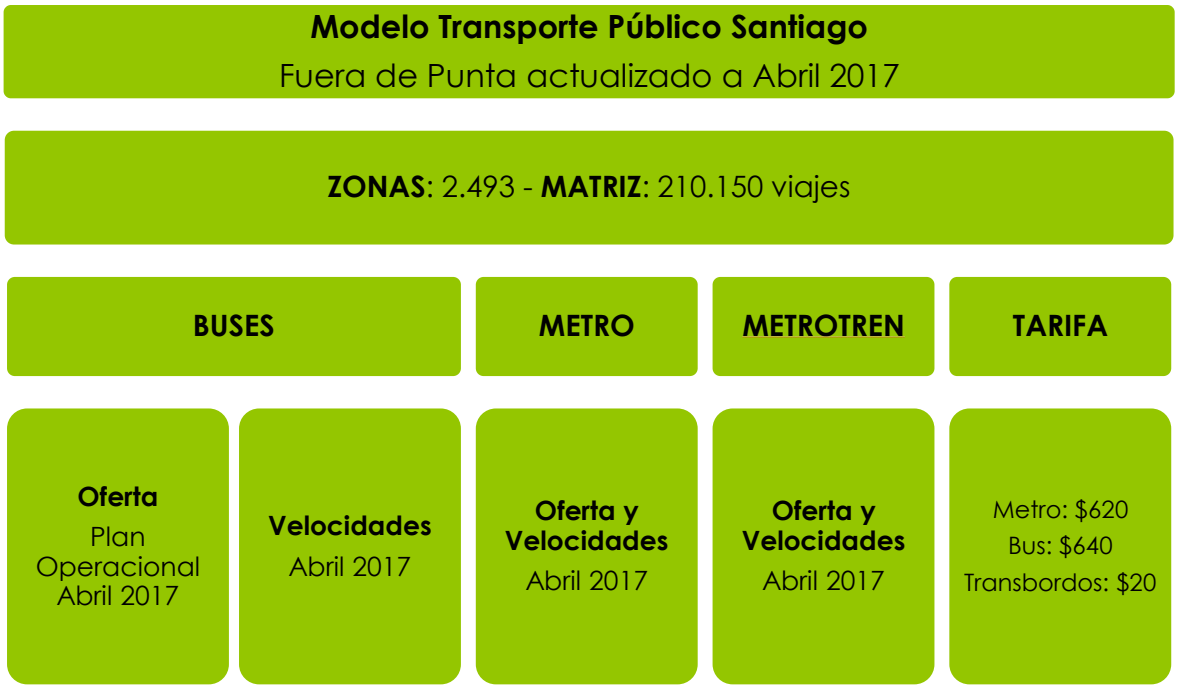
La construcción el Modelo de asignación para fuera de punta se compone por los siguientes elementos:

- Definición de Modos
- Definición de tipos de vehículos
- Definición de arcos y nodos
  - Red vial
  - Metro
  - Metrotren
- Definición de zonas
- Definición de conectores
  - Zonas
  - Entre modos
- Definición de la matriz de viajes
- Definición de itinerarios servicios
  - Buses,
  - Metro
  - Metrotren
- Definición de velocidades
  - Buses,
  - Metro
  - Metro tren
- Definición de Características Operacionales servicios buses, Metro y Metro tren
  - Frecuencia
  - Capacidad
- Definición de Parámetros de Modelación
- Definición Esquema Tarifario

El horario representativo del modelo FP corresponde entre las 11:00 a 12:00 hrs de un día laboral promedio.

A modo de resumen, el modelo construido se compone de la siguiente información:

Figura 12-1: Resumen Información Modelo de asignación



Fuente: Elaboración Propia

El modelo Fuera de Punta Mañana fue construido sobre la base de la red vial del modelo de Punta mañana, rescatando los elementos comunes en la vialidad e itinerarios, y modificando aquellos elementos y características que cambian en el periodo fuera de punta mañana.

12.2 MODOS Y VEHICULOS

Los modos y los tipos de vehículos definidos corresponden a los mismos del modelo de punta mañana.

Tabla 12-1: Modos Modelo de asignación

Modo	Descripción	Tipo	Descripción
a	Auto	1	Auto
b	Bus	2	Transit
p	Peatón	3	Auxiliary Transit
m	Metro	2	Transit
i	Tarifa	3	Auxiliary Transit
t	Metrotren	2	Transit
f	Tren	2	Transit

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12-2: Tipos de vehículo modelo de asignación

ID Vehículo	Modo	Descripción	Auto equivalente	Capacidad		Costo		Energía		Uso
				Sentados	Total	$/hr	$/hr	$/hr	$/km	
1	b	bus	2	30	136	0	0	0	0	✓
4	b	40	0	10	40	0	0	0	0	-
5	b	50	0	12	50	0	0	0	0	✓
6	b	60	0	20	60	0	0	0	0	✓
7	b	70	0	20	70	0	0	0	0	✓
8	b	80	0	25	80	0	0	0	0	✓
9	b	90	0	30	90	0	0	0	0	✓
10	b	100	0	30	100	0	0	0	0	✓
11	b	110	0	30	110	0	0	0	0	✓
12	b	120	0	40	120	0	0	0	0	✓
13	b	130	0	40	130	0	0	0	0	✓
14	b	140	0	40	140	0	0	0	0	✓
15	b	150	0	40	150	0	0	0	0	-
16	b	160	0	40	160	0	0	0	0	-
17	t	metrotren	0	84	522	0	0	0	0	✓
18	f	tren	0	300	600	0	0	0	0	✓
19	t	metrotren	0	84	522	0	0	0	0	-
20	m	metro	0	230	1452	0	0	0	0	✓
21	m	metro	0	230	1165	0	0	0	0	✓
22	m	metro	0	198	793	0	0	0	0	✓
23	m	metro	0	397	1586	0	0	0	0	✓
24	m	metro	0	250	1232	0	0	0	0	✓

Fuente Elaboración Propia

Es necesario precisar que la capacidad de los vehículos que se utiliza en la asignación con restricción de capacidad corresponde a la capacidad total, por lo que es este atributo el que fue validado de acuerdo a la información de oferta del STPS.

12.3 ARCOS Y NODOS

En el caso de los arcos y nodos de la red, se utilizó la red simplificada del periodo punta mañana.

Figura 12-2: Red Vial Fuera Punta Mañana



Fuente: Elaboración Propia

El modelo tiene la siguiente cantidad de arcos y nodos_

Tabla 12-3: Cantidad de nodos y Arcos Red de Modelación Fuera de Punta.

	Red de Modelación
Nodos regulares	18.356
Arcos-sentido	57.147

Fuente: Elaboración Propia

12.4 ZONAS Y CONECTORES

Las zonas y sus conectores se mantuvieron invariantes respecto al modelo del periodo punta mañana. A modo de resumen, se presenta la cantidad de zonas y arcos de acceso y de transbordos generados.

Tabla 12-4: Zonas y Arcos Acceso

Descripción	Cantidad
Zonas	2.493
Arcos de Acceso	2.493
Arcos de Egreso	2.493
Conectores Red Vial – Metro (o Metrotren)	1.928
Conectores Metro – Metro (o Metrotren)	301

Fuente: Elaboración propia

12.5 MATRIZ

La matriz de viajes ingresada en el modelo fuera de punta corresponde a la obtenida de acuerdo a detallado en el capítulo 11 del presente informe. Dicha matriz tiene una agregación consistente con las zonas ingresadas previamente (2.493 zonas) y fue construida sobre la base de los viajes realizados por los usuarios en Agosto de 2017, estimados con el software ADATRAP.

La matriz de viajes ingresada contiene 210.150 viajes, de los cuales 1.017 son intrazonales que no serán parte del proceso de asignación.

12.6 ITINERARIOS DE SERVICIOS

Para construir los itinerarios de los servicios y/o líneas de metro y metrotren se debe definir una secuencia de nodos en donde se identifica:

- Nodos que son Paradas en donde solo se puede subir, solo se puede bajar o solo se puede subir y bajar
- Tiempo de detención en caso que sea necesario.
- Layover que corresponde al tiempo de regulación de la última parada
- Función de tiempo de viaje del segmento.

Para obtener los itinerarios de los servicios de buses, se procedió a utilizar el RTS que contiene el conjunto de trazados del Programa de Operación vigente al 06 de Mayo de 2017 asociado a la red original y se procedió a transformarlo a la red simplificada. Para ello fue necesario ajustar la secuencia de nodos sólo considerando aquellos nodos de la red simplificada, para aquellos servicios que operan en el periodo de análisis.

El tiempo de detención asociado al atributo dwt (dwell times) fue definido en cero (dwt=0) pues los tiempos de viaje ya consideran el tiempo de detención en su cálculo. A su vez, al último nodo se le asigna el valor lay=1.

La construcción de itinerarios con paradas se asigna considerando el diccionario de paradas-nodos realizadas para la simplificación de la red vial.

Para el caso de itinerarios de Metro, se incorporó la información de itinerarios que la contraparte dispuso, correspondiente a Mayo del 2017.

Para el caso de Metrotren, la información fue extraída en el "Plan de Operaciones de Transporte al sistema de transporte Público de Santiago" de fecha 01 de Marzo de 2017, entregada por la empresa Metrotren a DTPM, y dispuesta al consultor en el contexto del estudio.

Tabla 12-5: Cantidad de servicios por modo

Modo	N° Servicios
Bus	567
Metro	12
Tren	2
Metrotren	2

Fuente: Elaboración Propia

12.7 VELOCIDADES

Para obtener las velocidades de la red de buses se utilizó información del mes de Abril de 2017. La información fue dispuesta por DTPM, sobre la base de la red vial original por la que pasa transporte público. Utilizando la misma metodología desarrollada para punta mañana, se procedió estimar velocidades por arco para el periodo fuera de punta utilizando las velocidades registradas entre las 11:00 y las 12:00 hrs.

Tabla 12-6: Resumen Estimación Velocidades Arco-Sentido

	Arco-Sentido
Arcos con Información de Velocidad	42.465
Arcos Estimados con la Velocidad de 1 arco	2.759
Arcos Estimados con la Velocidad de 2 arcos	879
Arcos sin Estimación de Velocidad	32.680

Fuente: Elaboración Propia

Para el caso de los arco-sentido a los que no fue posible estimar la velocidad en este proceso, se consideró las velocidades de los arco-sentido que conforman un determinado arco simplificado, es decir, si el arco-sentido es parte de un arco de la red simplificada donde existen arcos con información de velocidad, se estimó la velocidad a partir de dichos arcos. Con este criterio se logró atributar 28.615 arco-sentido de un total de 39.231arco-sentido correspondiente a la vialidad de los servicios de buses, el resto de los arcos-sentido (10.616 arcos-sentido) sin estimación de velocidad fueron atributados con la velocidad promedio del sistema entre las 11:00 y las 12:00 hrs, correspondiente 19.33 km/hr. En el siguiente gráfico se presenta la velocidad de la red a nivel de arco.

Figura 12-3: Velocidades Red Vial – red fuera de punta



Fuente: Elaboración propia

Por su parte, los tiempos de viajes en los modos de metro y metrotren están asociados a cada segmento de línea en el atributo us2, caracterizando el tiempo de viaje entre estaciones, información que fue entregada por el Mandante. Para el caso de Metro, dicha información corresponde a la operación de abril de 2017.

Figura 12-4: Velocidades Red Metro – red fuera de punta

Línea de Metro	Distancia (Km)	Tiempo de Viaje (min)	Tiempo Detención (min)	Velocidad Promedio (km/hr)
L1_LD-SP	18.93	27.20	11.08	29.67
L1_SP-LD	18.93	27.23	11.17	29.58
L2_LC-VN	19.61	26.90	6.85	34.86
L2_VN-LC	19.61	27.10	6.90	34.60
L4_PPA-TOB	23.23	33.10	6.47	35.23

Línea de Metro	Distancia (Km)	Tiempo de Viaje (min)	Tiempo Detención (min)	Velocidad Promedio (km/hr)
L4_TOB-PPA	23.23	32.67	6.90	35.23
L4A_LC-VM	7.67	9.48	1.85	40.63
L4A_VM-LC	7.67	9.53	1.88	40.33
L5_PM-VV	29.15	40.23	10.02	34.81
L5_VV-PM	29.15	39.80	9.45	35.52
Total general	**197.19**	**273.25**	**72.57**	34.21

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de Metrotren, la información disponible correspondió a tiempos teóricos de la temporada normal.

Las diferentes formas de estimar los tiempos de viajes del sistema se definen como un atributo (ttf) de los segmentos que conforman cada itinerario del sistema. Este atributo determina la función de tiempo de tránsito (ttf) que debe ser utilizada para estimar el tiempo de viaje.

Las funciones definidas para el modelo para los modos bus y metro son:

ttf1(bus)= (length/ul1*60)*(1+us1)

ttf2(*)= (length/speed*60)*(1+us1)

ttf3(metro-metrotren)=us2 * (1 + us1)

Dónde:

- ✓ length: distancia del arco
- ✓ ul1: velocidad del arco
- ✓ speed: velocidad de la línea
- ✓ us1: factor de congestión
- ✓ us2: tiempo de viaje del segmento de la línea

* Esta función queda definida en el proyecto, de manera que pueda ser utilizada en caso que no se cuente con información de velocidades por arco o segmento, pero si exista información a nivel de línea.

La función us1 es una función BPR que depende la ocupación del segmento con la siguiente forma funcional:

$$us1 = \propto * \left(\frac{flujo\ pasajeros\ en\ el\ segmento}{capacidad\ del\ segmento}\right)^{\beta}$$

Nótese que la componente us1 del tiempo es una componente que amplificará el tiempo de viaje, para simular el hacinamiento de los pasajeros a medida que se acerquen a la capacidad del segmento, en la modelación con restricción de capacidad. Este factor debe ser eliminado de los cálculos al momento de analizar y comparar tiempos de viaje de los usuarios entre mercados o tiempos en la red.

12.8 CONDICIONES OPERACIONALES

Para el caso del modo bus se extrajeron las condiciones operacionales según lo informado por el programa de operación (PO) de Transantiago de fecha 2017-05-06, en particular lo relacionado con datos de frecuencia y capacidad, para generar los inputs de oferta en EMME ®.

En el caso de Metro, se extrajo la información entregada por Metro correspondiente a Mayo del 2017 entregada por el Mandante.

Para el caso de Metrotren, la información fue extraída en el "Plan de Operaciones de Transporte al sistema de transporte Público de Santiago" de fecha 01 de Marzo de 2017, entregada por la empresa Metrotren a DTPM, y dispuesta al consultor en el contexto del estudio.

12.9 FUNCIÓN OBJETIVO Y PARÁMETROS DE ASIGNACIÓN

La función objetivo de costo generalizado del modelo se puede expresar de la siguiente manera:

$$F.O = \sum_{etapa\ i=1}^{n} \frac{tarifa_i^{modo}}{VST} + a_{viaje} * t_{viaje}^{i} + \alpha_{espera} * t_{espera}^{i} + \alpha_{caminata} * t_{caminata}^{i} + a_{penal.trasb,i}^{modo}$$

Donde $a_{penal.trasb,i}^{modo}$ es la penalidad por transbordo que depende del modo y la etapa en que se encuentre el viaje. Dicho valor es nulo la primera etapa del viaje y aditiva al tiempo cada vez que se realiza una siguiente etapa.

Por su parte, el tiempo de espera será una BPR la forma funcional del tiempo de espera utilizada es la que sigue:

$$BPR\ t.espera_{modo} = \alpha_{modo} * \left(\frac{subidas + flujo\ en\ el\ arco}{cap}\right)^{\beta_{modo}} + 1$$

Donde:

$cap = 60.0 * 2 * \frac{tot_cap}{head}$

$tot_cap = capacidad\ total\ del\ vehículo$

$head = headway$

Luego:

$$headway_percibido = Min\{999.0, Max\{1.0\ , BPR\ t.espera_{modo}\ \} * intervalo_segmento\}$$

Los parámetros de asignación fueron los obtenidos en el proceso de calibración de la punta mañana y se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 12-7: Parámetros de asignación

Definición de Parámetros	Valor
Valor del Tiempo ($/min)	0,01714
Peso del Tiempo de Espera	3
Peso del Tiempo de Caminata	2
Peso del Tiempo de viaje	1
α (BPR función de hacinamiento us1)	2
β (BPR función de hacinamiento us1)	4
α (Intervalo de Espera – Modo Bus)	5
β (Intervalo de Espera – Modo Bus)	1,5
α (Intervalo de Espera – Modo Metro)	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metro)	2
α (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	2
Penalidad por Transbordo Metro	8
Penalidad por Transbordo Metrotren	8
Penalidad por Transbordo Bus	15

Fuente: Modelo EMME ® DTPM 2011. *Actualizado a pesos 2016

12.10 TARIFICACIÓN

La estructura tarifaria del sistema corresponde a la tarificación integrada entre bus, metro y metrotren, donde los usuarios realizan un pago inicial al ingresar al primer servicio del sistema y si la estrategia requiere de más de una etapa de viaje, se debe pagar una tarifa de transbordo dependiendo del modo que se utilice.

Para el período de Fuera de Punta se tiene la siguiente estructura tarifaria para el sistema.

Tabla 12-8: Estructura Tarifaria Mayo 2017

Número de etapa	Modo	Modo Etapa Anterior	Tarifa
1	Bus	-	640
1	Metro	-	620
1	Metrotren	-	640
2 o 3	Bus	Bus	0
2 o 3	Bus	Metro	20
2 o 3	Bus	Metrotren	0
2 o 3	Metro	Bus	0
2 o más	Metro	Metro	0
2 o 3	Metro	Metrotren	0
2 o 3	Metrotren	Bus	0
2 o 3	Metrotren	Metro	20
2 o más	Metrotren	Metrotren	0

Fuente: Elaboración Propia

La definición del sistema tarifario modelado para el periodo fuera de punta tiene la misma configuración que la del periodo punta mañana, sólo varían los valores de pago según el modo y etapa de viaje que realice el usuario.

12.11 RESULTADOS

A partir de la construcción antes detallada, se procedió a generar un Proyecto en EMME ® incorporando todos los elementos antes descritos en un escenario de modelación. Dicho escenario será considerado como el **Escenario Base** y puede ser revisado en detalle en el Anexo 12 del capítulo. Los resultados globales del Escenario se presentan a continuación:

A continuación se presentan los resultados globales del escenario de modelación.

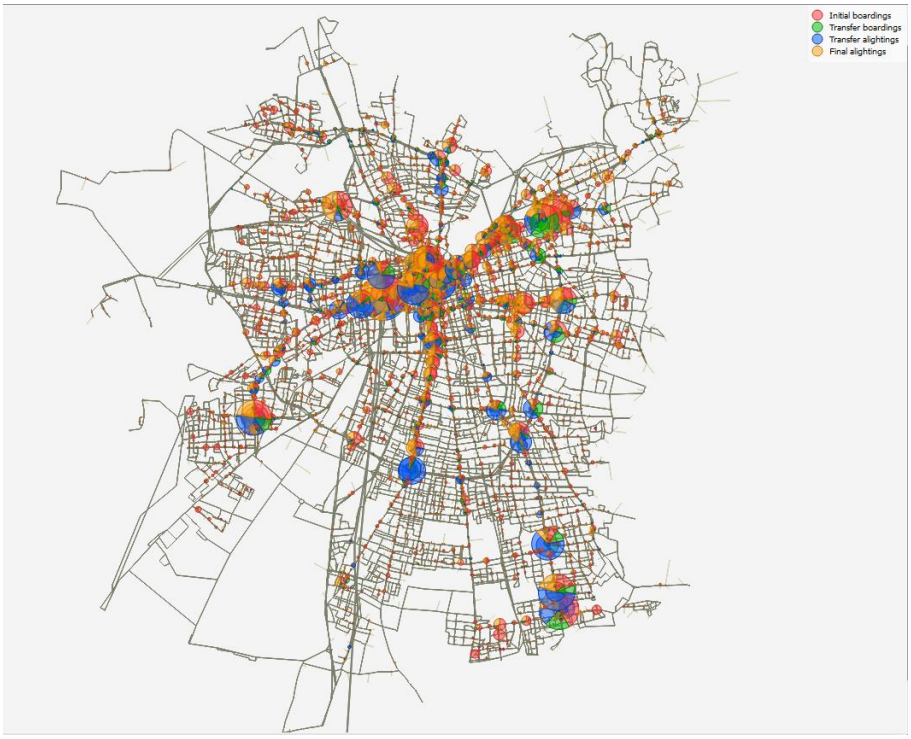
Tabla 12-9: Resultados Globales

Ítem	Etapas Matriz Estimada Bips	Escenario Base	Variación % Esc Base/Datos Obs
Etapas Buses	167.281	190.608	14%
Etapas Metro	112.824	97.225	-14%
Etapas Metro (con transbordo metro metro)		100.379	
Total Etapas (sin transbordo metro metro)	280.105	287.833	3%
Matriz de viajes	210.150	210.150	0%
Etapas de viaje por Bip	1,33	1,43	7%
Etapas caminando	0	6.676	

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

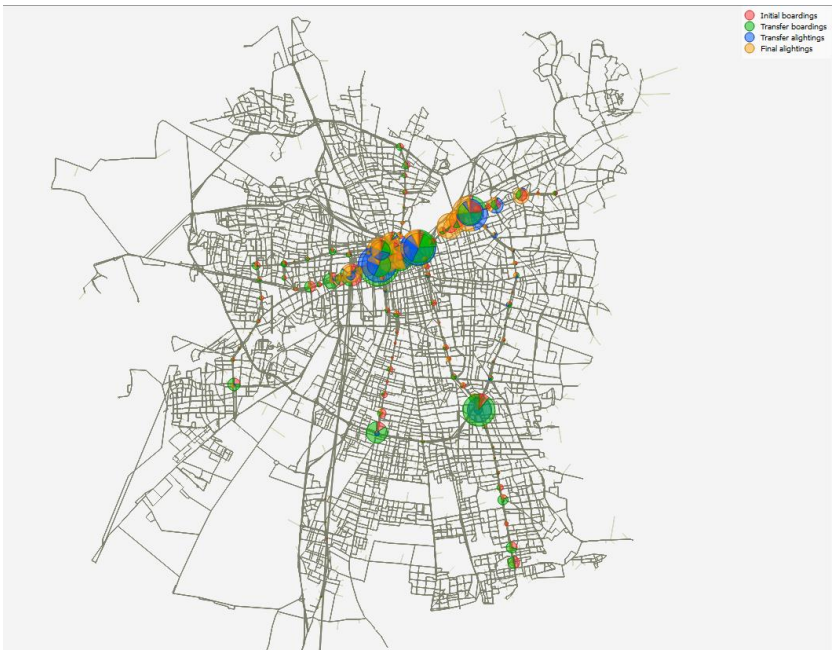
Se observa un desequilibro entre las etapas de metro y las de bus, el modelo tiende a sobre estimar las de bus y subestimar las de metro.

Figura 12-5: Subidas y Bajadas Escenario Base - buses



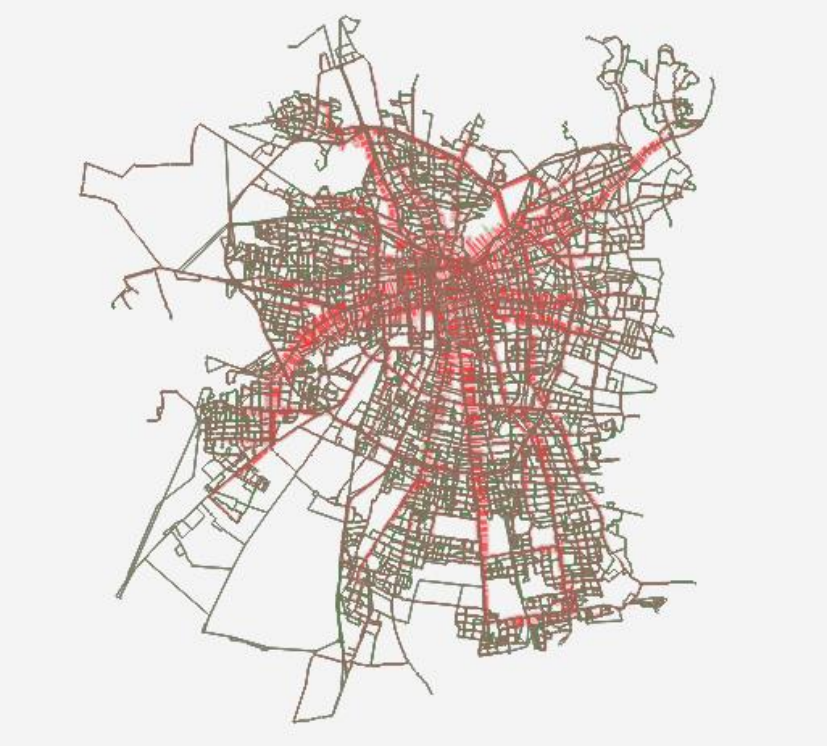
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-6: Subidas y Bajadas Escenario Base - Metro



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-7: Flujos modelados en la red buses – Escenario Base



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-8: Flujos modelados en la red metro y metrotren – Escenario Base



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-9: Flujos Peatonales modelados en la red vial – Escenario Base



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

A continuación se presentan las etapas por Unidad de Negocio y los transbordos entre modos y entre Unidades de Negocio. La información de etapas es comparada con los datos observados, provenientes de la matriz estimada.

Tabla 12-10: Resultados Etapas por Unidad de Negocio

Etapas por UN	Etapas Matriz Estimada Bips	Escenario Base	Variación % Esc Base/Datos Obs
U1	20.788	23.479	13%
U2	28.254	35.916	27%
U3	30.208	31.545	4%
U4	30.387	37.844	25%
U5	29.211	33.883	16%
U6	15.243	16.185	6%
U7	11.526	11.764	2%

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

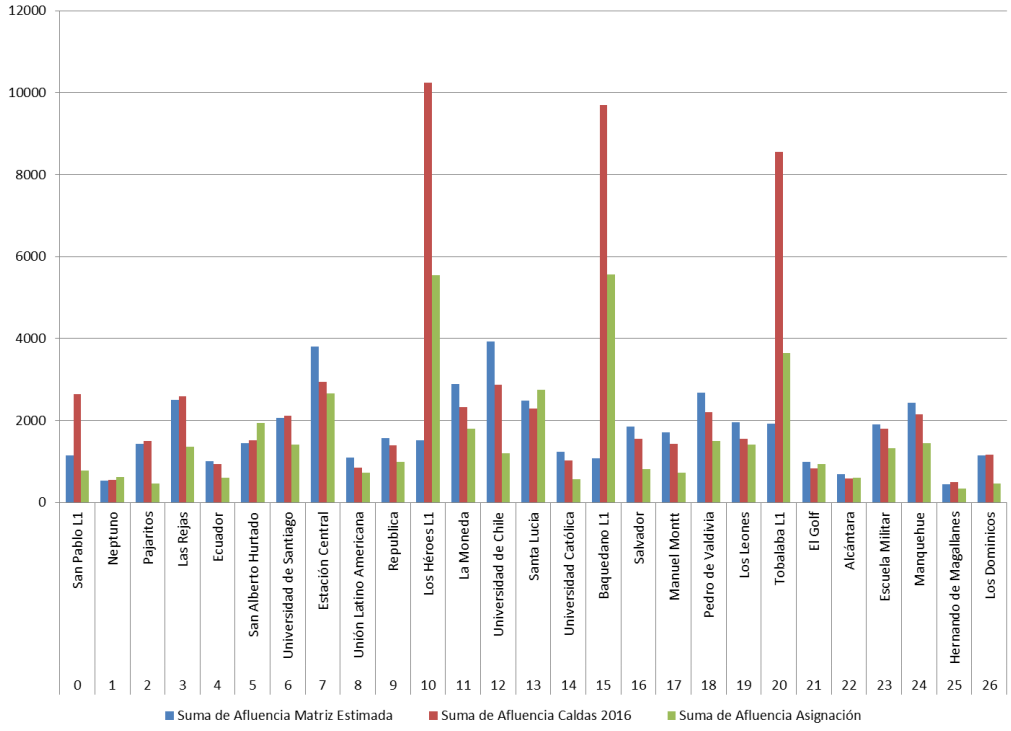
Tabla 12-11: Transbordos entre Modos

Etapas Transbordo	Etapas Matriz Estimada Bips	Escenario Base	Variación % Esc Base/Datos Obs
Bus-Bus	20.342	22.345	10%
Bus-Metro	38.574	33.811	-12%
Metro-Metro		102.384	
Metro-Bus	11.299	9.309	-18%
Bus-Metrotren	244	446	83%
Metro-Metrotren	205	136	-34%
Metrotren-Bus	67	119	78%
Metrotren-Metro	776	740	-5%

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

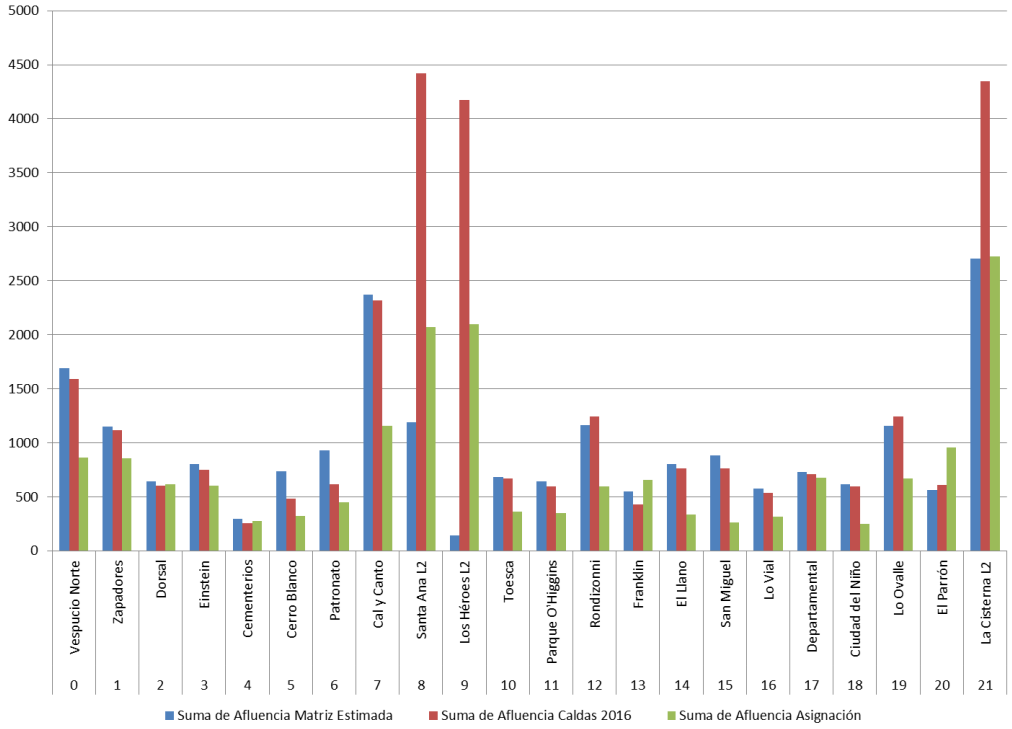
A continuación se presentan un comparativo de subidas por estación y perfiles de carga para Metro.

Figura 12-10: Afluencia Línea 1



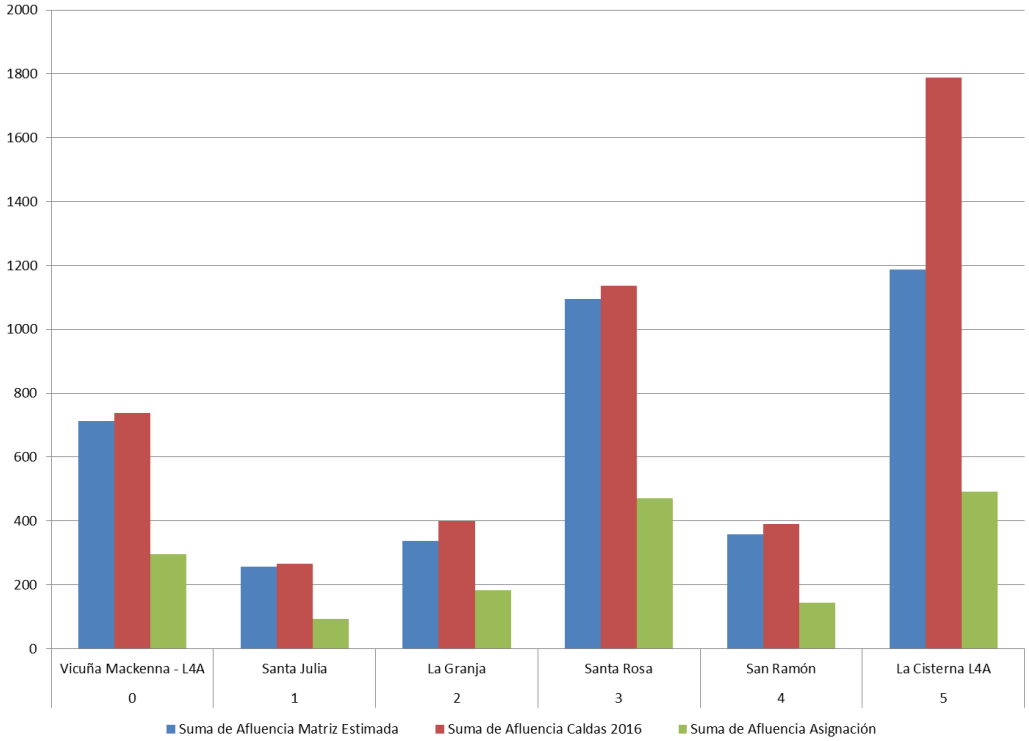
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-11: Afluencia Línea 2



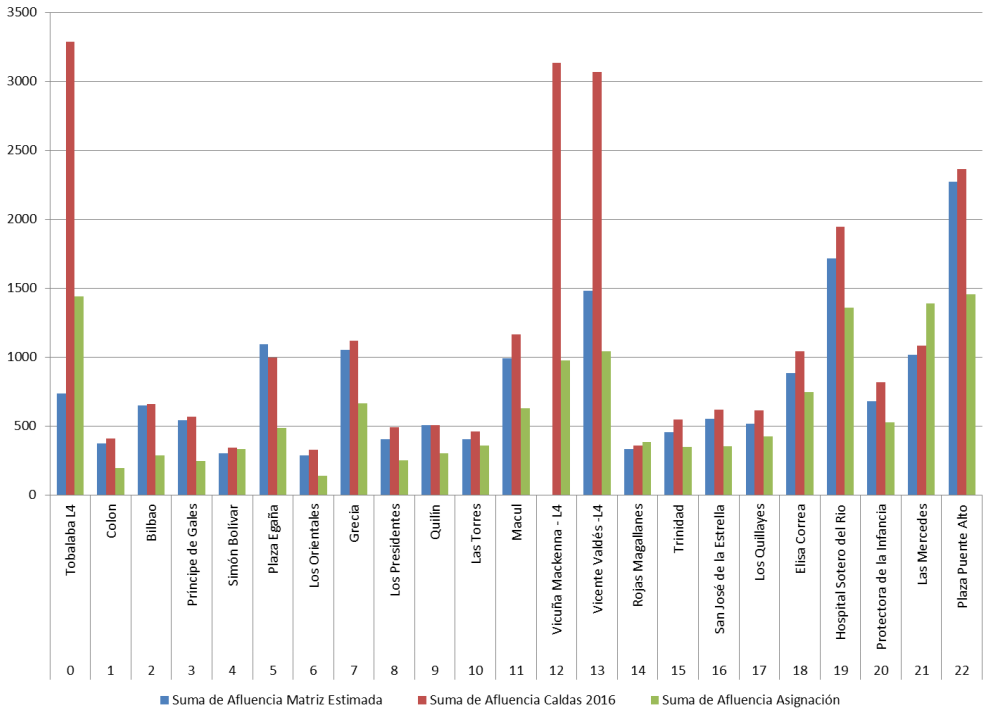
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-12: Imagen. Afluencia Línea 4A



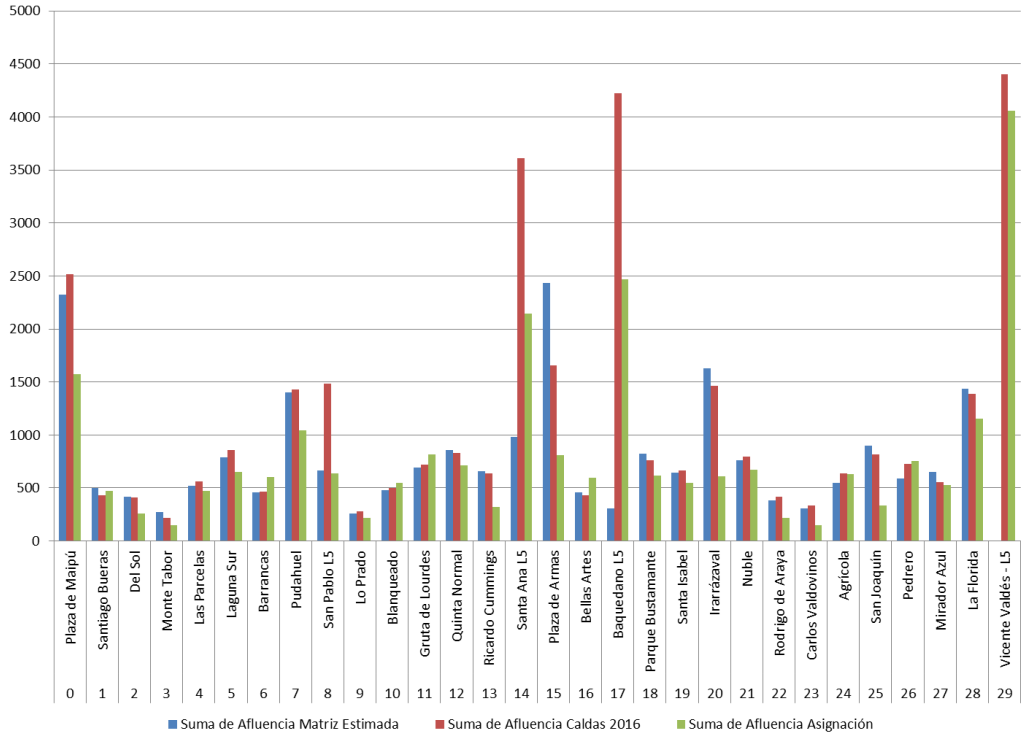
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-13: Imagen. Afluencia Línea 4



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-14: Afluencia Línea 5

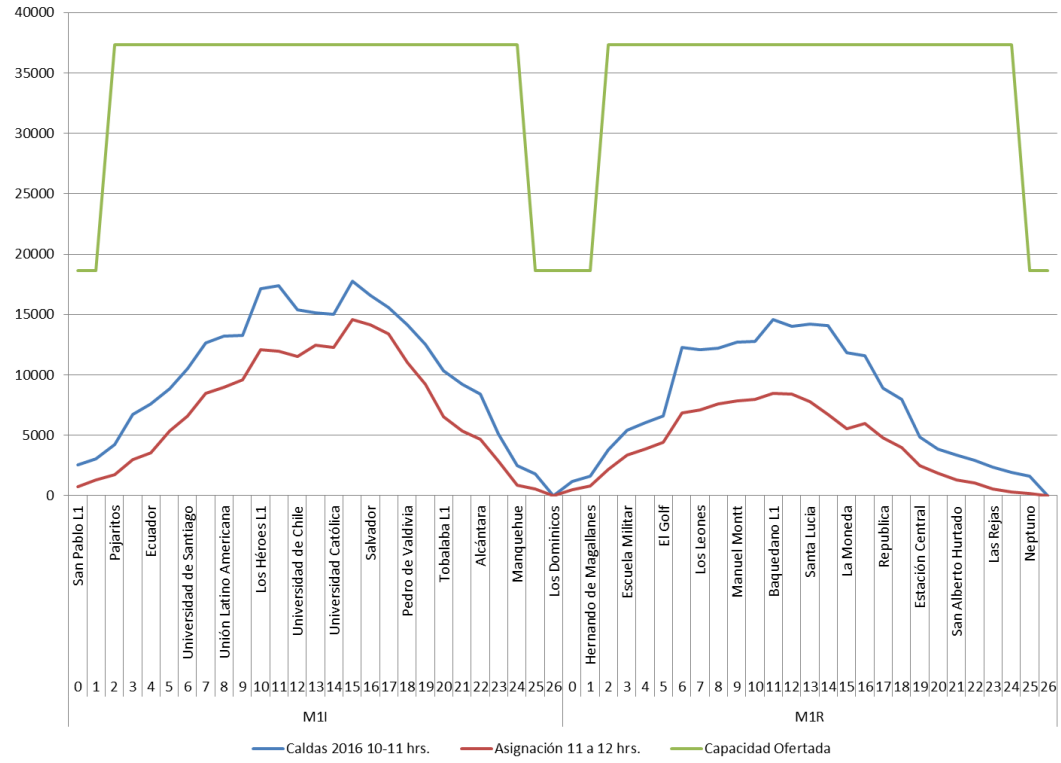


Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observa que los niveles de afluencia del modelo están sistemáticamente subestimados, sugiriendo que se necesita un ajuste de parámetros específico para el período.

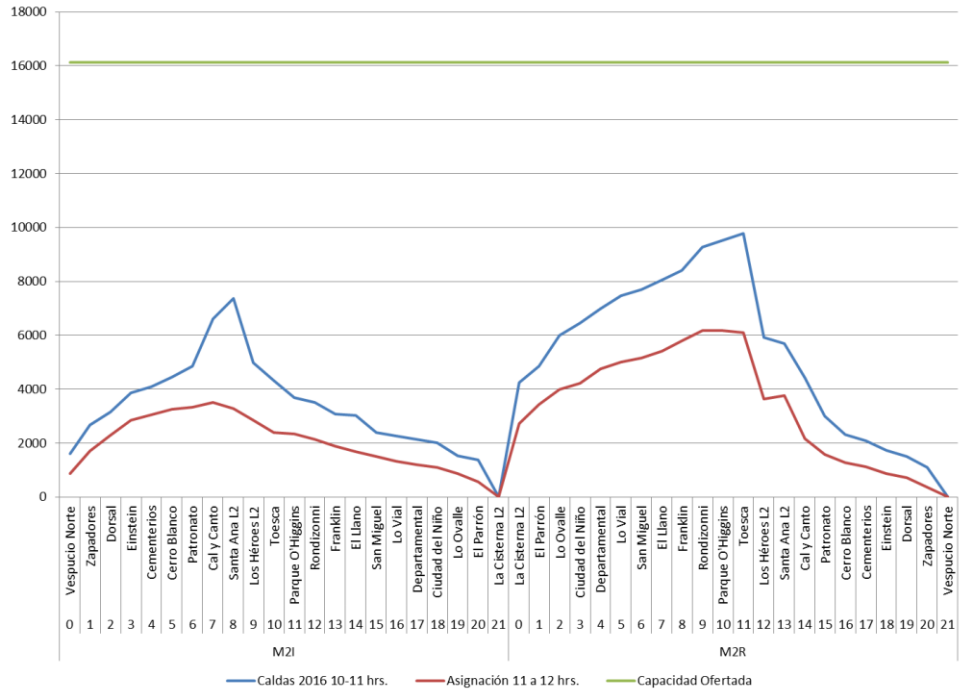
A continuación se presentan los perfiles de carga por línea sentido.

Figura 12-15: Perfil de Carga L1



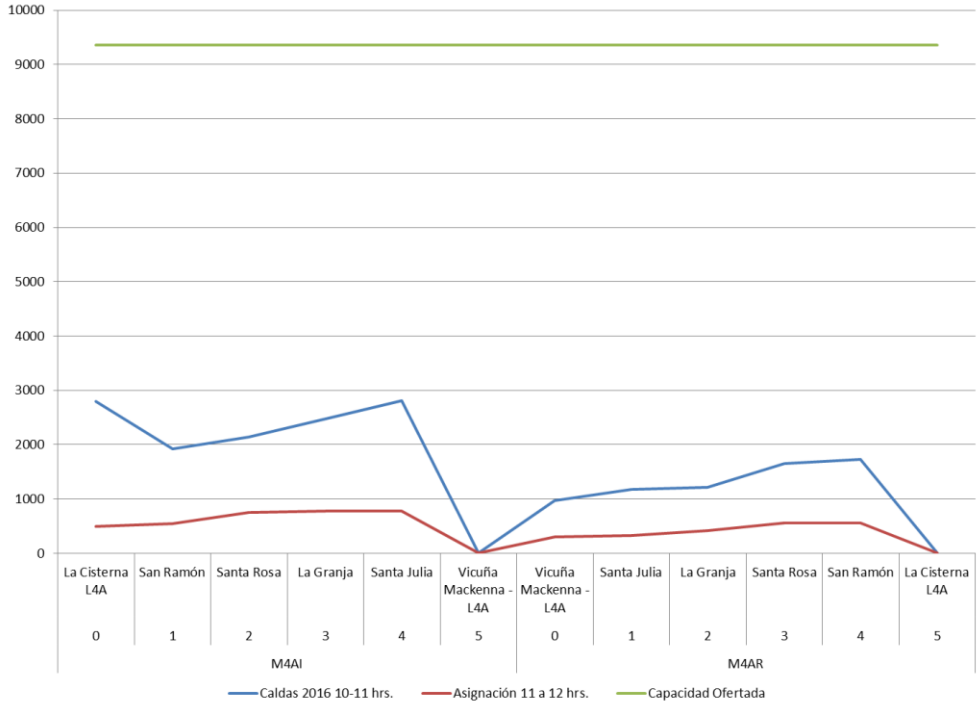
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-16: Perfil de Carga L2



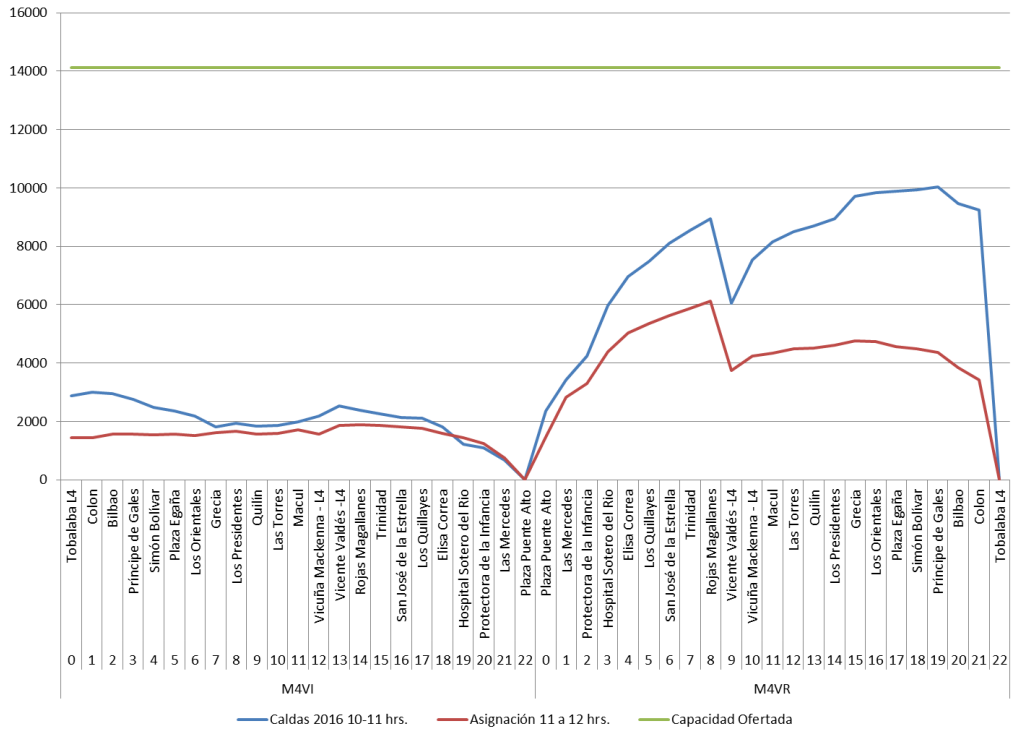
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-17: Perfil de Carga L4A



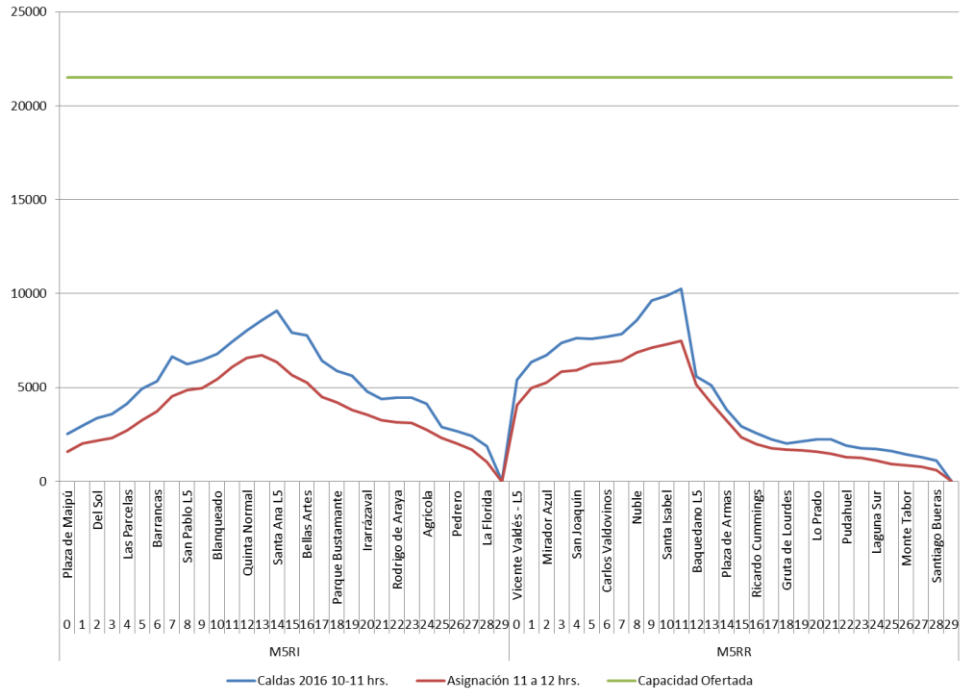
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-18: Perfil de Carga L4



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-19: Perfil de Carga L5

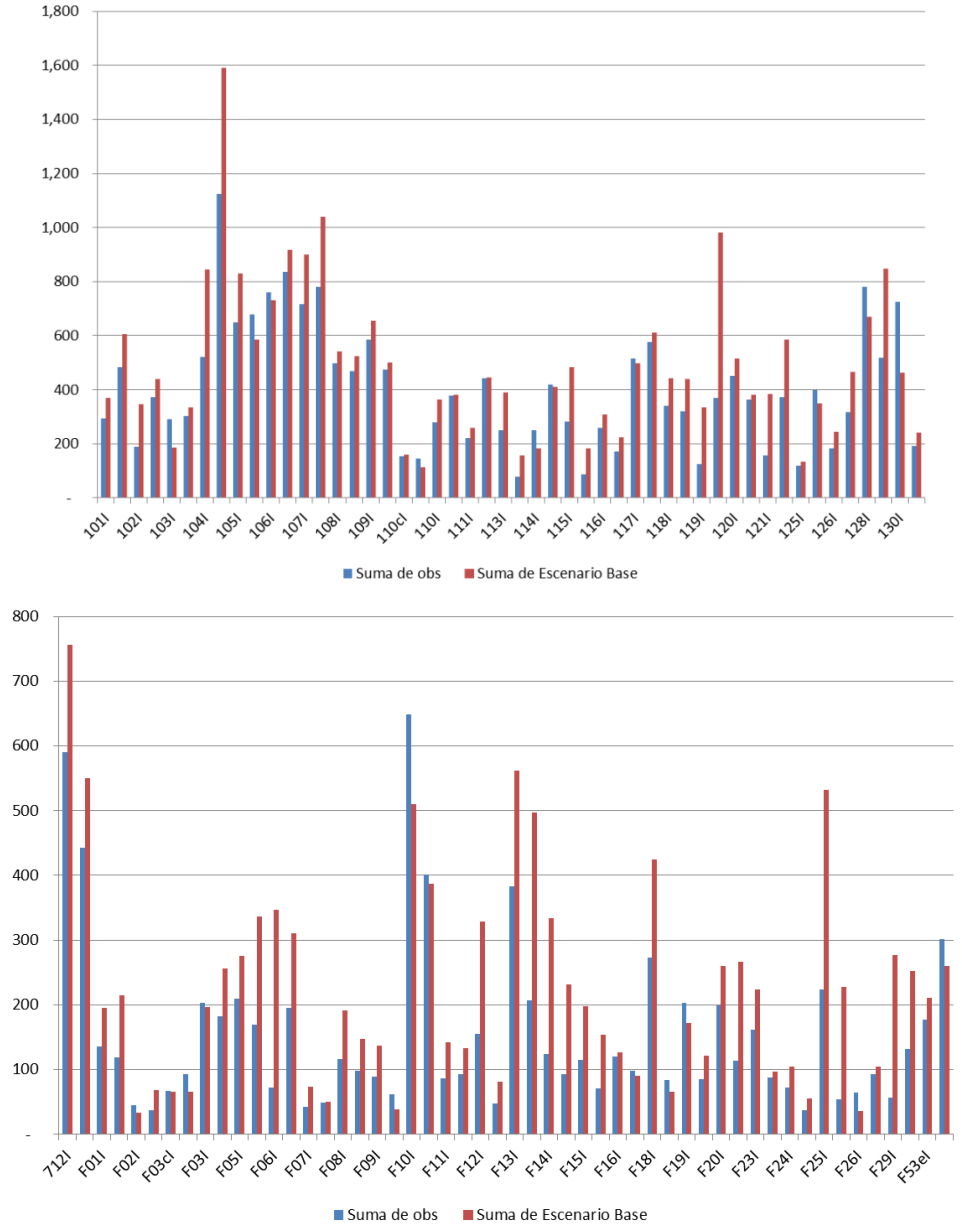


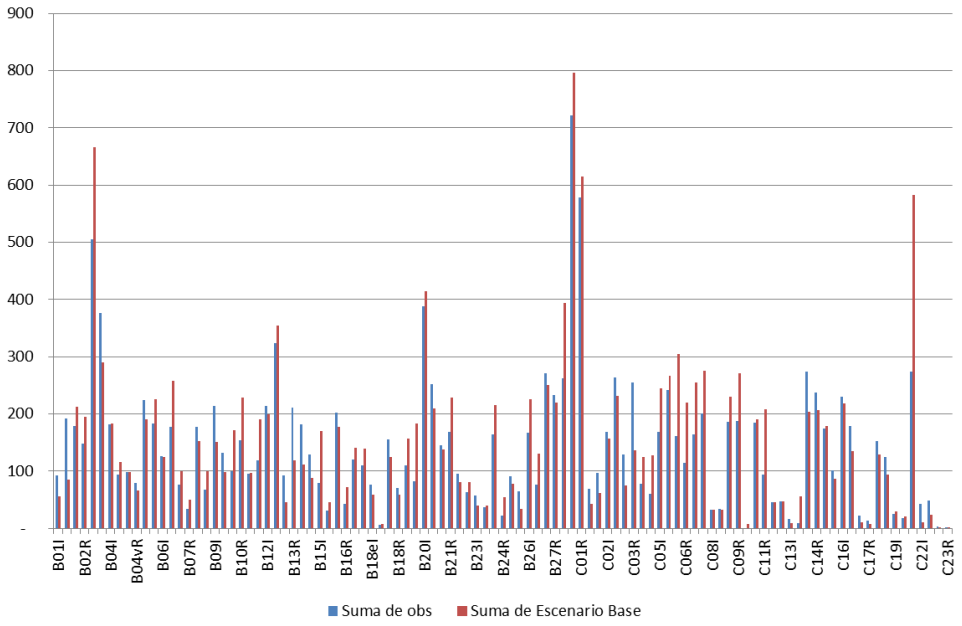
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

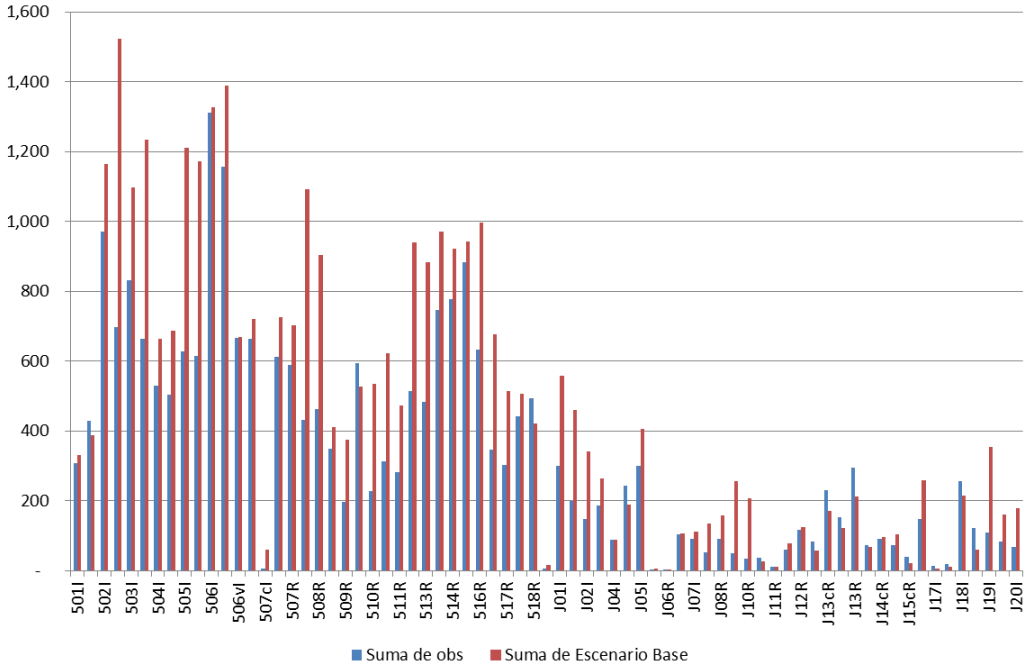
En todas las líneas se observan ajustes de perfiles de carga son peores que en la punta mañana. Esto puede deberse a que el perfil de caldas es una hora antes que el de la hora de modelación o bien porque el modelo requiere su propia calibración.

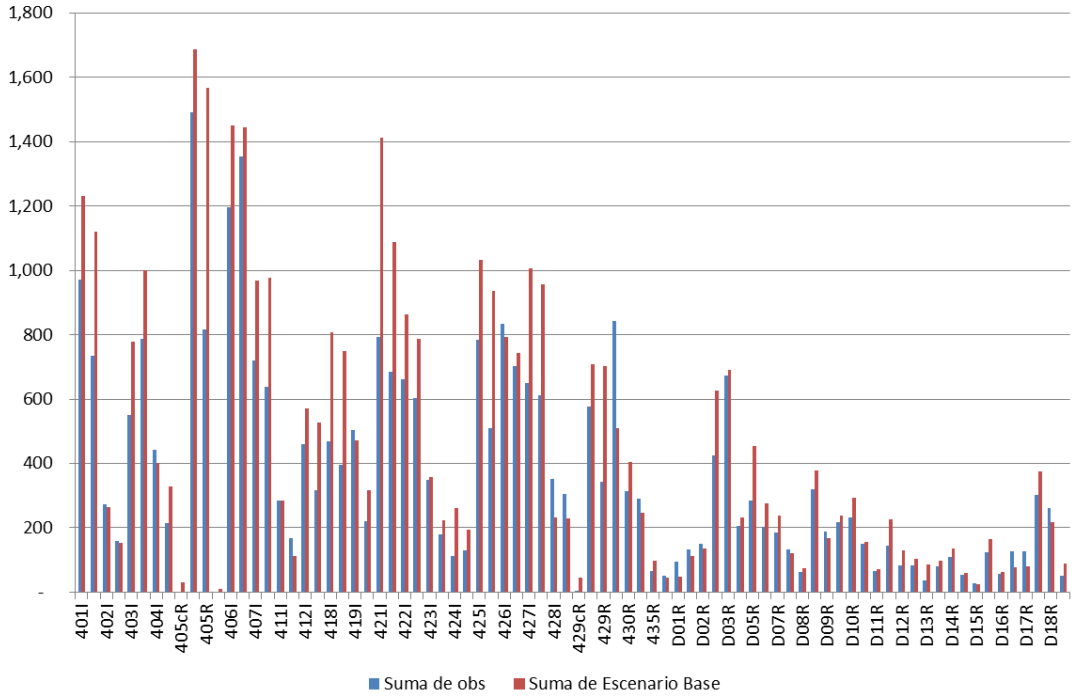
En el siguiente análisis se compara las etapas a nivel de servicio para el escenario base.

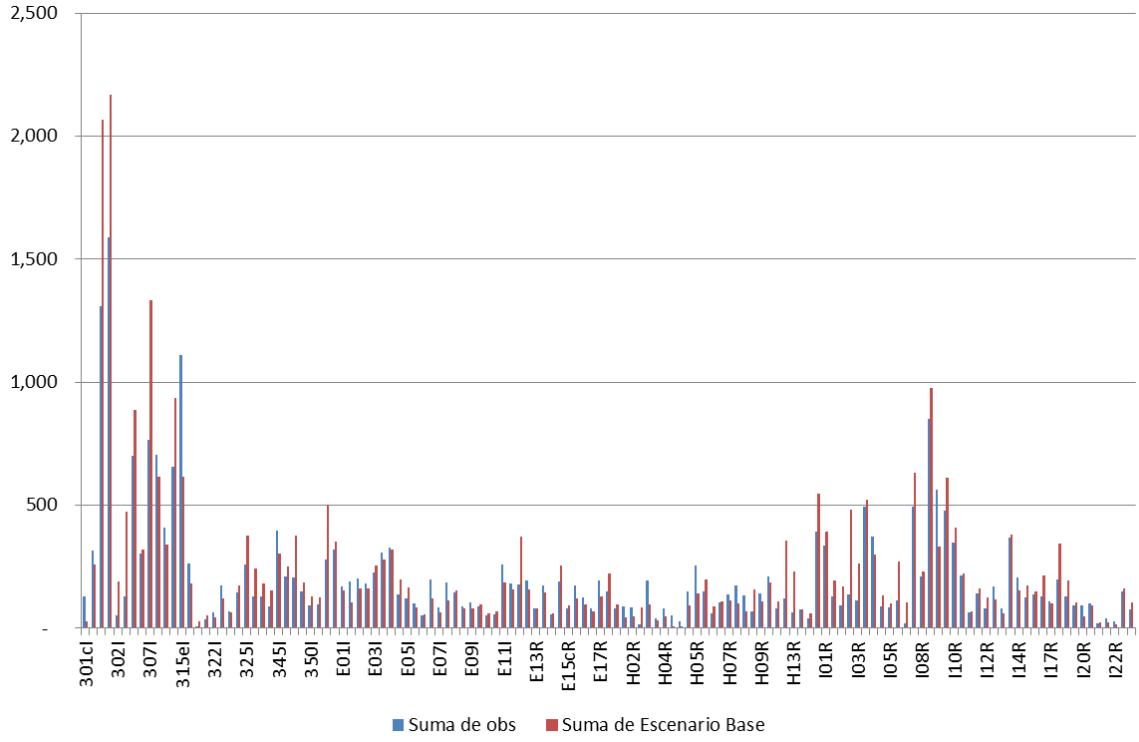
Figura 12-20: Comparación de Etapas de Buses comparadas-Escenario Base

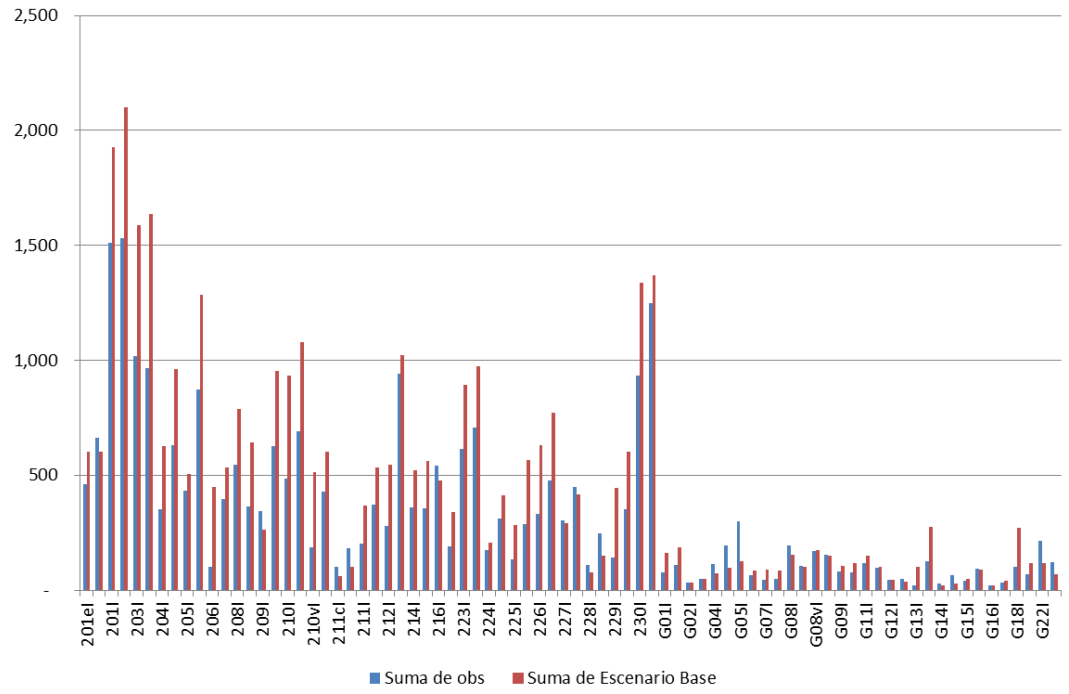



900
800
700
600
500
400
300
200
100
-
B01I B02R B04I B04vR B06I B07R B09I B10R B12I B13R B15I B16R B18eI B18R B20I B21R B23I B24R B26I B27R C01R C02I C03R C05I C06R C08I C09R C11R C13I C14R C16I C17R C19I C22I C23R
Suma de obs
Suma de Escenario Base


1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
-
501I 502I 503I 504I 505I 506I 506vI 507cI 507R 508R 509R 510R 511R 513R 514R 516R 517R 518R J01I J02I J04I J05I J06R J07I J08R J10R J11R J12R J13cR J13R J14cR J15cR J17I J18I J19I J20I
Suma de obs
Suma de Escenario Base

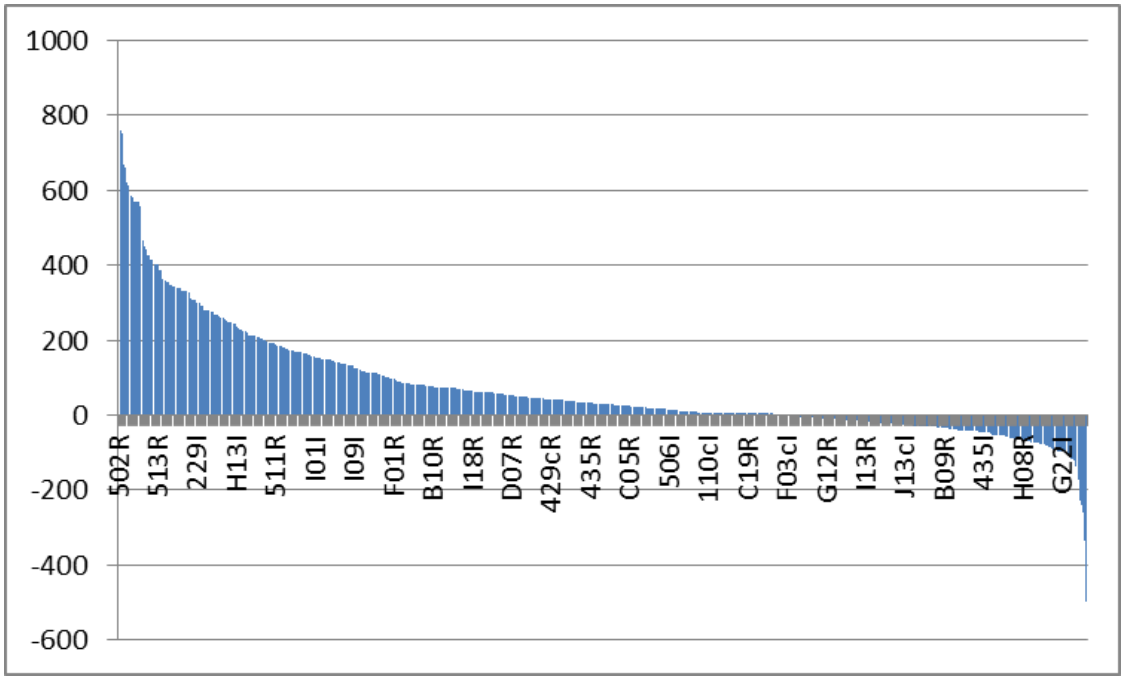

1,800
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
-
401I 402I 403I 404I 405cR 405R 406I 407I 411I 412I 418I 419I 421I 422I 423I 424I 425I 426I 427I 428I 429cR 429R 430R 435R D01R D02R D03R D05R D07R D08R D09R D10R D11R D12R D13R D14R D15R D16R D17R D18R
Suma de obs
Suma de Escenario Base


2,500
2,000
1,500
1,000
500
-
301cI 302I 307I 315eI 322I 325I 345I 350I E01I E03I E05I E07I E09I E11I E13R E15cR E17R H02R H04R H05R H07R H09R H13R I01R I03R I05R I08R I10R I12R I14R I17R I20R I22R
Suma de obs
Suma de Escenario Base



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 12-21: Diferencia etapas observadas vs modeladas.



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observa una sobre estimación de etapas en bus sistemática en la modelación.

El siguiente análisis que se presenta, tiene relación con las componentes del tiempo de viaje del sistema.

Tabla 12-12: Comparación de Niveles de servicio (min)

	ADATRAP	Escenario Base
Tiempo Caminata	0,42	14.22
Tiempo Espera	2,21	2.94
Tiempo vehículo	26,74	22.20
Tiempo de Viaje	29,38	39.36
Distancia promedio de viaje		9.09

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Cabe mencionar que la información consignada en ADATRAP, para el tiempo de caminata solo considera las caminatas en los transbordos, pues no contiene el acceso y egreso del viaje, de modo que el valor esta intrínsecamente subestimado. Por otra parte, el valor de tiempo de espera en ADATRAP también está subestimado, pues solo considera la espera en el transbordo, no incorporando la espera de la primera etapa.

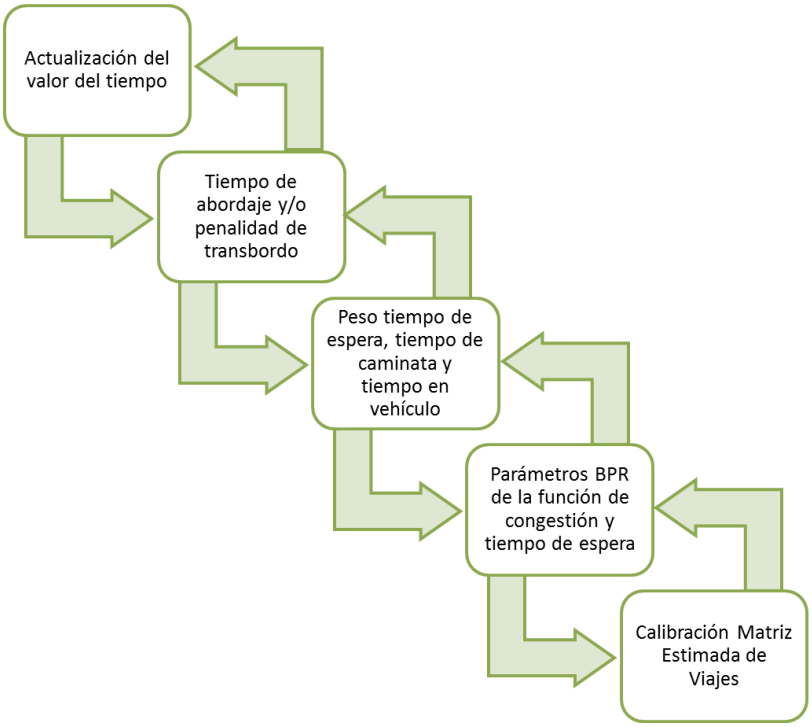
Al analizar los resultados del modelo fuera de punta, se observa la necesidad de calibrar el modelo con parámetros propios. Por lo que en el próximo capítulo se aborda la calibración del modelo fuera de punta.

13CALIBRACIÓN MODELO FUERA DE PUNTA

13.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se reporta el proceso de calibración de parámetros de asignación y de la matriz de viajes estimada para este periodo. La metodología utilizada es la misma que fue definida para la calibración del modelo de asignación del periodo punta mañana, en la que en primera instancia se calibran los parámetros de asignación considerando los datos reportados en la matriz de viajes estimada y posteriormente, se ajusta la matriz de viajes utilizando los aforos medidos en agosto del 2017 en el periodo fuera de punta.

Figura 13-1: Flujo Calibración del Modelo



Fuente: Elaboración propia

13.2 PROCESO DE CALIBRACIÓN

El siguiente acápite presenta los resultados de cada paso del proceso de calibración.

13.2.1 Ajuste por Valor del tiempo

Para este periodo de modelación, el valor subjetivo del tiempo fue estimado a partir de la relación que existe entre el valor de tiempo del periodo punta mañana y el fuera de punta. Para ello se analizaron los motivos de viaje del modelo estratégico de Santiago en donde se observa que en fuera de punta predomina el motivo de viaje Otros, por sobre Trabajo y estudio por lo que se espera una disminución del VST. En los parámetros del modelo de partición modal de ESTRAUS se observa que la relación entre el VST motivo Otros y el VST motivo Trabajo es del orden de 1/5.

De acuerdo a los antecedentes expuestos, se define el valor del tiempo para el periodo Fuera de punta como la quinta parte del valor del tiempo calibrado para el periodo punta mañana. A partir de los resultados obtenidos en este escenario, son ajustados otros parámetros de asignación.

Tabla 13-1: Parámetros de asignación escenarios de modelación

Definición de Parámetros	Escenario 4	Escenario 5
Valor del Tiempo (min/$)	0,01714	**0.857**
Peso del Tiempo de Espera	3	3
Peso del Tiempo de Caminata	2	2
Peso del Tiempo de Abordaje	1	1
α (BPR función de hacinamiento)	2	2
β (BPR función de hacinamiento)	4	4
α (Intervalo de Espera – Modo Bus)	5	5
β (Intervalo de Espera – Modo Bus)	1,5	1,5
α (Intervalo de Espera – Modo Metro)	1,5	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metro)	2	2
α (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	1,5	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	2	2
Penalidad por Transbordo Metro	8	8
Penalidad por Transbordo Metrotren	8	8
Penalidad por Transbordo Bus	15	15

Fuente: Modelo EMME ® DTPM 2011. *Actualizado a pesos 2016

El valor seleccionado fue de a 0.0857 min/$ equivalente a 11.67$/min.

Los resultados de etapas por Unidad de Negocio obtenidos a partir de esta modificación son:

Tabla 13-2: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori

UN	Etapas Estimación de Bajada	Etapas Matriz a priori	Escenario 4 Base	Escenario 5 VST 0.0857 (min/$)
U1	15,526	20,788	22,644	18,587
U2	21,257	28,254	33,466	27,305
U3	22,182	30,208	30,633	24,892
U4	25,428	30,387	35,133	28,140
U5	23,782	29,211	32,717	27,077
U6	13,589	15,243	16,013	12,847
U7	7,817	11,526	11,800	9,889
Sin UN	2,347	1,663	0	0
Etapas Bus	131,927	167,280	182,406	148,737
Metro	92,290	112,824	87,031	83,239
Metrotren	1,580	1,659	1,632	1,636
Total Etapas	225,798	281,764	271,069	233,612
Viajes Asignados	165,498	210,150	210,150	210,150
Etapas Viaje	1.36	1.34	1.35	1.39
Viajes Caminata	0	0	8,066	40,704
R2 Afluencia Metro		-	0.682	0.681
R2 Aforos Buses		-	0.821	0.805

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

El cambio del valor subjetivo del tiempo tuvo un efecto importante en los viajes que resuelven el viaje utilizando exclusivamente el modo caminata, aumentando en más de 30.000 viajes. Además, se observa una subestimación en las etapas asignadas a metro, respecto a los datos estimados en la matriz a priori. En el caso de las etapas asignadas a bus por unidad de negocio, muestran una distribución acorde a las estimadas en la matriz a priori.

En consideración con lo anterior, se requiere ajustar al menos el peso de tiempo de espera, peso de tiempo de caminata y penalidad de transbordo, de manera de lograr minimizar los viajes que se resuelven en modo caminata y corregir la subestimación de etapas asignadas a metro, según los datos estimados a partir de la matriz a priori.

13.2.2 Ajuste Peso Tiempo de Espera, Peso Tiempo de Caminata y Penalidades de Transbordo

El ajuste del peso del tiempo de espera, peso de tiempo de caminata y penalidad de transbordo busca replicar las etapas por modo y unidad de negocio estimadas en la matriz a priori para el periodo fuera de punta mañana. En este apartado se muestran los principales resultados del proceso de ajuste de los parámetros antes mencionados.

Tabla 13-3: Parámetros de asignación escenarios de modelación

Definición de Parámetros	Escenario 4 Base	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7
Valor del Tiempo (min/$)	0,01714	0,0857	0,0857	0,0857
Peso del Tiempo de Espera	2	2	2	2
Peso del Tiempo de Caminata	2	2	3	3
Peso del Tiempo de Abordaje	1	1	1	1
α (BPR función de hacinamiento)	2	2	2	2
β (BPR función de hacinamiento)	4	4	4	4
α (Intervalo de Espera – Modo Bus)	5	5	5	5
β (Intervalo de Espera – Modo Bus)	1,5	1,5	1,5	1,5
α (Intervalo de Espera – Modo Metro)	1,5	1,5	1,5	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metro)	2	2	2	2
α (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	1,5	1,5	1,5	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	2	2	2	2
Penalidad por Transbordo Metro	8	8	8	8
Penalidad por Transbordo Metrotren	8	8	8	8
Penalidad por Transbordo Bus	15	15	15	15
Penalidad por Abordar Bus Etapa 1	0	0	0	15
Penalidad por Abordar Metro Etapa 1	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de ajustar el valor del tiempo en el periodo fuera de punta, se calibró el peso del tiempo de caminata pasando de 2 a 3, con el fin de reducir los viajes que se resuelven utilizando solo el modo caminata, pero sin aumentar desproporcionadamente el número de etapas por viaje.

El ajuste anterior, tuvo como efecto un aumento en la proporción de etapas asignadas a bus, respecto a las asignadas a metro. Para corregir esta proporción, se incorporó una penalidad de abordar a bus en primera etapa, haciendo más atractivo abordar a metro en primera etapa.

Los resultados obtenidos a partir de esta modificación son los siguientes:

Tabla 13-4: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori

UN	Etapas bips	Etapas Matriz a priori	Escenario 4 Base	Escenario 5 Ajuste VST	Escenario 6 Peso Caminata	Escenario 7 Pen. Bus	Variación Esc7-A priori
U1	15,526	20,788	22,644	18,587	24,382	21,513	3.49%
U2	21,257	28,254	33,466	27,305	35,157	29,111	3.03%
U3	22,182	30,208	30,633	24,892	40,240	34,876	15.45%
U4	25,428	30,387	35,133	28,140	38,898	29,445	-3.10%
U5	23,782	29,211	32,717	27,077	38,333	32,124	9.97%
U6	13,589	15,243	16,013	12,847	21,577	20,119	31.99%
U7	7,817	11,526	11,800	9,889	13,634	12,069	4.71%
Sin UN	2,347	1,663	0	0	0	0	-
Etapas Bus	**131,927**	**167,280**	**182,406**	**148,737**	**212,221**	**179,257**	7.16%
Metro	**92,290**	**112,824**	**87,031**	**83,239**	**81,069**	**100,462**	-10.96%
Metrotren	1,580	1,659	1,632	1,636	2,017	2,288	37.91%
Total Etapas	225,798	281,764	271,069	233,612	295,307	282,007	0.09%
Viajes Asignados	**165,498**	**210,150**	**210,150**	**210,150**	**210,150**	**210,150**	0.00%
Etapas Viaje	**1.36**	**1.34**	**1.35**	**1.39**	**1.55**	**1.52**	13.34%
Viajes Caminata	**0**	**0**	**8,066**	**40,704**	**18,253**	**23,561**	-
R^2 Afluencia Metro			0.682	0.681	0.604	0.731	-
R^2 Aforos Buses			0.821	0.805	0.804	0.738	-

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

De acuerdo a los resultados obtenidos, los parámetros definidos en el escenario 7 son los utilizados para el proceso de ajuste por conteo de la matriz a priori. Es en este escenario en donde se logra replicar el número de etapas estimadas en la matriz a priori. Si bien, existe una subestimación de las etapas asignadas a metro respecto a las estimadas en la matriz a priori, esta diferencia es posible corregirla en el proceso de ajuste de la matriz por conteo.

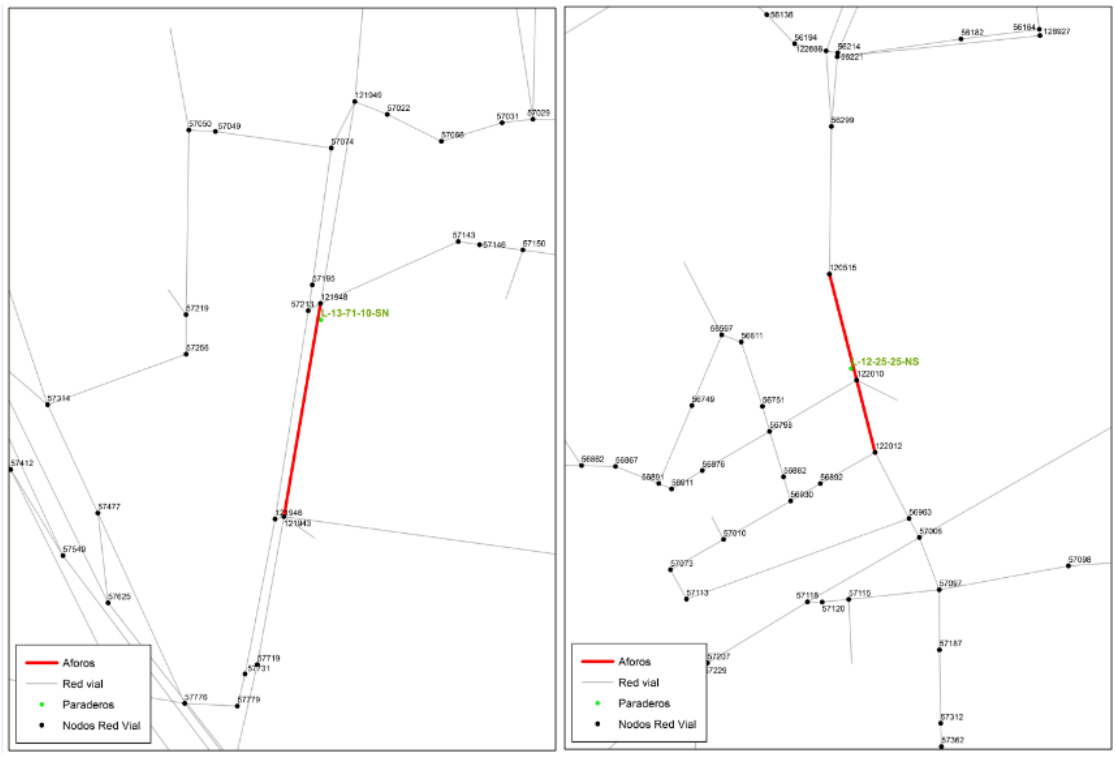
13.2.3 Ajuste de matriz por conteo

Como último paso, sobre este nuevo escenario de red se ejecutó el proceso de ajuste de la matriz a los conteos medidos dispuestos por el Mandante. Dicha información fue recolectada en Agosto de 2017 en diferentes puntos y paradas de la ciudad en el periodo Punta Mañana. Estas mediciones son parte del estudio "*Elaboración de Indicadores de Desempeño del Sistema de Transporte Público de santiago, III Etapa*" correspondiente a la Orden de Trabajo N°1 "Medición Tasa de Ocupación de Buses". Las mediciones de TOC (Tasa de Ocupación) se realizaron en 144 puntos distribuidos en toda la red del SITP, para los periodos Punta Mañana y Punta Tarde. Los puntos medidos, se dividieron en mediciones de arcos y paraderos, en este úitmo caso se registró la TOC antes y después de la parada. En cada punto se registró la TOC de todos los buses observados, de acuerdo a los niveles de ocupación (10 niveles) definidos para el estudio.

La información de conteo fue incorporada en el modelo a nivel de arco, de acuerdo a los siguientes criterios:

- Verificación que el nodo posee asignación de parada en la secuencia de itinerarios
- Si la medición es de tipo arco, se asigna el aforo al arco anterior y más cercano a este.
- Si la medición es de tipo parada, se asigna el conteo al arco anterior y posterior del nodo asignado a dicha parada.

Figura 13-2: Gráfico de comparación de asignación de conteos



Fuente: Elaboración Propia

Los puntos de aforos en el periodo fuera de punta son los mismos registrados para el periodo punta mañana, por lo que se utilizó la misma asignación de conteo a arcos de la red vial. En el caso de del periodo fuera de punta mañana, se dispone de 149 arcos con aforo asignado.

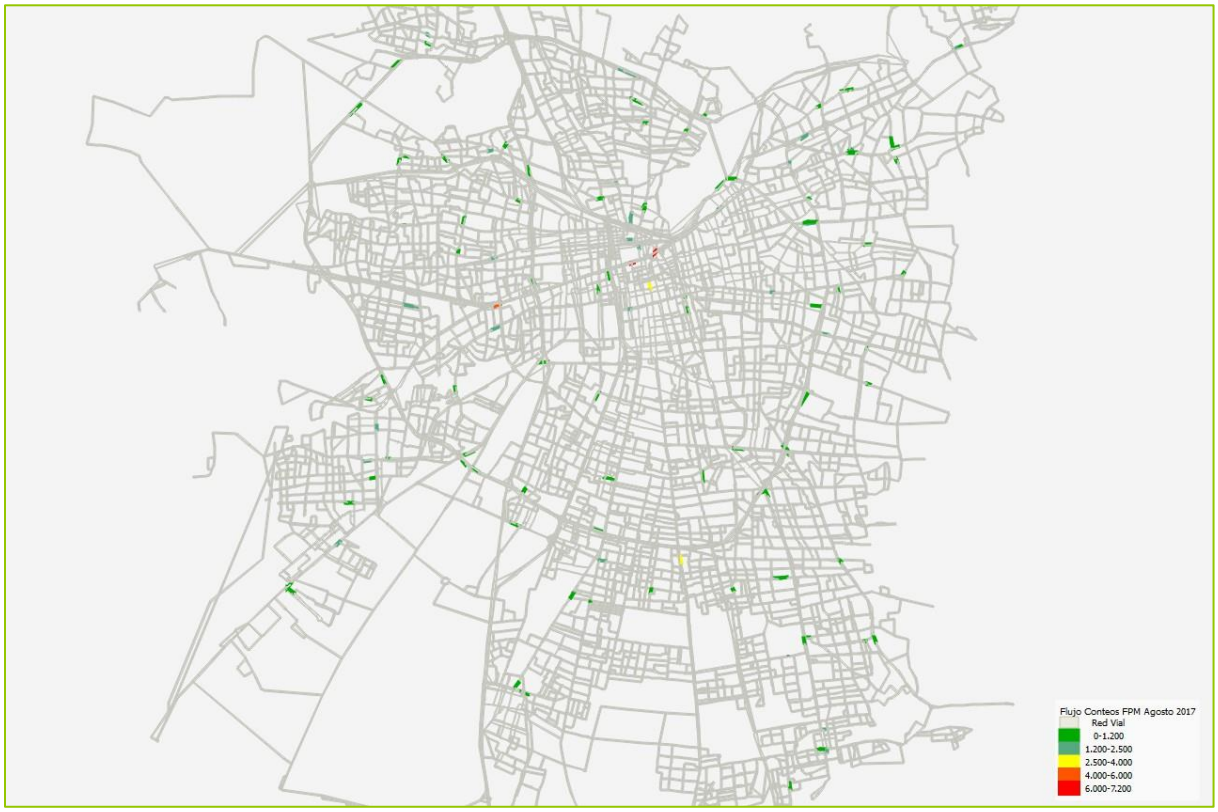
Figura 13-3: Gráfico Asignación de conteos a la red



Fuente: Elaboración Propia

En el modelo de asignación el valor del conteo queda registrado en un atributo extra de arco (o "links") llamado "@count" creado específicamente para almacenar estos valores.

Figura 13-4: Gráfico Volumen de conteos en arcos



Fuente: Elaboración Propia

El objetivo del ajuste fue encontrar una matriz que manteniendo su estructura se ajuste a los conteos lo mejor posible. El Alpha que reunía esos criterios fue 0.001.

El proceso de ajuste de la matriz considera 15 iteraciones con restricción de capacidad. La parametrización del modelo de asignación con restricción de capacidad con que se realizó el ajuste, tuvo la siguiente especificación:

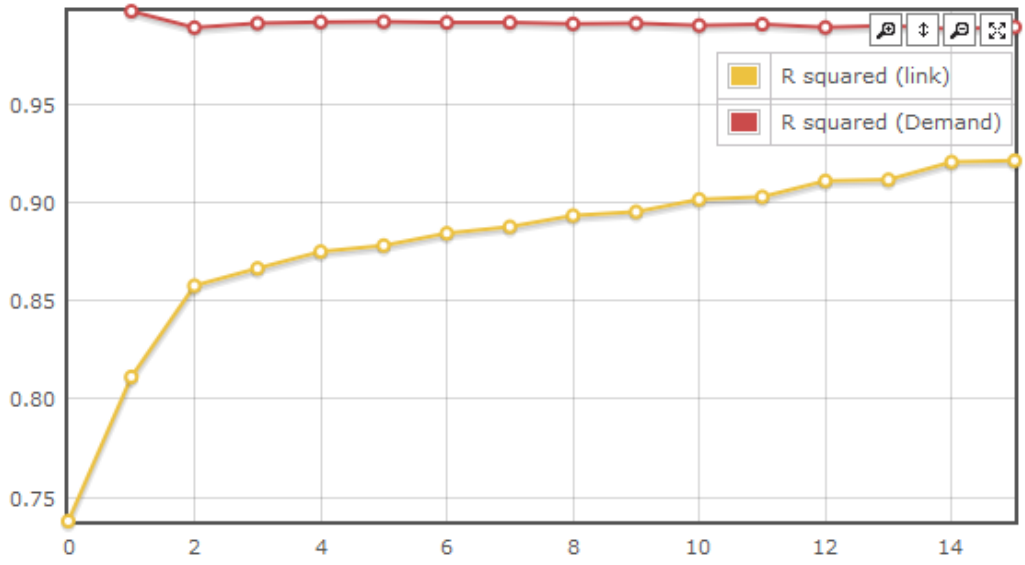
Tabla 13-5: Parámetros de asignación escenarios de modelación

Definición de Parámetros	Escenario 8
Matriz	**Asignación con Restricción de Capacidad Matriz Ajustada – mf7**
Valor del Tiempo ($/min)	0,0857
Peso del Tiempo de Espera	2
Peso del Tiempo de Caminata	3
Peso del Tiempo de Abordaje	1
α (BPR función de hacinamiento)	2
β (BPR función de hacinamiento)	4
α (Intervalo de Espera – Modo Bus)	5
β (Intervalo de Espera – Modo Bus)	1,5
α (Intervalo de Espera – Modo Metro)	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metro)	2
α (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	2
Penalidad por Transbordo Metro	8
Penalidad por Transbordo Metrotren	8
Penalidad por Transbordo Bus	15
Penalidad por Abordar Bus Etapa 1	15
Penalidad por Abordar Metro Etapa 1	0

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta el gráfico de convergencia del proceso.

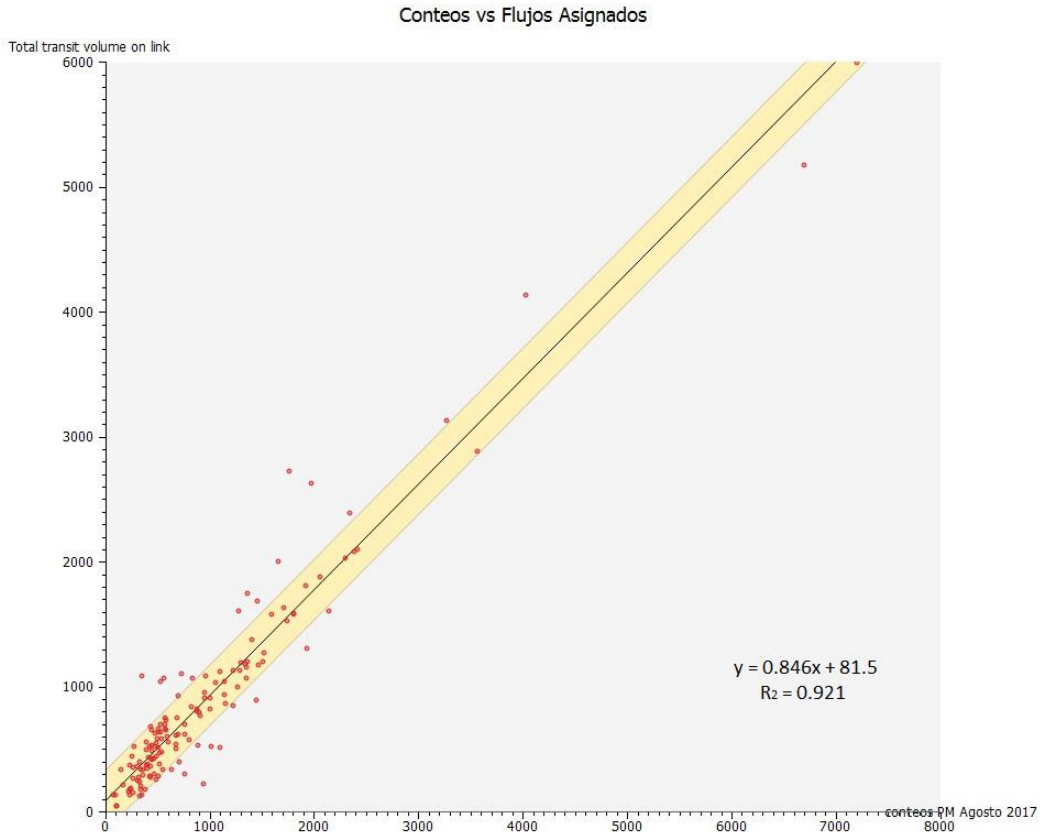
Figura 13-5: Gráfico de ajuste de flujos y demanda por iteración.



Fuente: Elaboración Propia

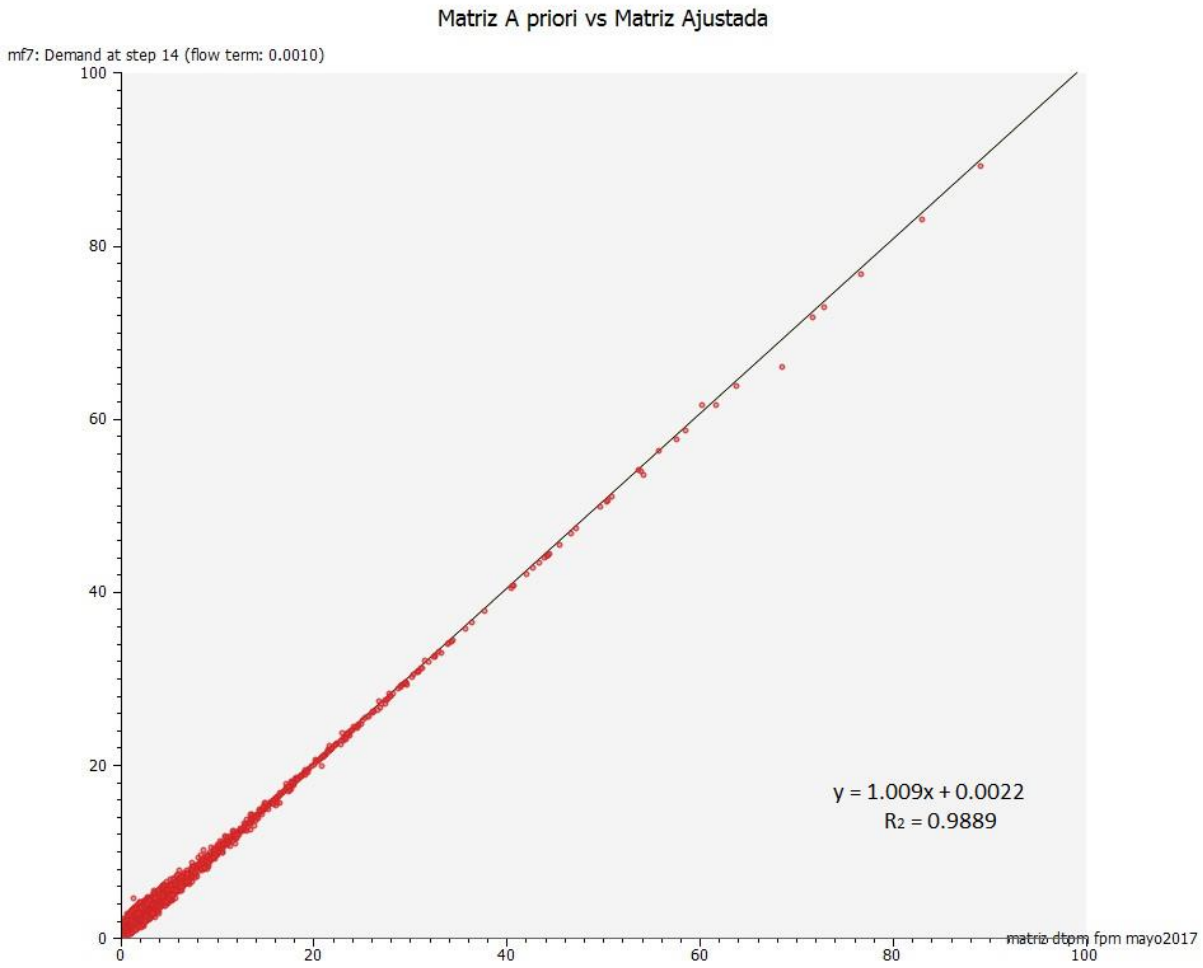
El r^2 de ajuste de los flujos fue de 0,921 y de la demanda 0,9889 (eje y) en la iteración 15 del proceso de calibración (ejes x). Los siguientes gráficos muestran la dispersión entre los flujos medidos y los flujos modelados, así como también la dispersión entre la demanda de la matriz a priori y la demanda de la matriz ajustada.

Figura 13-6: Comparativo Flujos y Demanda Modelados vs flujos medidos y matriz a priori.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 13-7: Comparativo Viajes Matriz A priori vs Matriz Ajustada.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13-6: Resultados de Asignación vs Etapas Matriz a priori

UN	Etapas Estimación de Bajada	Etapas Matriz A Priori	Escenario 7 A Priori	Escenario 8 Ajustada	Variación Porcentual
U1	15,526	20,788	21,513	23,146	11.34%
U2	21,257	28,254	29,111	33,180	17.43%
U3	22,182	30,208	34,876	37,933	25.57%
U4	25,428	30,387	29,445	34,277	12.80%
U5	23,782	29,211	32,124	35,468	21.42%
U6	13,589	15,243	20,119	22,395	46.92%
U7	7,817	11,526	12,069	13,501	17.14%
Sin UN	2,347	1,663	0	0	-
Etapas Bus	**131,927**	**167,280**	**179,257**	**199,900**	19.50%
Metro	**92,290**	**112,824**	**100,462**	**108,721**	-3.64%
Metrotren	1,580	1,659	2,288	2,498	50.57%
Total Etapas	225,798	281,764	282,007	311,119	10.42%
Viajes Asignados	**165,498**	**210,150**	**210,150**	**226,263**	7.67%
Etapas Viaje	**1.36**	**1.34**	**1.52**	**1.54**	15.15%
Viajes Caminata	**0**	**0**	**23,561**	**23,725**	-
R^2 Afluencia Metro			0.731	0.739	-
R^2 Aforos Buses			0.738	0.921	-
R^2 Matriz				0.9889	-

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

El ajuste muestra un aumento en las etapas asignadas a bus respecto a las estimadas en la matriz a priori, mientras que las etapas asignadas a metro se ajustan bien a lo reportado en las etapas de la matriz a priori. Los viajes en modo caminata prácticamente no varían y el total de etapas del sistema aumenta en menos del 10% respecto a los datos a priori. Con todo lo anterior, el nivel de ajuste de los aforos de buses aumenta significativamente.

Se presenta el nivel ajuste por conteo general y el rango asociado a su intervalo de confianza para la modelación de asignación y para la de ajuste de matriz. El R^2Min representa el mínimo ajuste posible considerando el intervalo de variación de los conteos, por su parte y en contraposición, el R^2Max corresponde al mejor ajuste posible, de acuerdo a la variación de las medidas de tasas de ocupación a nivel de medición individual.

Tabla 13-7: Ajuste general conteos

	Asignación	Ajuste Matriz
R^2	0.74	0.92
R^2max	0.78	0.95
R^2min	0.70	0.88

Fuente: Proyecto EMME ® DTPM

Se observa que la banda de variación es pequeña, lo que denota que la forma de medición tiene un bajo error asociado. Por lo tanto, el nivel de ajuste general en la asignación de la matriz ajustada se considera alto.

13.3 RESULTADOS ASIGNACIÓN DE CALIBRACIÓN

A continuación se presentan en extenso los principales resultados de la asignación de la matriz ajustada para el periodo fuera de punta mañana. Es importante recordar, que la asignación se realiza considerando la oferta ajustada por ICF, de manera de que la comparación con los datos observados sea más acorde.

Tabla 13-8: Parámetros de asignación escenarios de modelación

Definición de Parámetros	Escenario 8
Matriz	**Matriz ajustada mf7**
Valor del Tiempo ($/min)	0,0857
Peso del Tiempo de Espera	2
Peso del Tiempo de Caminata	3
Peso del Tiempo de Abordaje	1
α (BPR función de hacinamiento)	2
β (BPR función de hacinamiento)	4
α (Intervalo de Espera – Modo Bus)	5
β (Intervalo de Espera – Modo Bus)	1,5
α (Intervalo de Espera – Modo Metro)	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metro)	2
α (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	1,5
β (Intervalo de Espera – Modo Metrotren)	2
Penalidad por Transbordo Metro	8
Penalidad por Transbordo Metrotren	8
Penalidad por Transbordo Bus	15
Penalidad por Abordar Bus Etapa 1	15
Penalidad por Abordar Metro Etapa 1	0

Fuente: Modelo EMME ® DTPM 2011. *Actualizado a pesos 2017

A continuación se presentan los resultados globales del escenario de modelación.

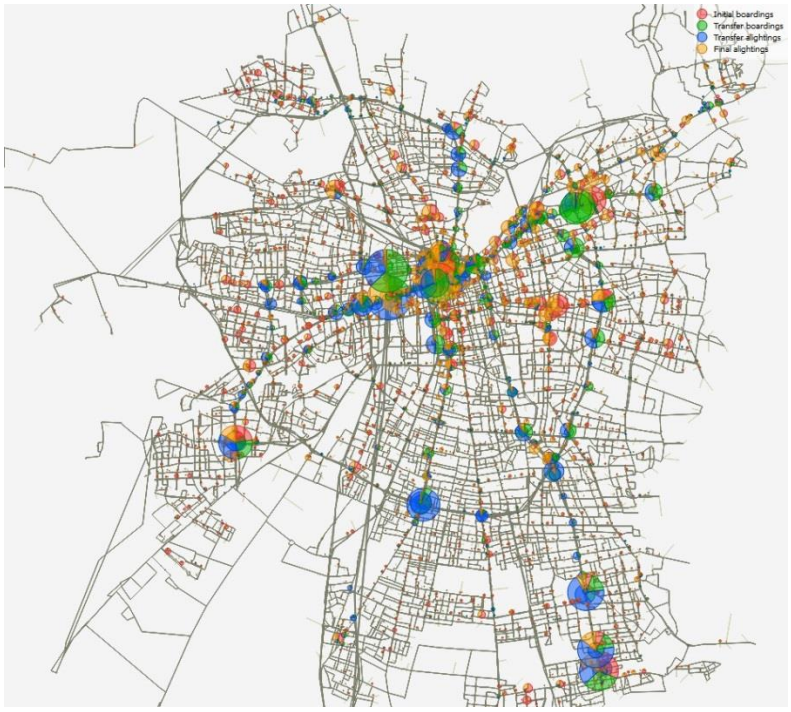
Tabla 13-9: Resultados Globales

Ítem	Etapas Estimación de Bajada	Etapas Matriz a priori	Escenario 7 A Priori	Escenario 8 Ajustada	Variación Esc8-Etapas M.A priori
Etapas Buses	131,927	167,280	179,257	199,900	20%
Etapas Metro	92,290	112,824	100,462	108,721	-4%
Etapas Metro (con transbordo metro metro)	S/I	S/I	135,902	148,396	-
Total Etapas (sin transbordo metro metro)	225,798	281,764	282,007	311,119	10%

Matriz de viajes	165,498	210,150	210,150	226,263	8%
Etapas de viaje por Bip	1.36	1.34	1.52	1.54	15%
Etapas caminando	0	0	23,561	23,725	-

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-8: Subidas y Bajadas escenario de modelación buses – Escenario Ajuste Matriz



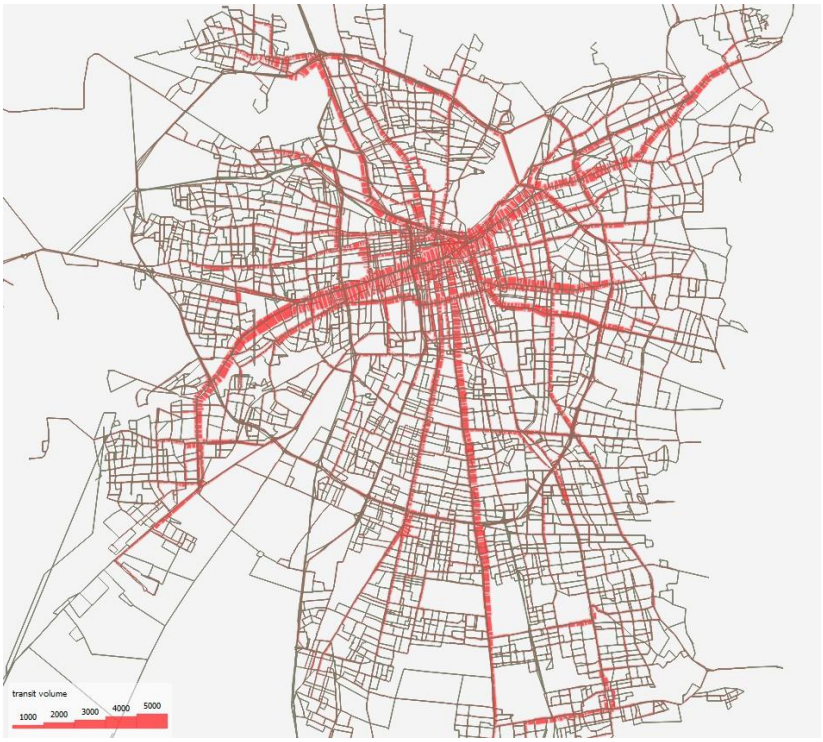
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-9: Subidas y Bajadas escenario de modelación Metro y Metrotren – Escenario Ajuste Matriz



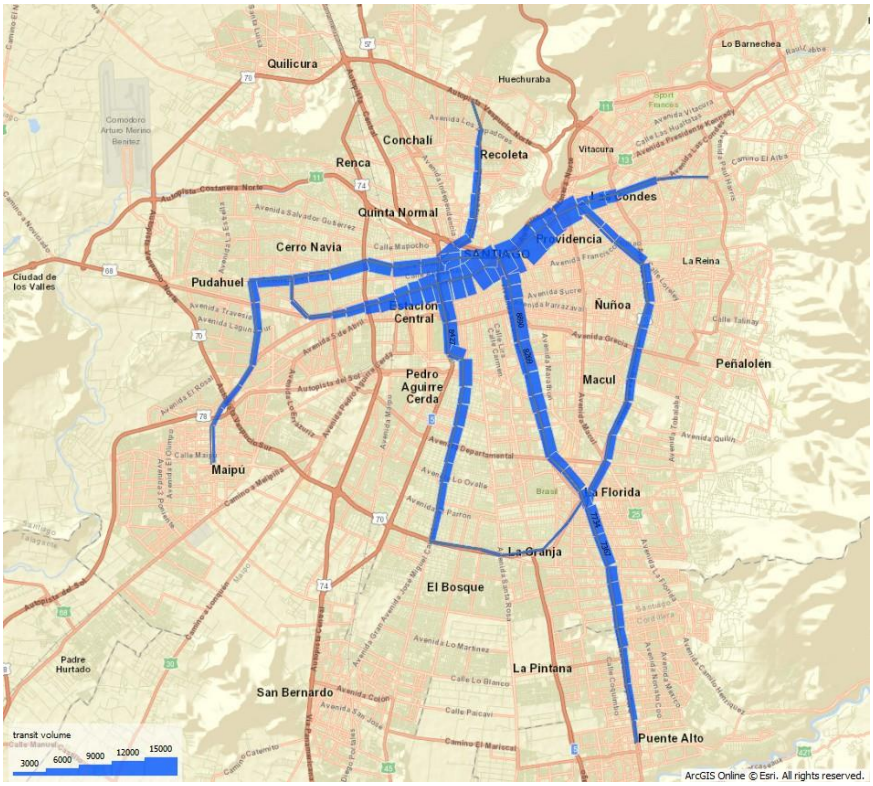
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-10: Flujos modelados en la red buses – Escenario Ajuste Matriz



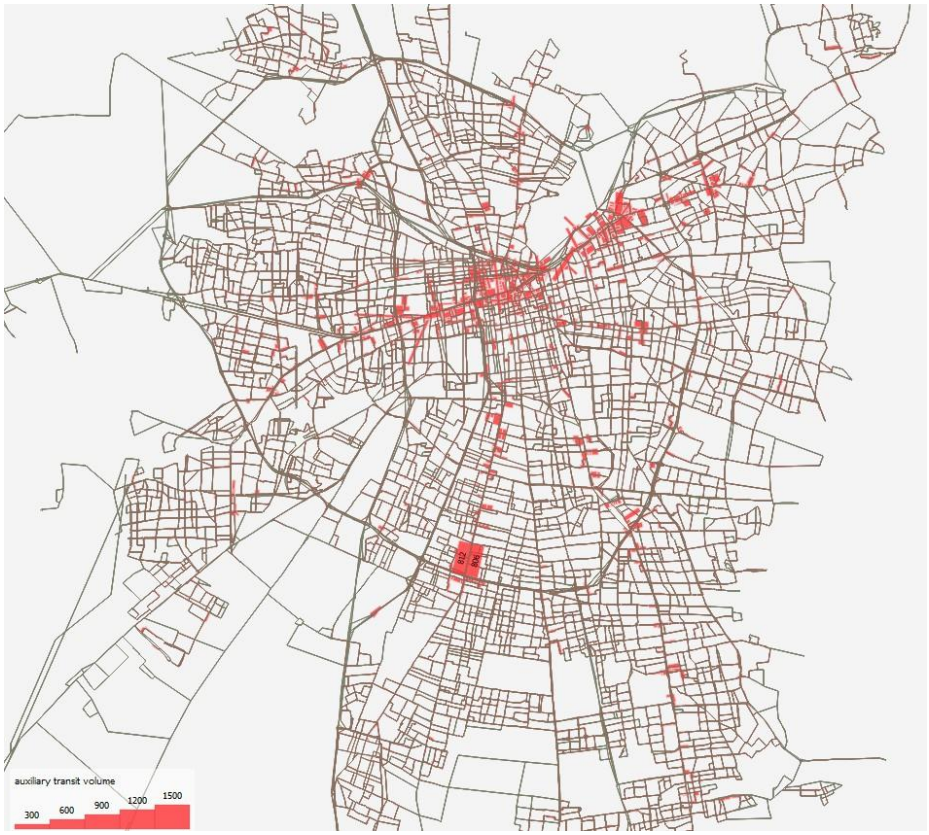
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-11: Flujos modelados en la red Metro y Metrotren – Escenario Ajuste Matriz



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-12: Flujos Peatonales modelados en la red vial – Escenario Ajuste Matriz



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

A continuación se presentan las etapas por Unidad de Negocio y los transbordos entre modos y entre Unidades de Negocio. La información de etapas es comparada con los datos observados, provenientes de la matriz construida.

Tabla 13-10: Resultados Etapas por Unidad de Negocio

Etapas por UN	Etapas Estimación de Bajada	Etapas Matriz a priori	Escenario 7 A Priori	Escenario 8 Ajustada	Variación Esc8-Etapas M.A priori
U1	15,526	20,788	21,513	23,146	11.3%
U2	21,257	28,254	29,111	33,180	17.4%
U3	22,182	30,208	34,876	37,933	25.6%
U4	25,428	30,387	29,445	34,277	12.8%
U5	23,782	29,211	32,124	35,468	21.4%
U6	13,589	15,243	20,119	22,395	46.9%
U7	7,817	11,526	12,069	13,501	17.1%
Sin UN	2,347	1,663	0	0	-

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observa una sobreestimación de las etapas de viaje en la mayoría de las Unidades de negocio.

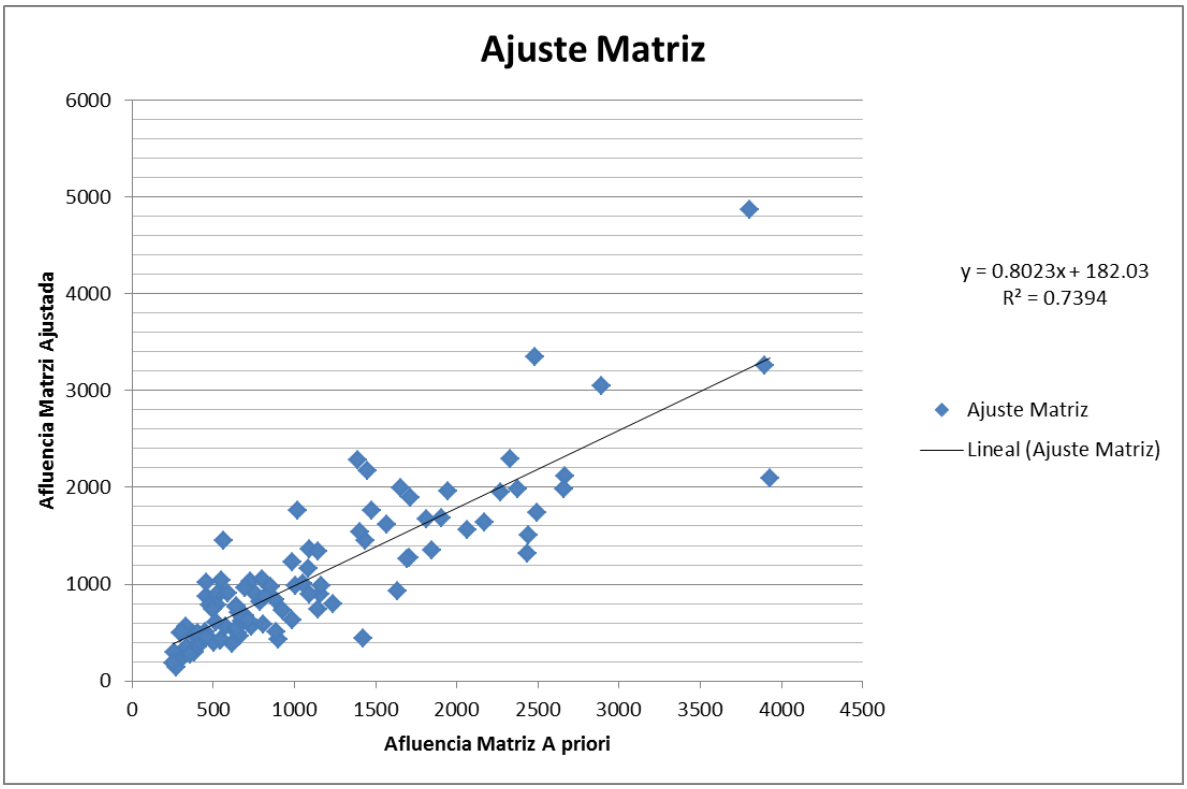
Tabla 13-11: Transbordos entre Modos

Etapas Transbordo	Etapas Matriz a priori	Escenario 7 A Priori	Escenario 8 Ajustada	Variación Esc8-Etapas M.A priori
Bus-Bus	20,342	29,487	33,551	64.9%
Bus-Metro	38,574	32,944	38,457	0%
Metro-Metro	S/I	35,440	39,675	-
Metro-Bus	11,299	31,141	34,446	205%
Bus-Metrotren	244	761	847	247%
Metro-Metrotren	205	262	280	37%
Metrotren-Bus	67	495	595	794%
Metrotren-Metro	776	1,166	1,247	61%

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

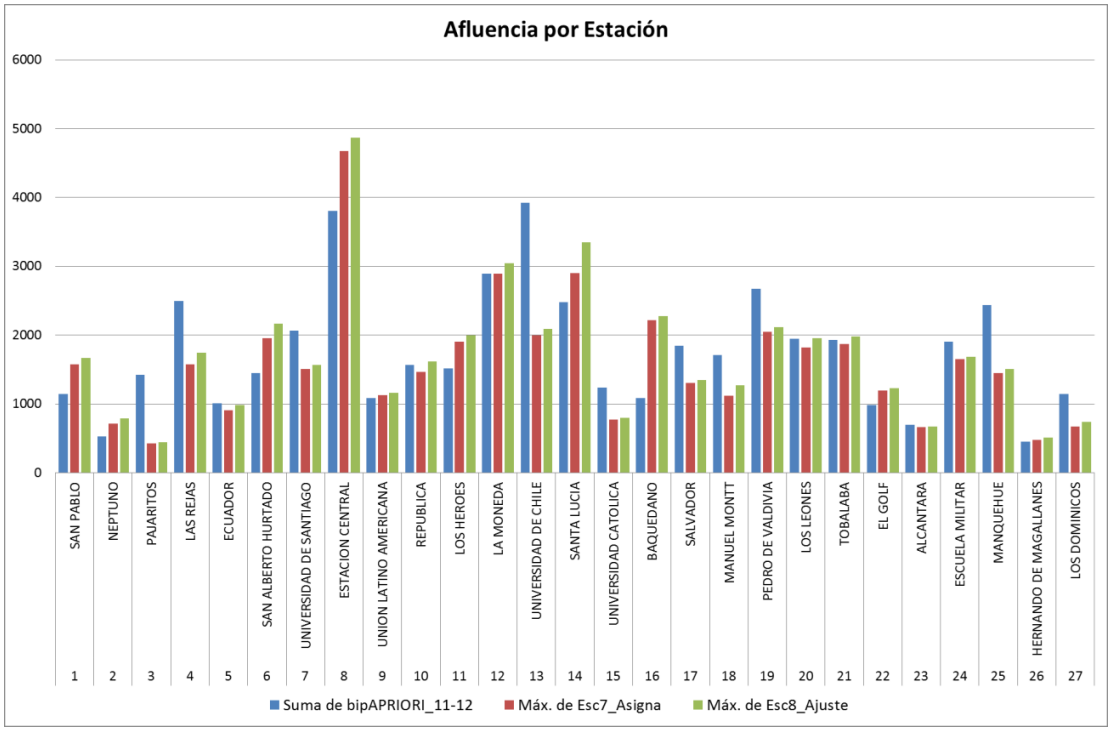
A continuación se presentan un comparativo de subidas por estación y perfiles de carga para Metro.

Figura 13-13: Subidas por Estación Metro comparadas



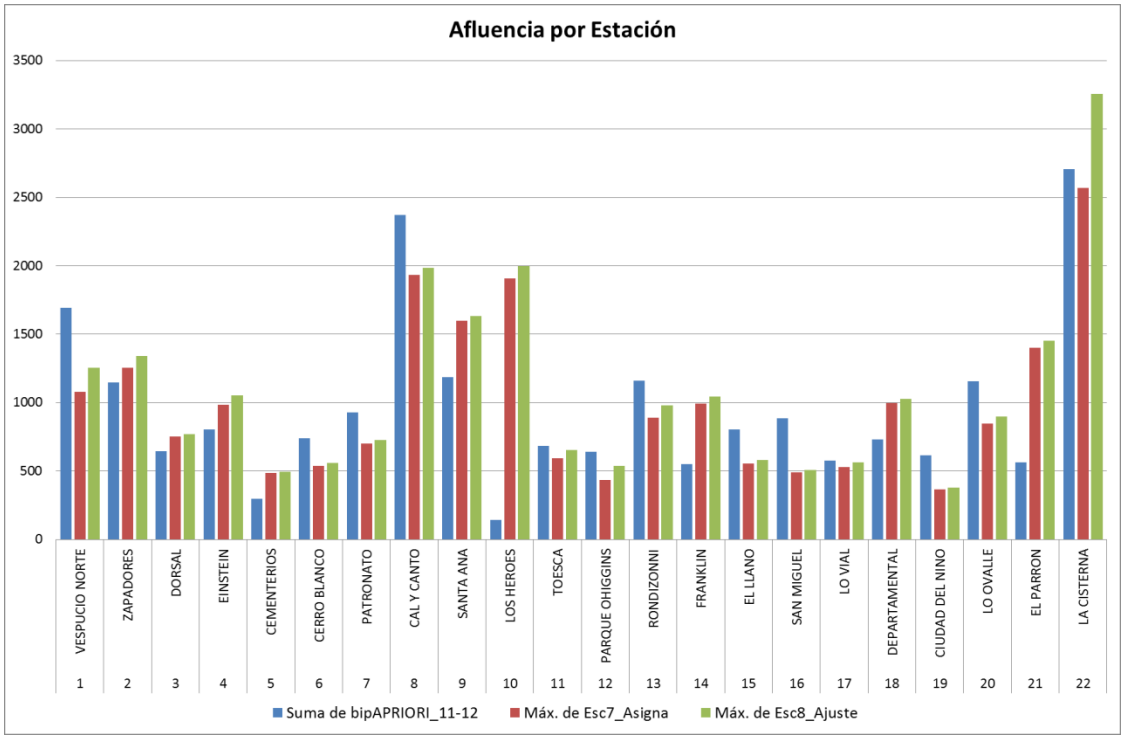
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-14: Afluencia Línea 1



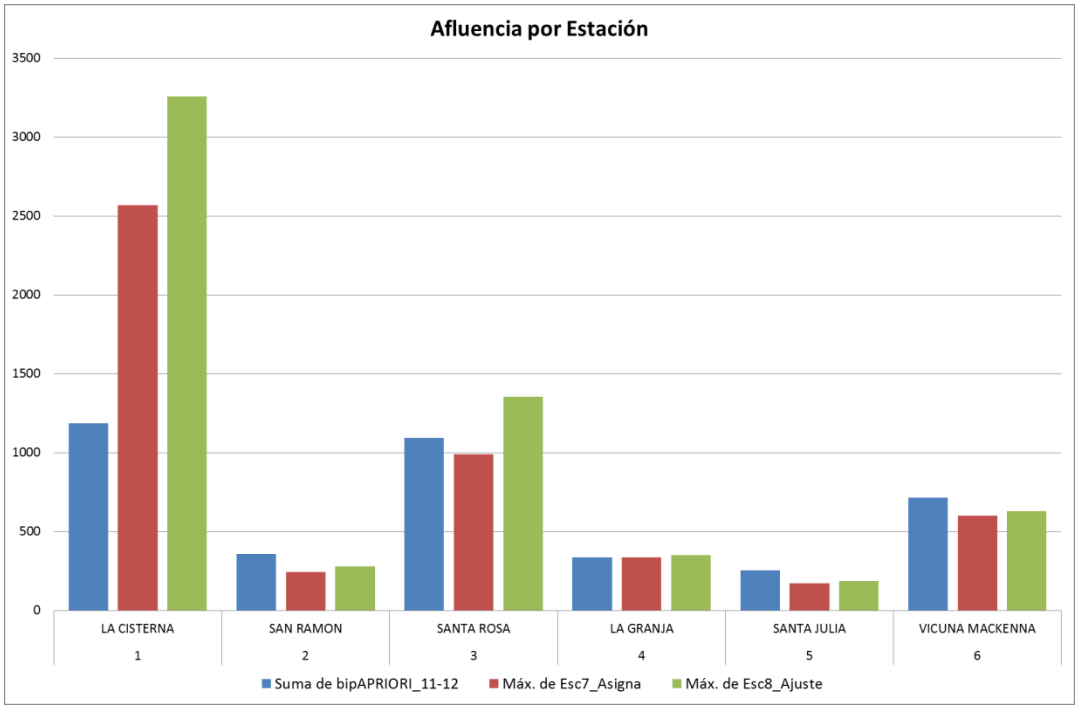
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-15: Afluencia Línea 2



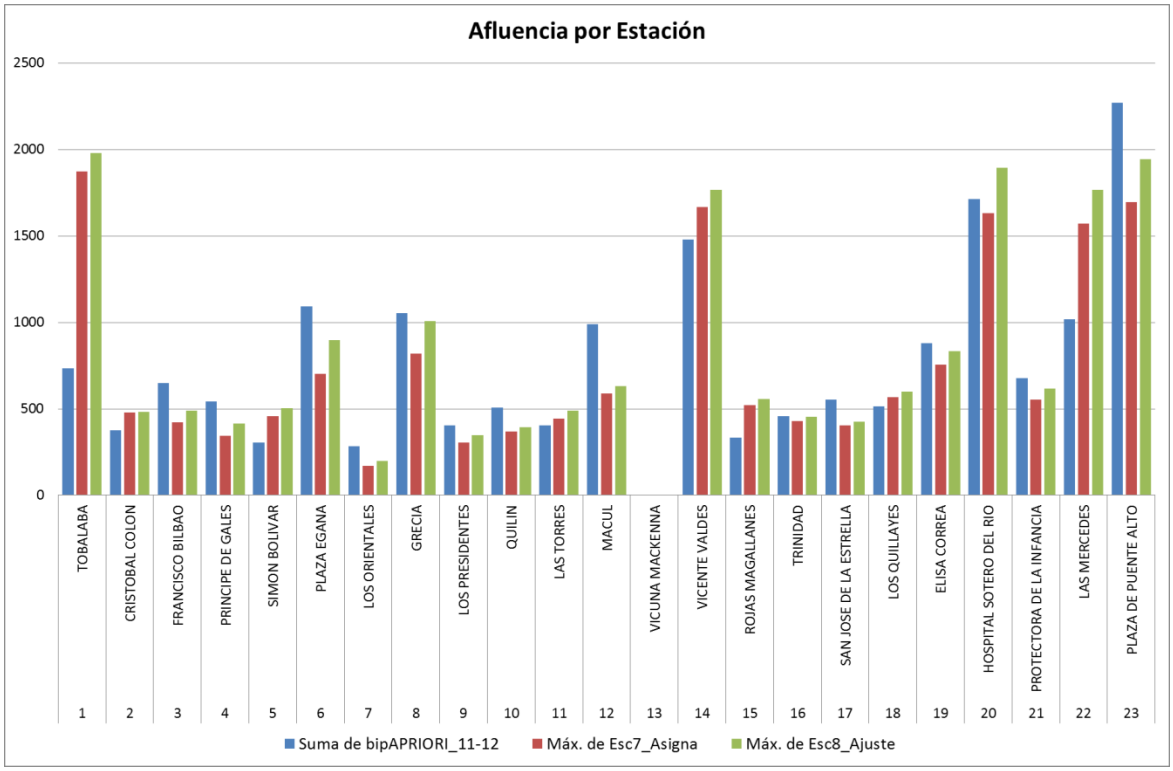
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-16: Imagen. Afluencia Línea 4A



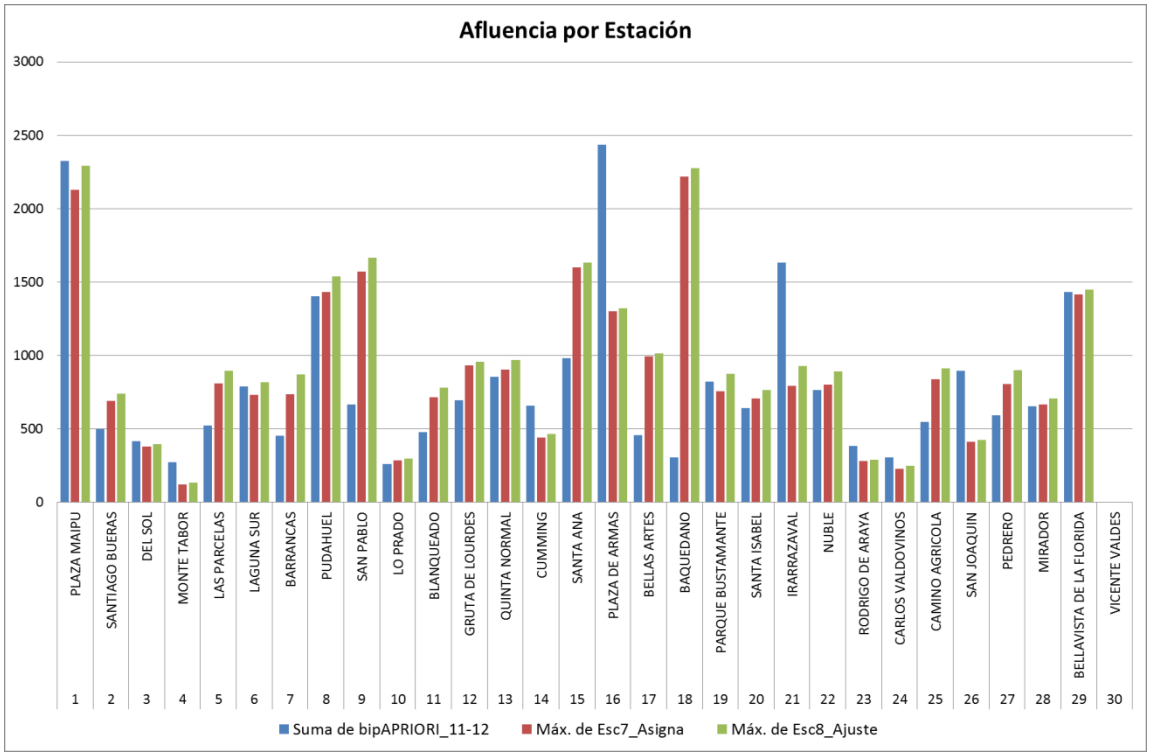
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-17: Imagen. Afluencia Línea 4



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

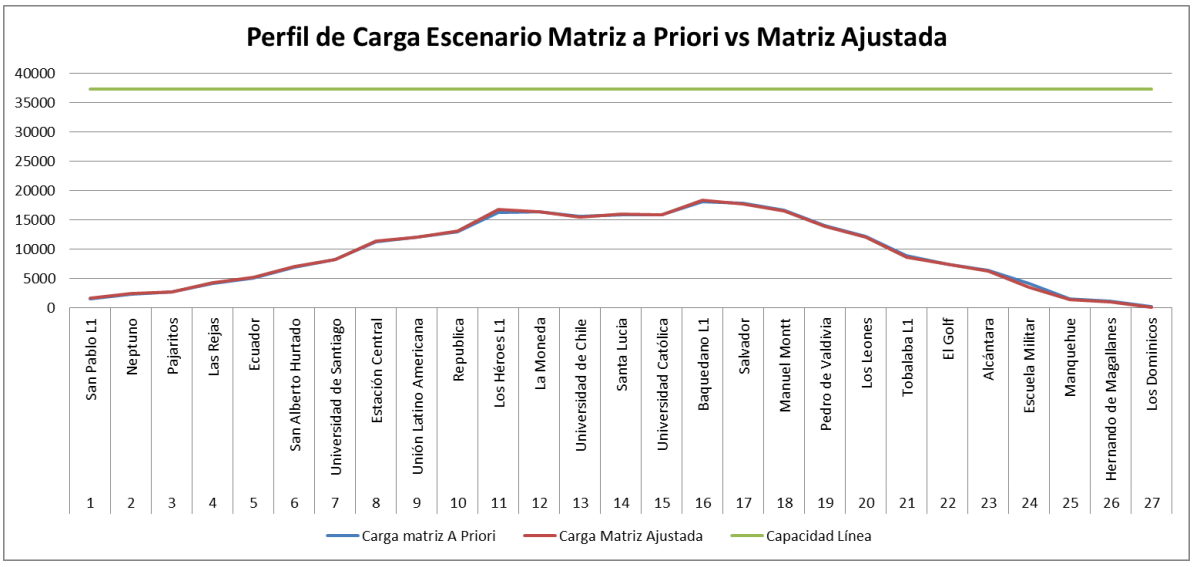
Figura 13-18: Afluencia Línea 5



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

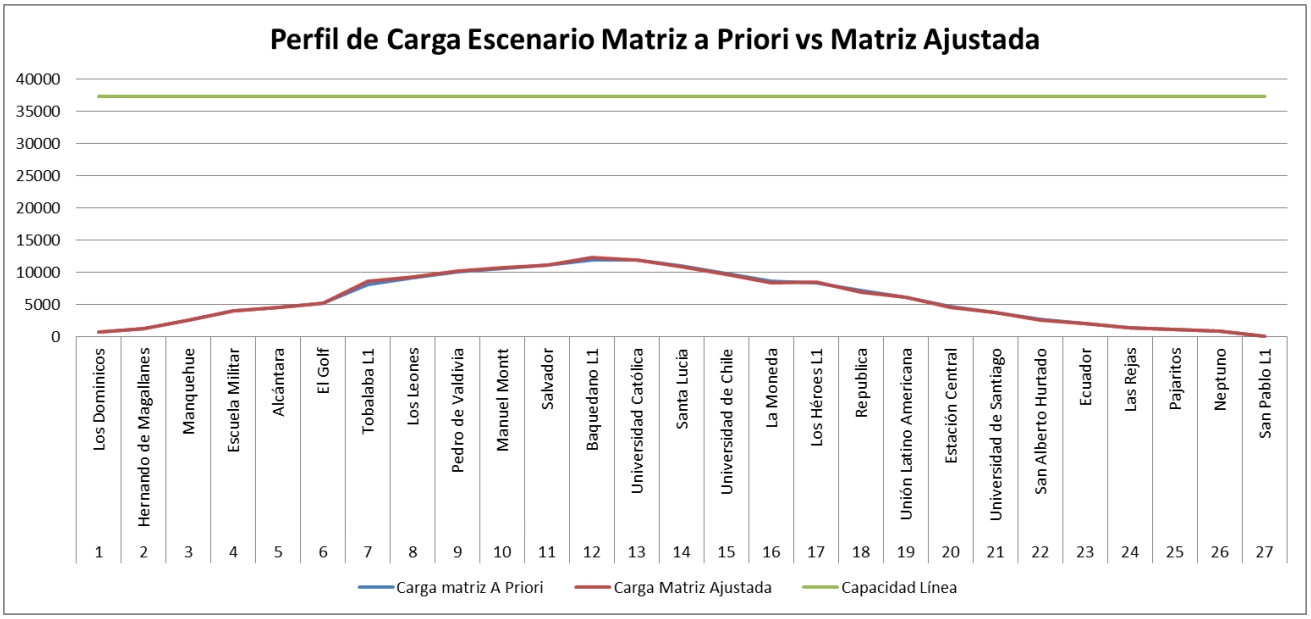
A continuación se presentan los perfiles de carga por línea sentido. Para este periodo no se cuenta con un perfil de contraste de metro, ya que los perfiles dispuestos por el mandante para este periodo corresponden a la hora de 10:00 a 11:00 am.

Figura 13-19: Perfil de Carga L1I



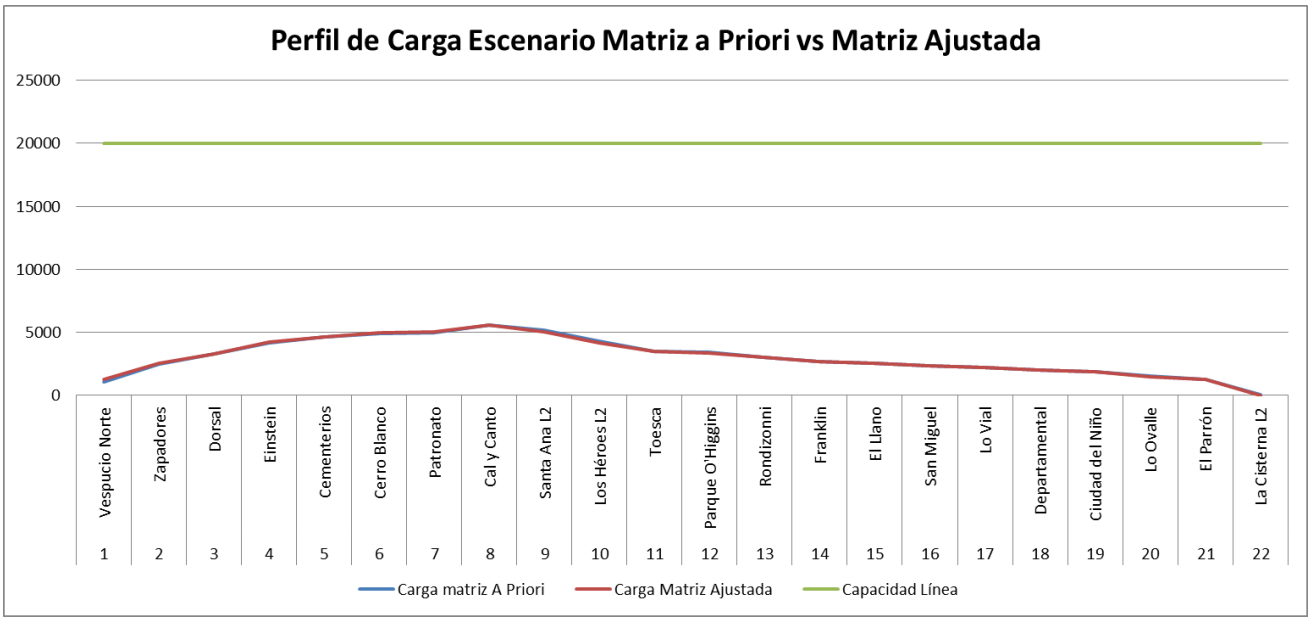
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-20: Perfil de Carga L1R



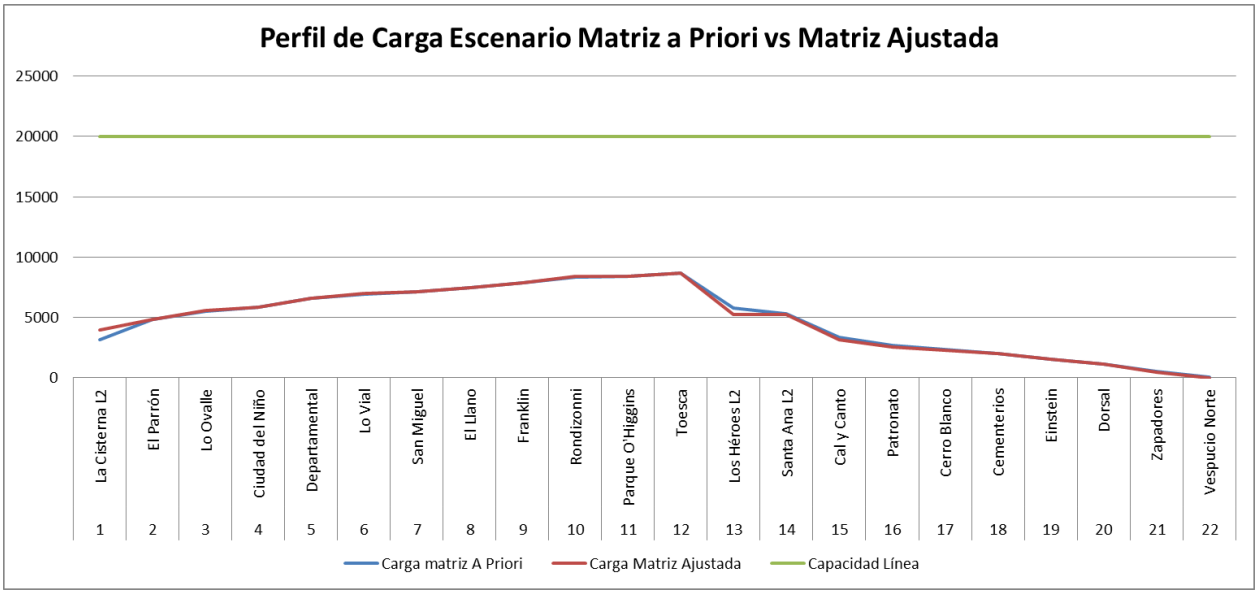
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-21: Perfil de Carga L2I



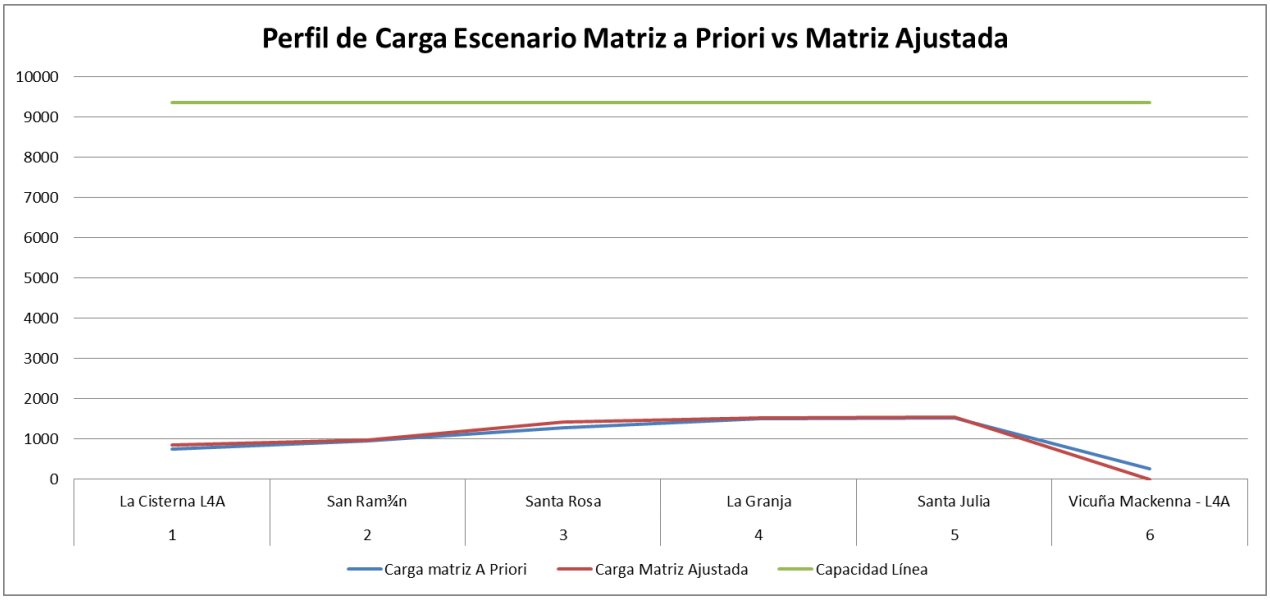
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-22: Perfil de Carga L2R



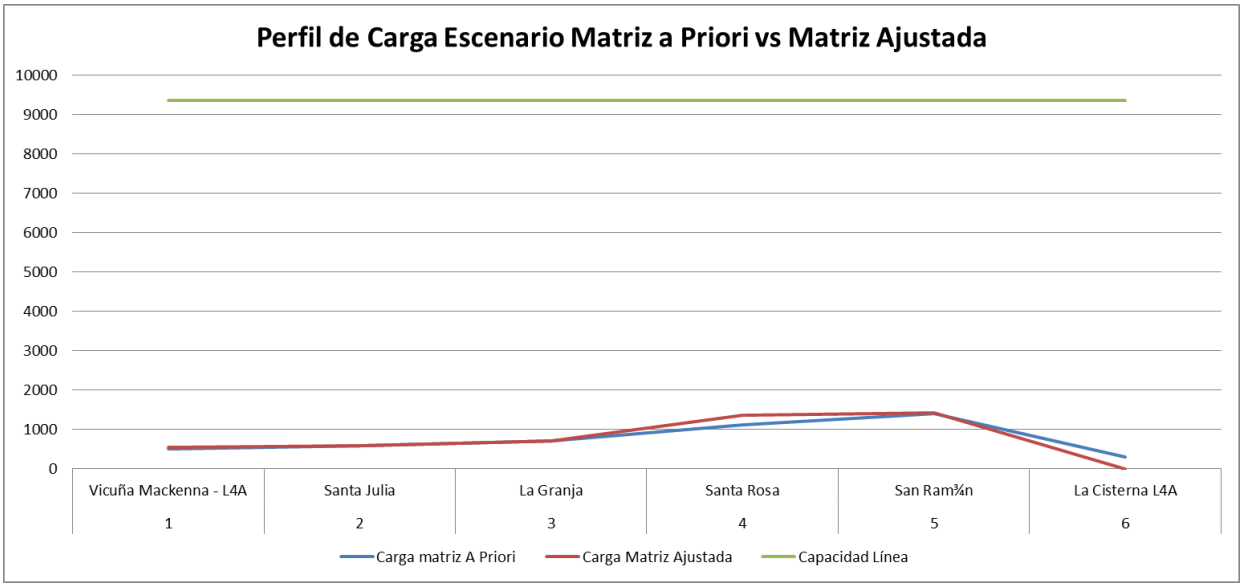
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-23: Perfil de Carga L4AI



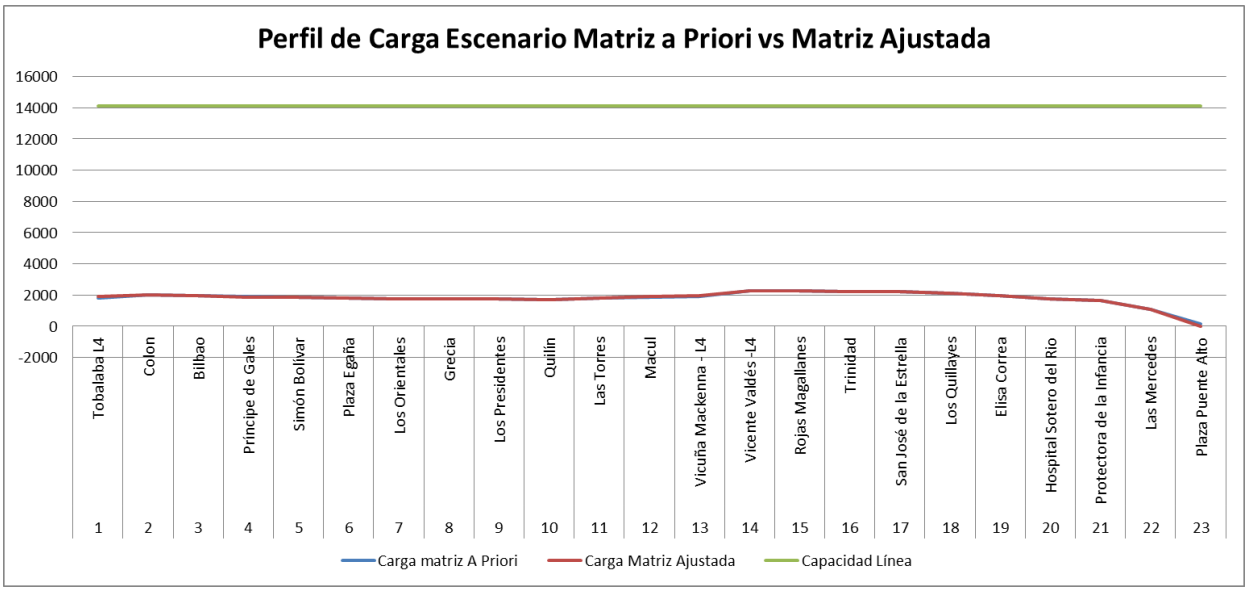
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-24: Perfil de Carga L4AR



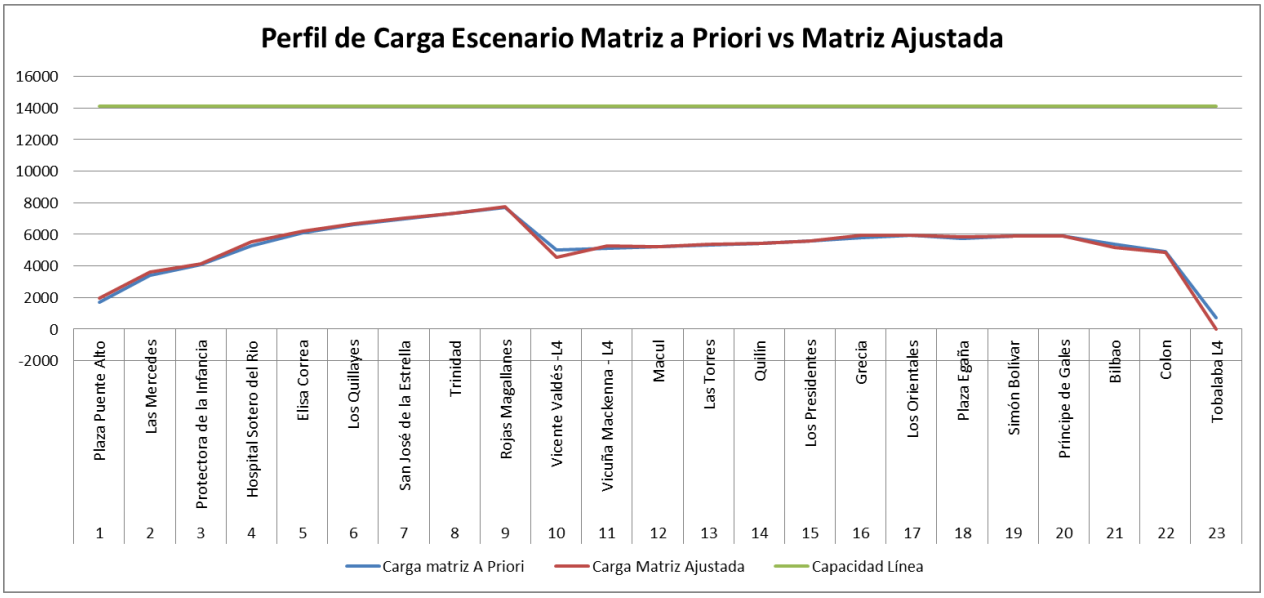
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-25: Perfil de Carga L4I



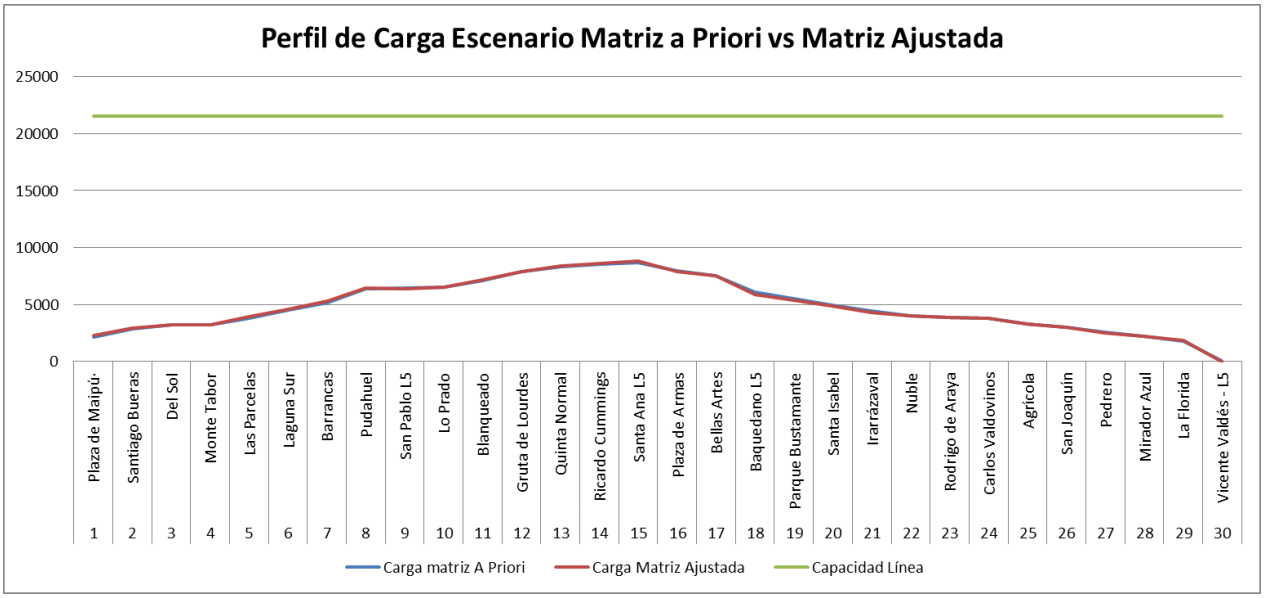
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-26: Perfil de Carga L4R



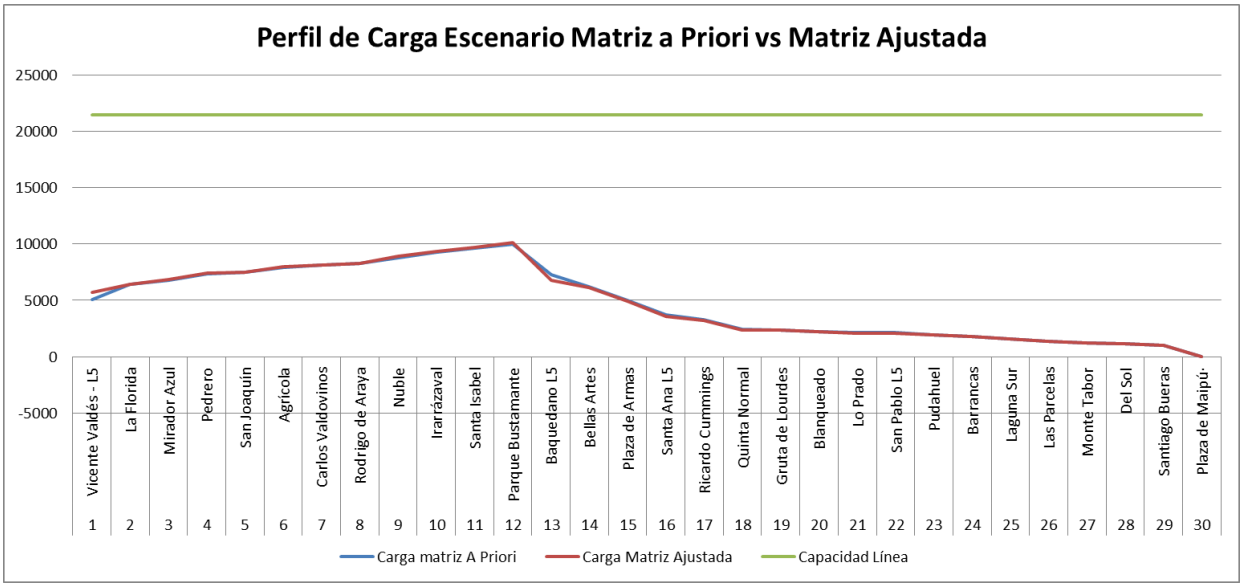
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-27: Perfil de Carga L5I



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-28: Perfil de Carga L5R



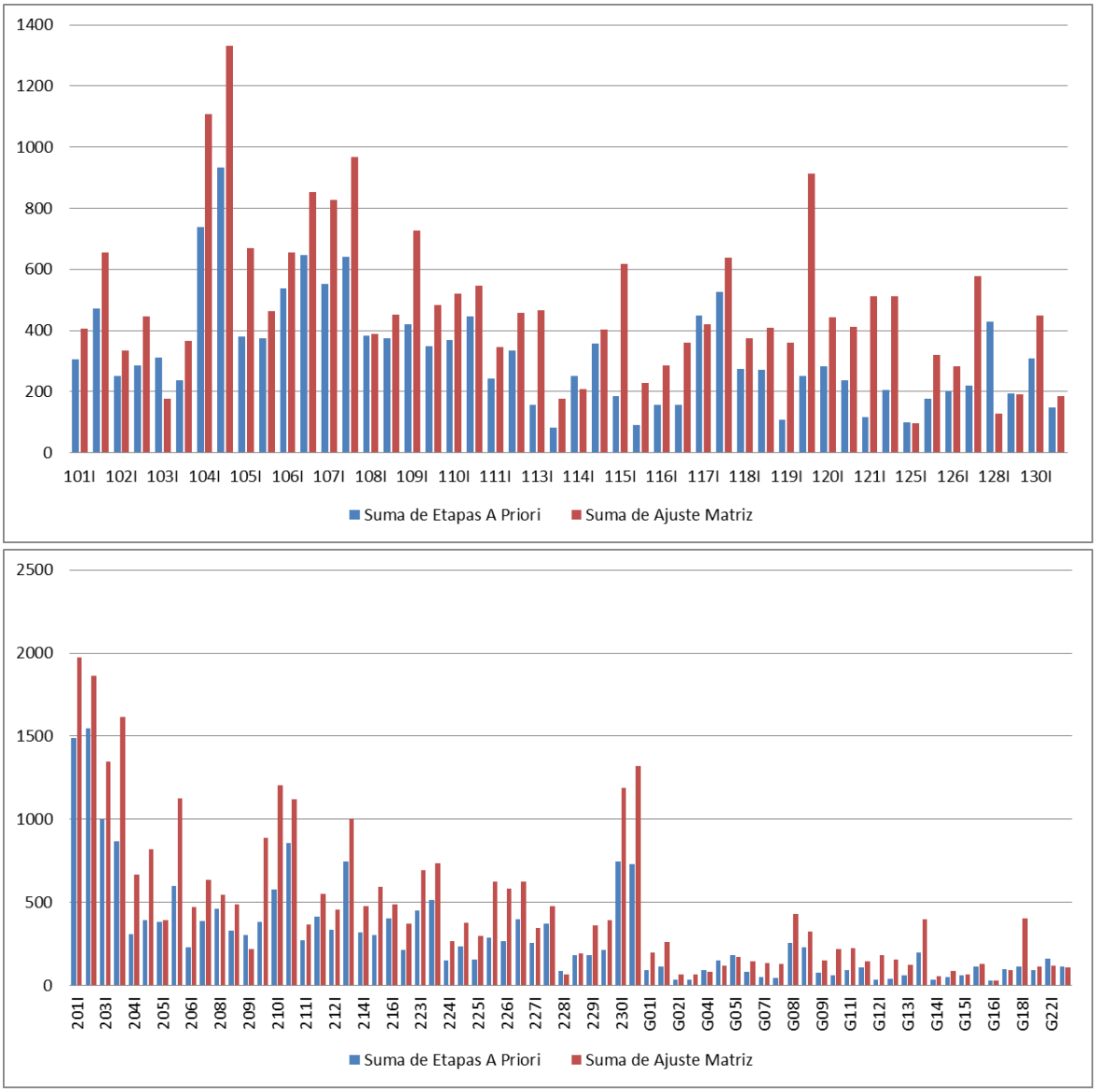
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

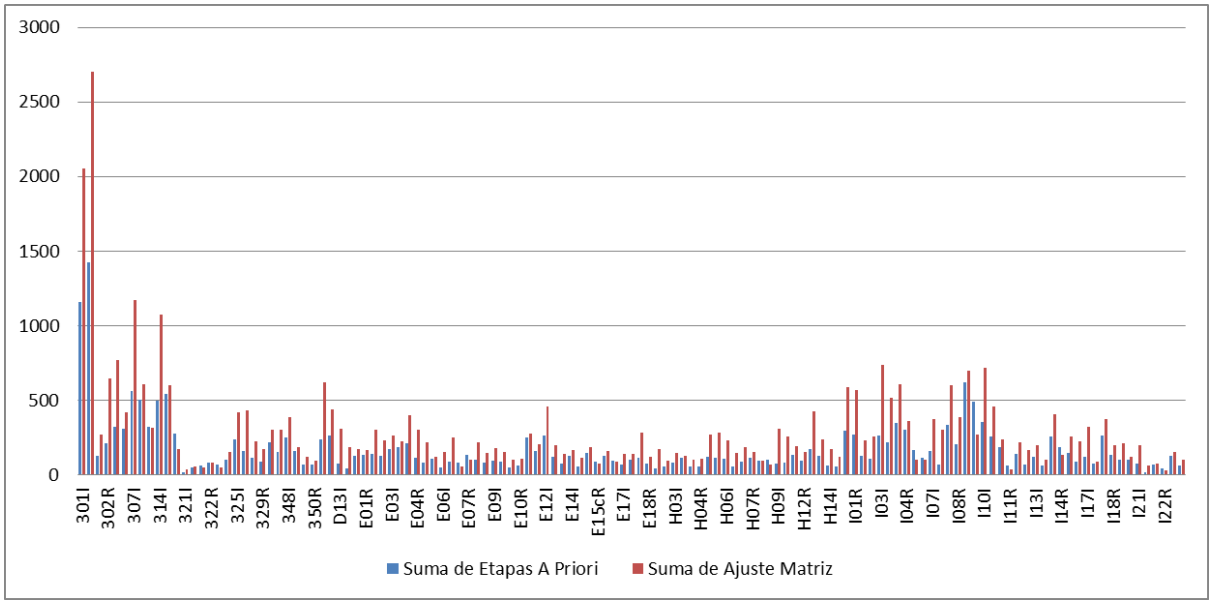
En general, las diferencias en los perfiles de carga de las líneas de metro se registran en estaciones puntuales, y no se observan cambios significativos a lo largo del perfil entre ambos escenarios.

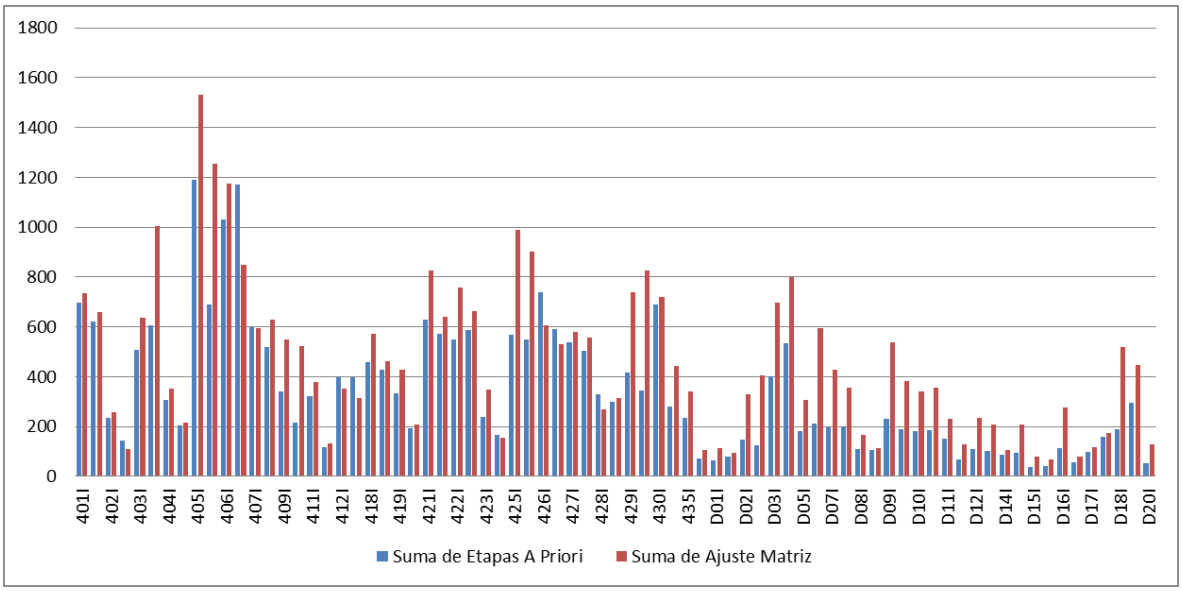
A continuación se muestra otros resultados de interés de la asignación de la matriz ajustada, relativo a los servicios de buses.

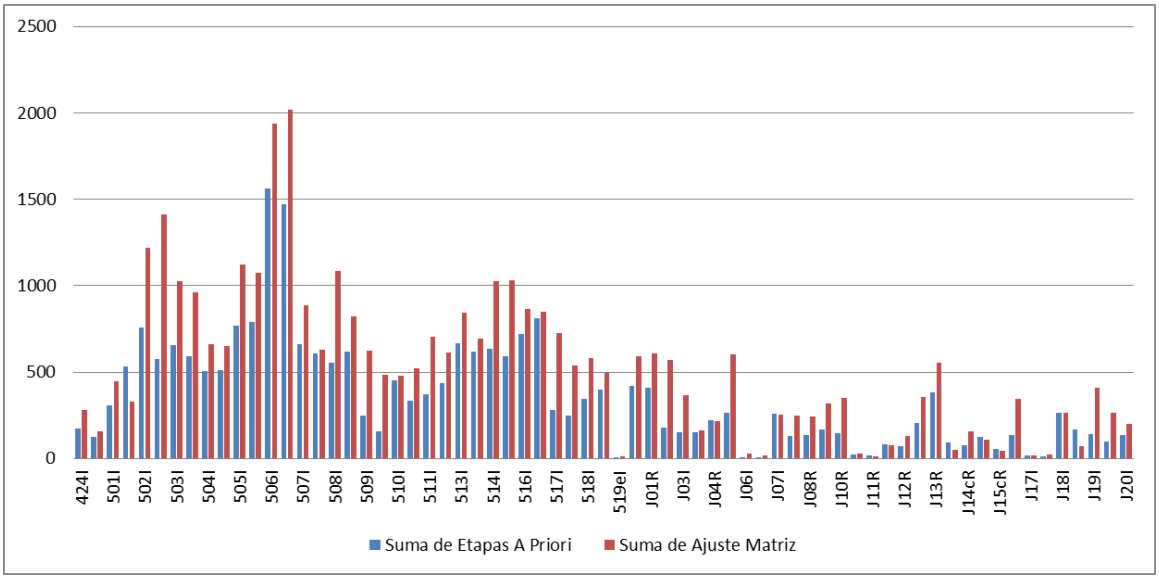
Como primer análisis se comparan las etapas a nivel de servicio para el escenario 5.

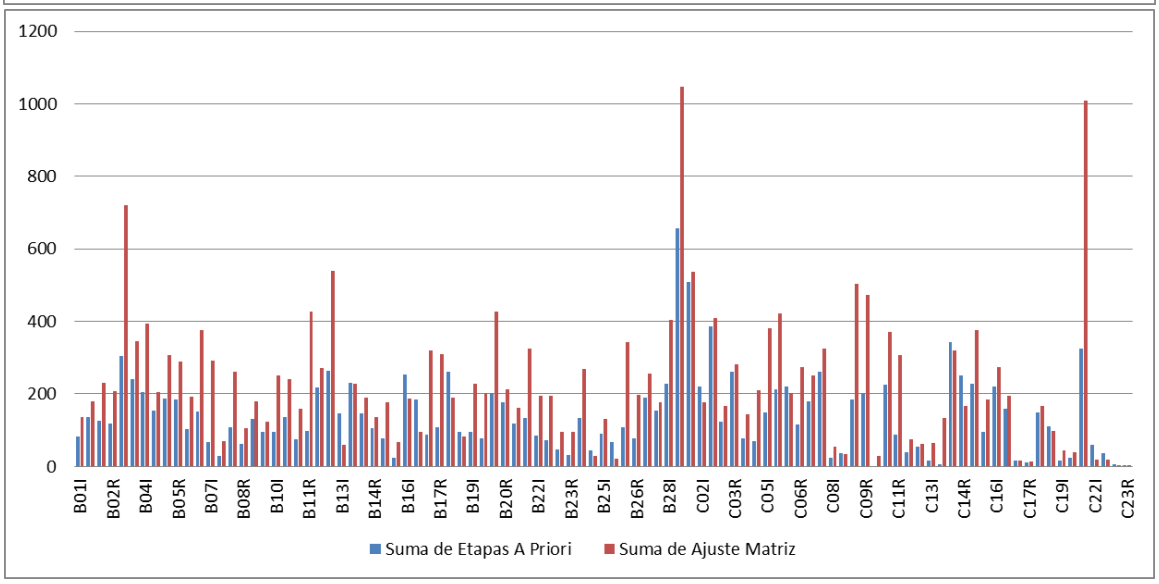
Figura 13-29: Comparación de Etapas Buses A Priori vs Matriz Ajustada

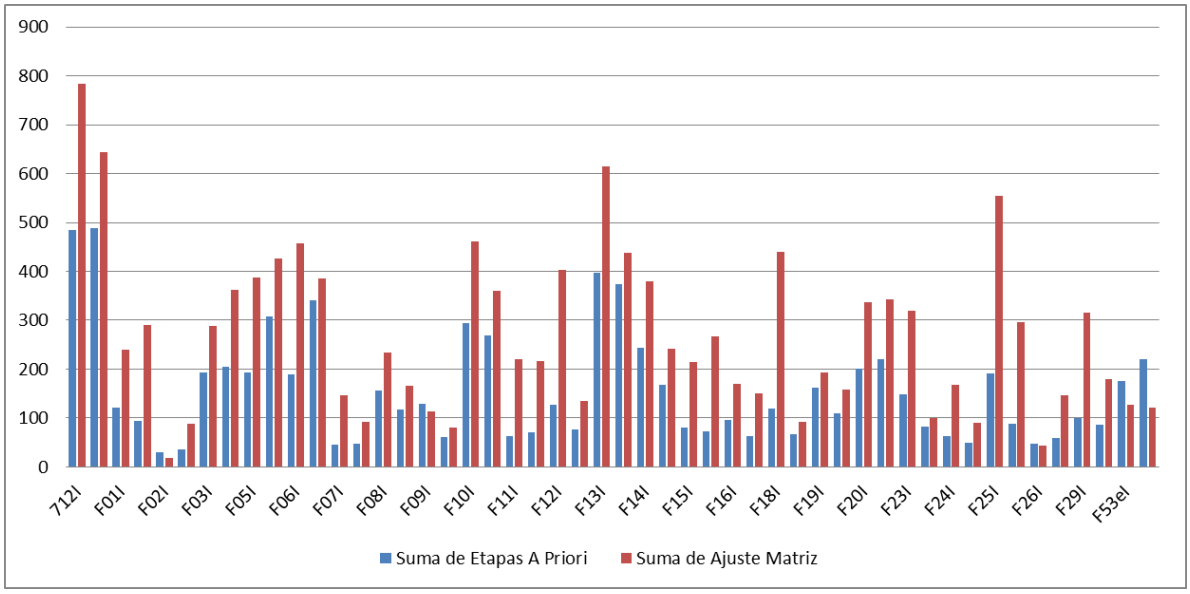



3000
2500
2000
1500
1000
500
0
301I 302R 307I 314I 321I 322R 325I 329R 348I 350R D13I E01R E03I E04R E06I E07R E09I E10R E12I E14I E15cR E17I E18R H03I H04R H06I H07R H09I H12R H14I I01R I03I I04R I07I I08R I10I I11R I13I I14R I17I I18R I21I I22R
Suma de Etapas A Priori
Suma de Ajuste Matriz


1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
401I 402I 403I 404I 405I 406I 407I 409I 411I 412I 418I 419I 421I 422I 423I 425I 426I 427I 428I 429I 430I 435I D01I D02I D03I D05I D07I D08I D09I D10I D11I D12I D14I D15I D16I D17I D18I D20I
Suma de Etapas A Priori
Suma de Ajuste Matriz

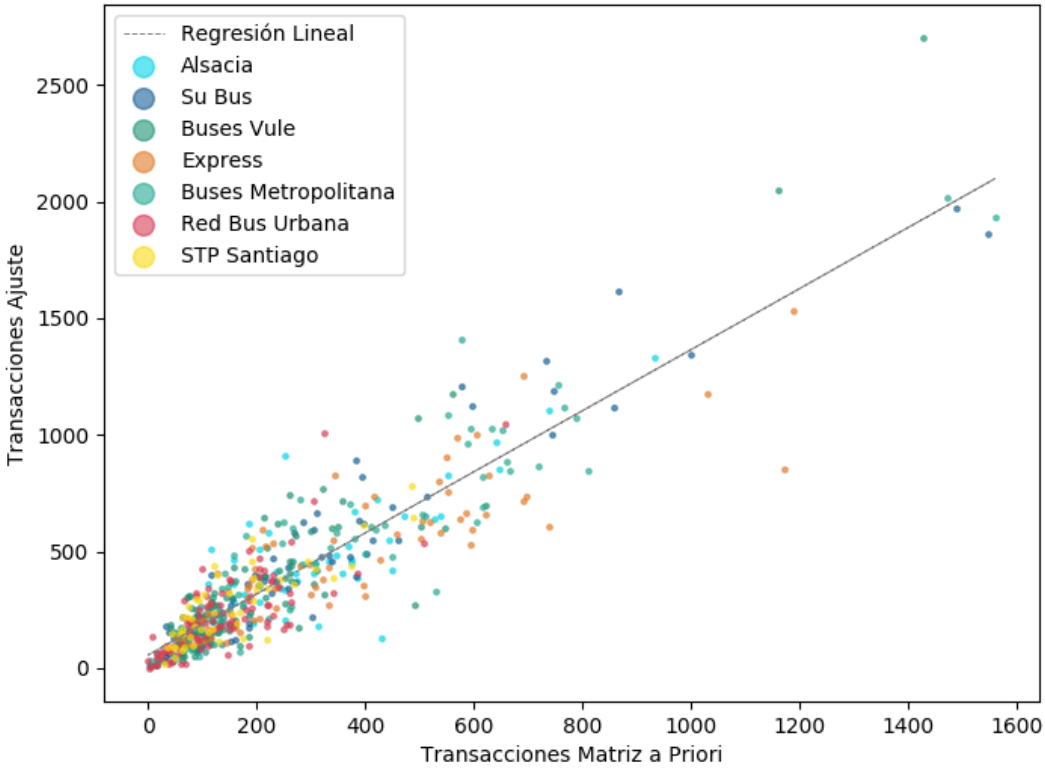

2500
2000
1500
1000
500
0
424I
501I
502I
503I
504I
505I
506I
507I
508I
509I
510I
511I
513I
514I
516I
517I
518I
519eI
J01R
J03I
J04R
J06I
J07I
J08R
J10R
J11R
J12R
J13R
J14cR
J15cR
J17I
J18I
J19I
J20I
Suma de Etapas A Priori
Suma de Ajuste Matriz


1200
1000
800
600
400
200
0
B01I
B02R
B04I
B05R
B07I
B08R
B10I
B11R
B13I
B14R
B16I
B17R
B19I
B20R
B22I
B23R
B25I
B26R
B28I
C02I
C03R
C05I
C06R
C08I
C09R
C11R
C13I
C14R
C16I
C17R
C19I
C22I
C23R
Suma de Etapas A Priori
Suma de Ajuste Matriz



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-30: Etapas por servicio estimadas matriz A Priori vs Matriz Ajustada



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

El siguiente análisis que se presenta, tiene relación con las componentes del tiempo de viaje del sistema.

Tabla 13-12: Comparación de Niveles de servicio (min)

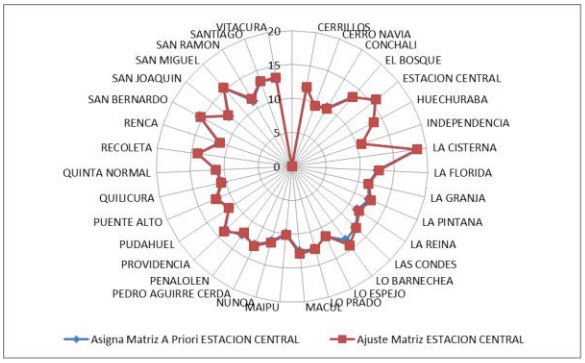
	ADATRAP	Esc7- Asignación	Esc8 – Ajuste Matriz
Tiempo Caminata	0,42	13.9	13.9
Tiempo Espera	2,21	5.56	5.9
Tiempo vehículo	26,74	26.28	27.3
Tiempo de Viaje	29,38	45.74	47.1

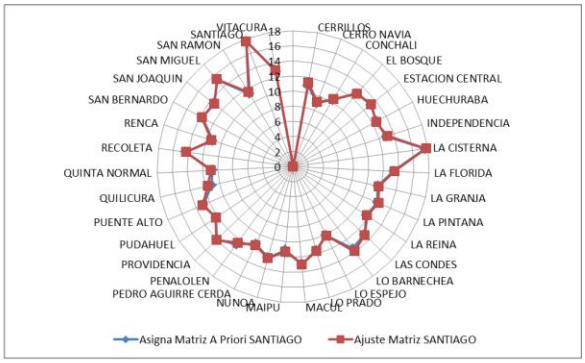
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

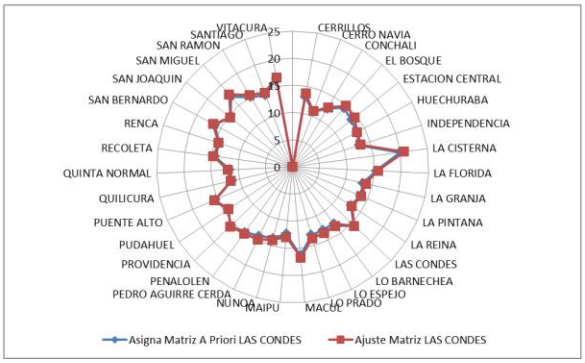
Si bien pudiera en principio parecer excesivo el tiempo de caminata en los escenarios Esc7 y Esc8, se debe recordar que éste incluye acceso, transferencia y egreso, de modo que el modelo entrega una visión integral de este particular nivel de servicio, que por lo tanto permite ser considerado en la evaluación de cambios en los Programas de Operación.

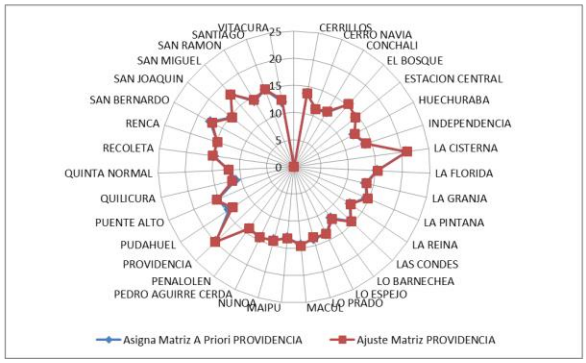
A continuación se muestran los resultados de tiempos de espera, caminata y viaje en vehículo a nivel de comuna, para algunas comunas de destino relevantes.

Figura 13-31: Tiempos de caminata – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes









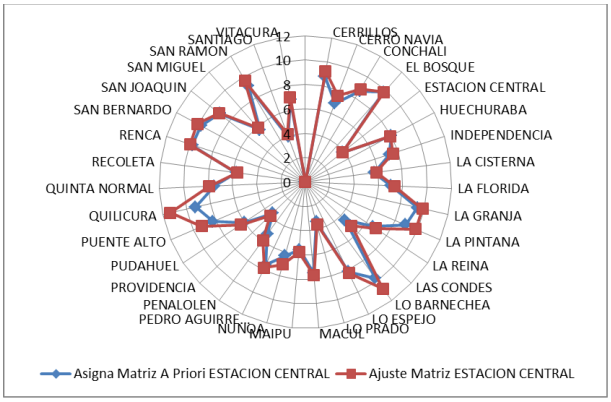
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

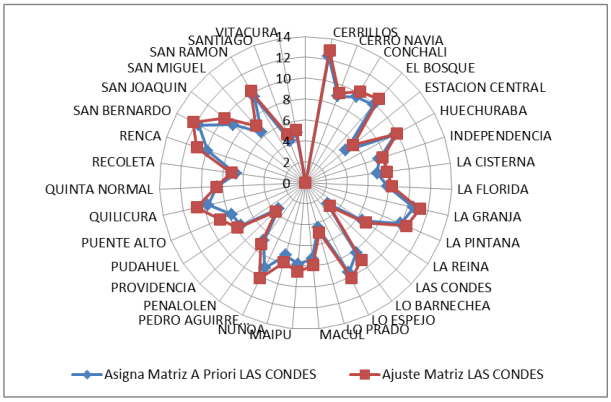
Se observa que para todas las comunas de análisis, la comuna de La Cisterna presenta el peor nivel de acceso, siendo la comuna con el mayor tiempo de acceso considerando las cuatro comunas de destino.

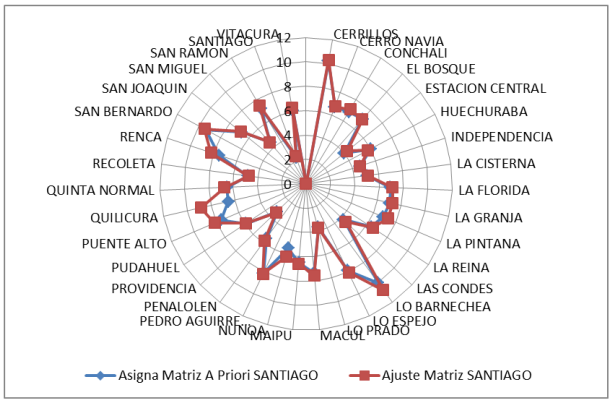
Al analizar los tiempos de espera se observa que tanto en el asignado como en el de matriz ajustada, en el destino Estación Central la comuna con más espera es Quilicura, para Las Condes es Cerrillos, para Santiago y Providencia es Lo Barnechea.

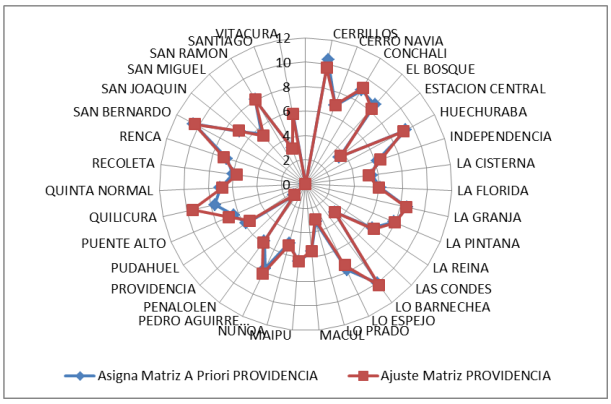
Al igual que en el modelo de asignación del periodo Punta Mañana, se destaca que la revisión de los tiempos de espera, caminata y viaje por mercado, es otra de las posibilidades de análisis que ofrece la herramienta de modelación en EMME, de modo que análisis más finos son posibles. En efecto, es posible diagnosticar/identificar mercados mal atendidos o con peor nivel de servicio, así como y evaluar en mercados específicos cambios en los Programas de Operación.

Figura 13-32: Tiempos de espera – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes



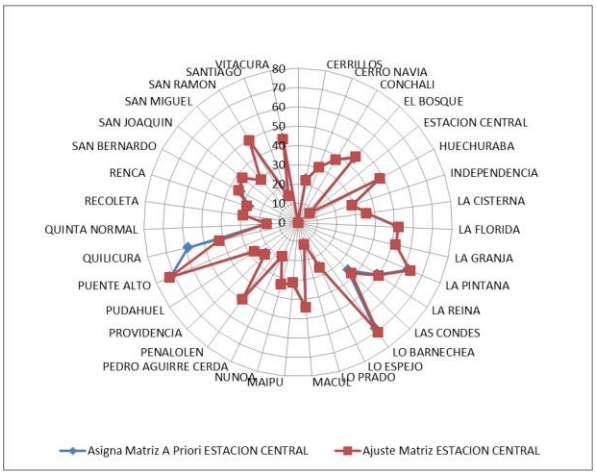


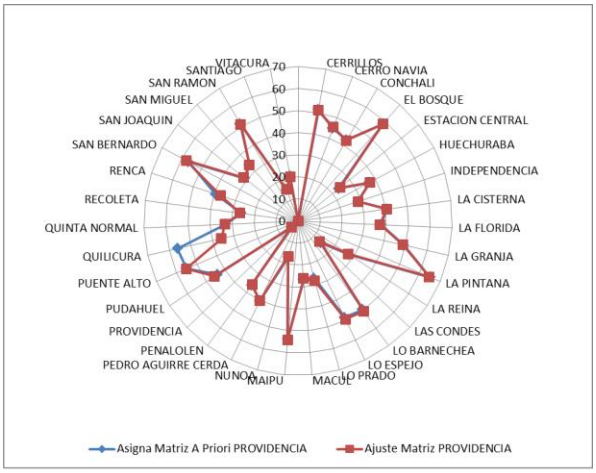


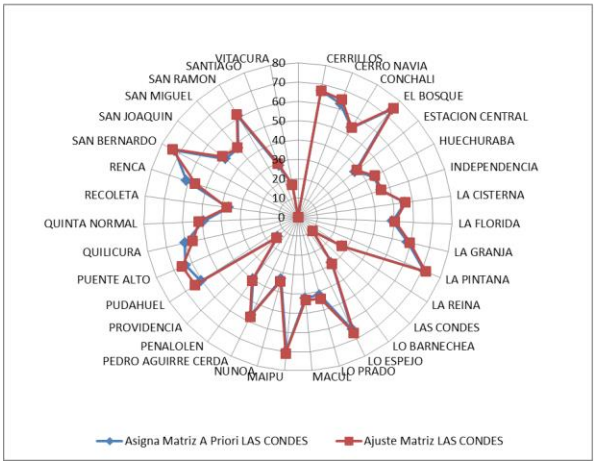


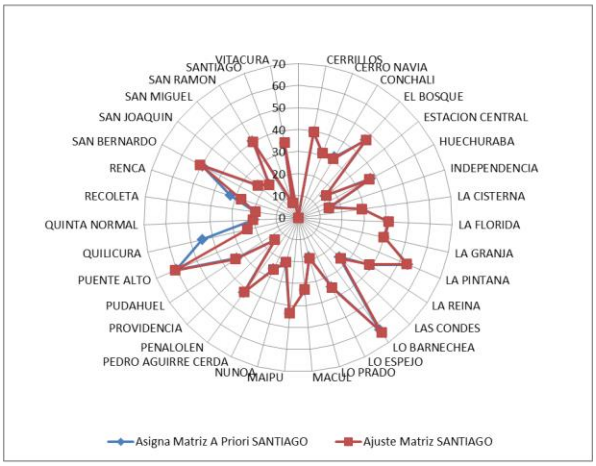
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 13-33: Tiempos de viaje – Destinos Estación Central, Santiago, Providencia, Las Condes









Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

A nivel general, se observa que el tiempo de viaje en vehículo es parecido en todos los escenarios analizados, cuestión que se ve también en los destinos analizados.

En el Anexo del capítulo, se reporta el archivo donde se presenta el tiempo según componente para cada par OD comunal.

14 ESCENARIOS FUERA DE PUNTA MAÑANA

14.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se describen los escenarios modelados correspondientes al periodo Fuera de Punta, que son reportados en el presente capítulo.

- **E4: Escenario JULIO 2018 FP:** este escenario considera la actualización de la oferta de buses (trazados, frecuencia y capacidad), según el Plan Operacional del mes de Julio 2018 en el periodo Fuera de Punta. Además, fueron actualizadas las características de operación de Metro a la misma fecha, incorporando a la red la operación de la Línea 6 y ajustando la oferta, capacidad y tiempos entre estaciones del resto de las líneas en dicho periodo.
- **E5**: **E4 + L3 + INDEPENDENCIA:** Sobre el **E4**, se incorpora la operación de la Línea 3, manteniendo las condiciones operacionales relativas al PO Julio 2018 para todo el sistema, excepto en el eje Independencia, entre Dorsal y Santa María, tramo en el que fueron modificadas las condiciones operacionales a las de un corredor, ajustando también los itinerarios de los servicios de buses que circulan por dicho eje.
- **E6**: **E5 + Ajuste de Malla por L3**: Sobre el escenario **E5**, se incorporan ajustes a la malla de buses (trazados, frecuencias y capacidad) que corresponden a propuestas para mejorar la lógica de la malla de buses producto de la entrada de operación de la Línea 3 de Metro.

En ninguno de los escenarios se consideran cambios en las características operacionales de Metrotren, ni tampoco cambio masivo de velocidades de buses en la red de modelación, respecto a lo incorporado inicialmente al modelo.

Respecto a la matriz de demanda, esta corresponde a la ajustada en el capítulo previo. Esta matriz corresponde al mes de agosto del 2017 ajustada por conteos.

En el Anexo 14 del capítulo, se presenta el Proyecto que contiene los escenarios asignados.

14.2 Escenario Base PO Julio 2018 FP – E4

Este escenario se construye a partir del escenario Base May17, que corresponde a la asignación de la matriz ajustada en el escenario que considera la oferta correspondiente al PO de buses vigente en mayo del 2017. Este nuevo escenario, considera la actualización de la oferta de buses (trazados, frecuencia y capacidad), según lo programado para Julio 2018 en el periodo Fuera de Punta Mañana.

A continuación un resumen de los servicios modificados respecto al Escenario Base Mayo17.

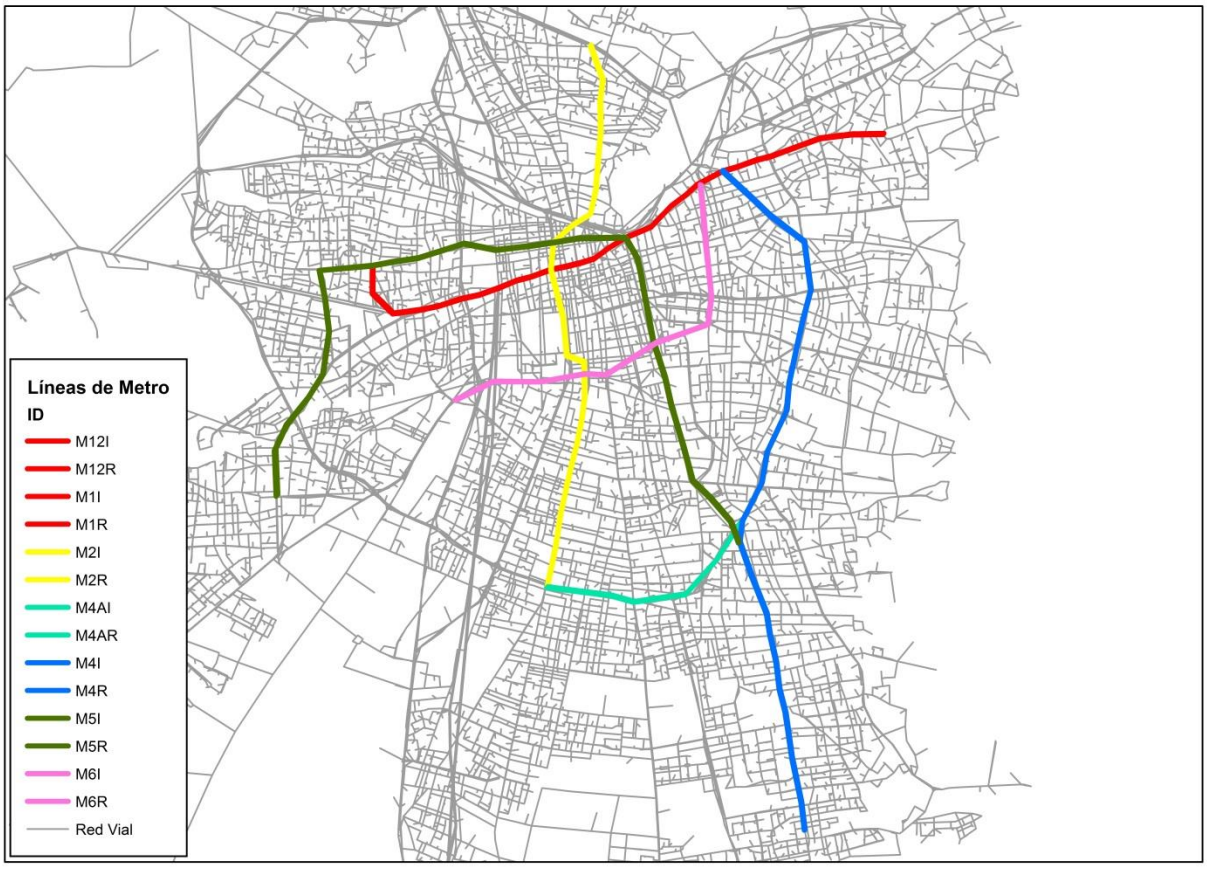
Tabla 14-1: Resumen Modificaciones

UN	Servicios Nuevos	Servicios Eliminados	Itinerarios Modificados	Cambio Oferta
1		1	16	28
2	2		34	44
3	2		49	87
4	4	2	26	68
5			42	67
6		2	41	42
7			14	12

Fuente: Información entregada por DTPM

De la misma manera, se actualizaron los parámetros de operación de Metro a la misma fecha, incorporando en la red la operación de la Línea 6 y ajustando la oferta, capacidad y tiempos entre estaciones del resto de las líneas.

Figura 14-1: Red Metro Modelo



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14-2: Frecuencia y capacidad Metro

	L1	L2	L4	L4A	L5	L6
Frecuencia (Trenes/Hora)	25,5	15,8	17,9	11,7	18,5	10,7
Capacidad (Plazas/Hora)	36.933	20.231	14.227	9.236	21.493	13.858

Fuente: Información entregada por DTPM

Los resultados de la asignación con restricción de capacidad, se presentan a continuación:

Tabla 14-3: Resultados Globales

Ítem	Escenario Mayo17	Escenario Base Jul18
Etapas Buses	267,200	252,990
Etapas Metro	96,641	114,597
Etapas Metro (con transbordo Metro Metro)	131,539	160,767
Total Etapas (sin transbordo Metro Metro)	365,820	370,727
Matriz de viajes	226,263	226,263
Etapas Bip por viaje	1.71	1.73
Etapas caminando	10,969	11,383

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observa un aumento en las etapas de metro y una disminución de las etapas de buses en el escenario correspondiente al PO de Julio 18 respecto al de Mayo 2017, principalmente explicado por la incorporación de la Línea 6. Por otro lado, existe un aumento en las etapas totales y en las Etapas Bip por Viaje

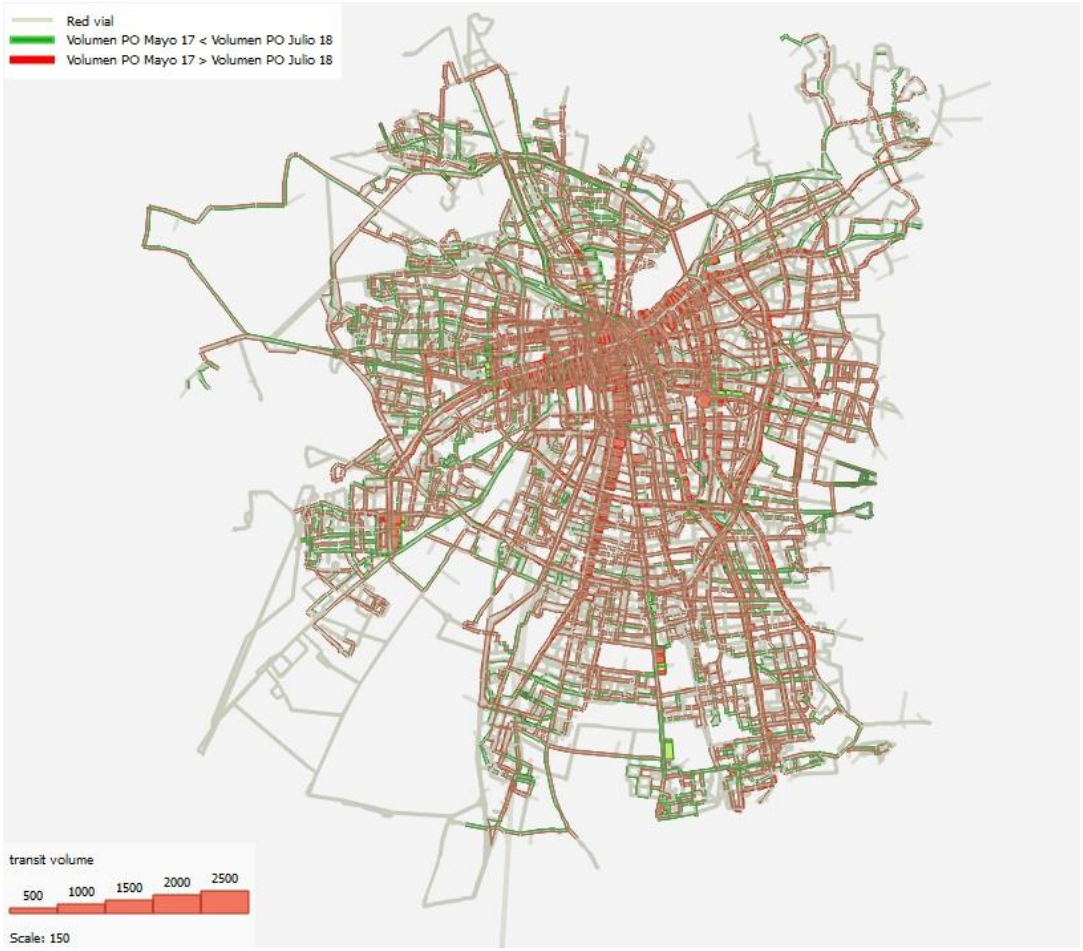
Las siguientes figuras muestran la diferencia de flujo entre los escenarios Mayo 2017 y Julio 2018 para buses y Metro

Figura 14-2: Comparación Flujo entre Escenarios Mayo 2017 y Julio 2018 – Metro



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-3: Comparación Flujo entre Escenarios Mayo 2017 y Julio 2018 – Buses



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Las diferencias de flujo en la red, son explicadas por los cambios en la oferta de la red de buses y la incorporación de la línea 6 a la operación de Metro, lo que hace mucho más atractiva la red de metro, aumentando las etapas asignadas a metro y los transbordos de dicho modo. En el caso de los buses, se observa una disminución del flujo de pasajeros extendida en la red, aunque destacan en mayor magnitud los ejes asociados a las Línea 1 y Línea 2 de metro, que son las líneas con mayor influencia de la Línea 6.

A continuación se presentan las etapas por Unidad de Negocio y los transbordos entre modos. La información de etapas es comparada con los resultados de la asignación del PO de Mayo del 2017.

Tabla 14-4: Resultados Etapas por Unidad de Negocio

Etapas por UN	Escenario Base May17	Escenario Base Jul18
U1	31,206	28,809
U2	46,712	43,717
U3	49,957	47,126
U4	48,009	46,394
U5	46,782	44,287
U6	27,709	26,515
U7	16,825	16,142

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

La baja a nivel de etapas de bus, es generalizada por Unidad de Negocio. Sin perjuicio de esto se observa que el 75% de la pérdida se concentra en las Unidades 1, 3 y 5.

Tabla 14-5: Transbordos entre Modos

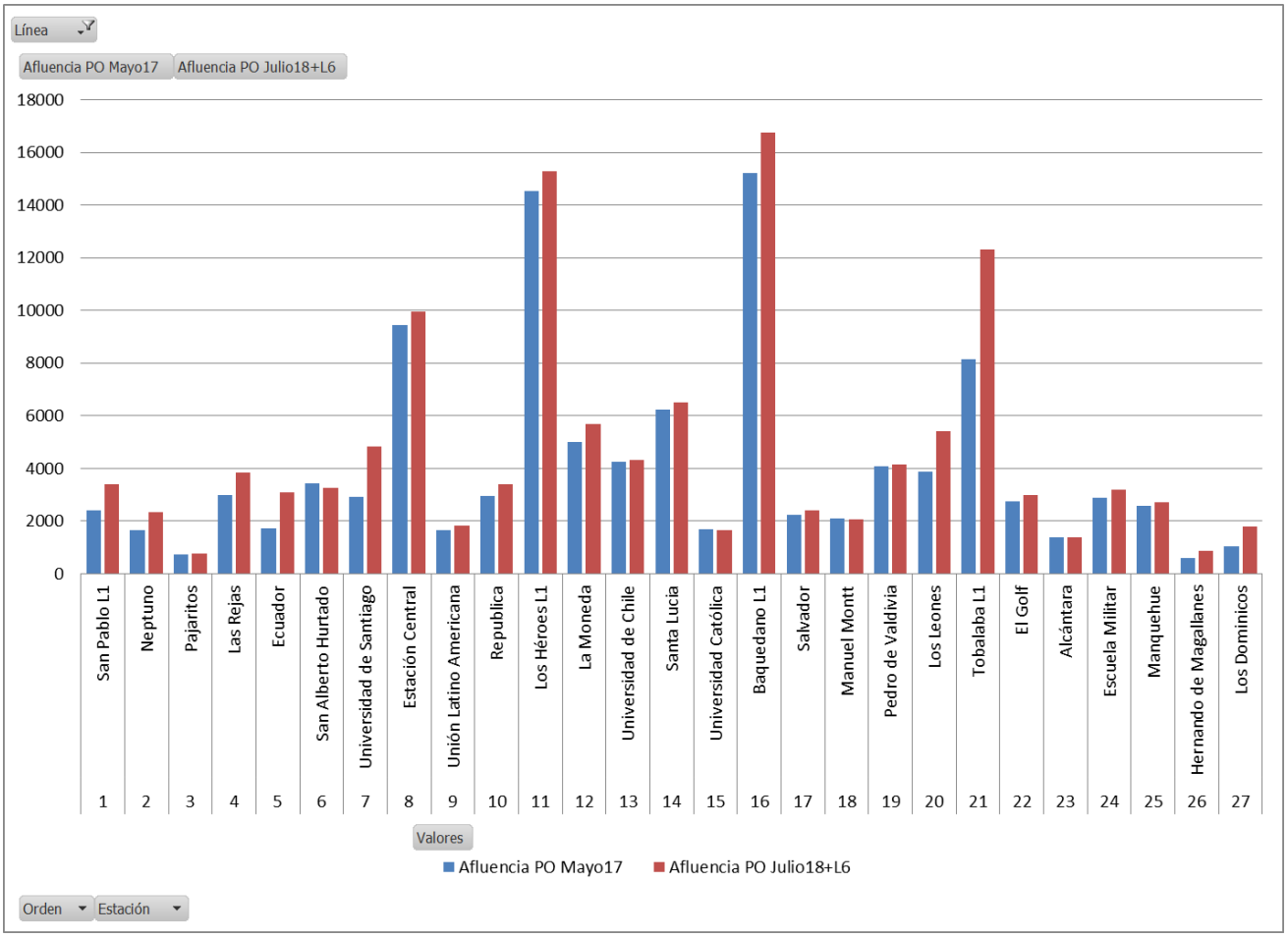
Etapas Transbordo	Escenario Base May17	Escenario Base Jul18
Bus-Bus	67,622	52,032
Bus-Metro	42,380	52,791
Metro-Metro	34,898	46,170
Metro-Bus	38,968	47,462
Bus-Metrotren	891	1,622
Metro-Metrotren	182	351
Metrotren-Bus	545	684
Metrotren-Metro	922	1,792

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Como se observa de los transbordos entre modos, aumentan todos los que involucran a Metro y disminuyen solo los transbordos bus-bus, todo esto consistente con la incorporación de la Línea 6 y el consecuente aumento de capacidad disponible en toda la red de Metro, por la redistribución de flujos de pasajero en las distintas líneas. Cabe señalar, que la disminución de los transbordos bus-bus es menor que el aumento de los transbordos bus-metro y metro-bus, lo que explica en parte el aumento de las etapas por viaje.

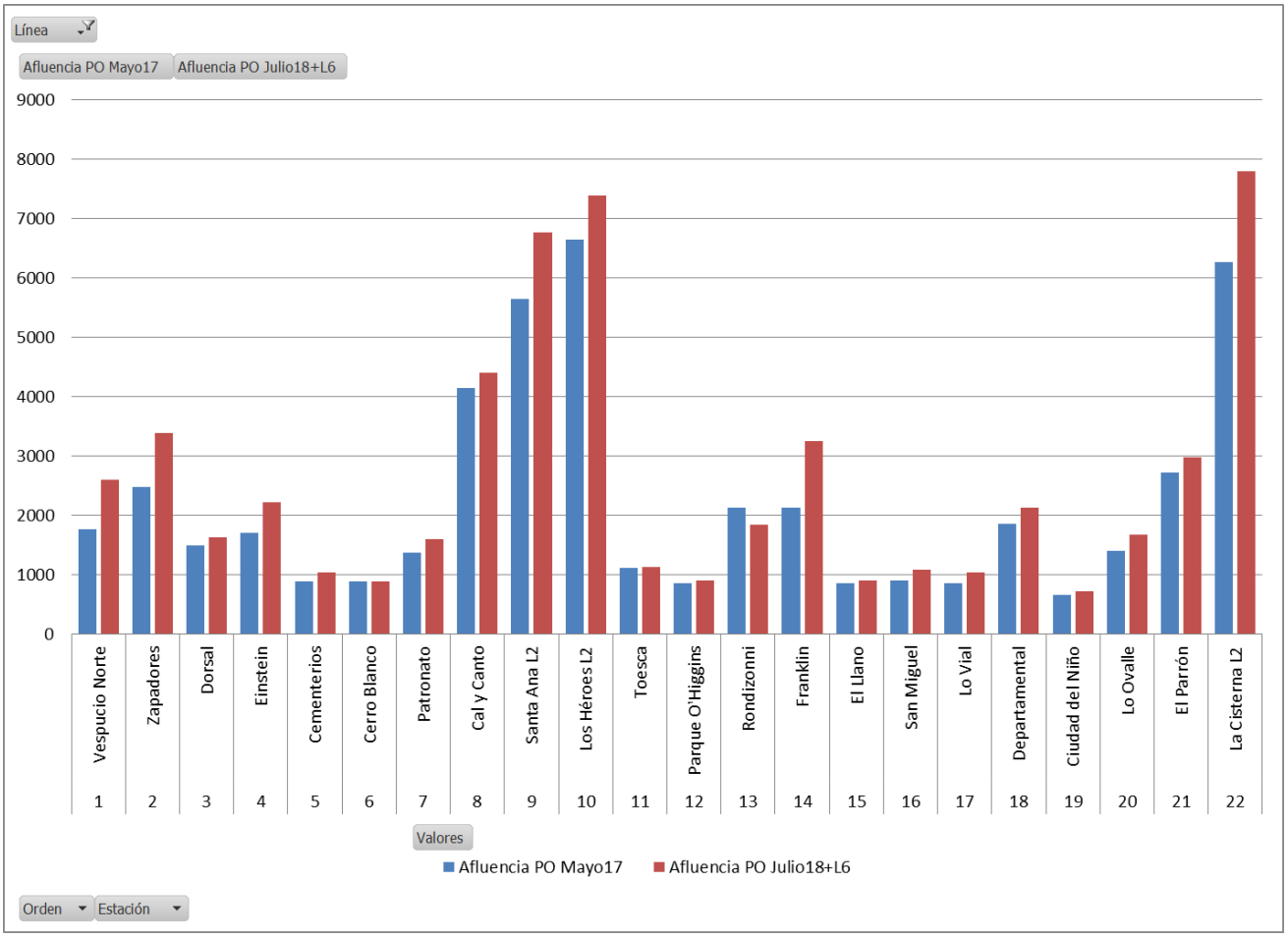
A continuación se presentan un comparativo de subidas por estación y perfiles de carga para Metro.

Figura 14-4: Afluencia Línea 1



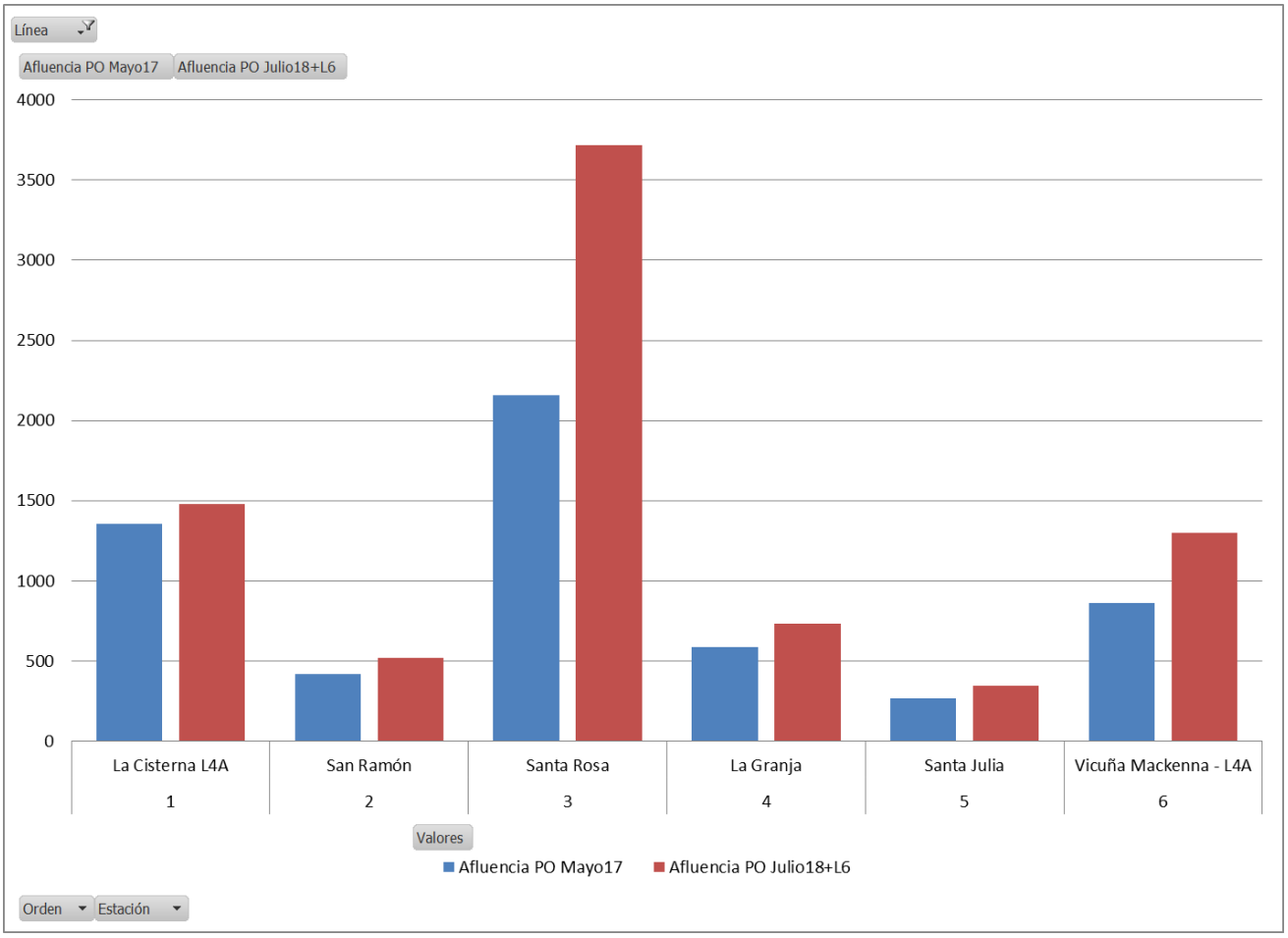
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-5: Afluencia Línea 2



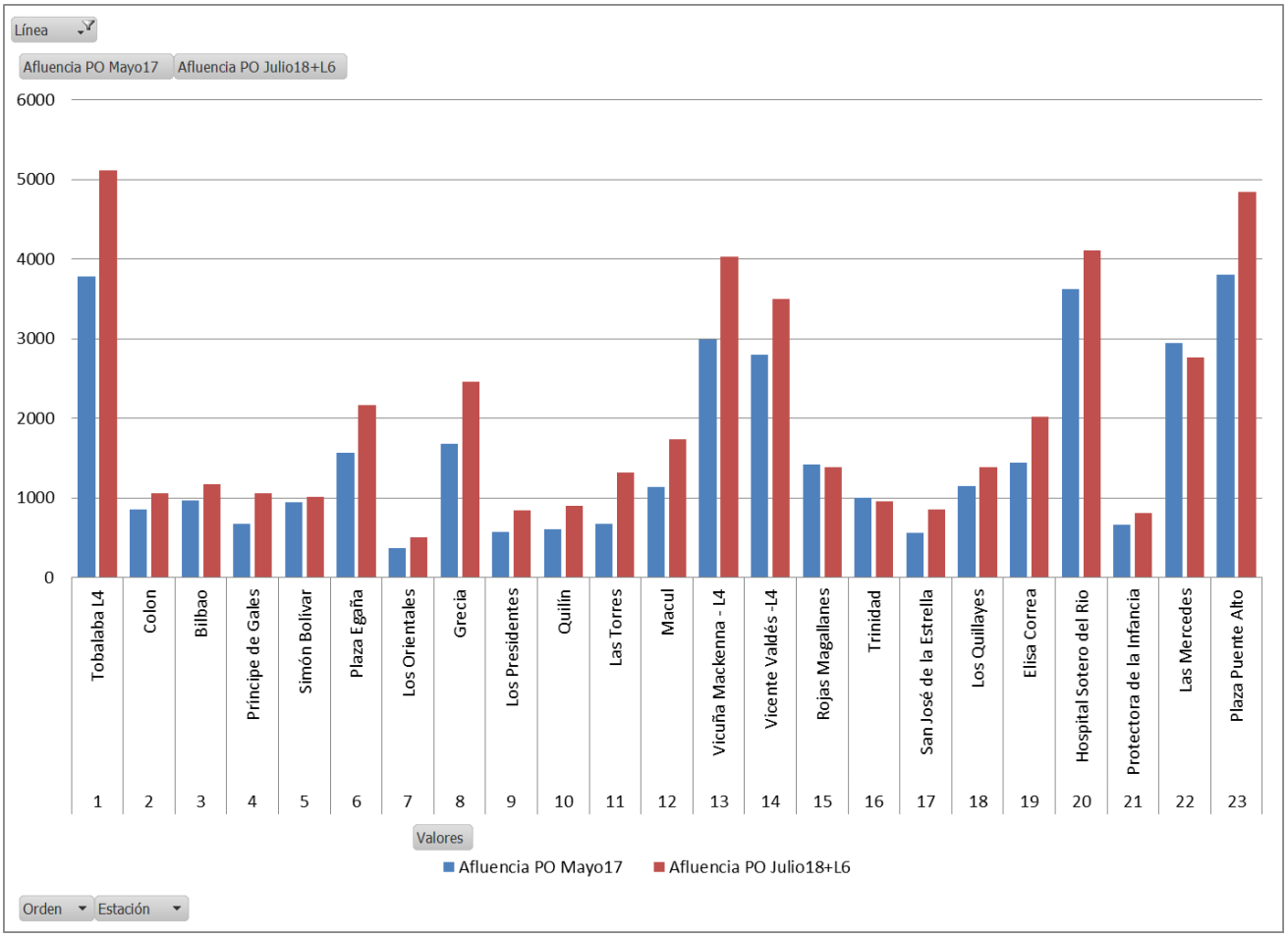
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-6: Imagen. Afluencia Línea 4A



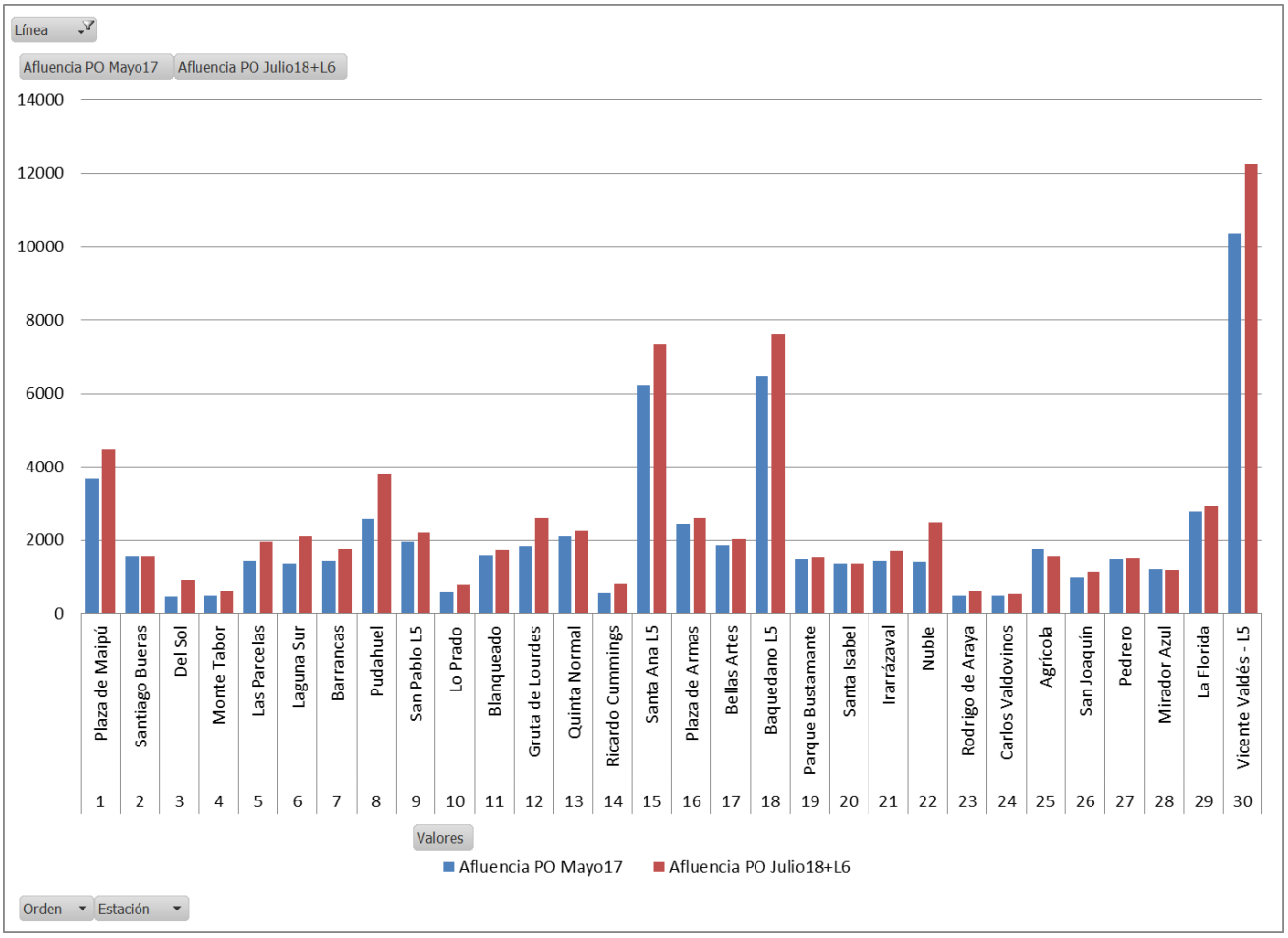
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-7: Afluencia Línea 4



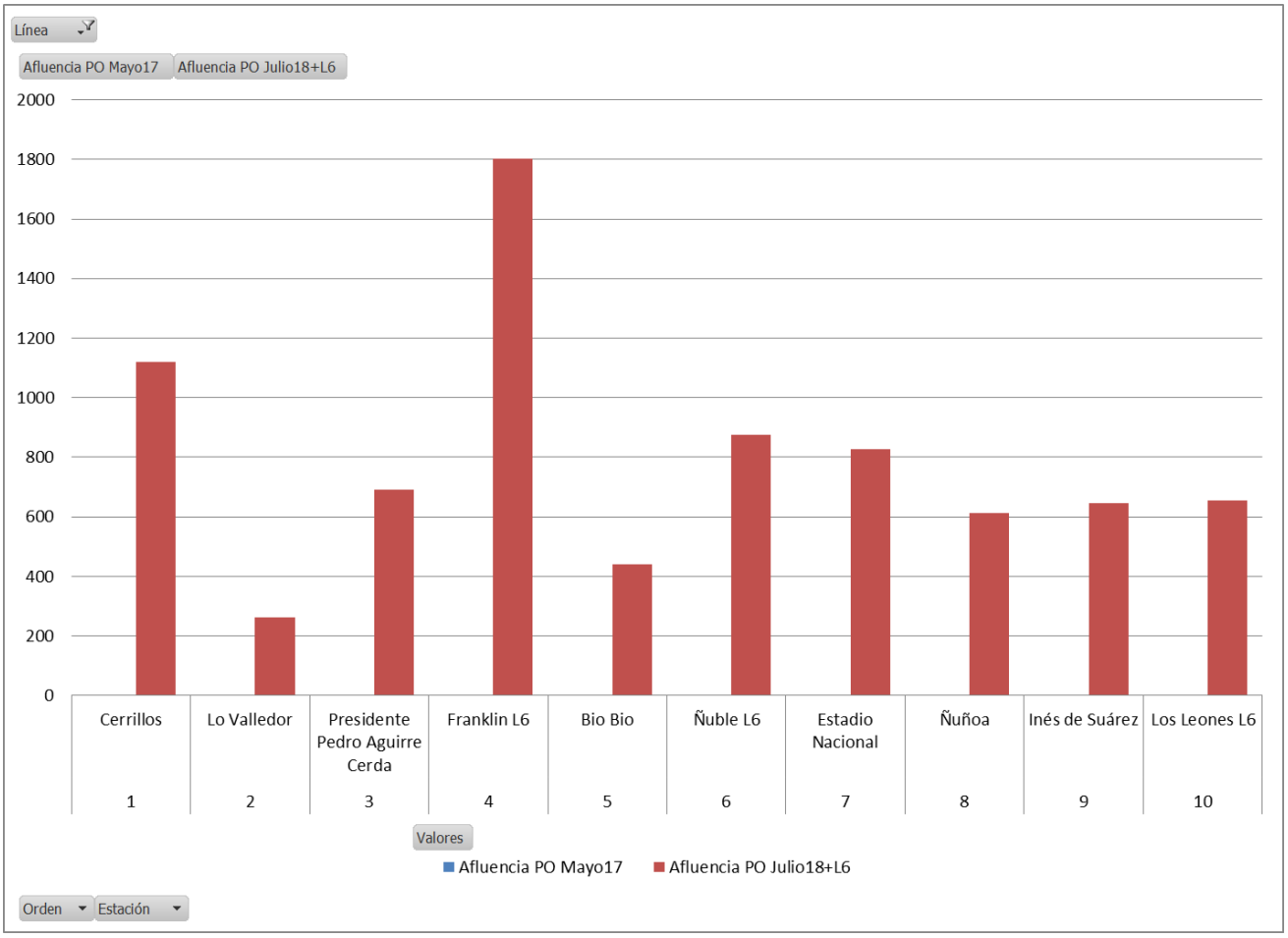
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-8: Afluencia Línea 5



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

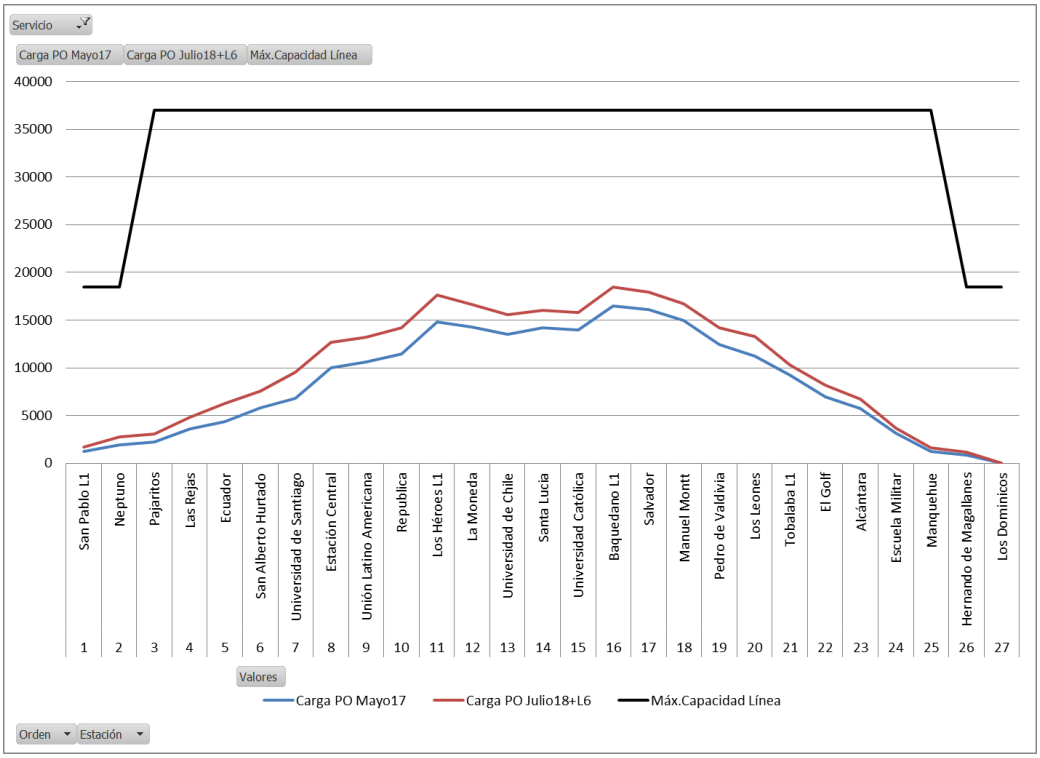
Figura 14-9: Afluencia Línea 6



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

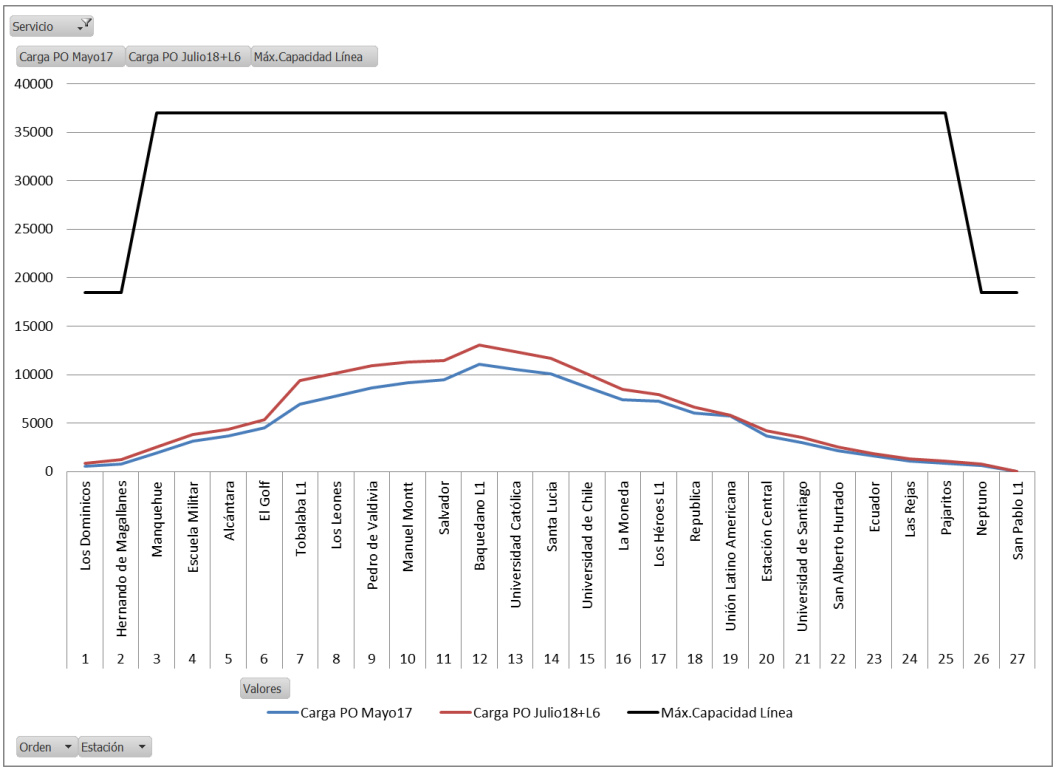
A continuación se presentan los perfiles de carga por línea sentido.

Figura 14-10: Perfil de Carga L1I



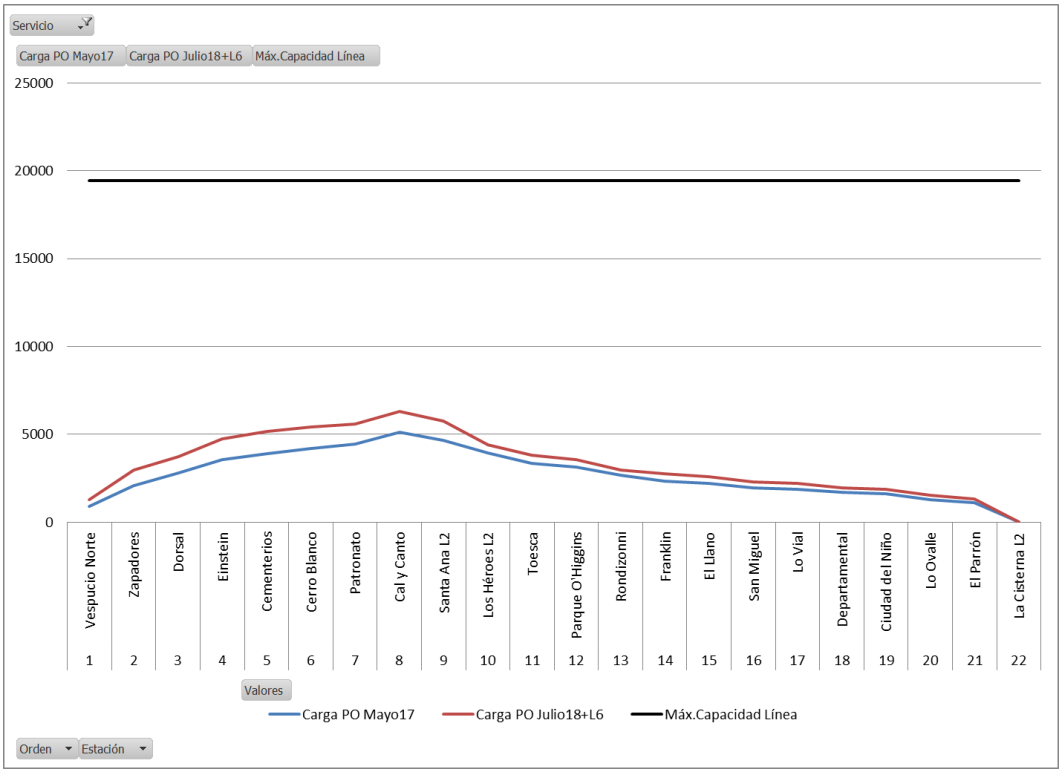
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-11: Perfil de Carga L1R



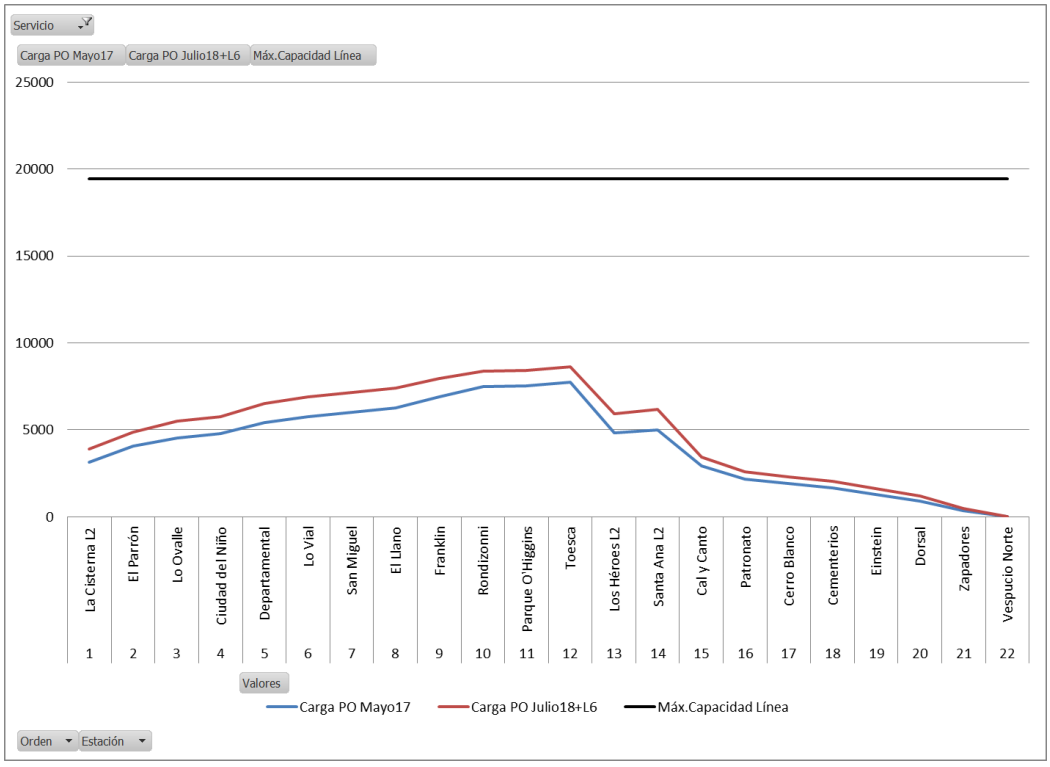
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-12: Perfil de Carga L2I



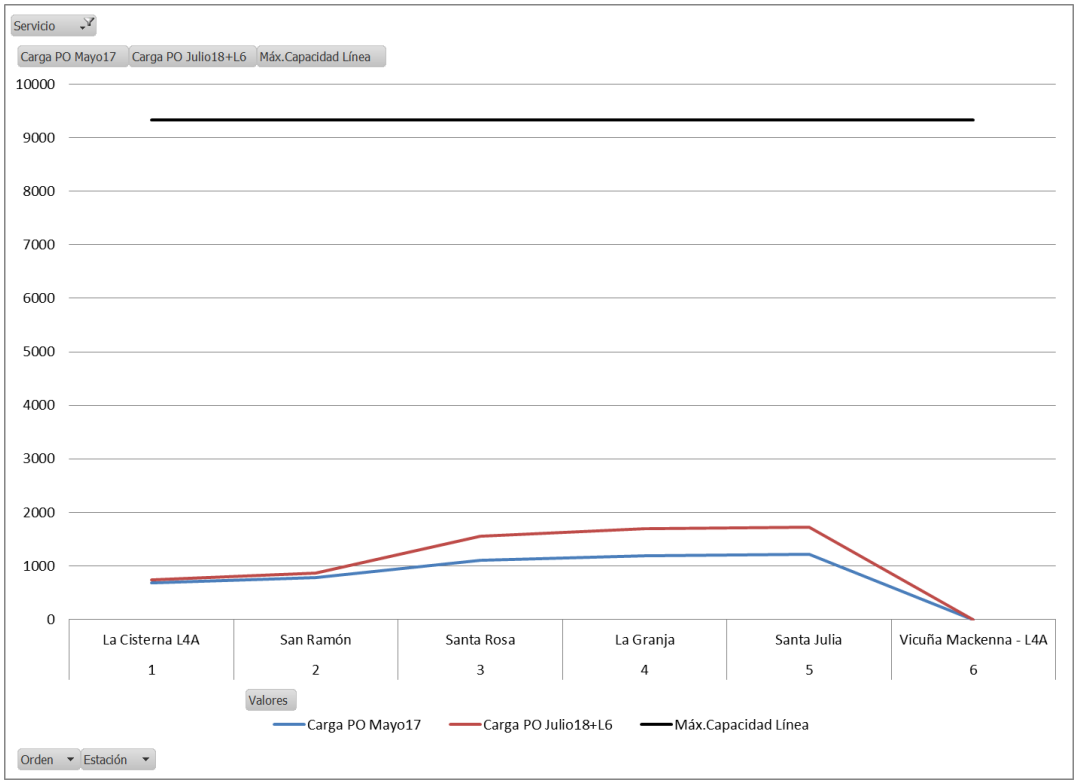
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-13: Perfil de Carga L2R



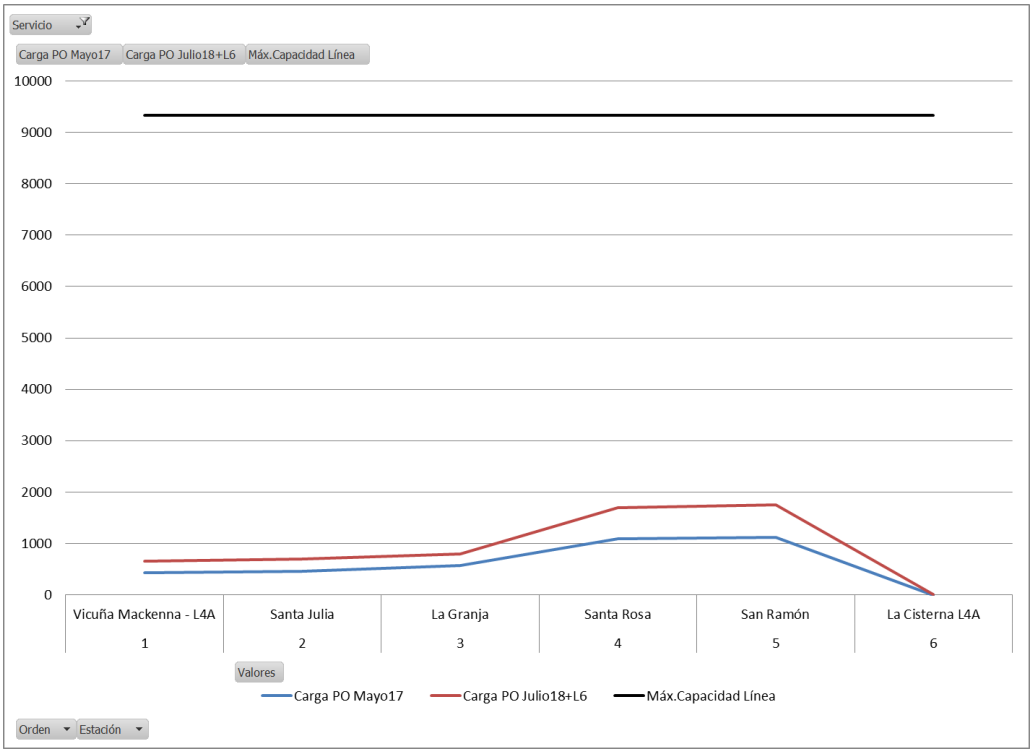
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-14: Perfil de Carga L4AI



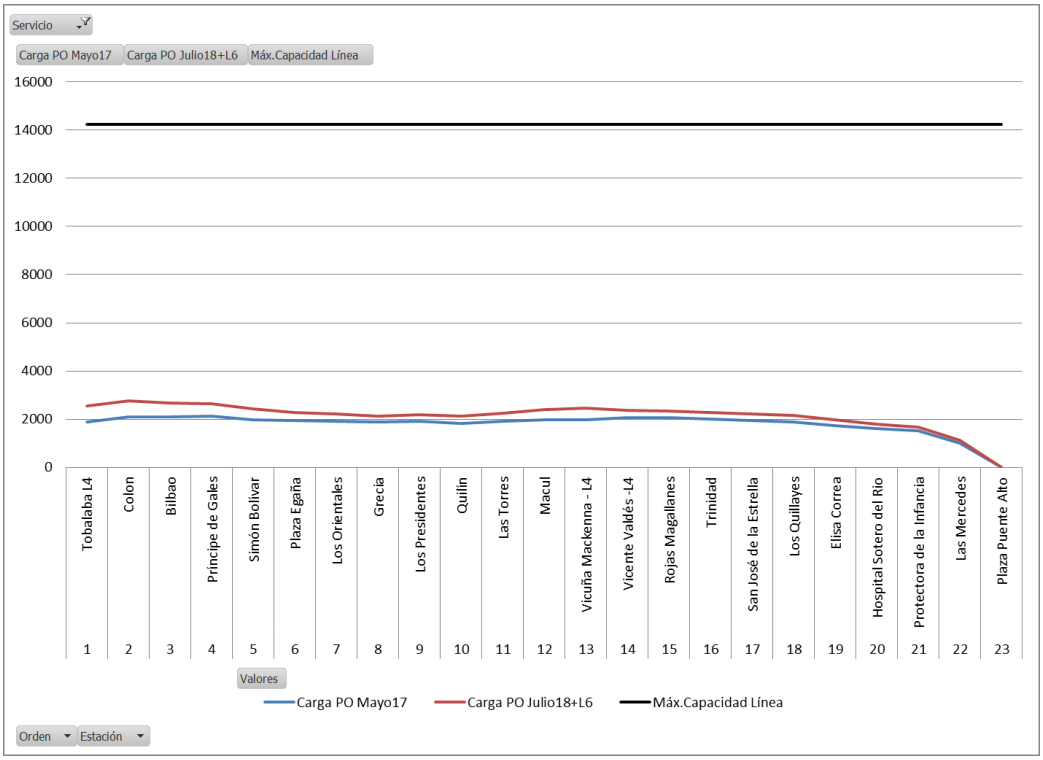
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-15: Perfil de Carga L4AR



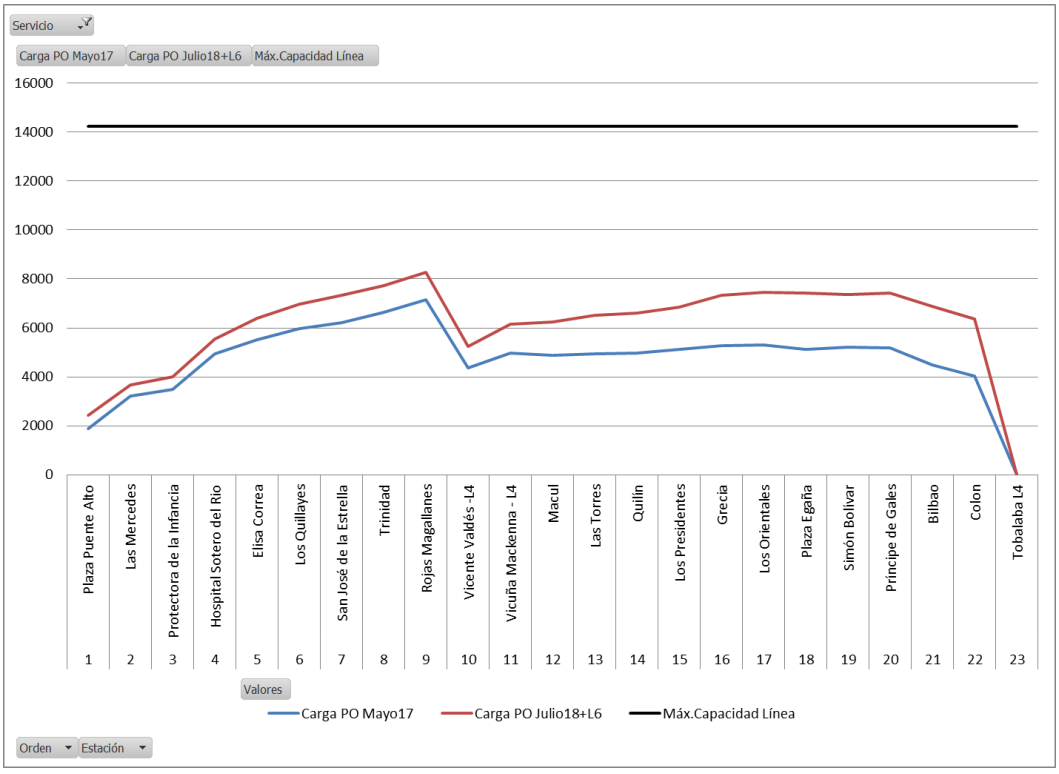
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-16: Perfil de Carga L4I



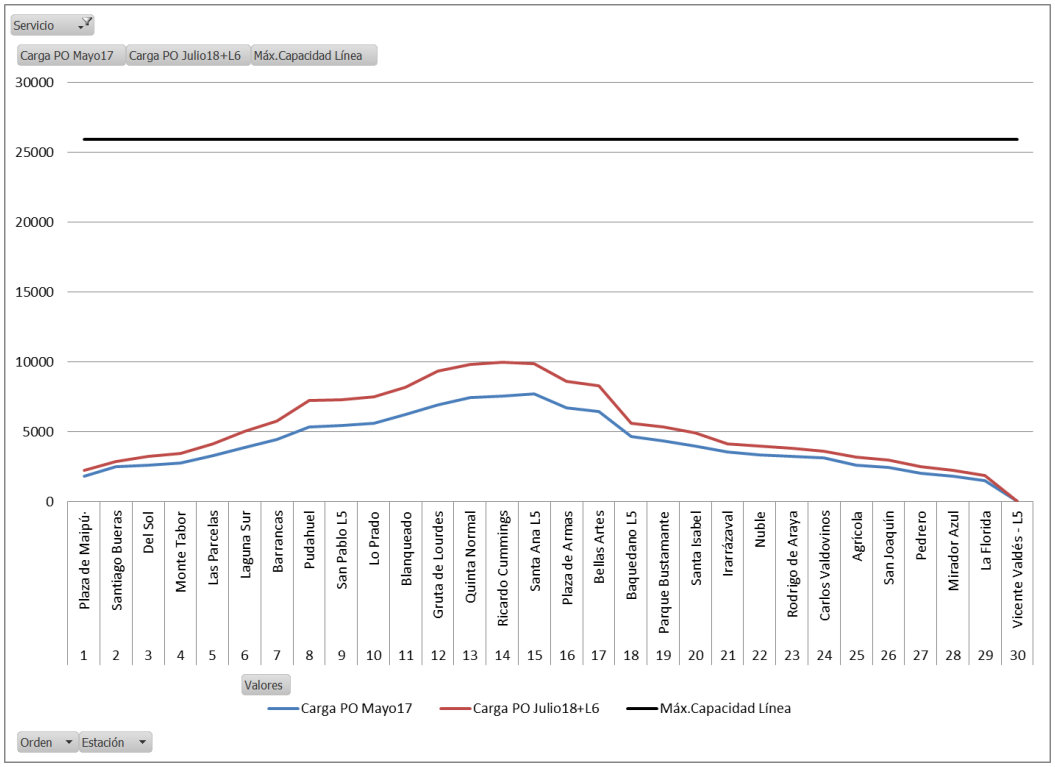
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-17: Perfil de Carga L4R



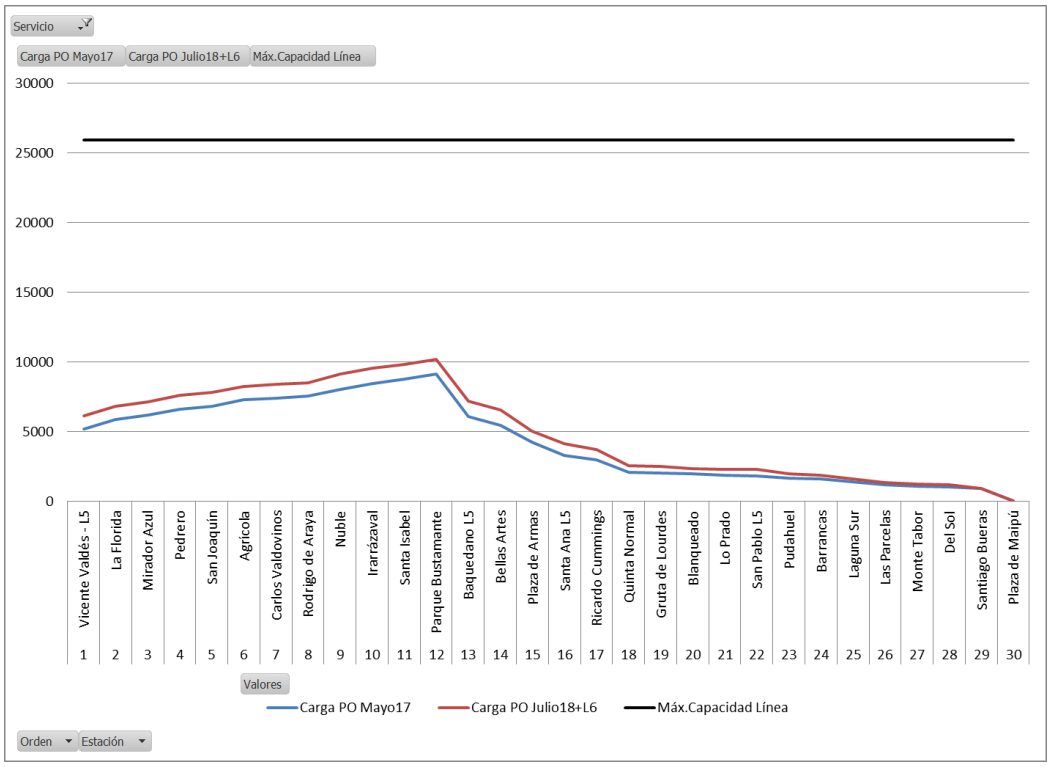
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-18: Perfil de Carga L5I



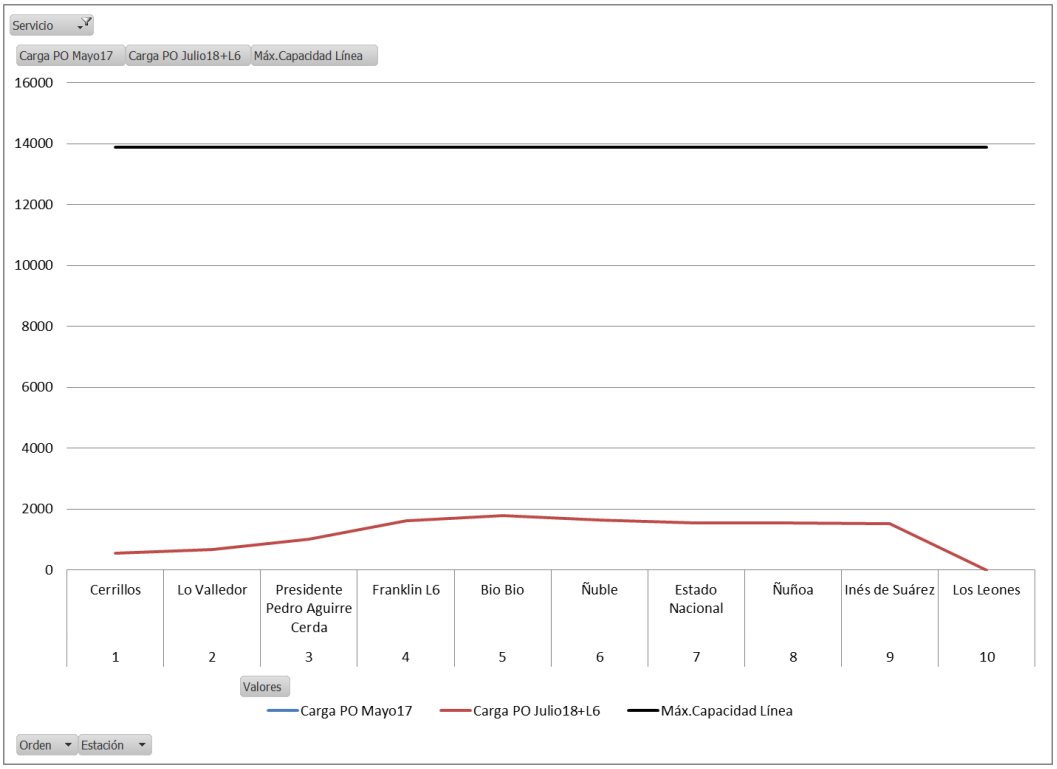
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-19: Perfil de Carga L5R



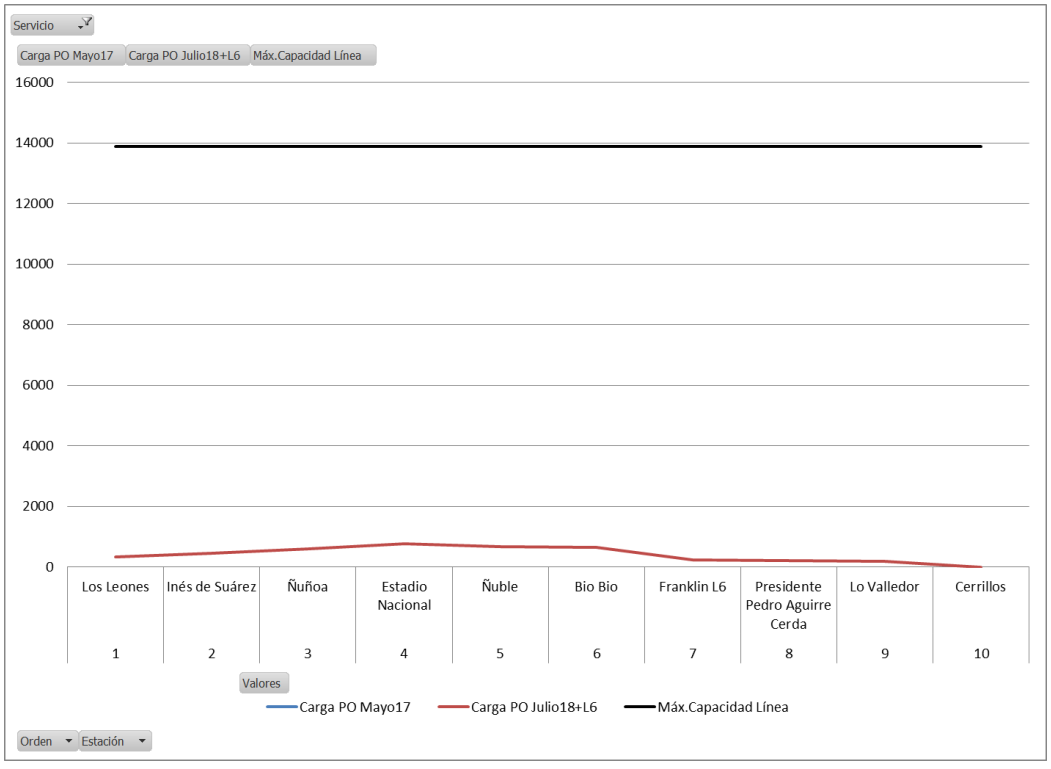
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-20: Perfil de Carga L6I



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-21: Perfil de Carga L6R



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En general, se observa un aumento en la carga de las líneas de metro.

Respecto a los servicios de bus, a continuación se muestran los servicios que reportan las mayores variaciones de etapas asignadas.

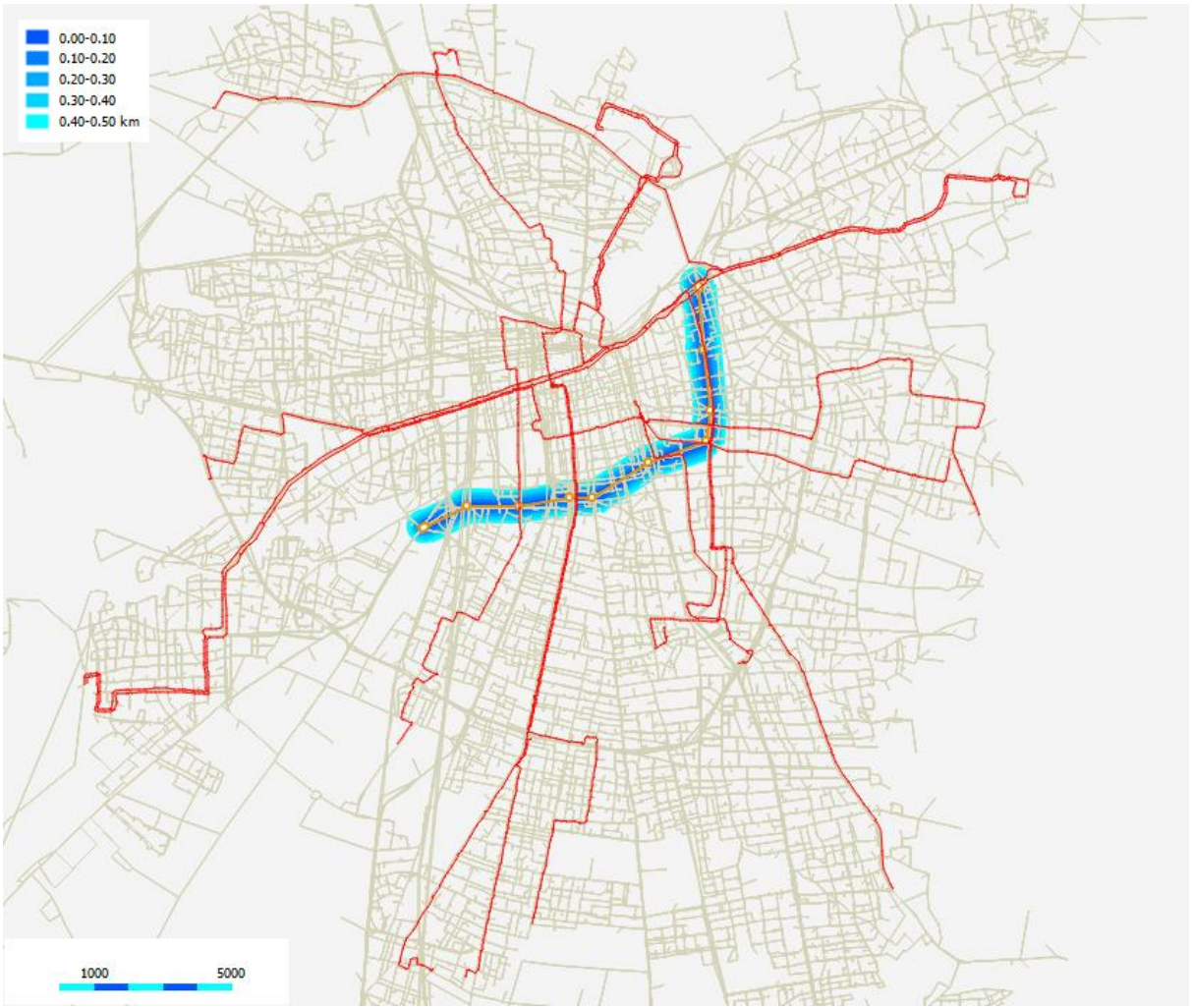
Tabla 14-6: Etapas de servicios con mayor modificación.

UN	Servicios	Escenario Base_May17	Escenario Base_Jul18	Variación %	Itinerario Modificado
1	101I	486	743	51	X
1	114I	329	132	-60	X
1	114R	498	178	-64	X
1	116I	476	894	88	X
2	201eI	598	400	-33	
2	216I	611	371	-39	X
2	G08I	208	280	35	X
2	G08R	145	217	50	X
3	301cR	251	39	-84	
3	350R	117	44	-62	X
3	I20R	107	176	65	
3	I22I	73	134	84	X
4	D16I	352	244	-31	
4	D17R	219	108	-51	X
4	D20I	165	231	40	X
4	407R	1275	1765	38	
5	J02I	868	548	-37	
5	J05I	975	651	-33	X
5	J06R	22	57	159	X
5	J15cR	43	80	88	
6	B26R	325	198	-39	
6	C02cI	19	128	565	X
6	C18I	155	61	-61	
6	C22I	25	86	253	
7	F02I	26	16	-41	X
7	F02R	72	149	107	X
7	F03cR	66	122	87	
7	F12I	470	236	-50	

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En relación a la variación de etapas, específicamente los servicios con mayor impacto entre PO Mayo 17 y PO Julio 18 es el de la UN1 y UN5, producto de los cambios de itinerarios y de oferta entre ambos PO's

Figura 14-22: Servicios con mayores modificaciones e influencia Línea L6.



Fuente: Elaboración Propia

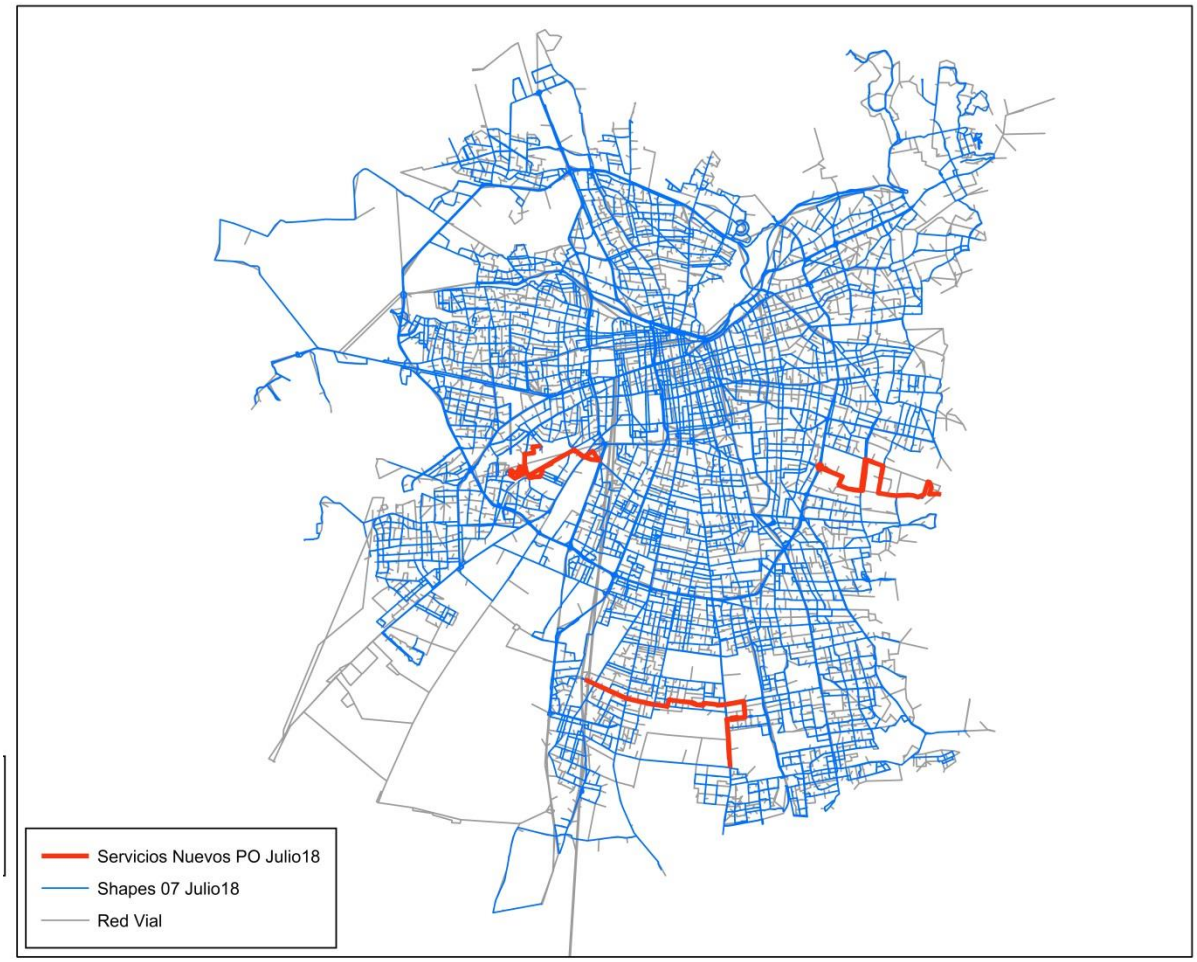
A continuación, se presentan los servicios nuevos del escenario correspondiente al PO Julio 2018.

Tabla 3 6: Etapas Servicios Nuevos, Escenario Julio 2018

Servicio	Etapas
D17vI	113
D17vR	90
G23I	52
G23R	183
I25I	33
I25R	44

Fuente: Elaboración Propia

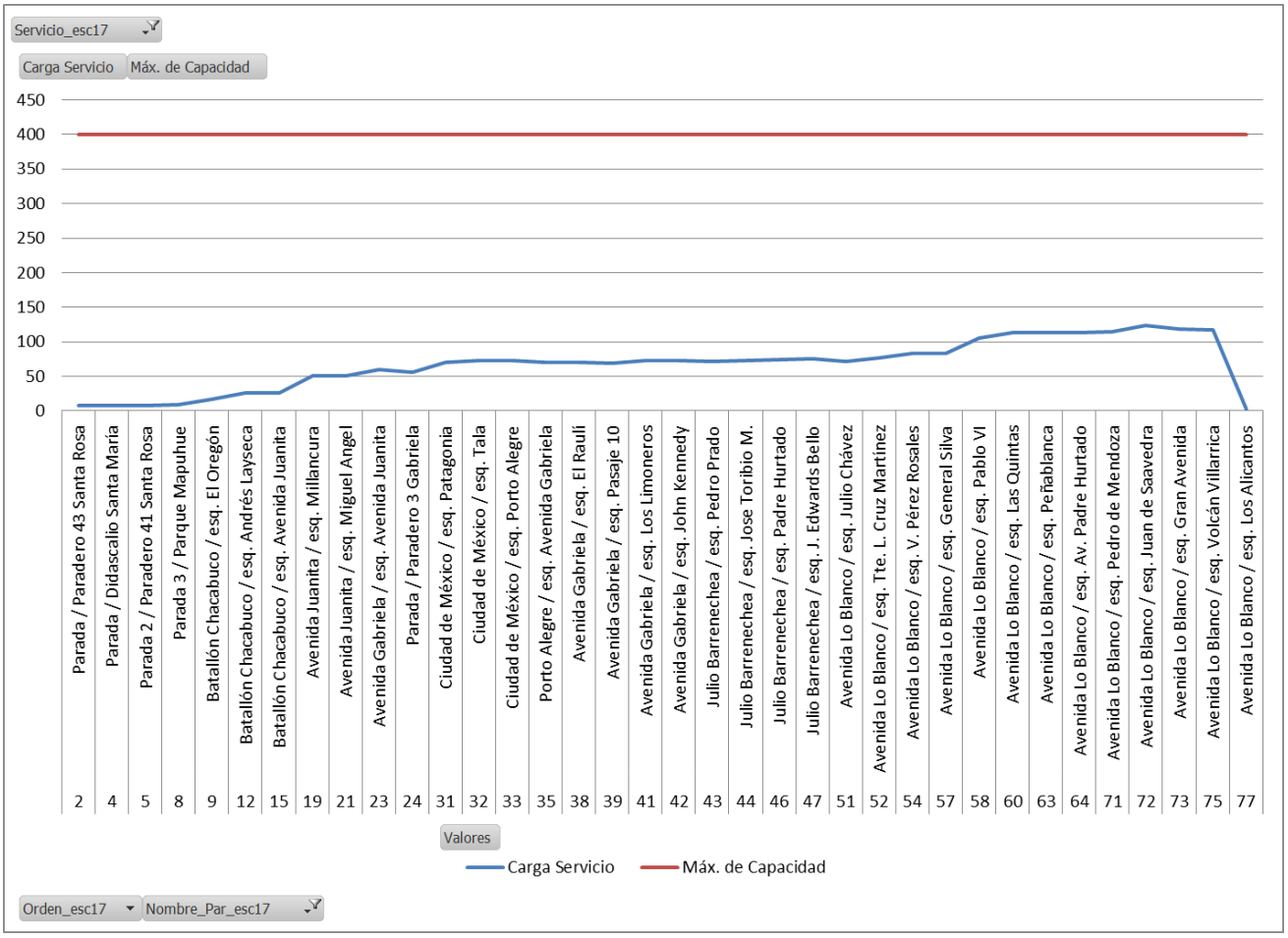
Figura 14-23: Mapa Servicios Nuevos Escenario Julio 2018



Fuente; Elaboración Propia

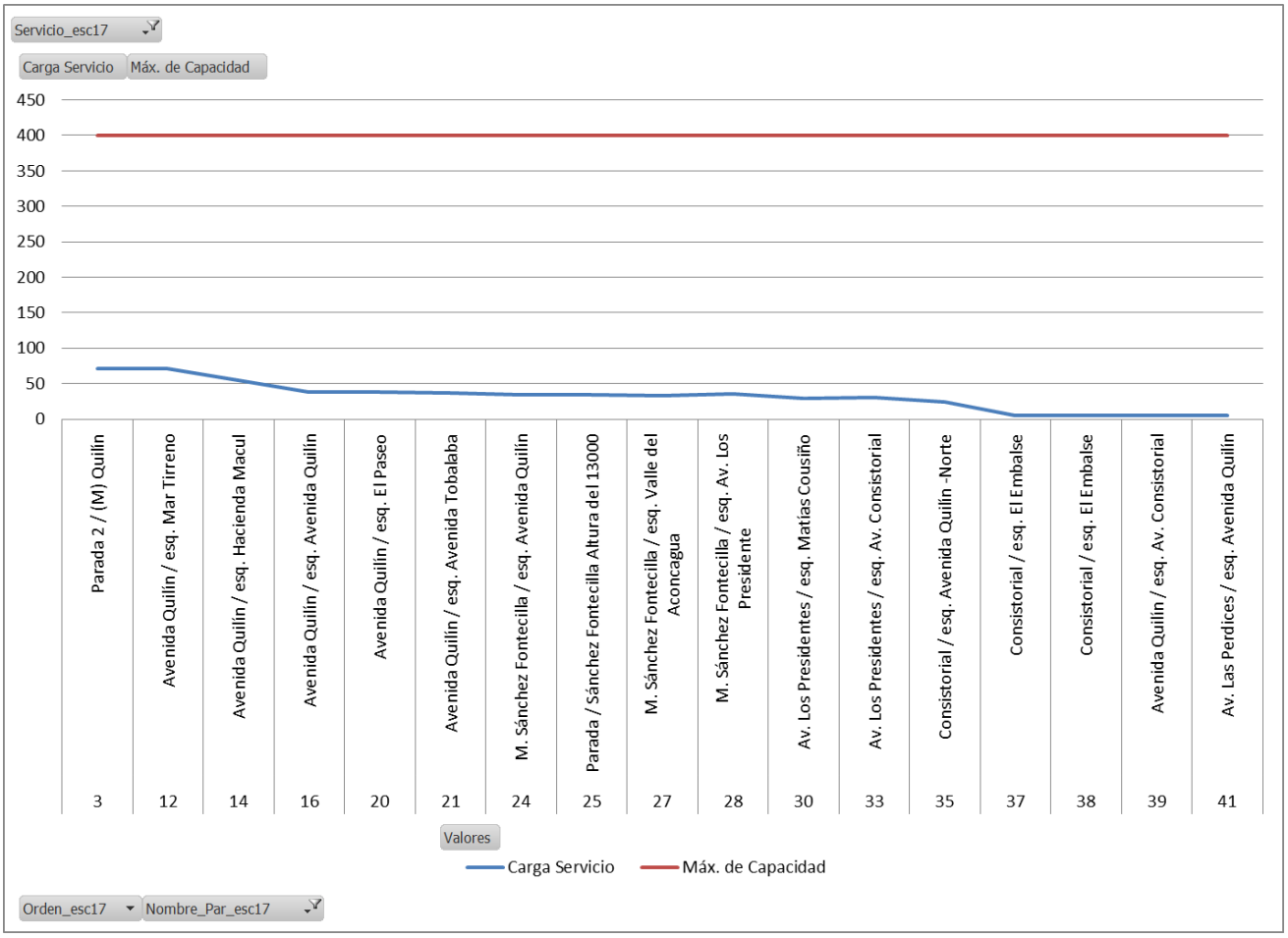
A continuación se presentan algunos de los perfiles de carga de los servicios nuevos.

Figura 14-24: Perfil de Carga G23R



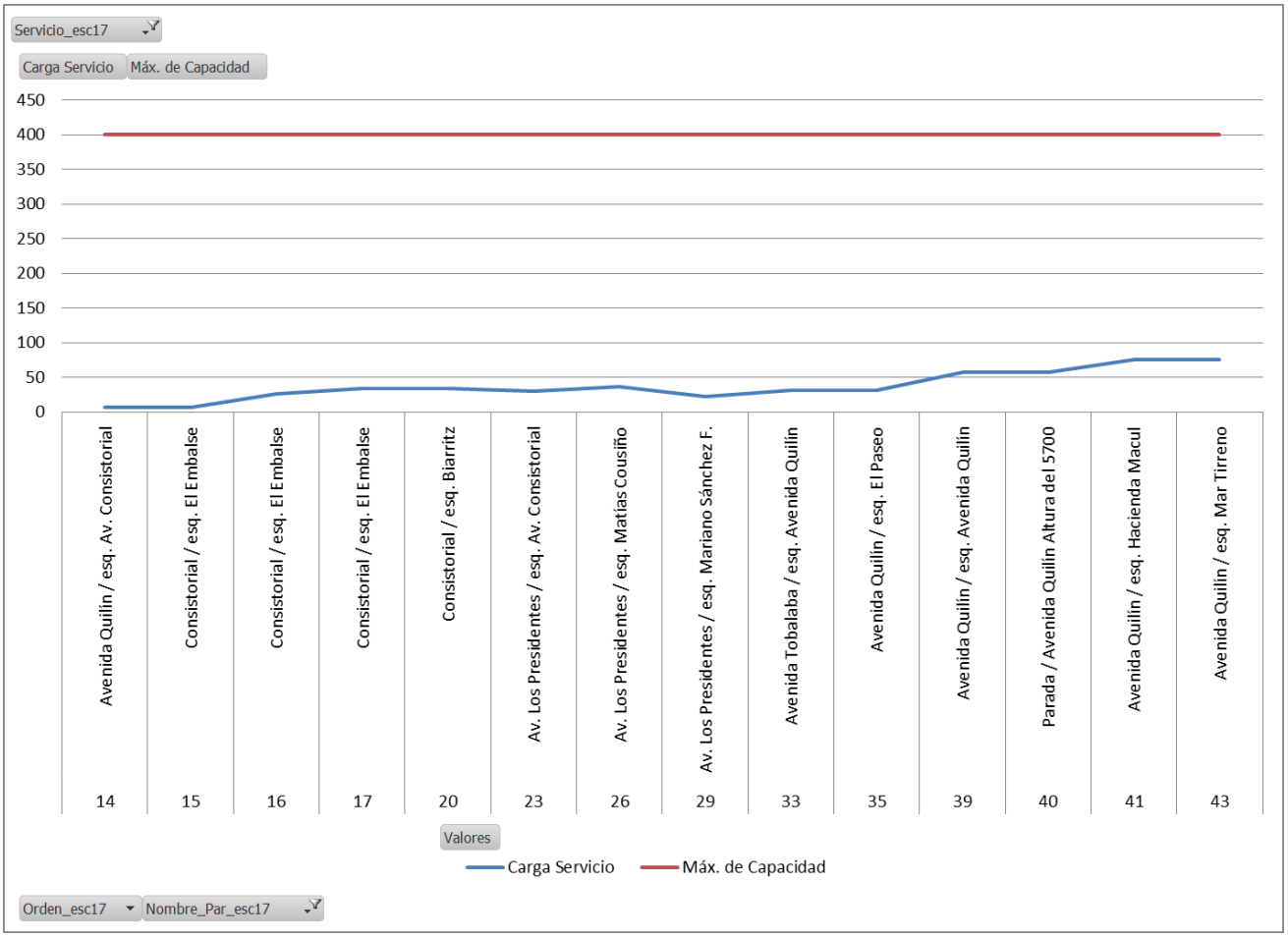
Fuente: Elaboración Propia

Figura 14-25: Perfil de Carga D17vR



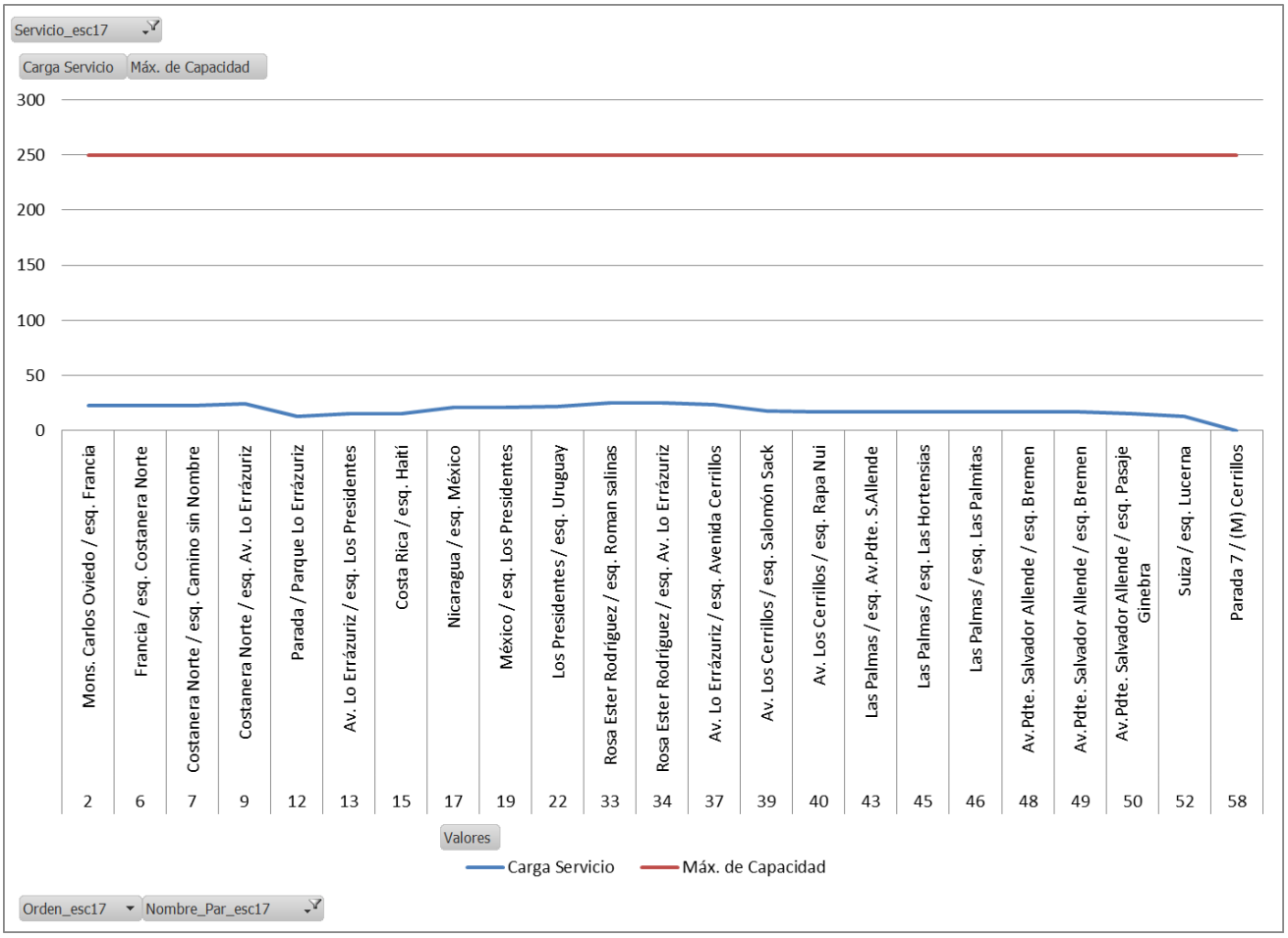
Fuente: Elaboración Propia

Figura 14-26: Perfil de Carga D17vI



Fuente: Elaboración Propia

Figura 14-27: Perfil de Carga I25R

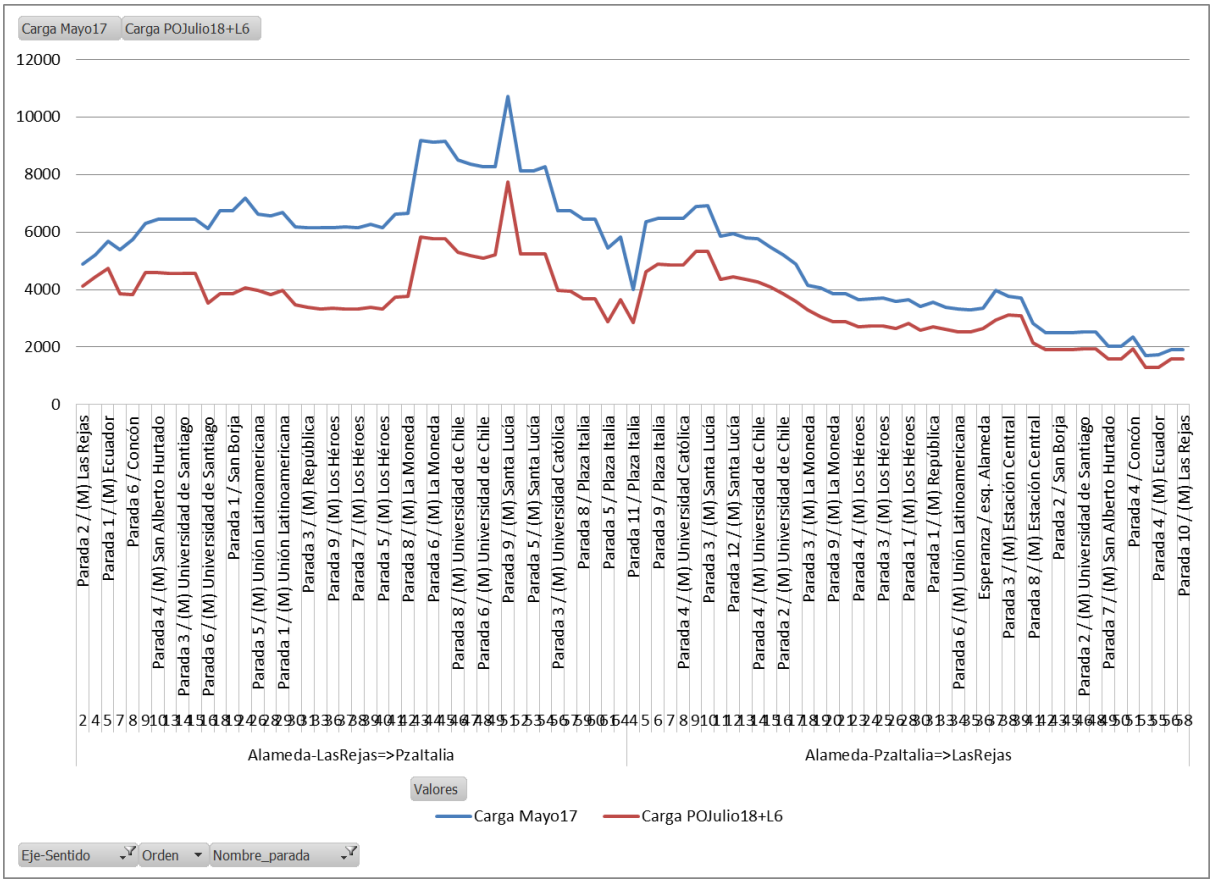


Fuente: Elaboración Propia

En Anexo 14 del capítulo se encuentra la comparación de todos los perfiles del sistema.

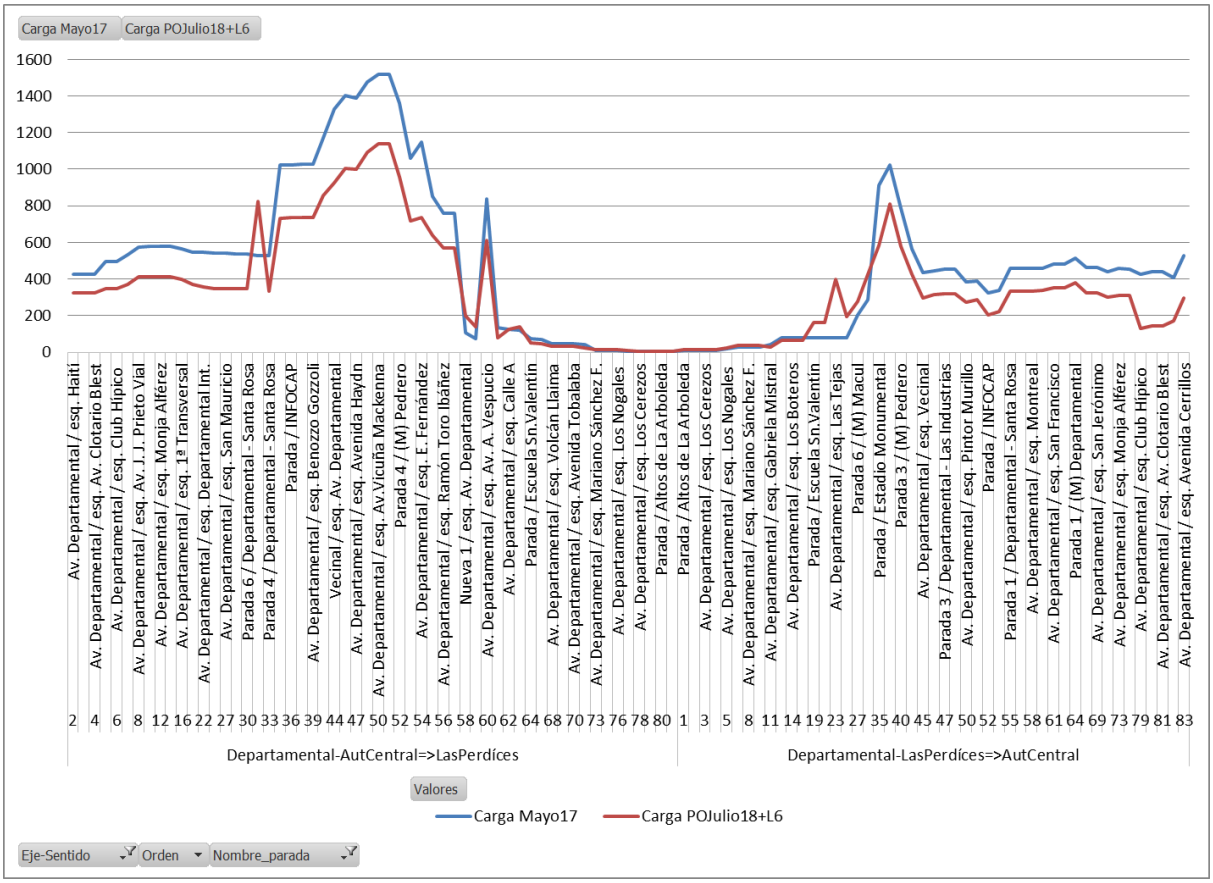
A continuación se presenta el flujo de pasajeros de los escenarios en algunos ejes relevantes de la ciudad.

Figura 14-28: Perfil de Eje Alameda



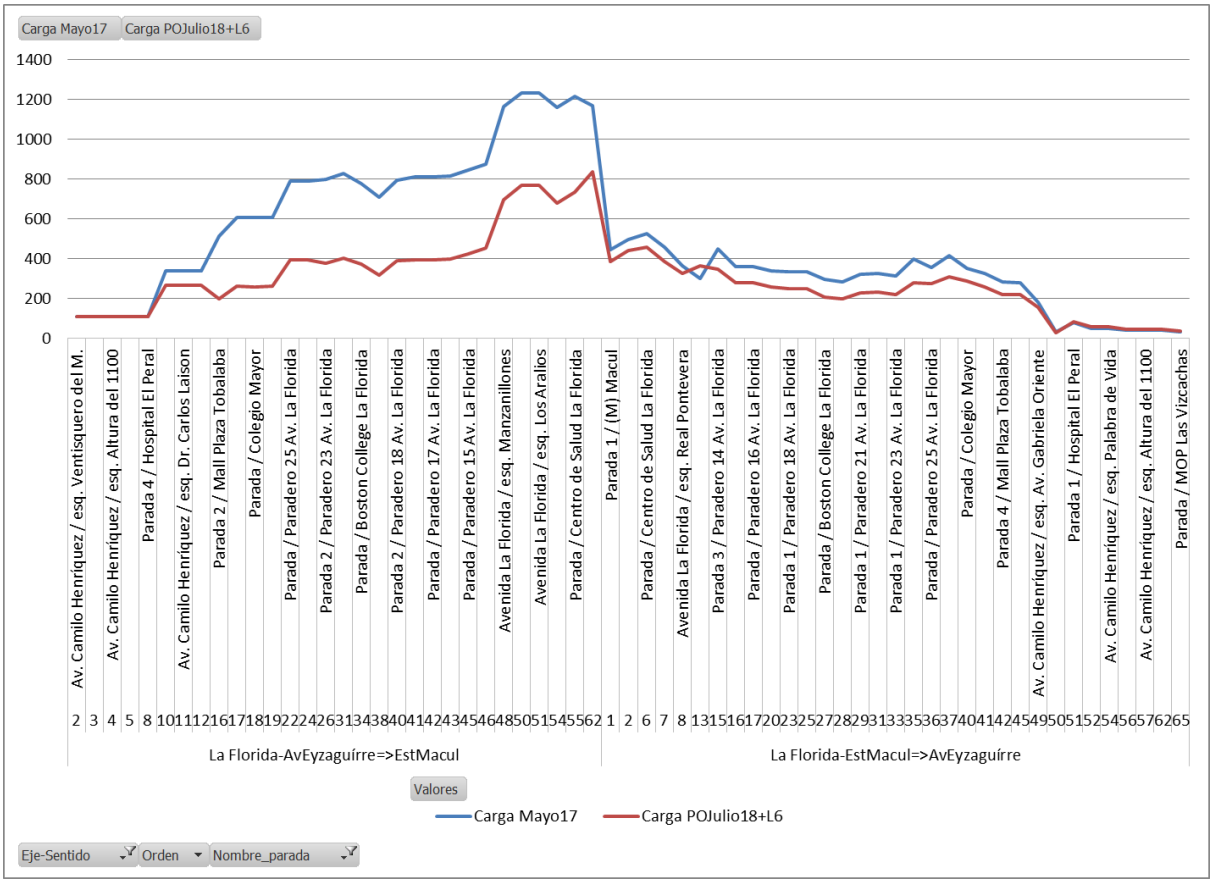
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-29: Perfil de Eje Departamental



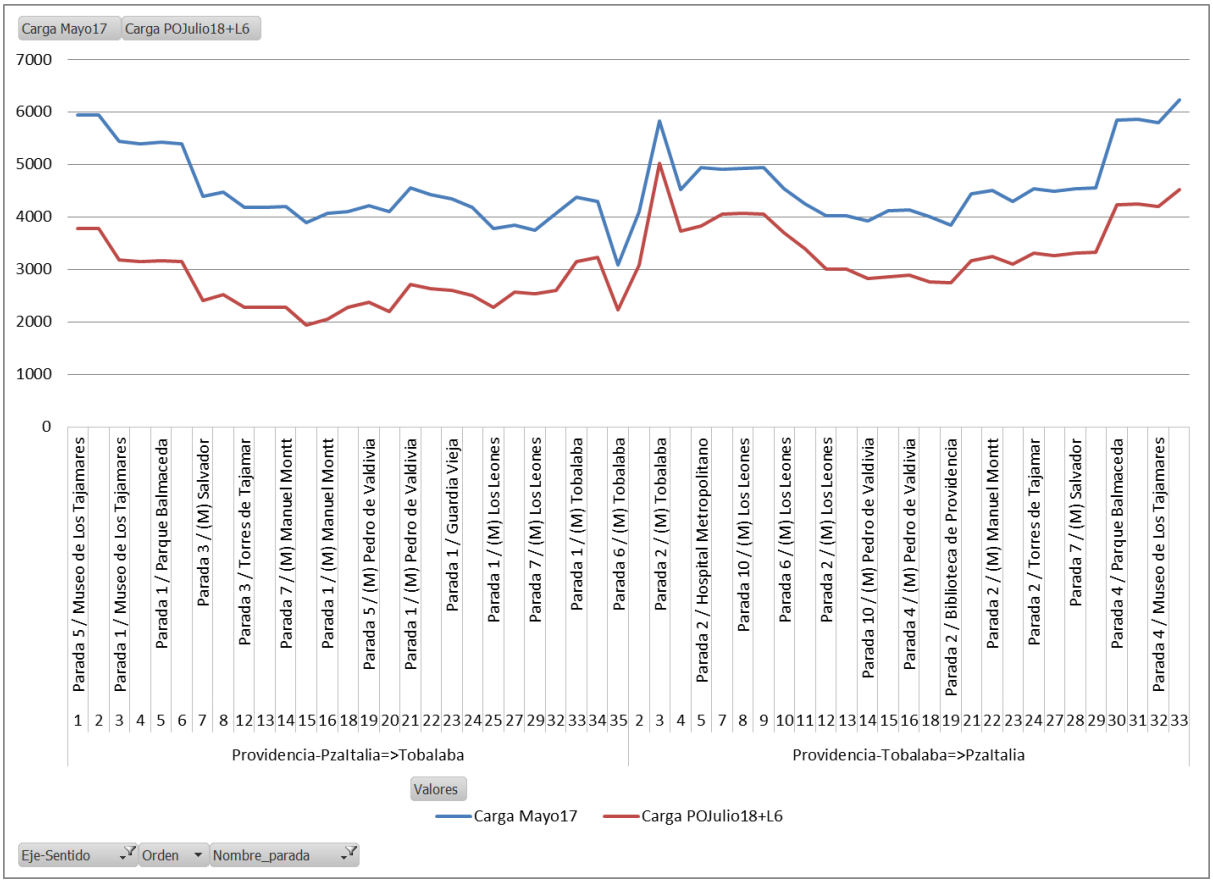
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-30: Perfil de Eje La Florida



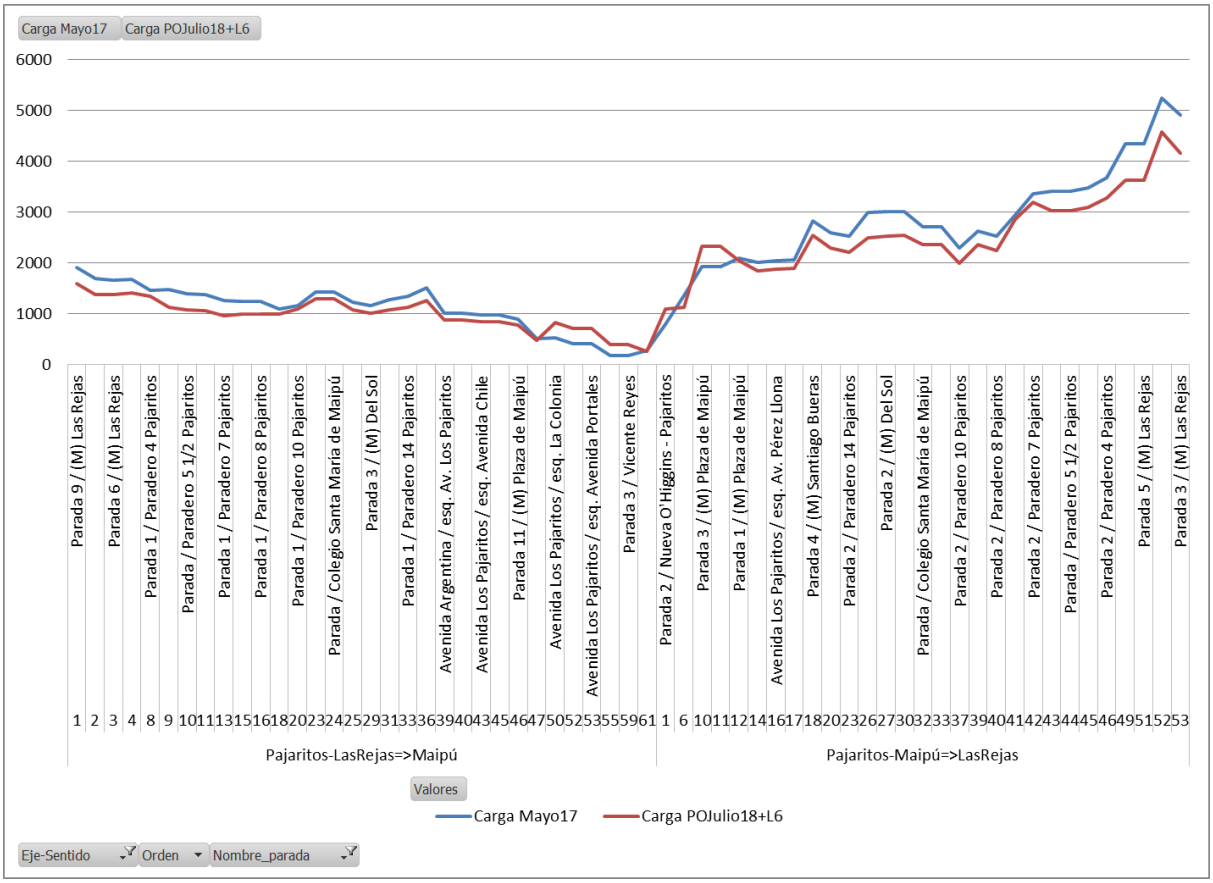
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-31: Perfil de Eje Providencia



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-32: Perfil de Eje Pajaritos



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observa una disminución en la carga de los ejes principales, a raíz del ingreso al sistema de la Línea 6 de metro y el cambio de oferta en los servicios.

Finalmente, se presentan las componentes del tiempo de viaje del sistema.

Tabla 14-7: Comparación de Niveles de servicio (min)

	Escenario Base_May17	Escenario Base_Jul18+L6
Tiempo Caminata	10.92	11.37
Tiempo Espera	6	5.62
Tiempo vehículo	35.35	39.47
Tiempo de Viaje	52.27	56.46

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-8: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Caminata

Origen	Destino	Variación
SAN JOSE DE MAIPO	PENALOLEN	8.29
EL BOSQUE	COLINA	8.05
LA PINTANA	COLINA	7.23
SAN JOSE DE MAIPO	SAN MIGUEL	6.27
MACUL	CALERA DE TANGO	5.93
LAMPA	SAN BERNARDO	5.75
MACUL	PADRE HURTADO	5.60
SAN JOSE DE MAIPO	MACUL	5.55
SAN JOAQUIN	CALERA DE TANGO	5.36
LO BARNECHEA	COLINA	4.97

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-9: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Caminata

Origen	Destino	Variación
LO PRADO	PEDRO AGUIRRE CERDA	-1.06
RECOLETA	COLINA	-1.07
COLINA	CONCHALI	-1.12
PUDAHUEL	LA PINTANA	-1.13
LO PRADO	LA PINTANA	-1.49
INDEPENDENCIA	QUILICURA	-1.52
LA FLORIDA	PADRE HURTADO	-1.63
LAMPA	SAN JOAQUIN	-1.79
CERRO NAVIA	LA PINTANA	-1.80
QUINTA NORMAL	LA PINTANA	-2.33

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-10: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo espera

Origen	Destino	Variación
SAN MIGUEL	SAN JOSE DE MAIPO	6.80
LAMPA	SAN JOAQUIN	5.02
PENALOLEN	PADRE HURTADO	4.34
PUENTE ALTO	CALERA DE TANGO	3.77
ESTACION CENTRAL	COLINA	3.76
CERRILLOS	VITACURA	3.44
LAMPA	PUDAHUEL	3.04
LA CISTERNA	COLINA	2.96
SAN MIGUEL	COLINA	2.92
PUENTE ALTO	SAN JOSE DE MAIPO	2.82

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-11: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo espera

Origen	Destino	Variación
LAMPA	LO PRADO	-3.17
LA GRANJA	CALERA DE TANGO	-3.21
RECOLETA	MACUL	-3.33
PADRE HURTADO	CONCHALI	-3.74
CALERA DE TANGO	NUNOA	-3.85
RECOLETA	CALERA DE TANGO	-4.18
LAMPA	LO BARNECHEA	-4.51
SAN JOSE DE MAIPO	PENALOLEN	-4.54
MACUL	CALERA DE TANGO	-9.86
MACUL	PADRE HURTADO	-13.61

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-12: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Vehículo

Origen	Destino	Variación
SAN MIGUEL	SAN JOSE DE MAIPO	6.80
LAMPA	SAN JOAQUIN	5.02
PENALOLEN	PADRE HURTADO	4.34
PUENTE ALTO	CALERA DE TANGO	3.77
ESTACION CENTRAL	COLINA	3.76
CERRILLOS	VITACURA	3.44
LAMPA	PUDAHUEL	3.04
LA CISTERNA	COLINA	2.96
SAN MIGUEL	COLINA	2.92
PUENTE ALTO	SAN JOSE DE MAIPO	2.82

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-13: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Vehículo

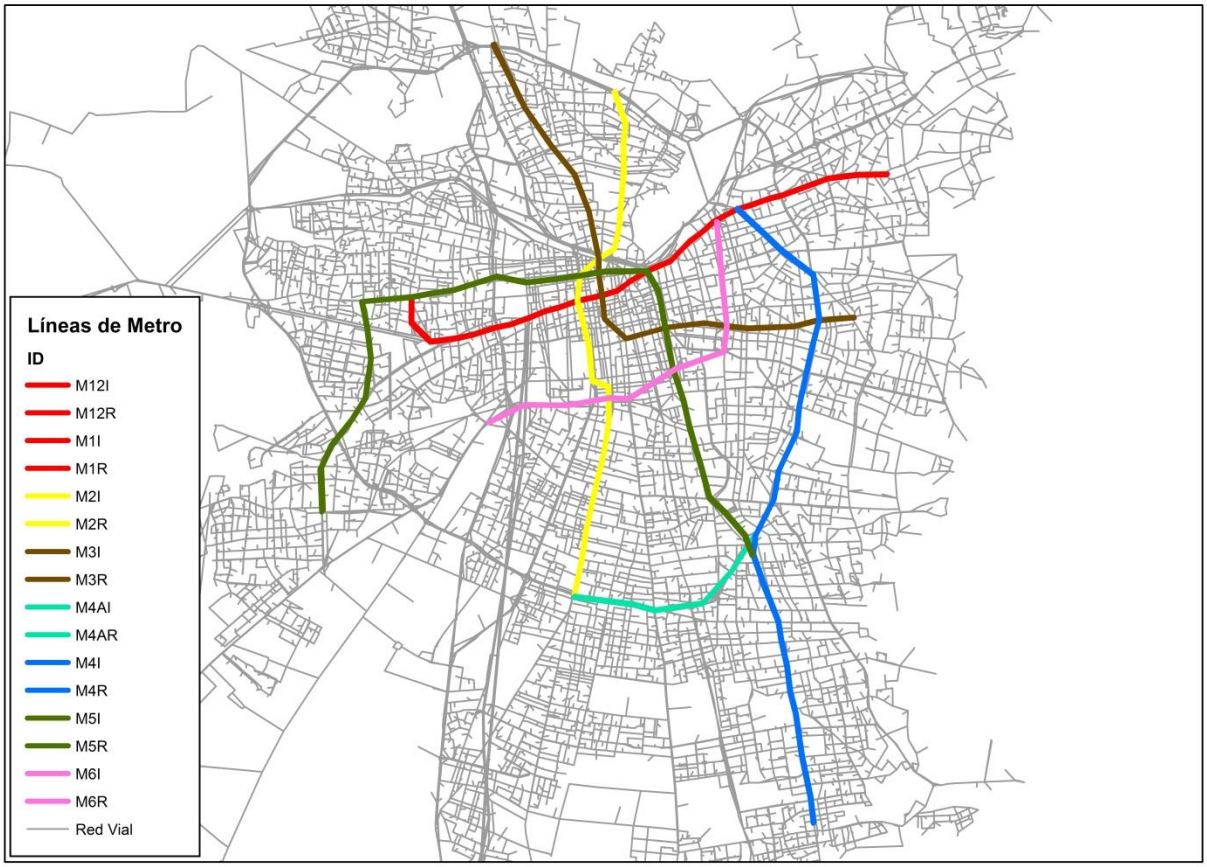
Origen	Destino	Variación
LAMPA	LO PRADO	-3.17
LA GRANJA	CALERA DE TANGO	-3.21
RECOLETA	MACUL	-3.33
PADRE HURTADO	CONCHALI	-3.74
CALERA DE TANGO	NUNOA	-3.85
RECOLETA	CALERA DE TANGO	-4.18
LAMPA	LO BARNECHEA	-4.51
SAN JOSE DE MAIPO	PENALOLEN	-4.54
MACUL	CALERA DE TANGO	-9.86
MACUL	PADRE HURTADO	-13.61

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

14.3 Escenario PO Julio 2018 FP + Línea 3 – E5

Este escenario se construye a partir del escenario PO Julio 2018 FP+L6, que corresponde a la asignación de demanda del escenario reportado en el acápite anterior. Este nuevo escenario, no presenta cambios masivos de ofertas en los modos buses y metro. Solo considera la puesta en marcha de la futura **Línea 3** de Metro en el sistema de transporte público de la ciudad. Además, se incorpora una modificación de velocidades en eje **Independencia**, entre Dorsal y Santa María, correspondiente a la caracterización del **corredor** en dicho tramo. Debido a este cambio, se ajustaron los itinerarios de los servicios que circulan en el corredor Independencia.

Figura 14-33: Red Metro Modelo



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14-14: Frecuencia y capacidad Metro

	L1	L2	L4	L4A	L5	L6	L3
Frecuencia (Trenes/Hora)	25,5	15,8	17,9	11,7	18,5	10,7	10,4
Capacidad (Plazas/Hora)	36.933	20.231	14.227	9.236	21.493	13.858	13.482

Fuente: Información entregada por DTPM

Los resultados de la asignación con restricción de capacidad, se presentan a continuación:

Tabla 14-15: Resultados Globales

Ítem	PO Mayo 17	PO Julio 18 + L6	PO Julio 18 + L6 + L3
Etapas Buses	267,200	252,990	245,811
Etapas Metro	96,641	114,597	121,932
Etapas Metro (con transbordo Metro Metro)	131,539	160,767	169,642
Total Etapas (sin transbordo Metro Metro)	365,820	370,727	370,908
Matriz de viajes	226,263	226,263	226,263
Etapas Bip por viaje	1.71	1.73	1.73
Etapas caminando	10,969	11,383	11,371

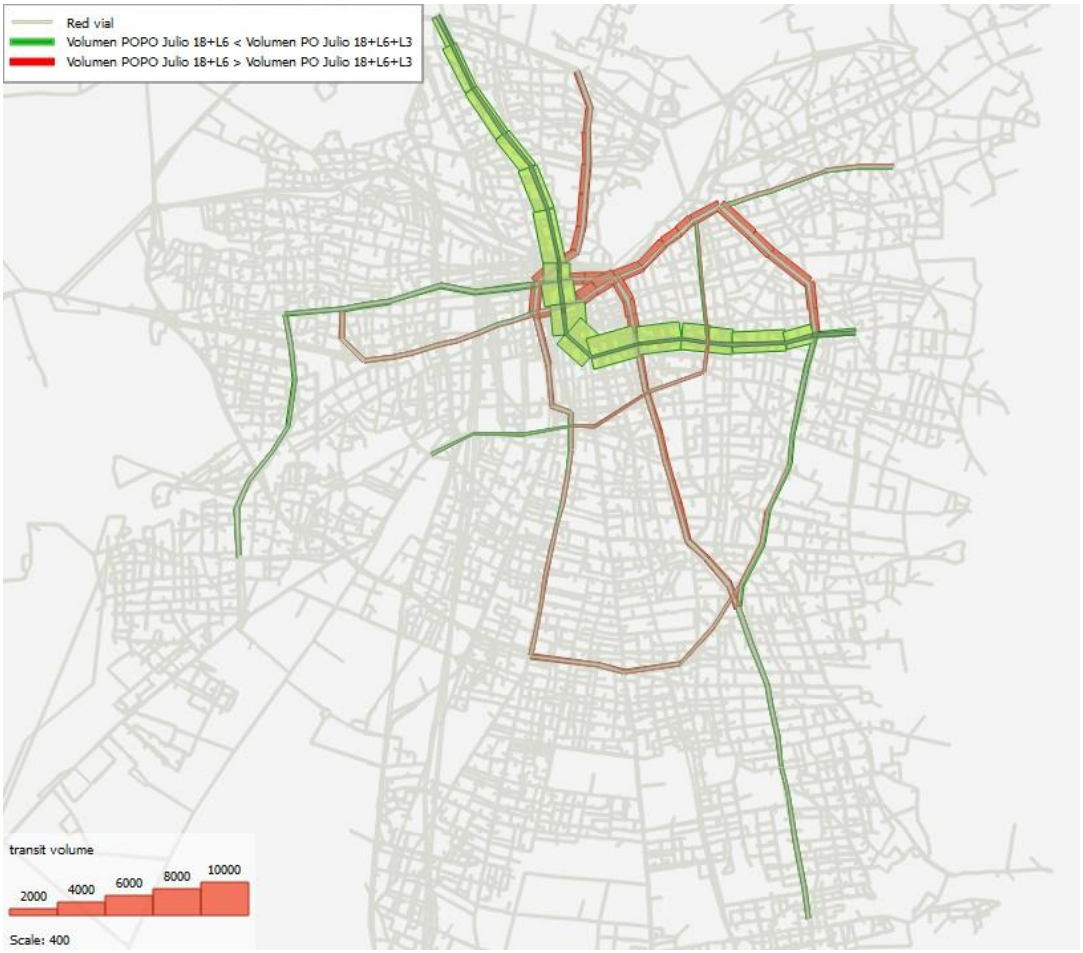
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En general, se observa un aumento en las etapas de metro y una disminución en las etapas de buses en el escenario PO Julio18+L6+L3 en relación al escenario PO Julio18+L6, esto ocurre principalmente por la incorporación de la Línea 3 al sistema.

Por otro lado las etapas totales se mantienen prácticamente invariantes, al igual que las Etapas Bip por Viaje. Por lo que las variaciones reportados se pueden suponer como un cambio modal en viajes que antes de realizaban solo en bus, que con la nueva Línea 3 se pueden realizar solo en Metro.

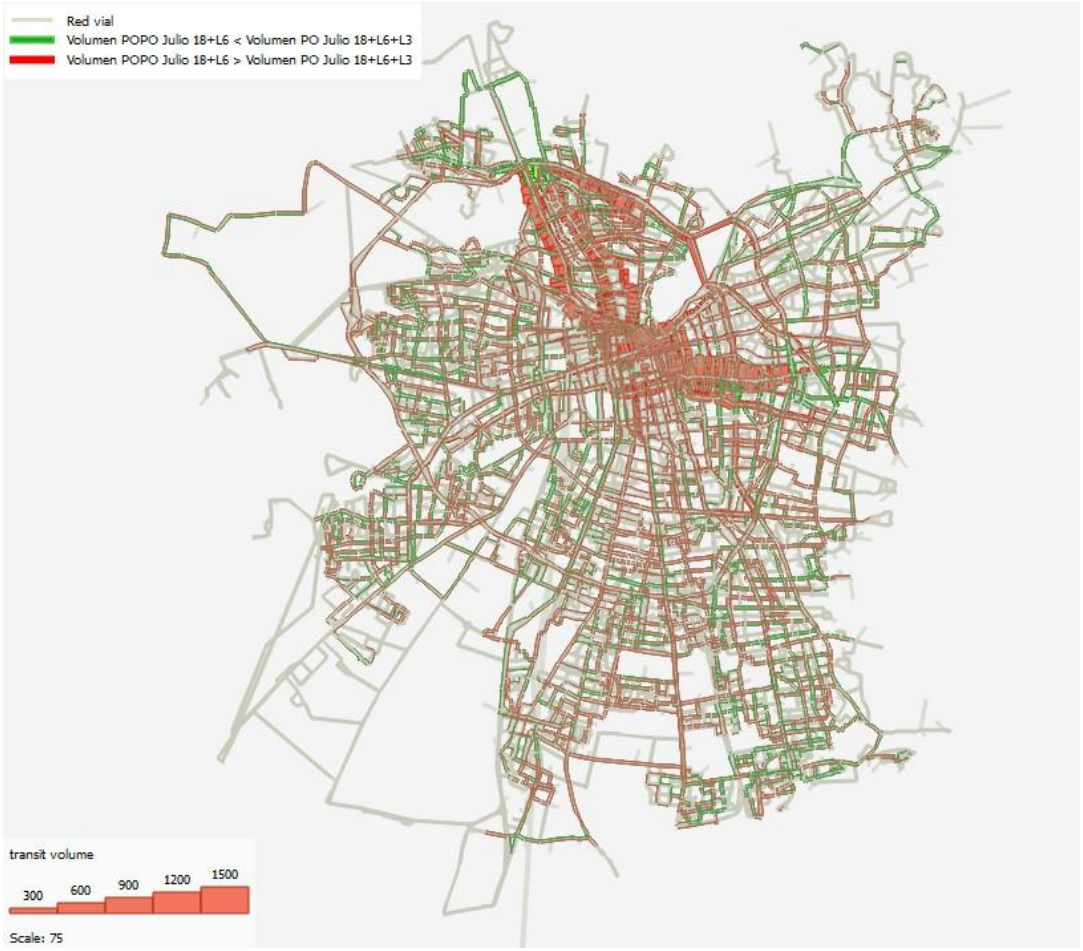
Las siguientes figuras muestran la diferencia de flujo entre los escenarios Julio 18 + L6 y Julio 2018 +L6 + L3 para buses y Metro

Figura 14-34: Comparación Flujo entre Escenarios Julio 2018 y Julio 2018+L3- Metro



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-35: Comparación Flujo entre Escenarios Julio 2018 y Julio 2018+L3- Buses



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Respecto a los flujos de pasajeros en metro, se observa cambios significativos en las estrategias de viaje de los usuarios en la red de metro. De dichos cambios destacan, la disminución en el tramo oriente de la Línea 1, el tramo norte de la línea 2 y 4, mientras que aumenta el flujo de pasajeros de la línea 4 de Plaza Egaña al sur. Si bien estos cambios destacan en magnitud, estos son consistentes con la conectividad que entrega la Línea 3 en el sistema de transporte público a un número importante de viajes del sistema.

Por otro lado, los flujos de pasajeros de bus muestran un impacto importante en el área de influencia directa de la nueva Línea 3 de Metro.

A continuación se presentan las etapas por Unidad de Negocio y los transbordos entre modos. La información de etapas es comparada con los resultados obtenidos de la asignación del PO de Julio del 2018 +L6.

Tabla 14-16: Resultados Etapas por Unidad de Negocio

Etapas por UN	PO Mayo 17	PO Julio 18 + L6	PO Julio 18 + L6 + L3
U1	31,206	28,809	28,605
U2	46,712	43,717	42,052
U3	49,957	47,126	45,613
U4	48,009	46,394	44,836
U5	46,782	44,287	42,456
U6	27,709	26,515	26,129
U7	16,825	16,142	16,120

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Existe una baja generalizada y uniforme en las etapas por unidad de negocio. Sin embargo, es importante mencionar que las UN2, UN3, UN4 y UN5 tienen un impacto homogéneo cercano al -4% respecto al PO de Julio 2018+L6. En el resto de las unidades de negocio el impacto es marginal.

A continuación se presentan los transbordos entre modos.

Tabla 14-17: Transbordos entre Modos

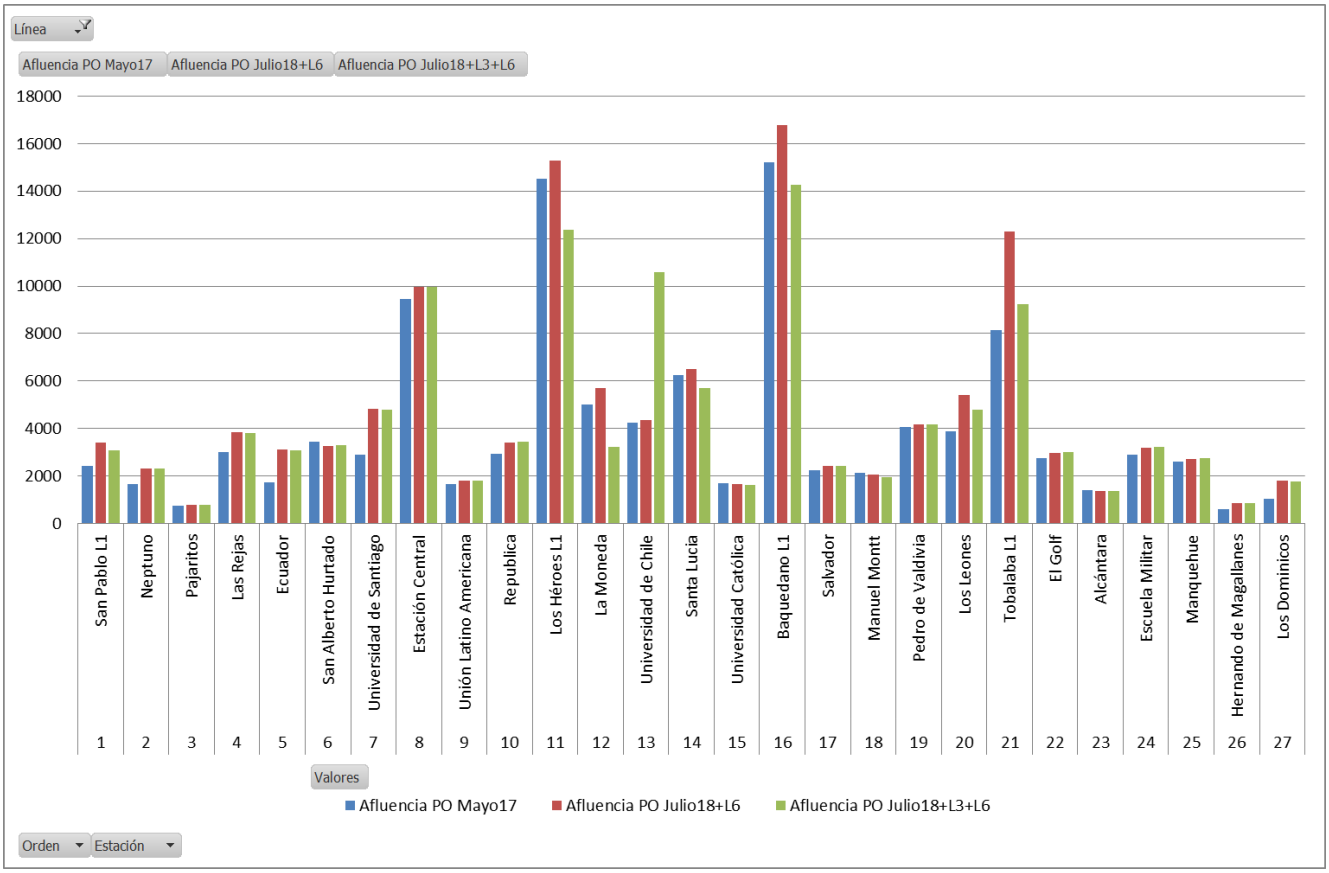
Etapas Transbordo	PO Mayo 17	PO Julio 18 + L6	PO Julio 18 + L6 + L3
Bus-Bus	67,622	52,032	46,741
Bus-Metro	42,380	52,791	55,162
Metro-Metro	34,898	46,170	47,710
Metro-Bus	38,968	47,462	50,521
Bus-Metrotren	891	1,622	1,631
Metro-Metrotren	182	351	357
Metrotren-Bus	545	684	686
Metrotren-Metro	922	1,792	1,813

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Como se observa en los transbordos entre modos, aumentan los que involucran a Metro y disminuye el resto, todo esto consistente con la incorporación de la Línea 3. Sin embargo, a diferencia del escenario en el que se incorpora la Línea 6 de Metro, no aumentan las etapas bip por viaje y de acuerdo a los cambios registrados en los transbordos, la disminución de los transbordos bus-bus es igual al aumento de los transbordos bus-metro más metro-bus.

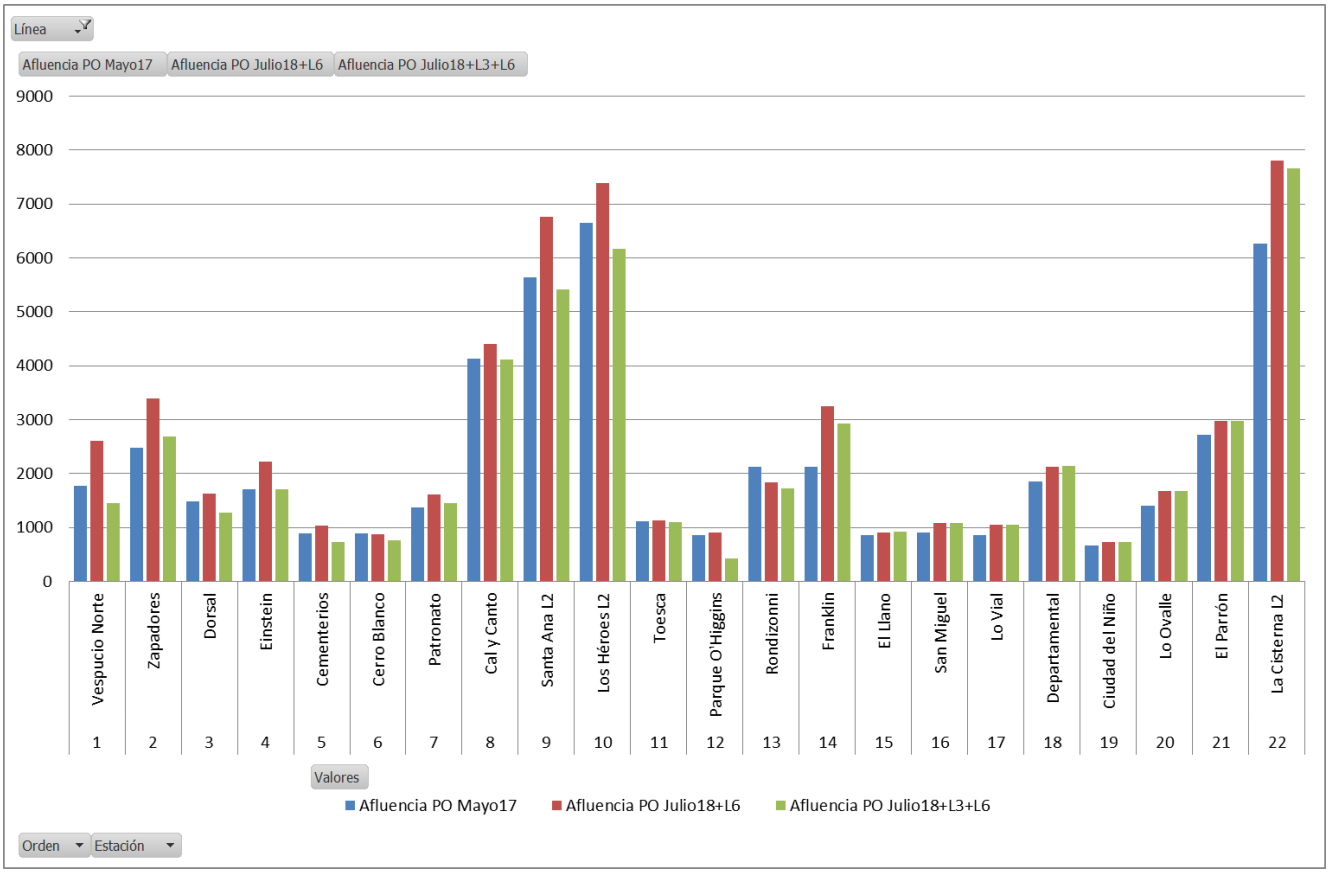
A continuación se presentan comparativos de subidas por estación y perfiles de carga para Metro.

Figura 14-36: Afluencia Línea 1



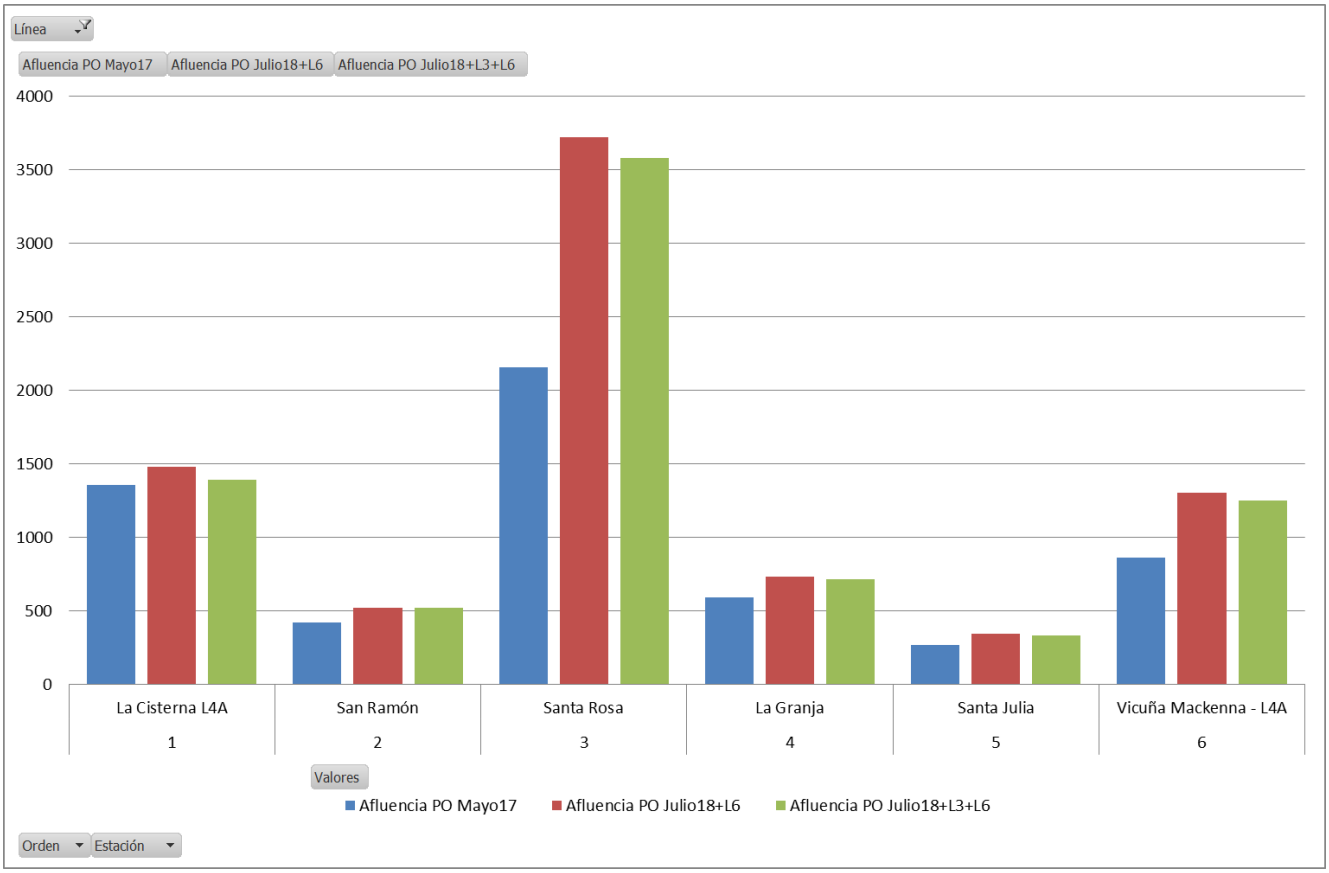
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-37: Afluencia Línea 2



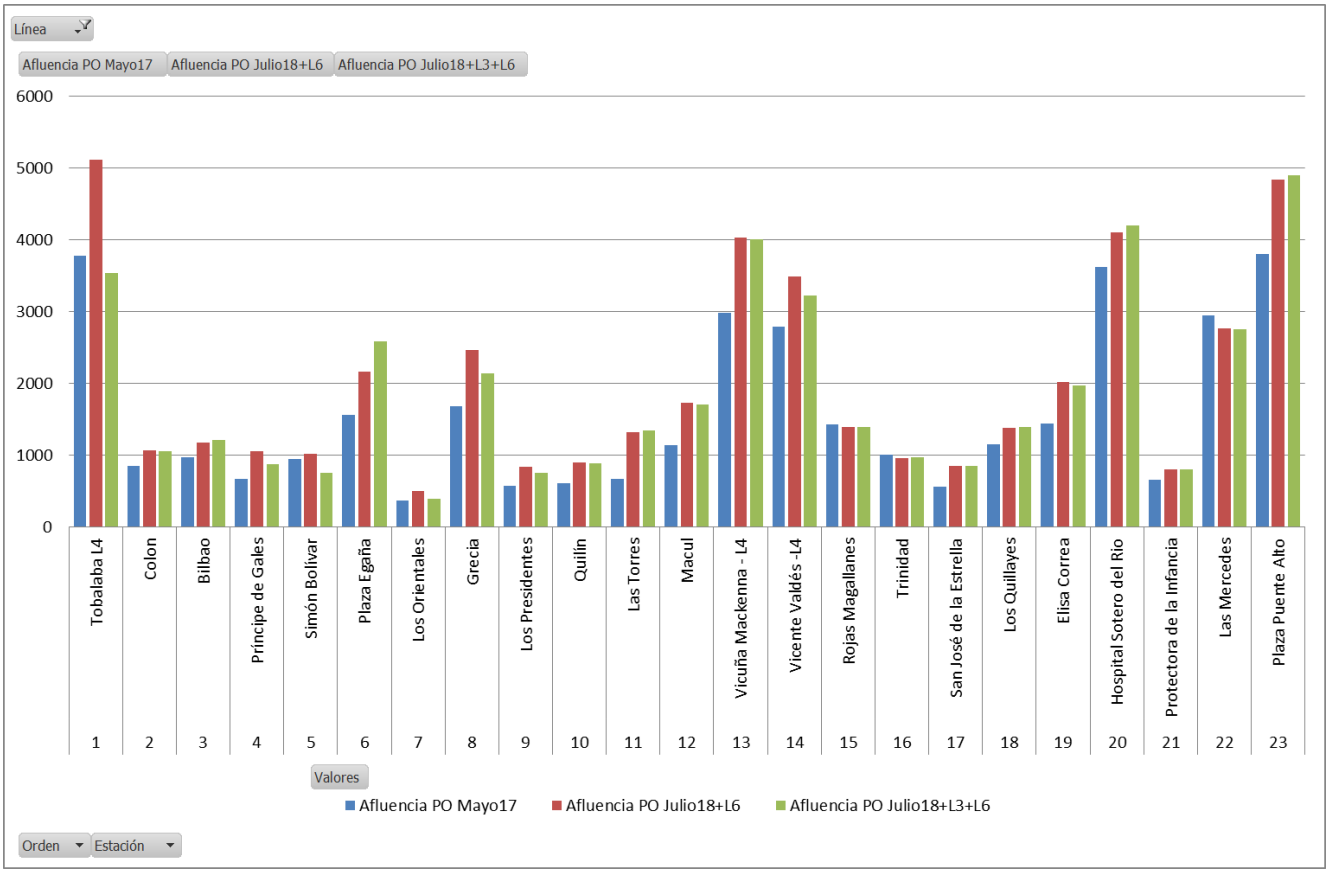
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-38: Imagen. Afluencia Línea 4A



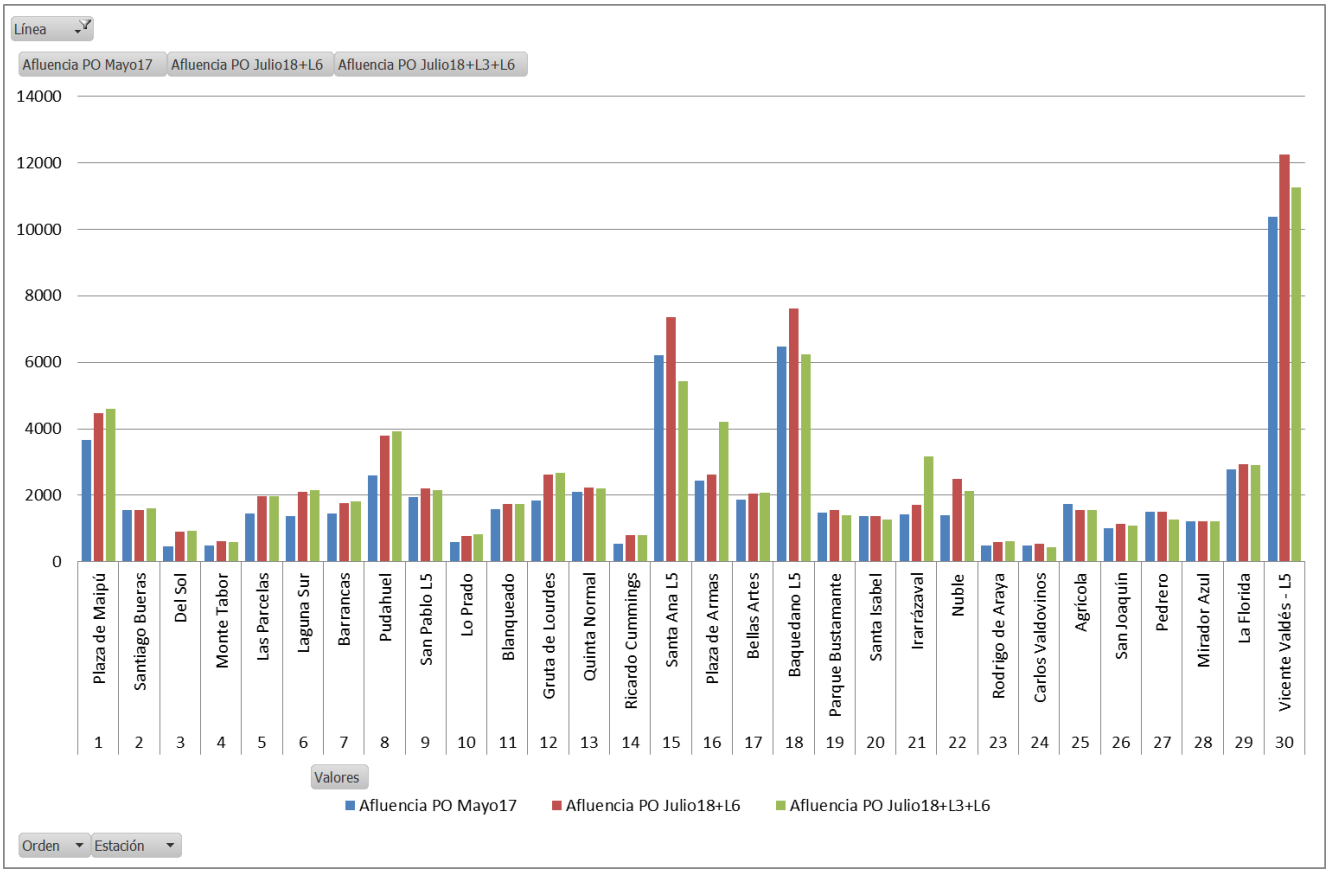
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-39: Afluencia Línea 4



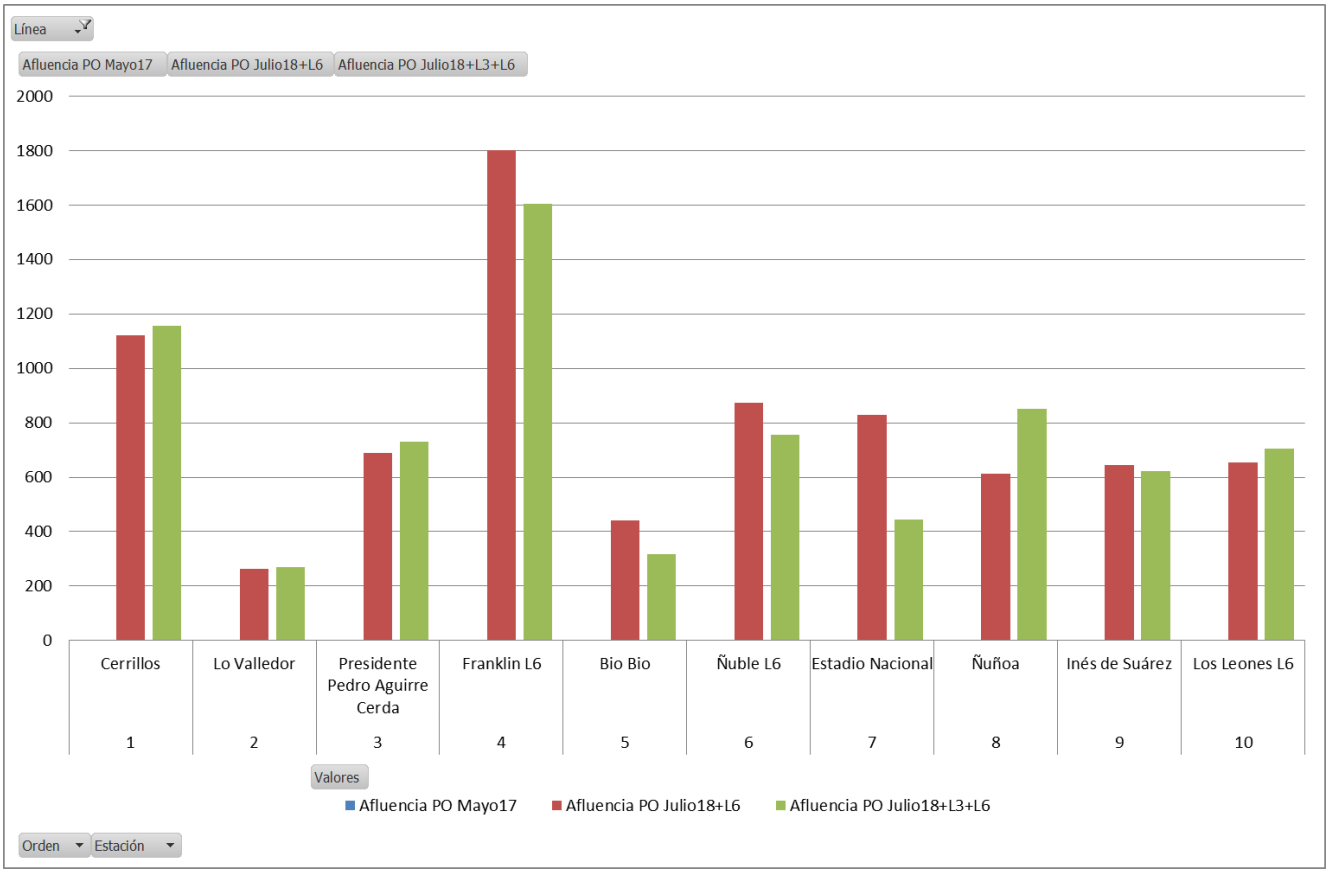
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-40: Afluencia Línea 5



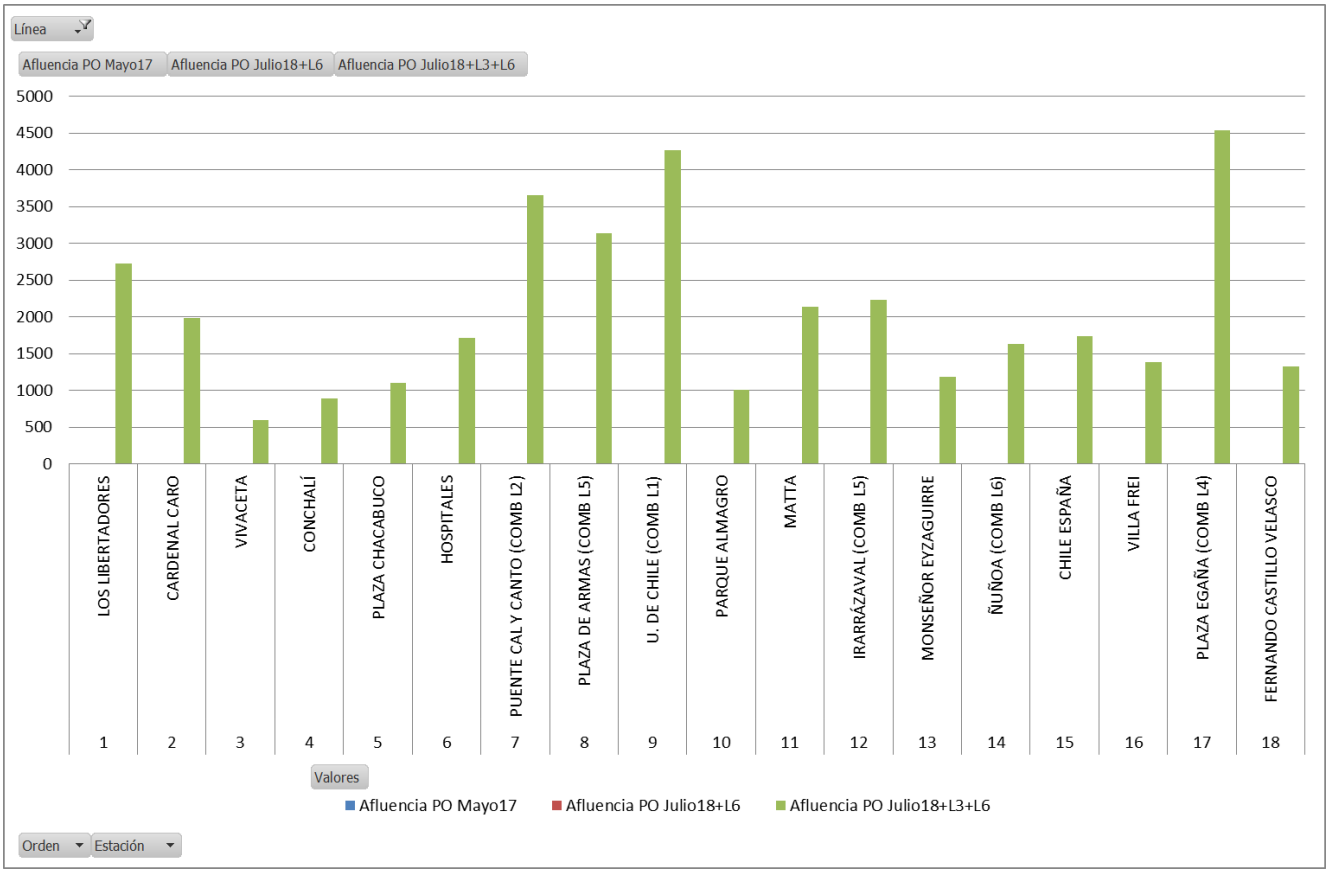
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-41: Afluencia Línea 6



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

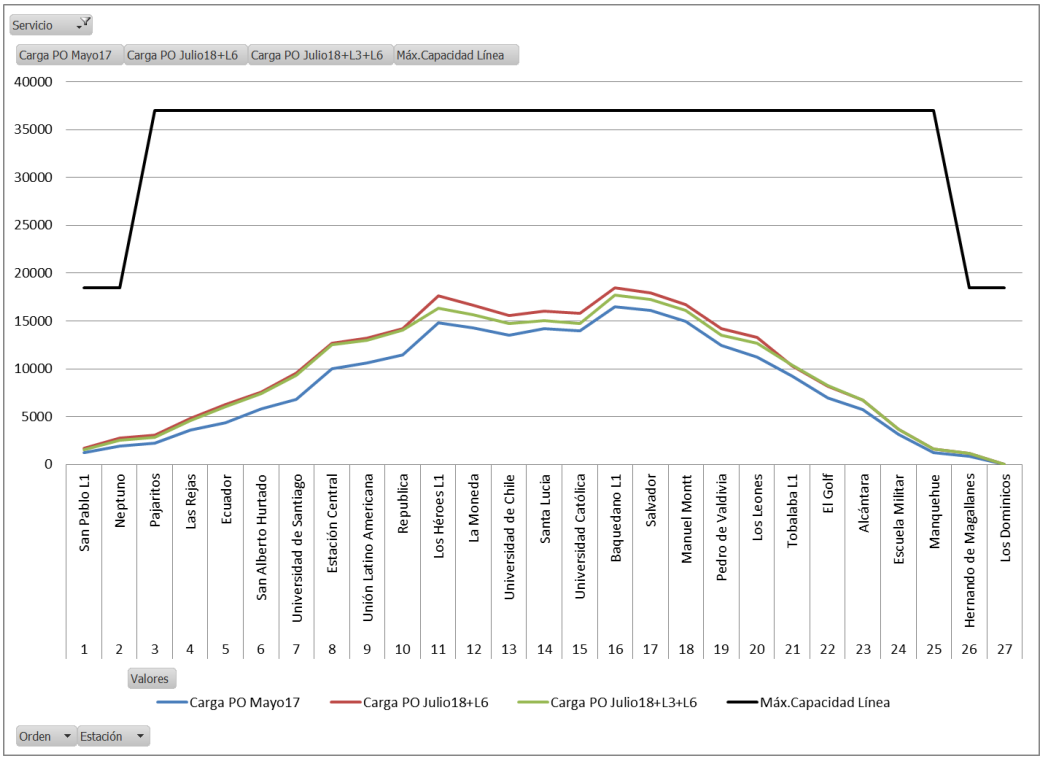
Figura 14-42: Afluencia Línea 3



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

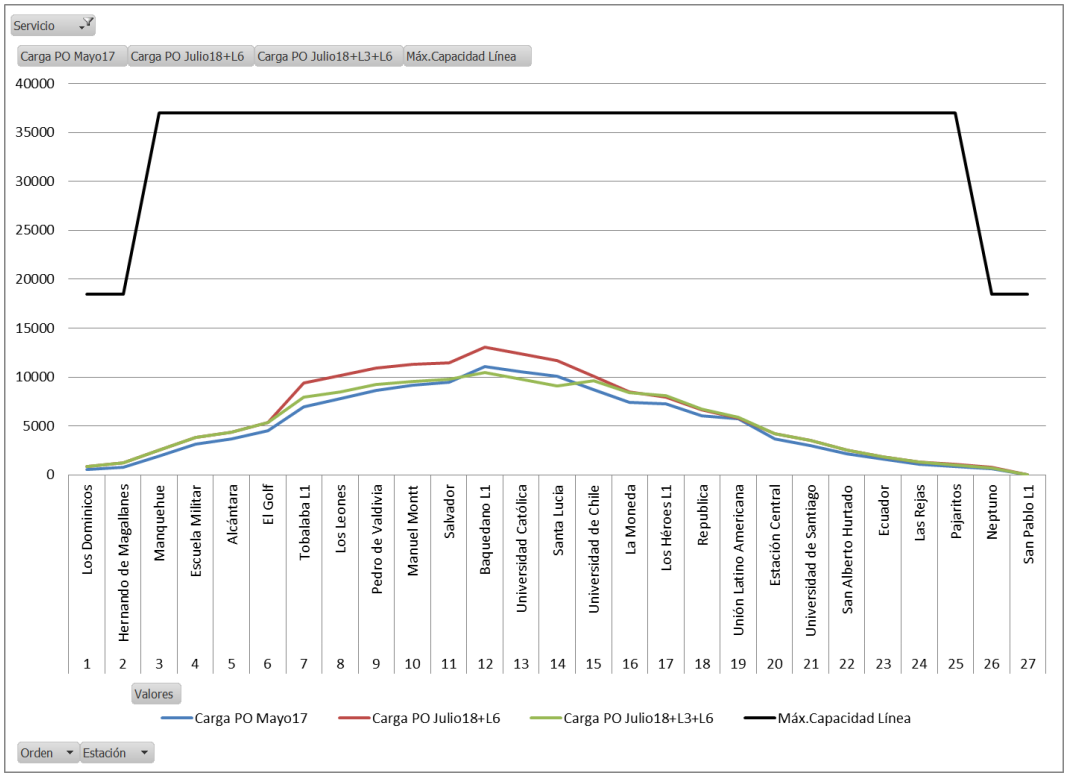
A continuación se presentan los perfiles de carga por línea sentido.

Figura 14-43: Perfil de Carga L1I



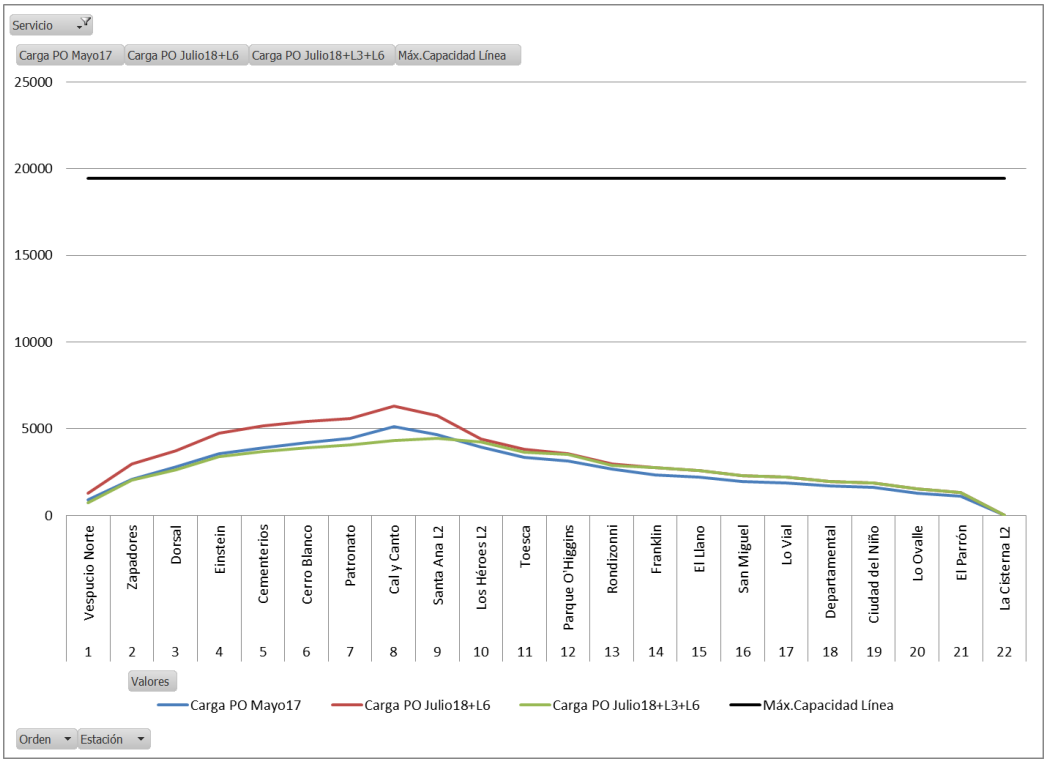
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-44: Perfil de Carga L1R



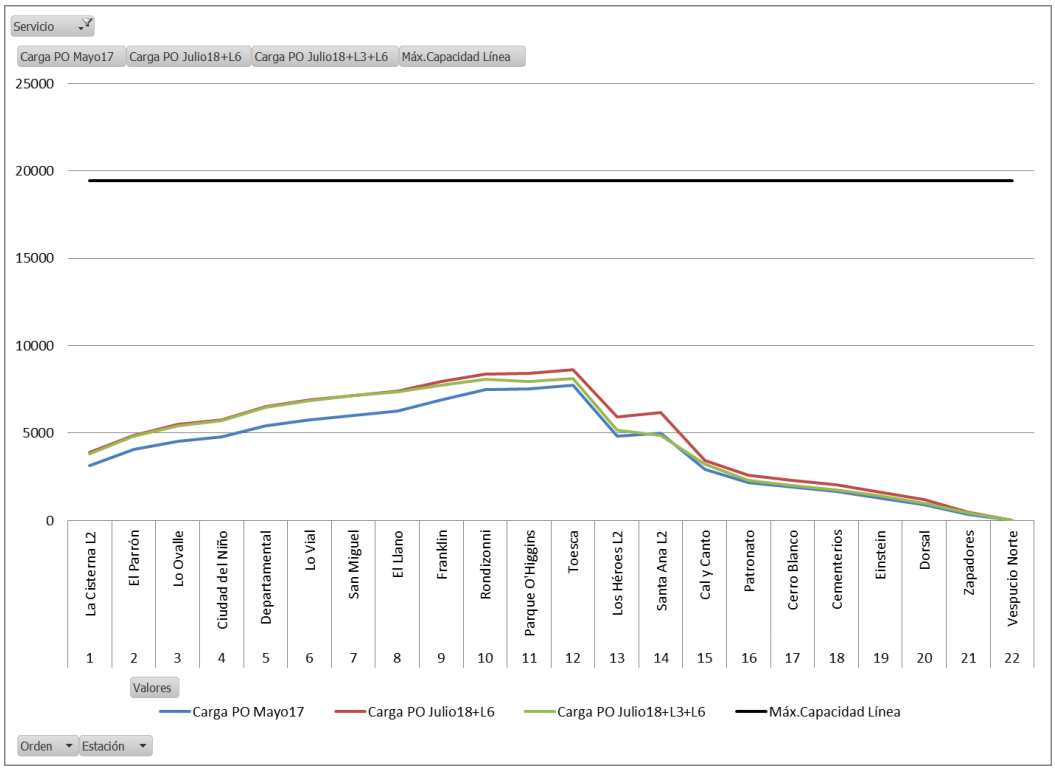
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-45: Perfil de Carga L2I



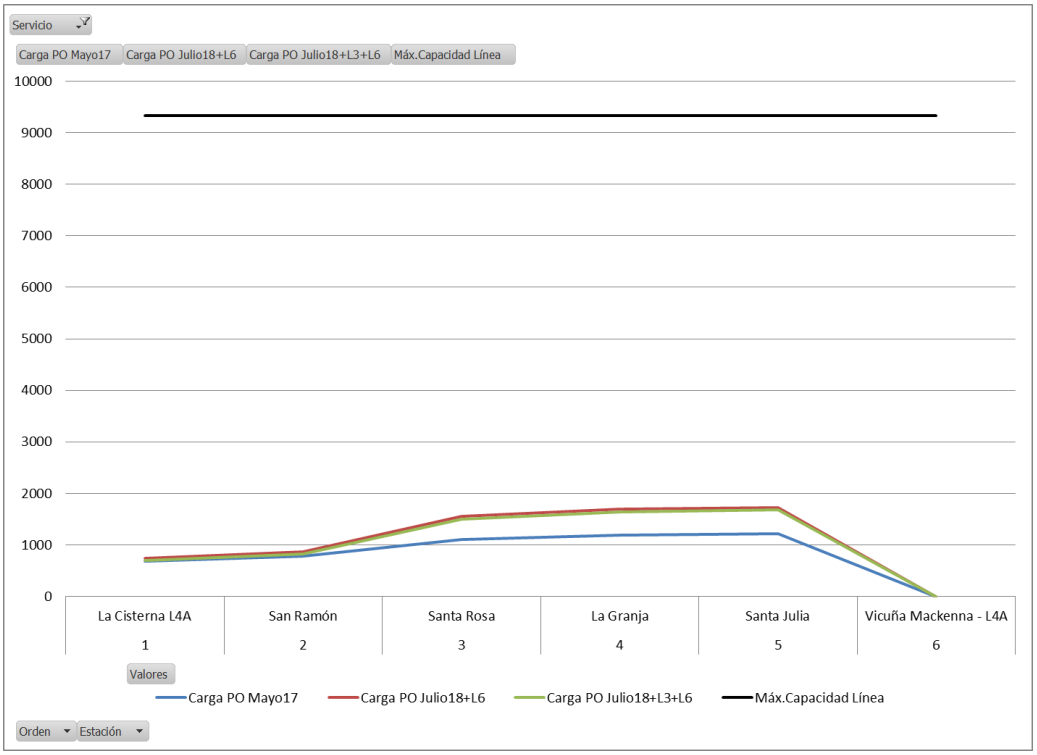
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-46: Perfil de Carga L2R



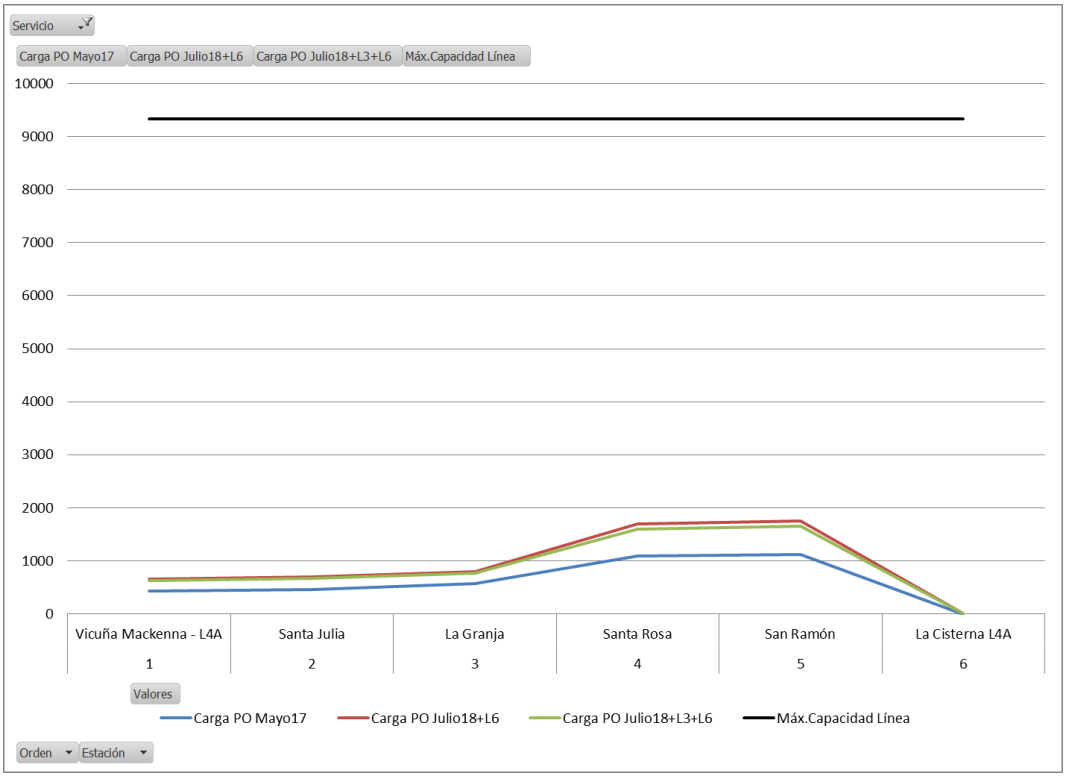
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-47: Perfil de Carga L4AI



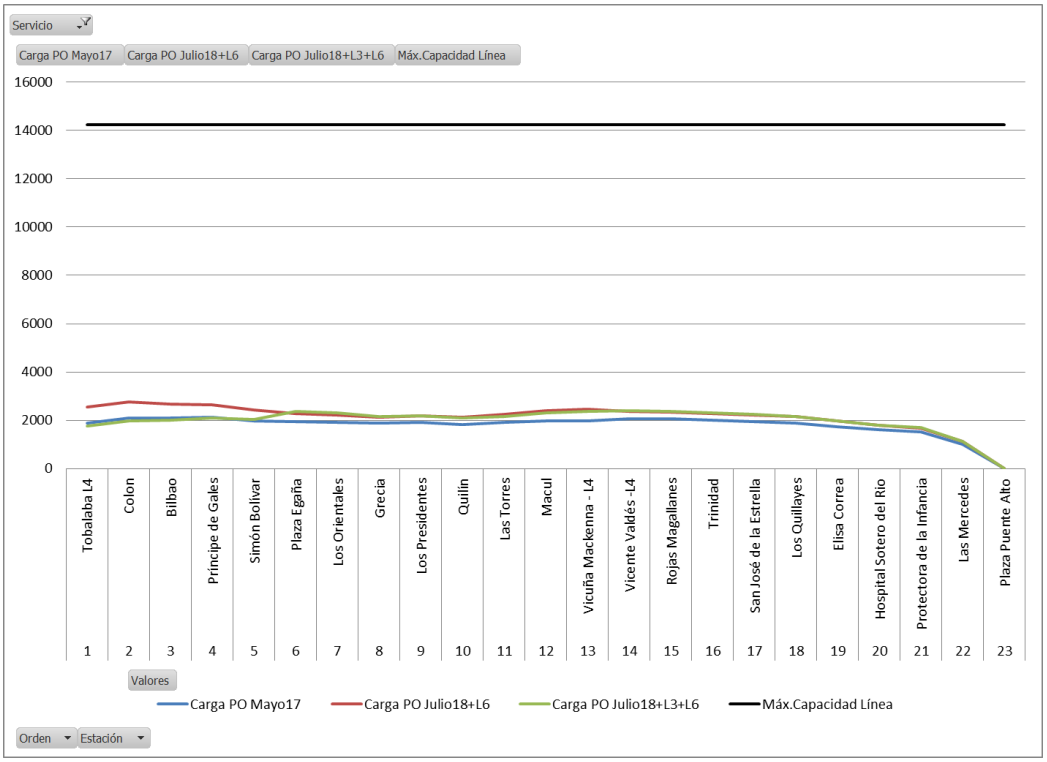
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-48: Perfil de Carga L4AR



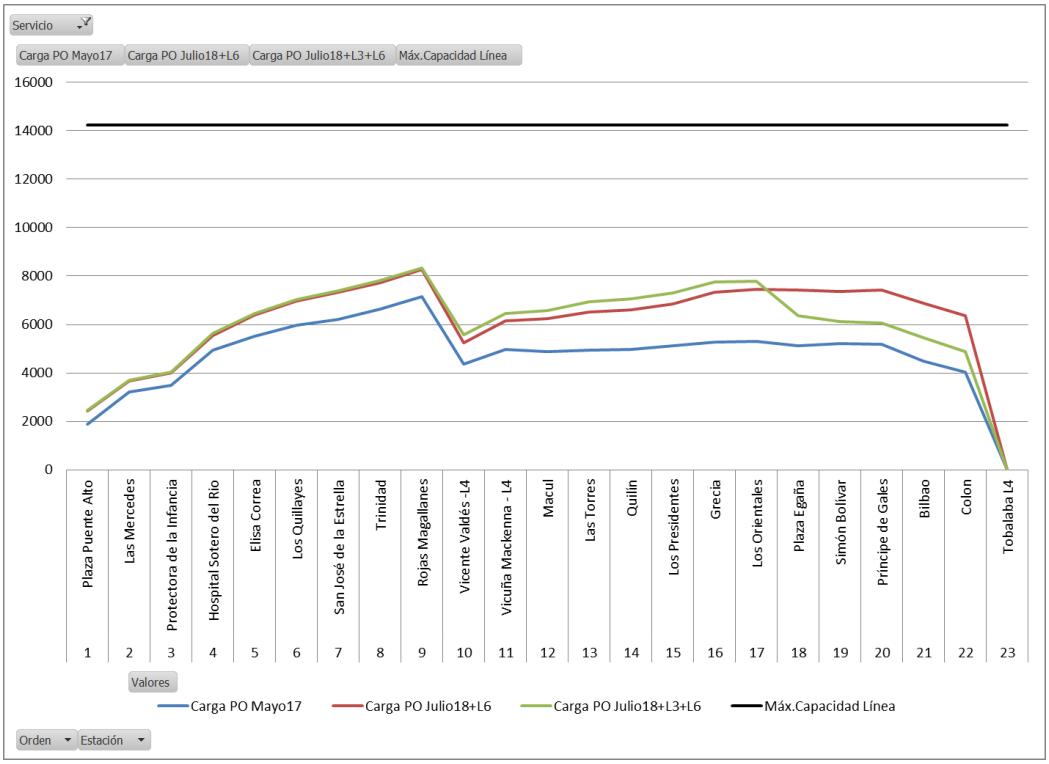
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-49: Perfil de Carga L4I



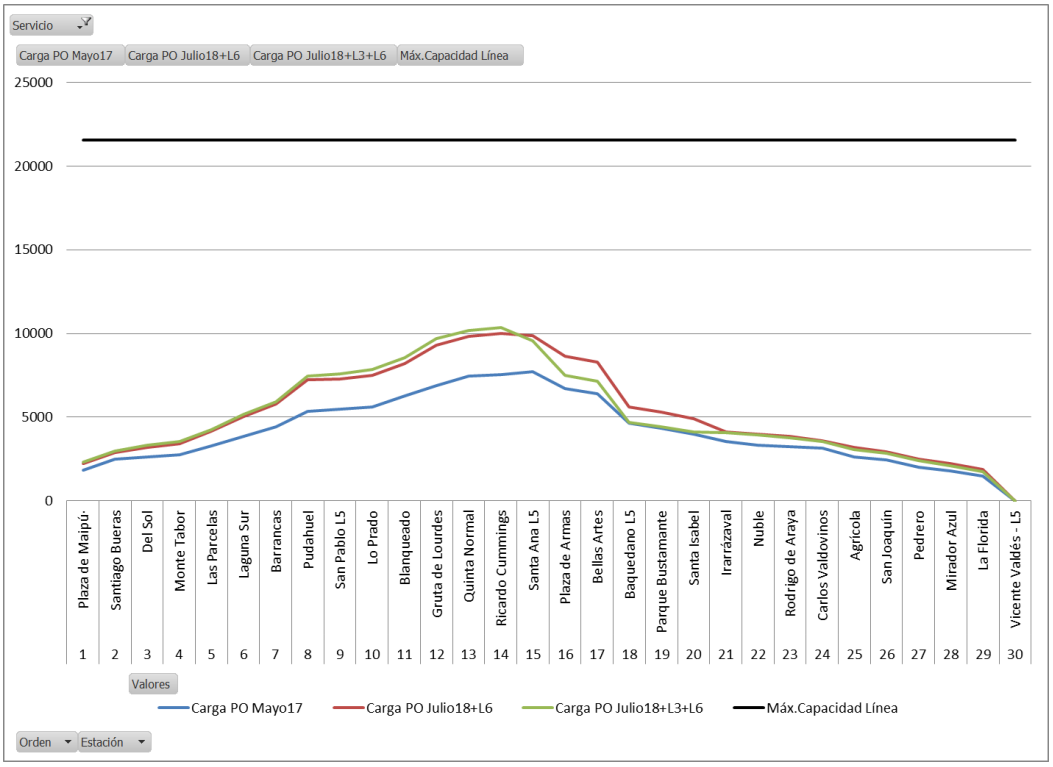
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-50: Perfil de Carga L4R



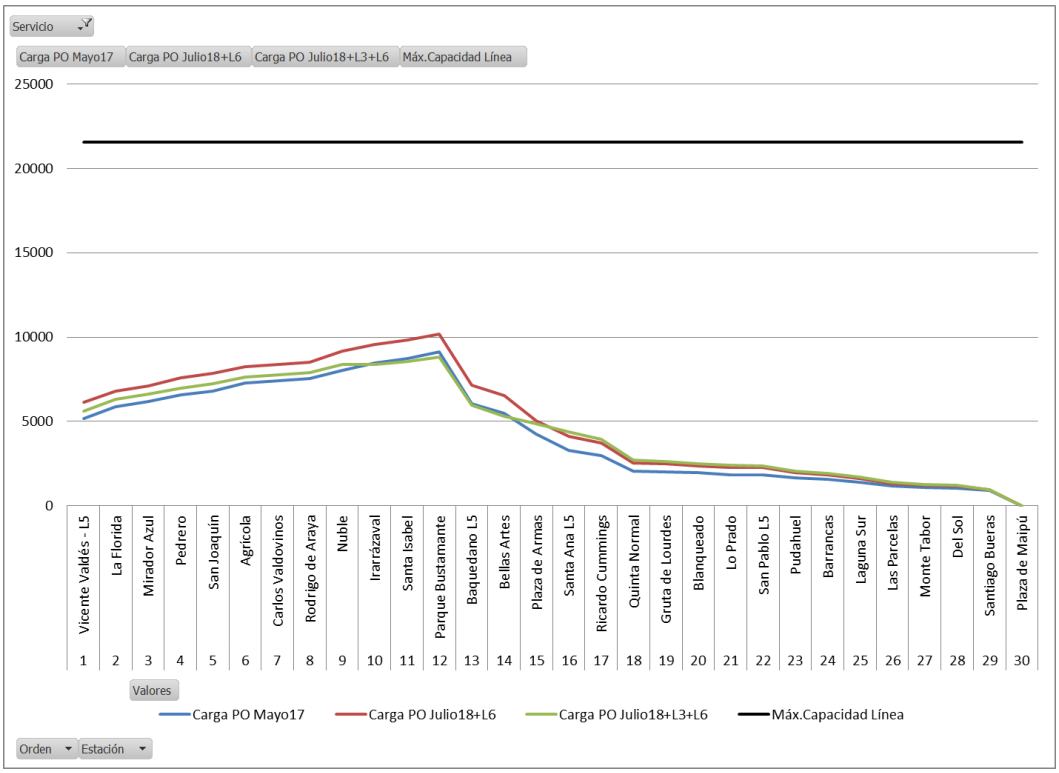
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-51: Perfil de Carga L5I



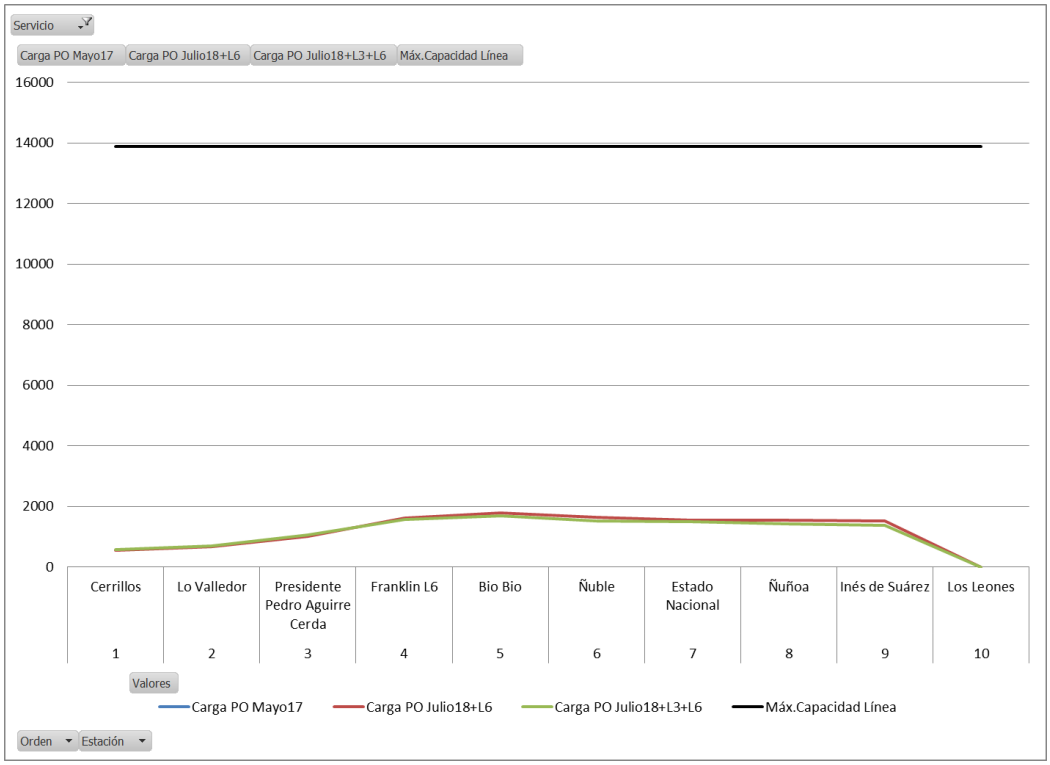
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-52: Perfil de Carga L5R



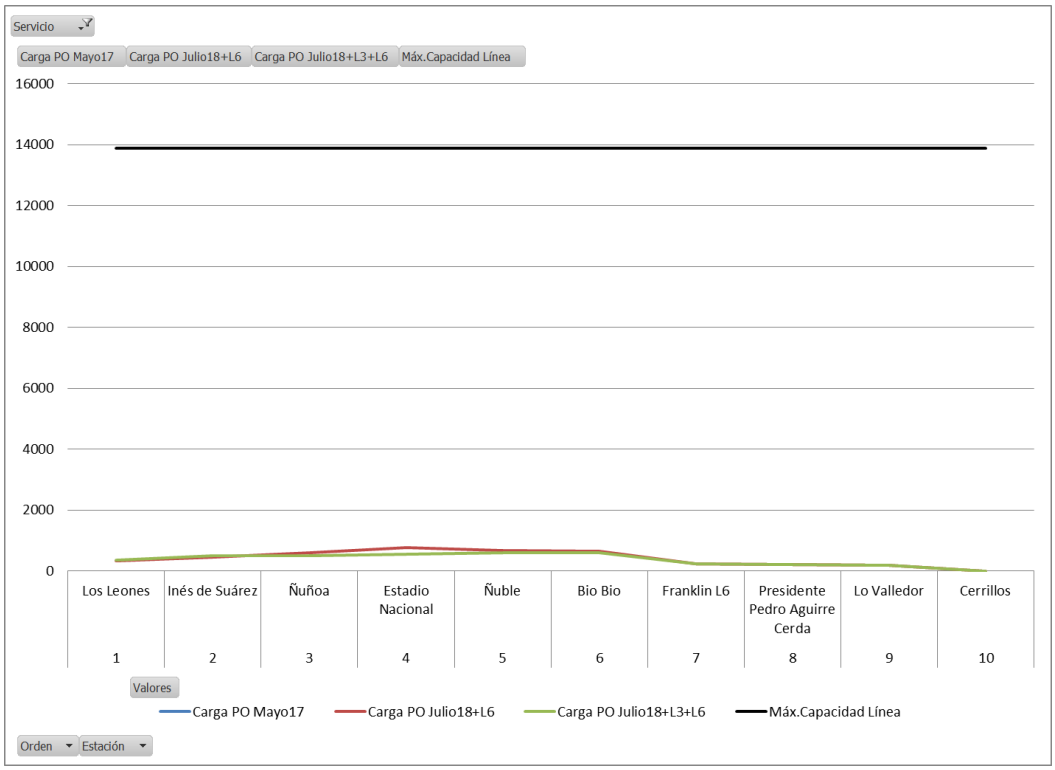
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-53: Perfil de Carga L6I



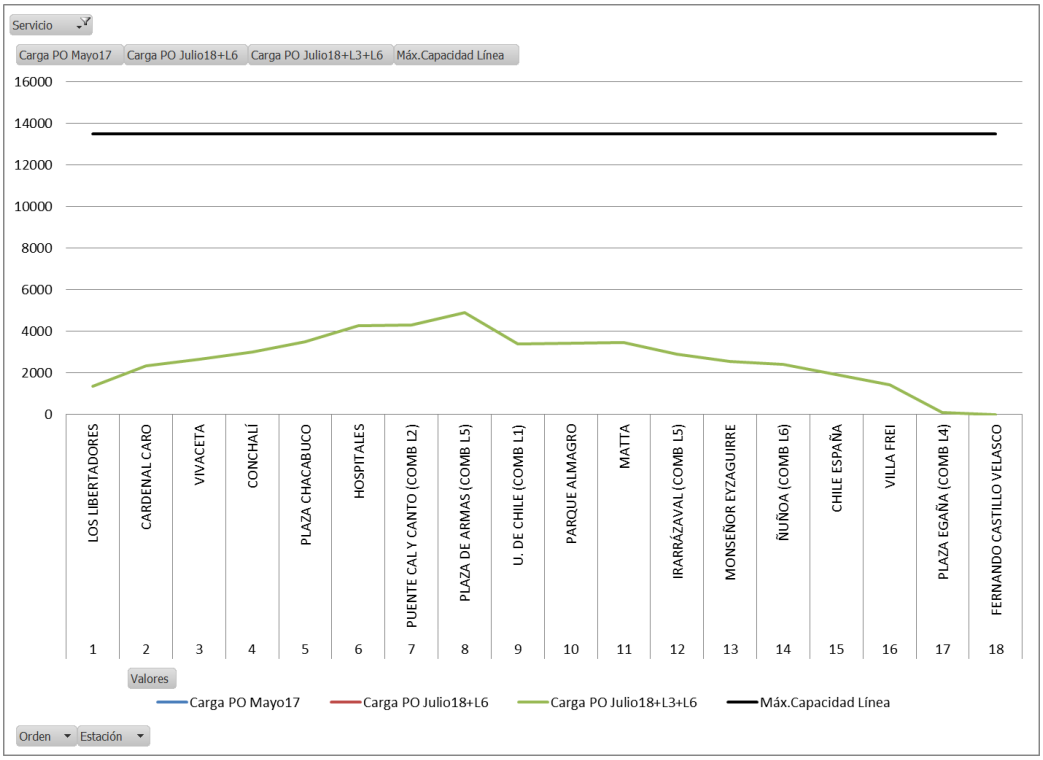
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-54: Perfil de Carga L6R



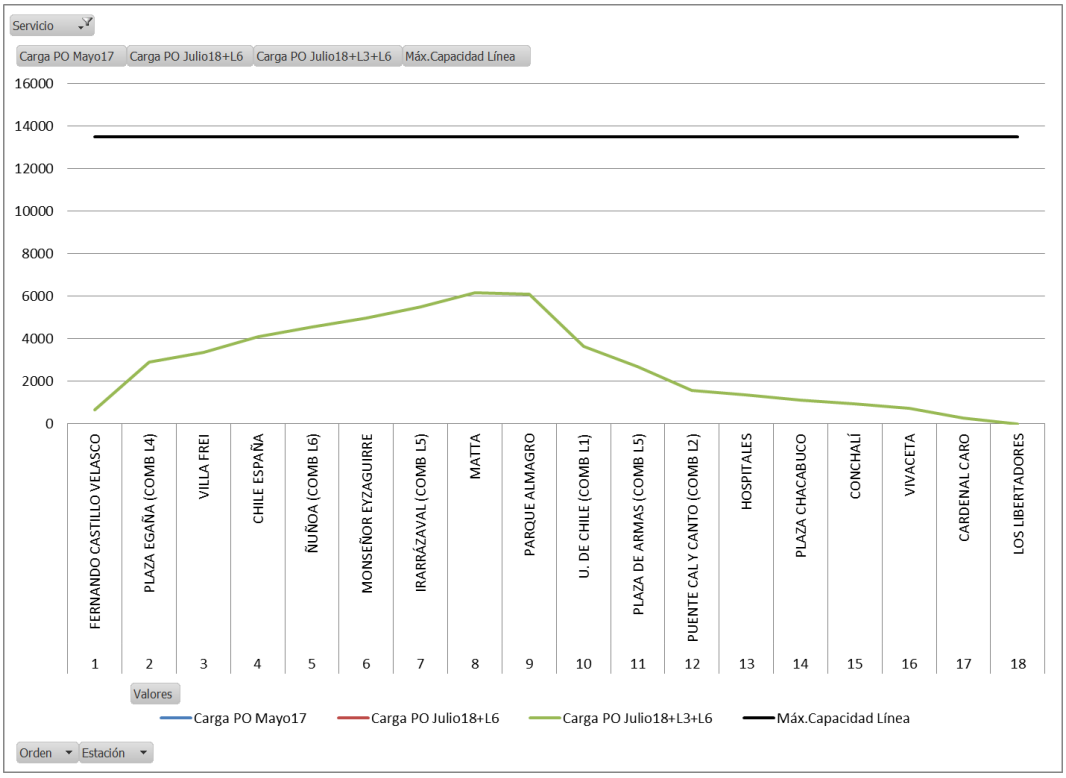
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-55: Perfil de Carga L3I



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-56: Perfil de Carga L3R



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Los perfiles de carga muestran disminuciones significativas en los tramos de línea que coinciden con la Línea 3 de Metro, es el caso del tramo norte de la Línea 2, 4 y 5, el tramo oriente de la Línea 1.

En la dimensión buses, se comparan las etapas a nivel de servicio y se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 14-18: Etapas de servicios con mayor modificación.

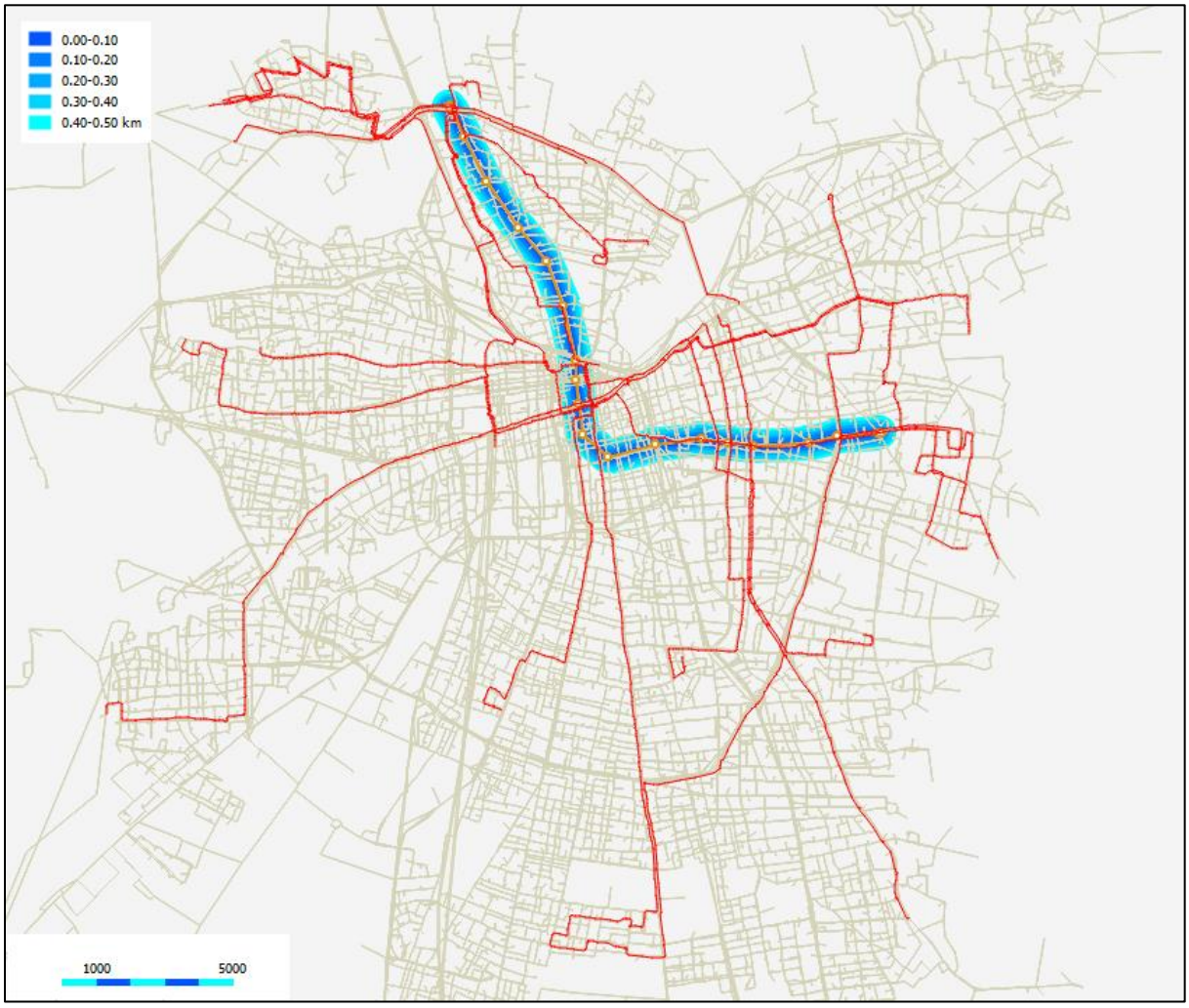
UN	Servicios	Escenario Base_Jul18	Escenario Base_Jul18+L3	Variación %	Itinerario Modificado
1	101R	879	745	-15	
1	103I	186	205	10	
1	103R	265	291	10	
1	104I	1018	1281	26	
2	225I	435	377	-13	
2	229I	594	509	-14	
2	G14I	55	59	7	
2	G16I	33	35	6	
3	303R	613	439	-28	
3	307I	1520	1096	-28	
3	315eI	926	691	-25	
3	315eR	266	206	-23	
4	D01R	111	194	75	
4	D16I	244	379	55	
4	D17vI	112	51	-54	
4	D17vR	90	43	-52	
5	513R	822	610	-26	
5	J06I	61	43	-30	
5	J06R	57	46	-21	
5	J07I	116	128	11	
6	B04vR	108	57	-47	
6	B11I	175	246	40	
6	B13R	190	295	55	
6	B14R	374	264	-30	
7	712I	1052	1155	10	
7	F03I	294	274	-7	
7	F14I	406	438	8	
7	F16I	185	199	8	

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Como se muestra anteriormente, el escenario considera solo la incorporación de la Línea 3 de Metro, es por esto que no existe modificación de itinerarios trazados de buses.

Las unidades de negocio más impactadas son la UN2 y UN5 en términos porcentuales.

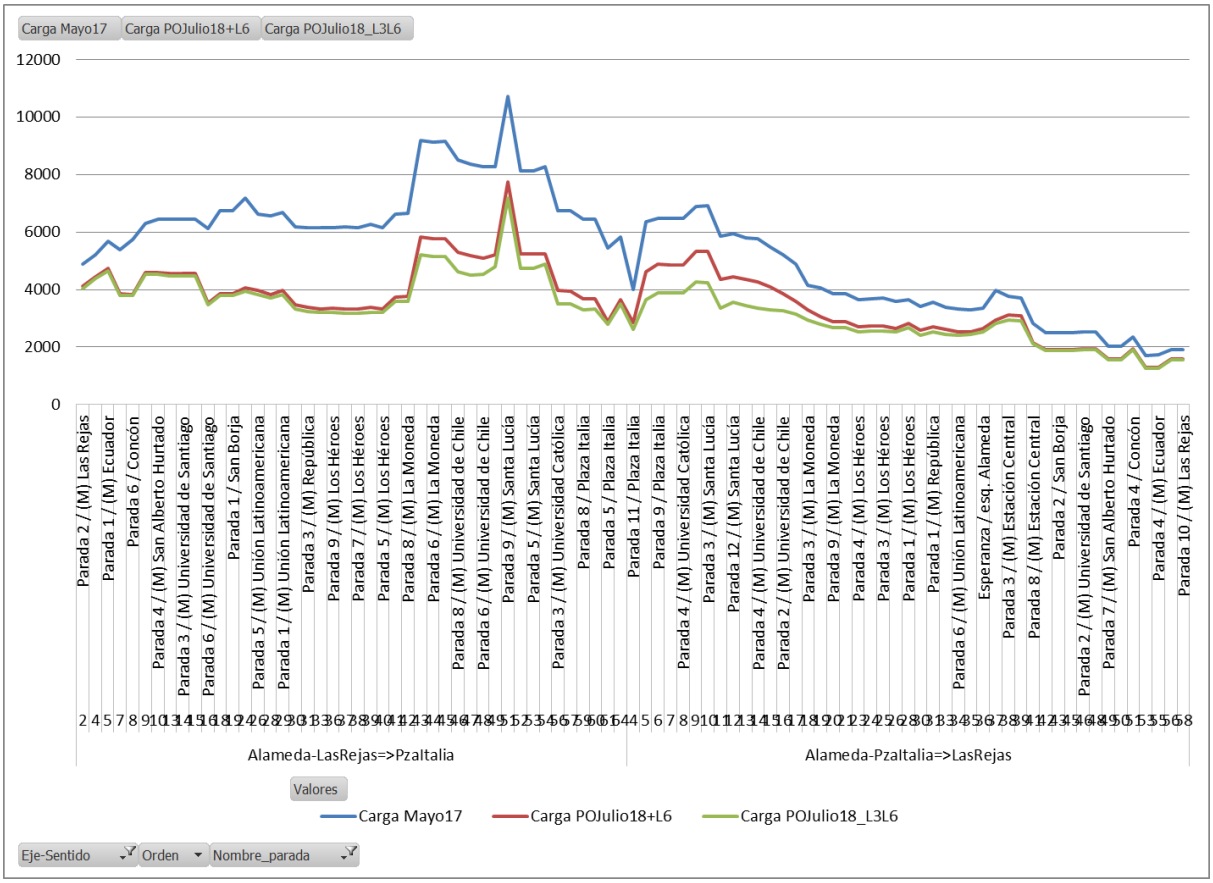
Figura 14-57: Servicios con mayores modificaciones y área de influencia Línea L3.



Fuente: Elaboración Propia

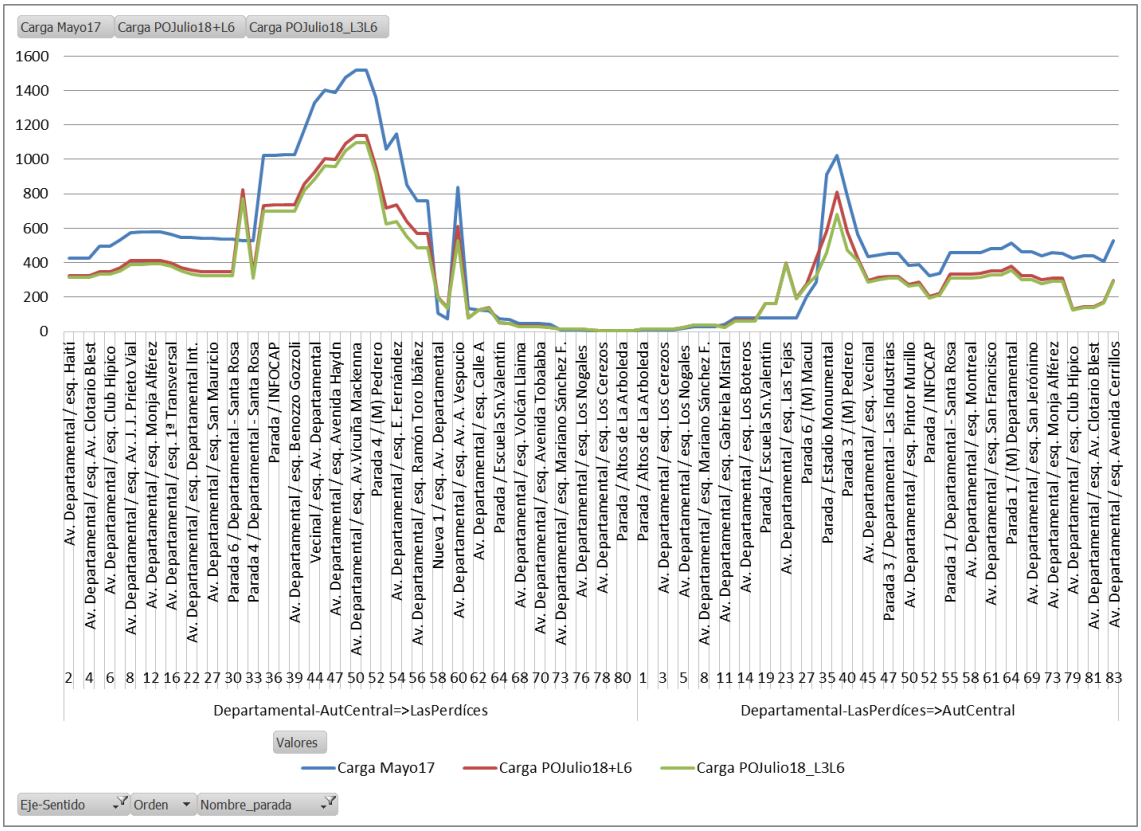
A continuación se presenta el flujo de pasajeros de los escenarios en algunos ejes relevantes de la ciudad.

Figura 14-58: Perfil de Eje Alameda



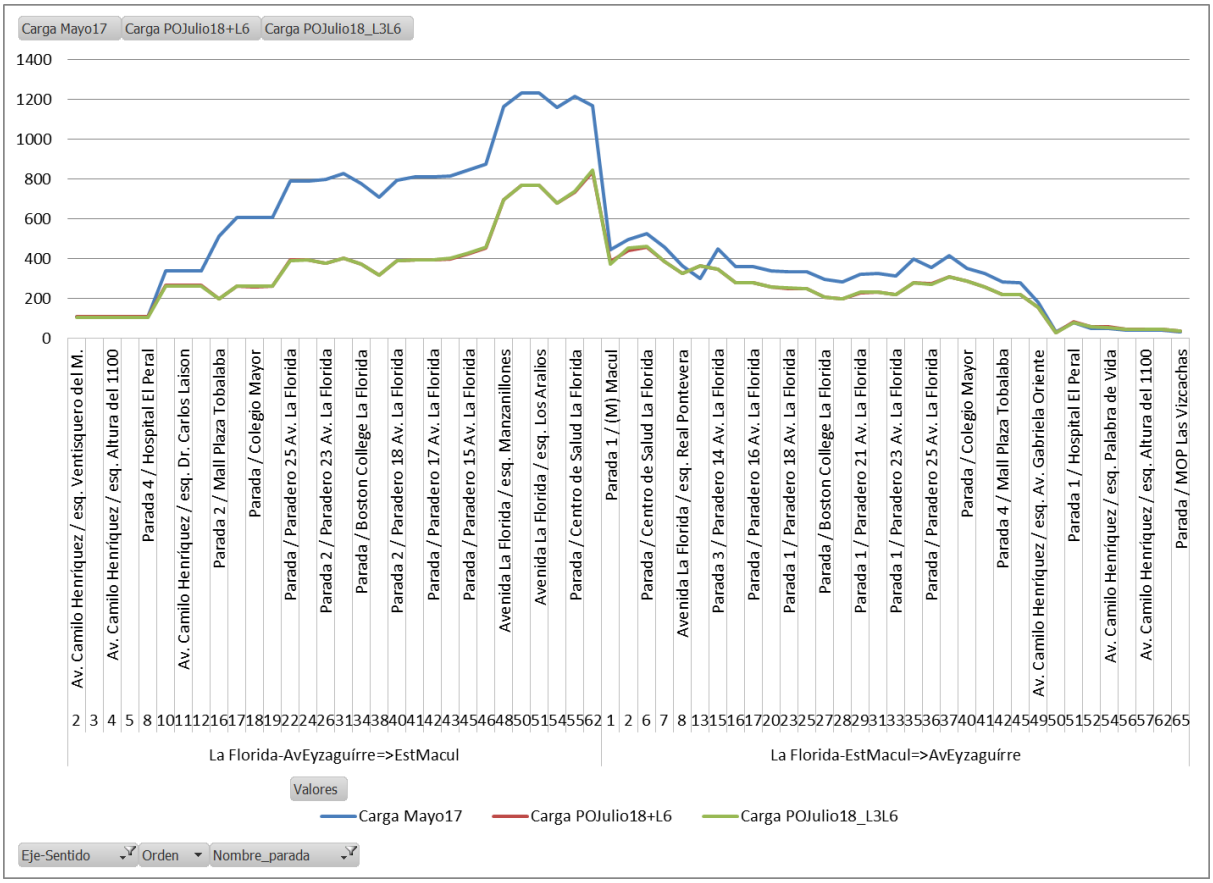
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-59: Perfil de Eje Departamental



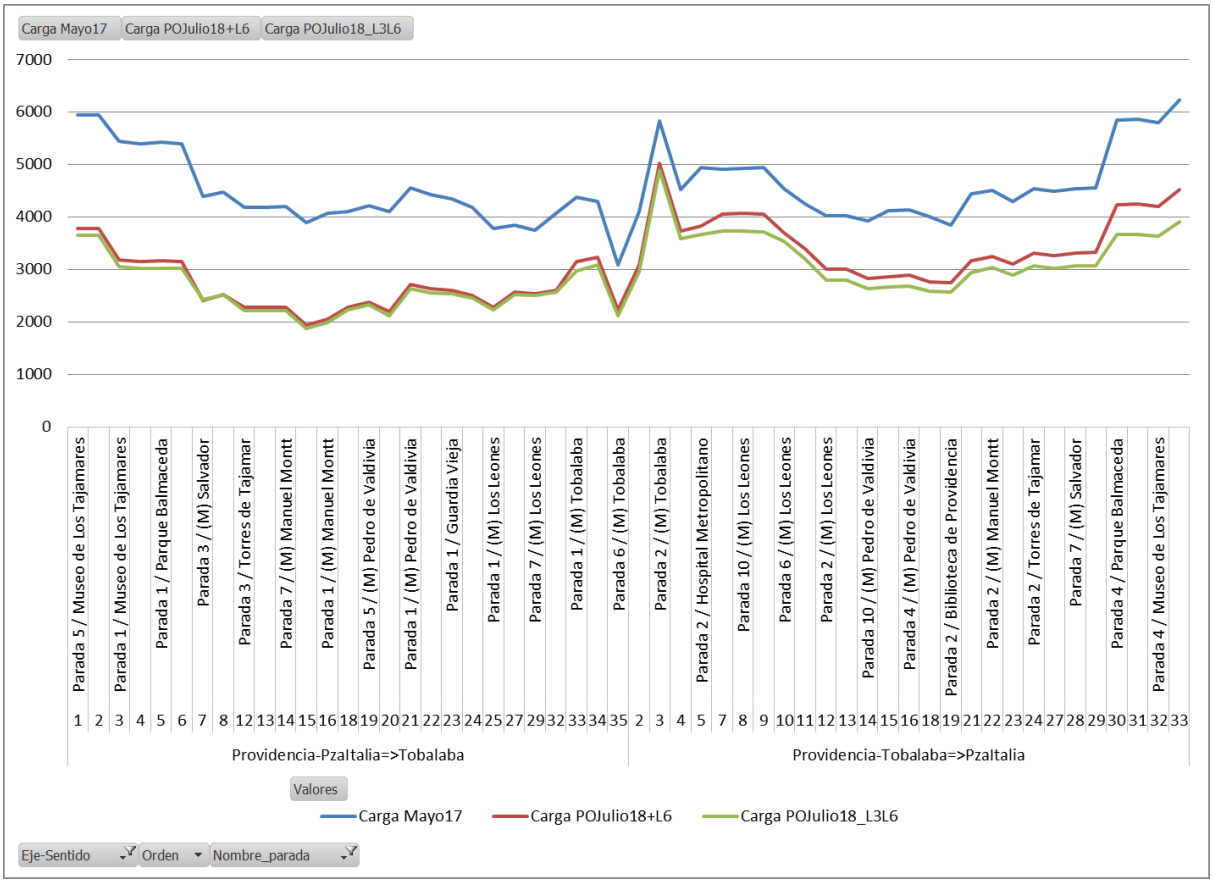
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-60: Perfil de Eje La Florida



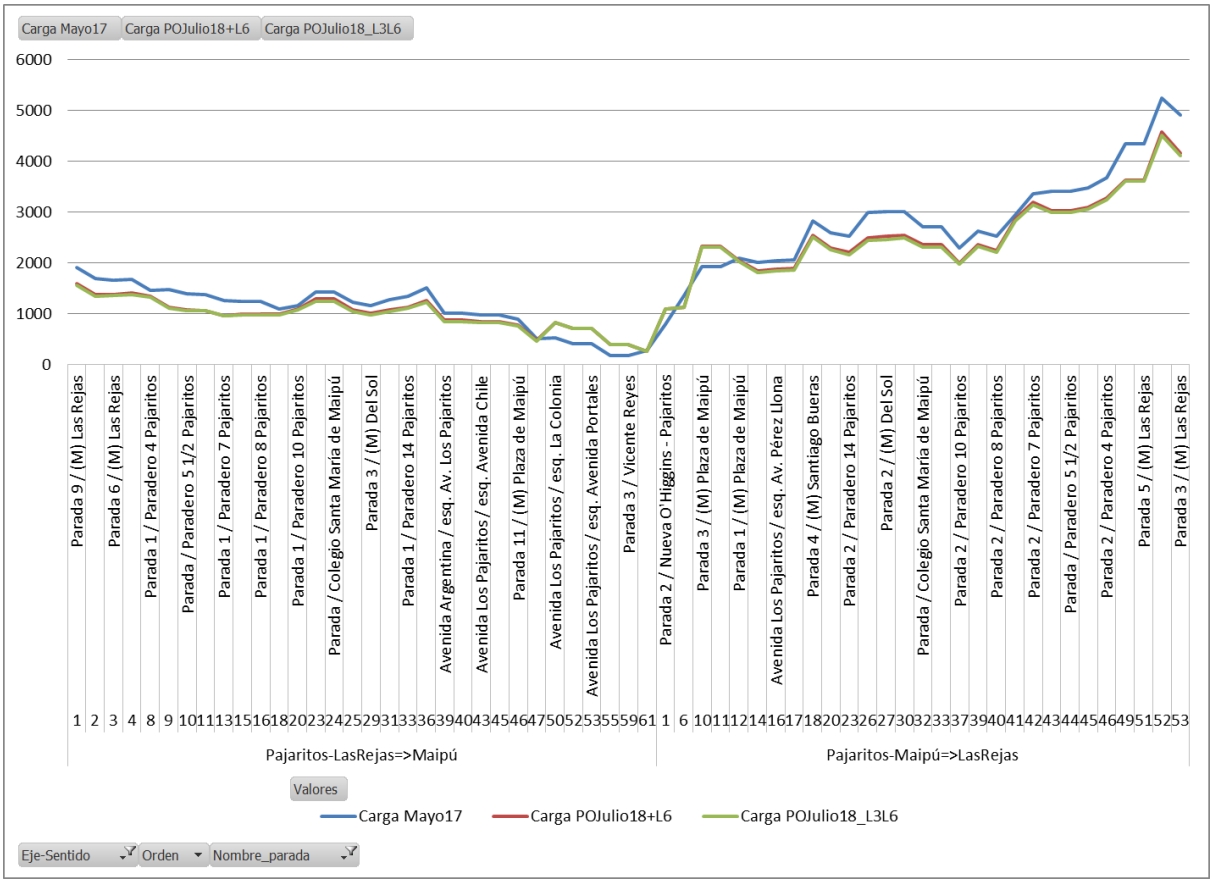
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-61: Perfil de Eje Providencia



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-62: Perfil de Eje Pajaritos



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En general existe un leve aumento del flujo de pasajeros en el eje La Florida y una disminución principalmente en los ejes Alameda y Providencia manteniéndose el flujo de pasajeros en los ejes Departamental y Pajaritos.

En Anexo 14 del capítulo se presenta un archivo con más ejes para analizar.

Finalmente, se presentan las componentes del tiempo de viaje del sistema.

Tabla 14-19: Comparación de Niveles de servicio (min)

	Escenario Base_May17	Escenario Base_Jul18+L6	Escenario Julio18+L6+L3
Tiempo Caminata	10.92	11.37	11.33
Tiempo Espera	6	5.62	5.67
Tiempo vehículo	35.35	39.47	38.40
Tiempo de Viaje	52.27	56.46	55.40

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-20: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Caminata

Origen	Destino	Variación
PENALOLEN	COLINA	3.76
COLINA	VITACURA	3.76
PADRE HURTADO	CONCHALI	3.36
COLINA	LO BARNECHEA	3.10
PENALOLEN	LAMPA	3.06
CONCHALI	PADRE HURTADO	3.01
CERRO NAVIA	COLINA	2.92
MACUL	LAMPA	2.73
PROVIDENCIA	COLINA	2.67
COLINA	RENCA	2.54

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-21: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Caminata

Origen	Destino	Variación
COLINA	NUNOA	-1.88
NUNOA	PADRE HURTADO	-2.16
PADRE HURTADO	LA REINA	-2.46
SAN JOSE DE MAIPO	PENALOLEN	-3.27
SAN RAMON	COLINA	-3.43
CERRILLOS	COLINA	-3.73
LA FLORIDA	COLINA	-4.79
EL BOSQUE	COLINA	-5.33
PUENTE ALTO	COLINA	-6.08
LA PINTANA	COLINA	-6.82

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-22: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo espera

Origen	Destino	Variación
LA PINTANA	COLINA	5.74
SAN JOAQUIN	COLINA	5.02
CERRO NAVIA	COLINA	4.68
PENALOLEN	COLINA	4.45
SAN BERNARDO	COLINA	4.28
MAIPU	COLINA	4.26
EL BOSQUE	COLINA	4.13
SAN RAMON	COLINA	4.08
PUDAHUEL	COLINA	3.91
LA GRANJA	COLINA	3.70

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-23: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo espera

Origen	Destino	Variación
PUENTE ALTO	LAMPA	-1.76
CONCHALI	MACUL	-1.82
PADRE HURTADO	CONCHALI	-2.05
RENCA	SAN RAMON	-2.09
NUNOA	LAMPA	-2.27
PEDRO AGUIRRE CERDA	COLINA	-2.40
RENCA	LA GRANJA	-2.42
LAMPA	LO PRADO	-3.22
LAMPA	PUDAHUEL	-3.38
COLINA	VITACURA	-3.98

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-24: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Vehículo

Origen	Destino	Variación
SAN JOSE DE MAIPO	PENALOLEN	13.65
RENCA	EL BOSQUE	5.96
LAMPA	LO PRADO	5.41
RENCA	LA GRANJA	4.26
RENCA	PUENTE ALTO	4.15
PADRE HURTADO	PEDRO AGUIRRE CERDA	3.98
RENCA	LA FLORIDA	3.81
LO BARNECHEA	CERRILLOS	3.77
QUILICURA	LA GRANJA	3.70
RENCA	MACUL	3.46

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-25: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Vehículo

Origen	Destino	Variación
NUNOA	CONCHALI	-38.38
NUNOA	LAMPA	-39.27
MAIPU	COLINA	-39.35
CONCHALI	LA REINA	-40.26
SANTIAGO	COLINA	-43.24
CONCHALI	PENALOLEN	-43.44
PENALOLEN	COLINA	-43.52
PADRE HURTADO	CONCHALI	-43.81
LA REINA	COLINA	-44.30
NUNOA	COLINA	-46.51

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

14.4 Escenario Ajuste Malla Buses L3 – E6

Este escenario se construye a partir del escenario PO Julio 2018 FP+L6+L3, que corresponde a la asignación de demanda del escenario reportado en el acápite anterior. Este nuevo escenario considera una actualización de la oferta de buses (trazados, frecuencia y capacidad), cuyas **modificaciones** están bajo la denominación **"Malla L3"**, dichas modificaciones corresponden a ajustes en la oferta e itinerarios de servicios de buses en el entorno de la Línea 3 de Metro. Este escenario no considera cambio de oferta para Metro, Metrotren o Tren.

A continuación un resumen de los servicios modificados respecto al escenario PO Julio 2018 + L6 + L3.

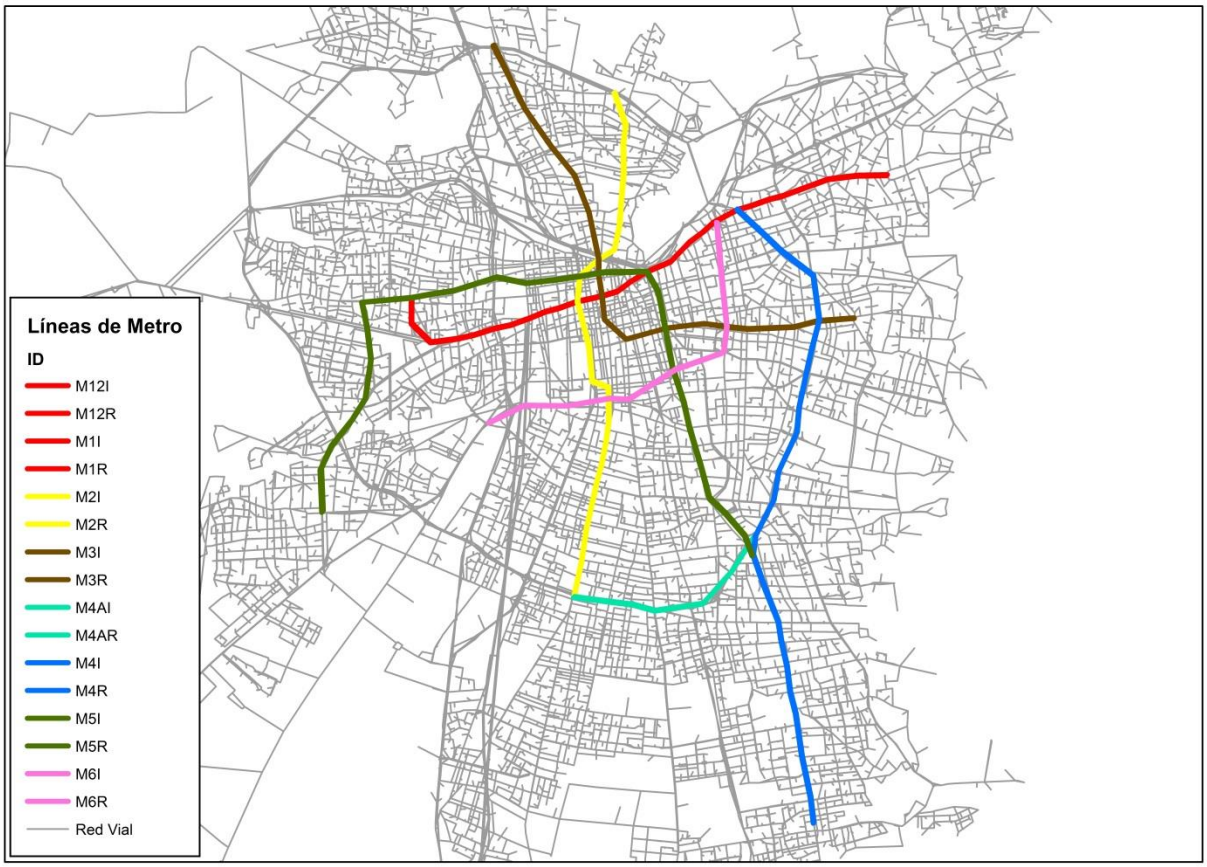
Tabla 14-26: Resumen Modificaciones

UN	Servicios Nuevos	Servicios Eliminados	Itinerarios Modificados	Cambio Oferta
1			6	28
2	2		15	32
3	6		24	69
4			14	44
5			11	46
6			34	38
7			1	22

Fuente: Información entregada por DTPM

Además, la red de metro para este escenario es la siguiente.

Figura 14-63: Red Metro Modelo



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14-27: Frecuencia y capacidad Metro

	L1	L2	L4	L4A	L5	L6	L3
Frecuencia (Trenes/Hora)	25,5	15,8	17,9	11,7	18,5	10,7	10,4
Capacidad (Plazas/Hora)	36.933	20.231	14.227	9.236	21.493	13.858	13.482

Fuente: Información entregada por DTPM

Los resultados de la asignación con restricción de capacidad, se presentan a continuación:

Tabla 14-28: Resultados Globales

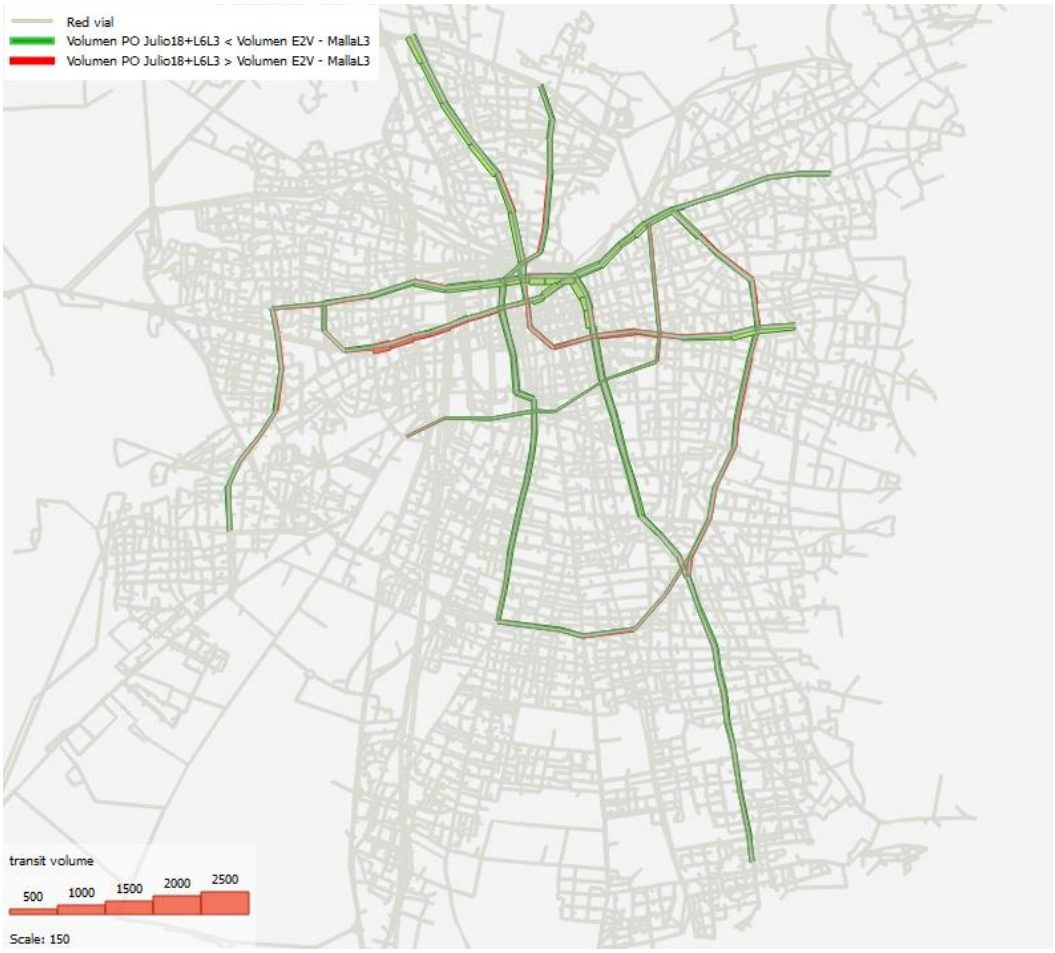
Ítem	PO Mayo 17	PO Julio 18 + L6	PO Julio 18 + L6 + L3	E6 – Malla L3
Etapas Buses	267,200	252,990	245,811	242,834
Etapas Metro	96,641	114,597	121,932	123,612
Etapas Metro (con transbordo Metro Metro)	131,539	160,767	169,642	173,401
Total Etapas (sin transbordo Metro Metro)	365,820	370,727	370,908	369,689
Matriz de viajes	226,263	226,263	226,263	226,263
Etapas Bip por viaje	1.71	1.73	1.73	1.73
Etapas caminando	10,969	11,383	11,371	11,456

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se observa una disminución en las etapas de buses y un aumento en las etapas de metro, en relación al escenario PO Julio18 + L6+L3, esta variación en las etapas de bus y metro se corresponden cuando se consideran las etapas de metro con transbordo metro-metro. Por otro lado, tanto el total de etapas disminuye levemente, mientras que las etapas por viaje se mantienen.

Las siguientes figuras muestran la diferencia de flujo entre los escenarios Julio 18 + L6 + L3 y E6 – Malla L3 para buses y Metro

Figura 14-64: Comparación Flujo entre Escenarios Julio 2018 +L6+L3 y E6(E2V) – Malla L3 - Metro



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-65: Comparación Flujo entre Escenarios Julio 2018 +L6+L3 y E6(E2V) – Malla L3- Buses



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Se aprecia un aumento en el flujo de red de metro, donde se puede observar un flujo negativo en un tramo importante de la línea 3 y parte de la línea 1. En el caso de los buses, en general es positivo, pero existen grandes impactos en el eje Santa Rosa e Independencia.

A continuación se presentan las etapas por Unidad de Negocio y los transbordos entre modos. La información de etapas es comparada con los resultados obtenidos en el escenario que considera el PO de Julio del 2018 + L6 + L3.

Tabla 14-29: Resultados Etapas por Unidad de Negocio

Etapas por UN	PO Mayo 17	PO Julio 18 + L6	PO Julio 18 + L6 + L3	E6 – Malla L3
U1	31,206	28,809	28,605	27,458
U2	46,712	43,717	42,052	39,592
U3	49,957	47,126	45,613	45,845
U4	48,009	46,394	44,836	44,643
U5	46,782	44,287	42,456	42,037
U6	27,709	26,515	26,129	26,773

U7	16,825	16,142	16,120	16,486

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

La baja a nivel de etapas de bus, está concentrada en las UN1 y UN2, con una disminución del 4% y 5%, respectivamente.

Tabla 14-30: Transbordos entre Modos

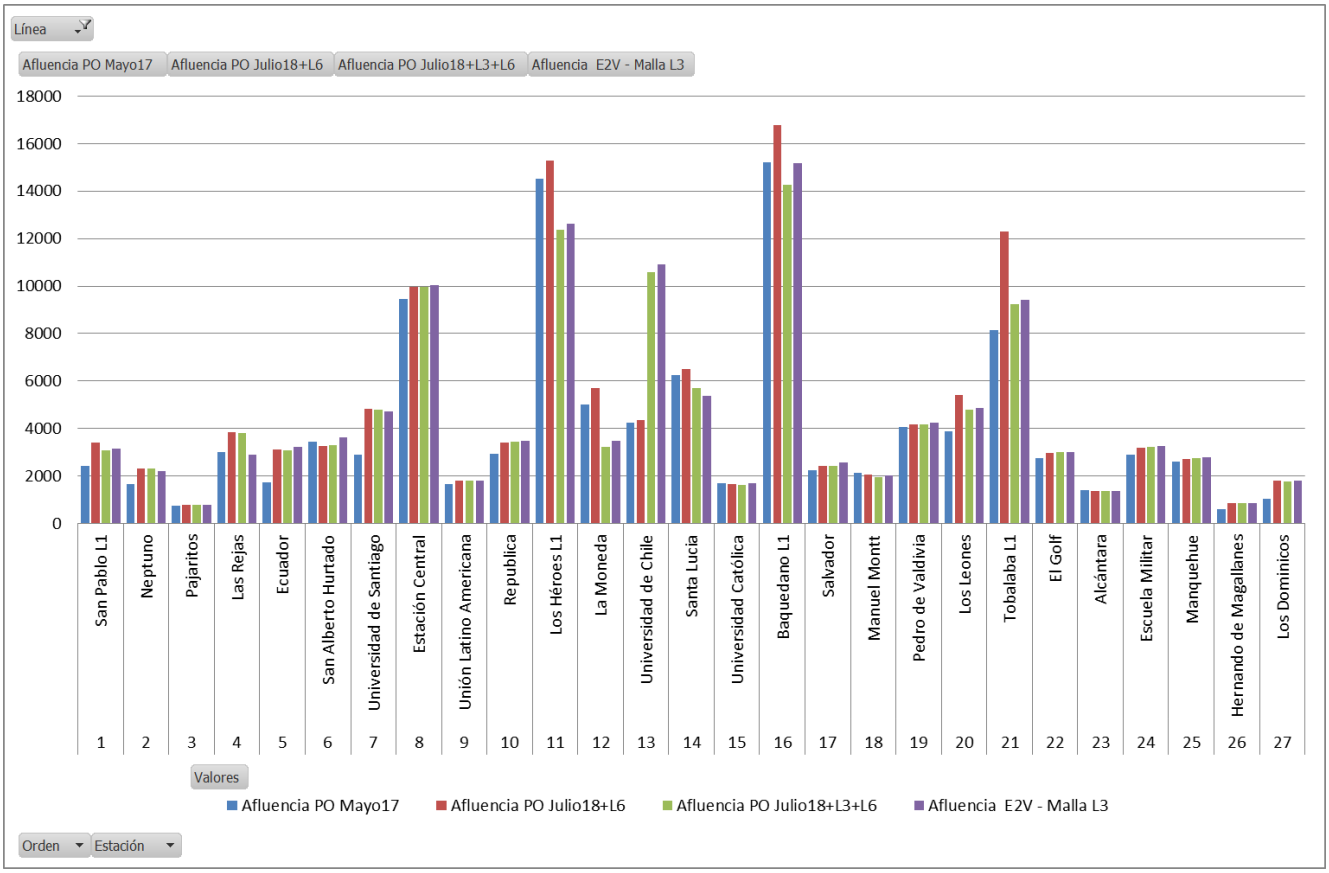
Etapas Transbordo	PO Mayo 17	PO Julio 18 + L6	PO Julio 18 + L6 + L3	E6 – Malla L3
Bus-Bus	67,622	52,032	46,741	46,170
Bus-Metro	42,380	52,791	55,162	54,854
Metro-Metro	34,898	46,170	47,710	49,789
Metro-Bus	38,968	47,462	50,521	50,143
Bus-Metrotren	891	1,622	1,631	1,666
Metro-Metrotren	182	351	357	368
Metrotren-Bus	545	684	686	704
Metrotren-Metro	922	1,792	1,813	1,868

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En general, no se observan variaciones importantes en los transbordos entre modos, Sin embargo destacan la disminución de los transbordos bus-bus y los bus-metro.

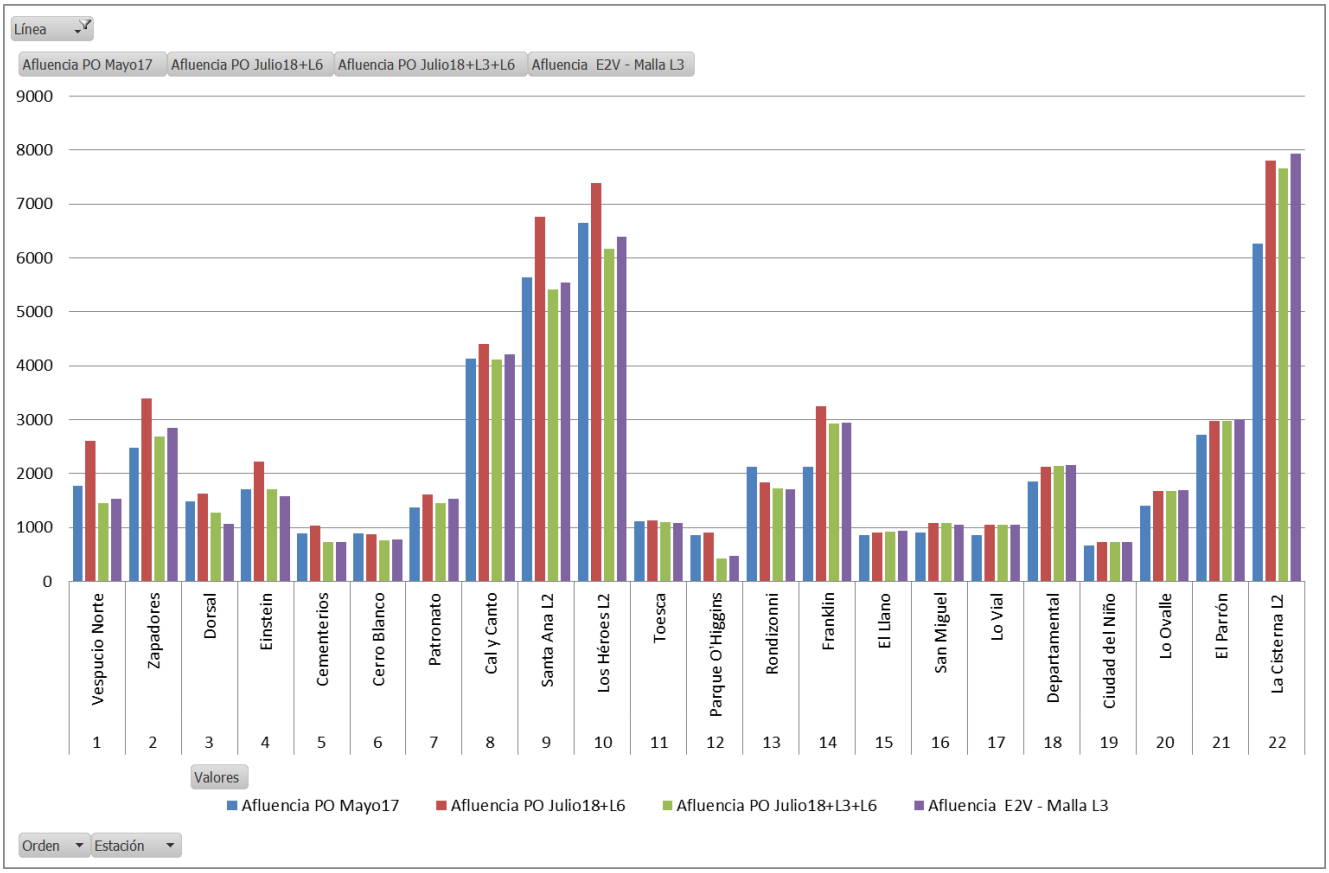
A continuación se presentan un comparativo de subidas por estación y perfiles de carga para Metro.

Figura 14-66: Afluencia Línea 1



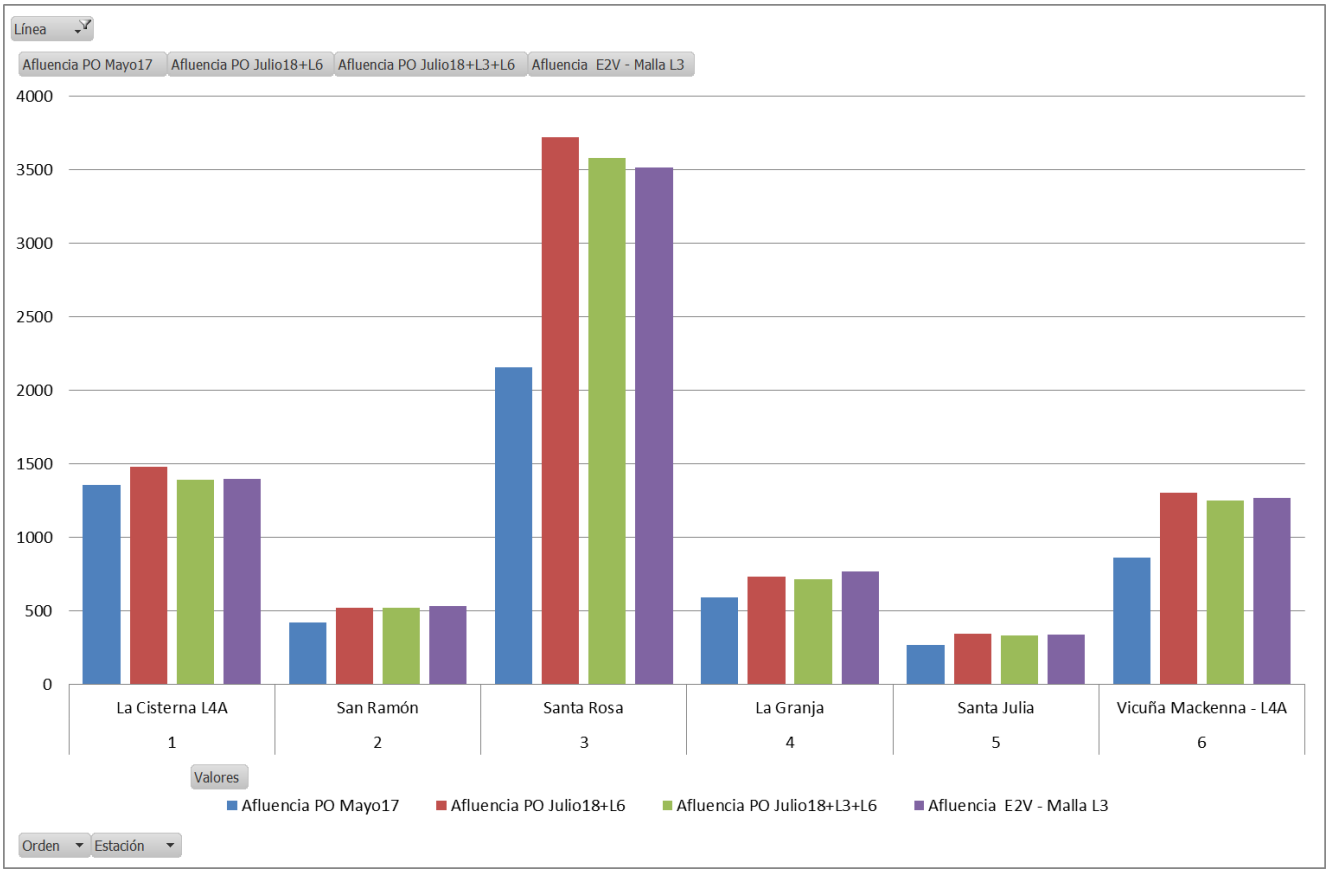
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-67: Afluencia Línea 2



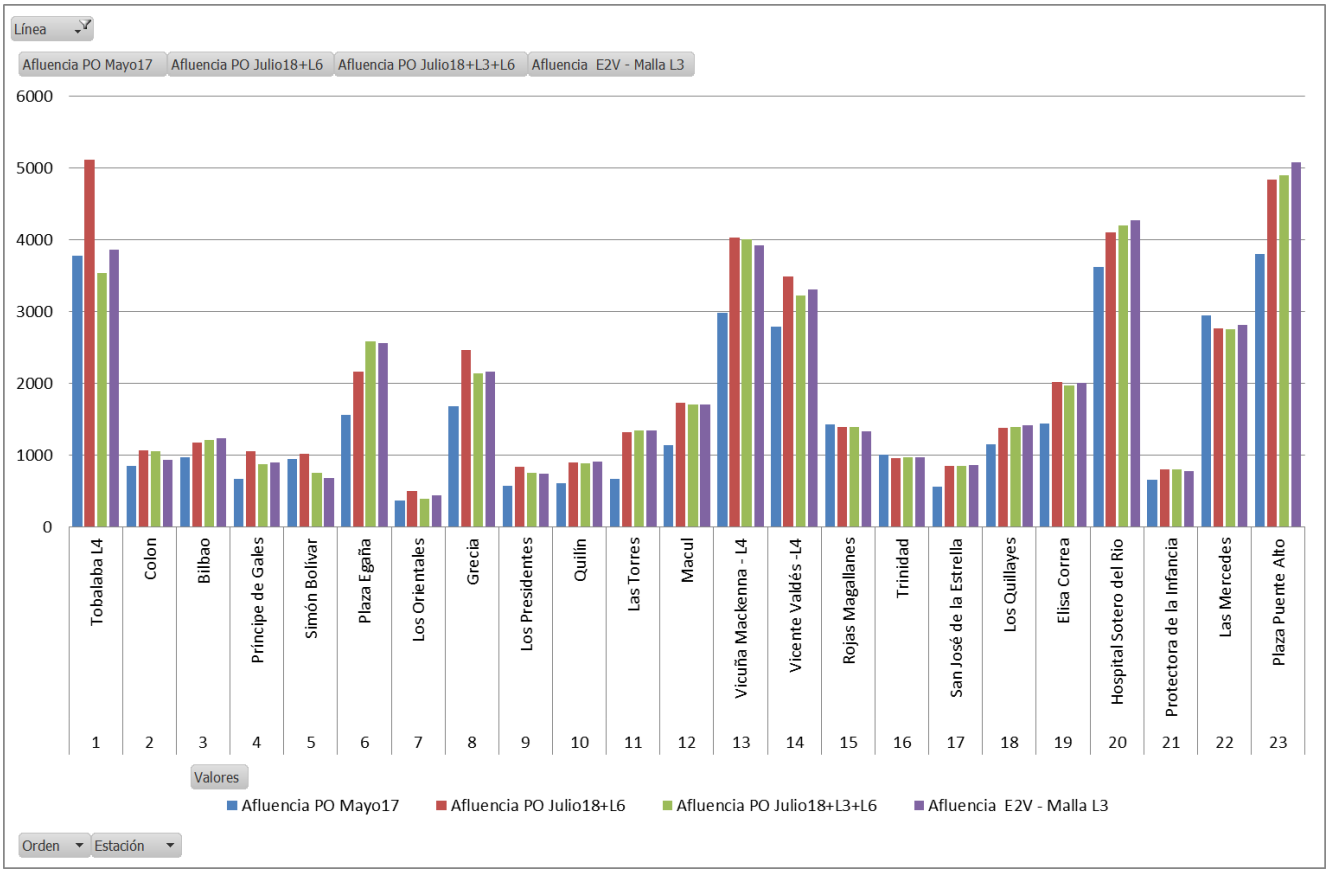
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-68: Imagen. Afluencia Línea 4A



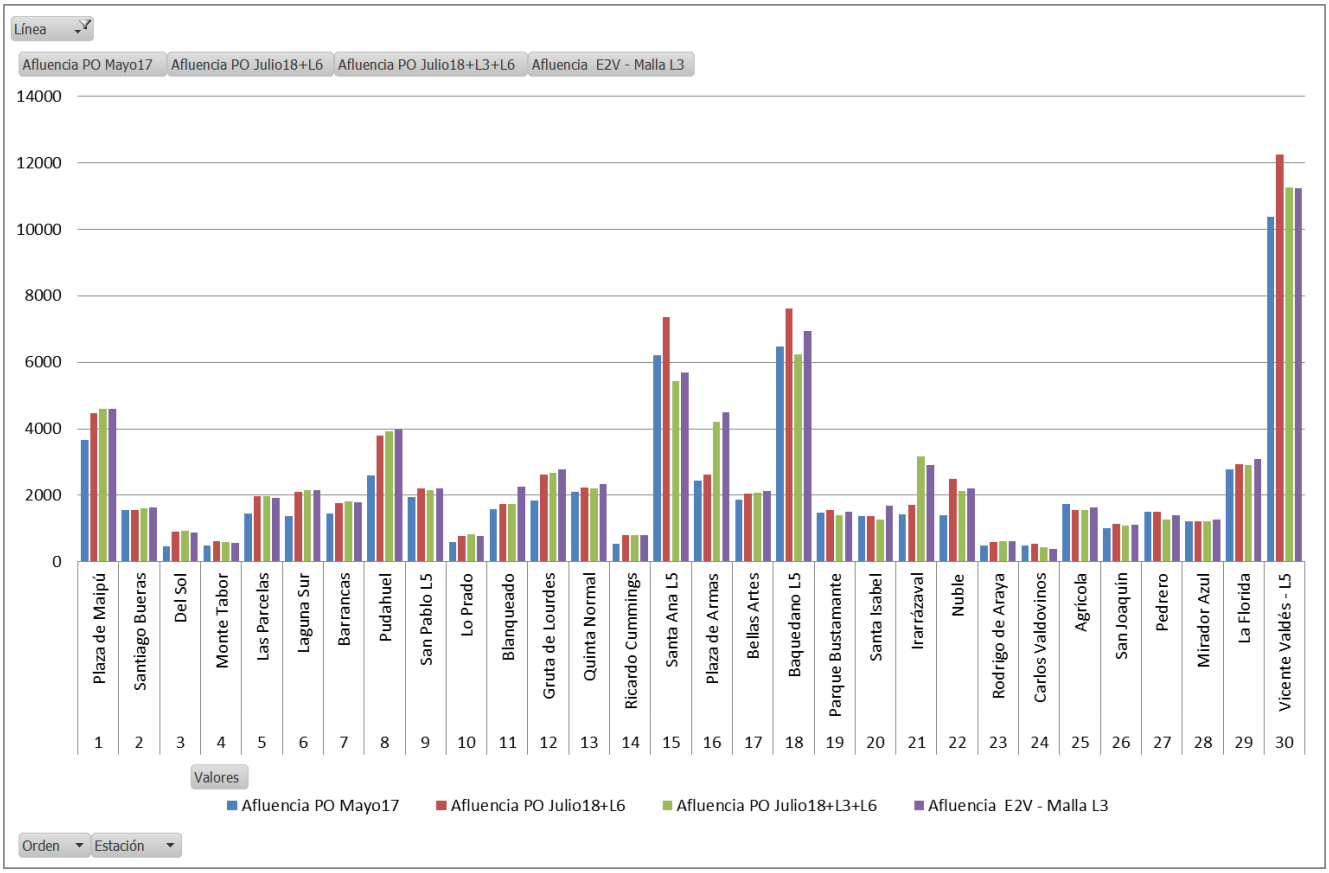
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-69: Afluencia Línea 4



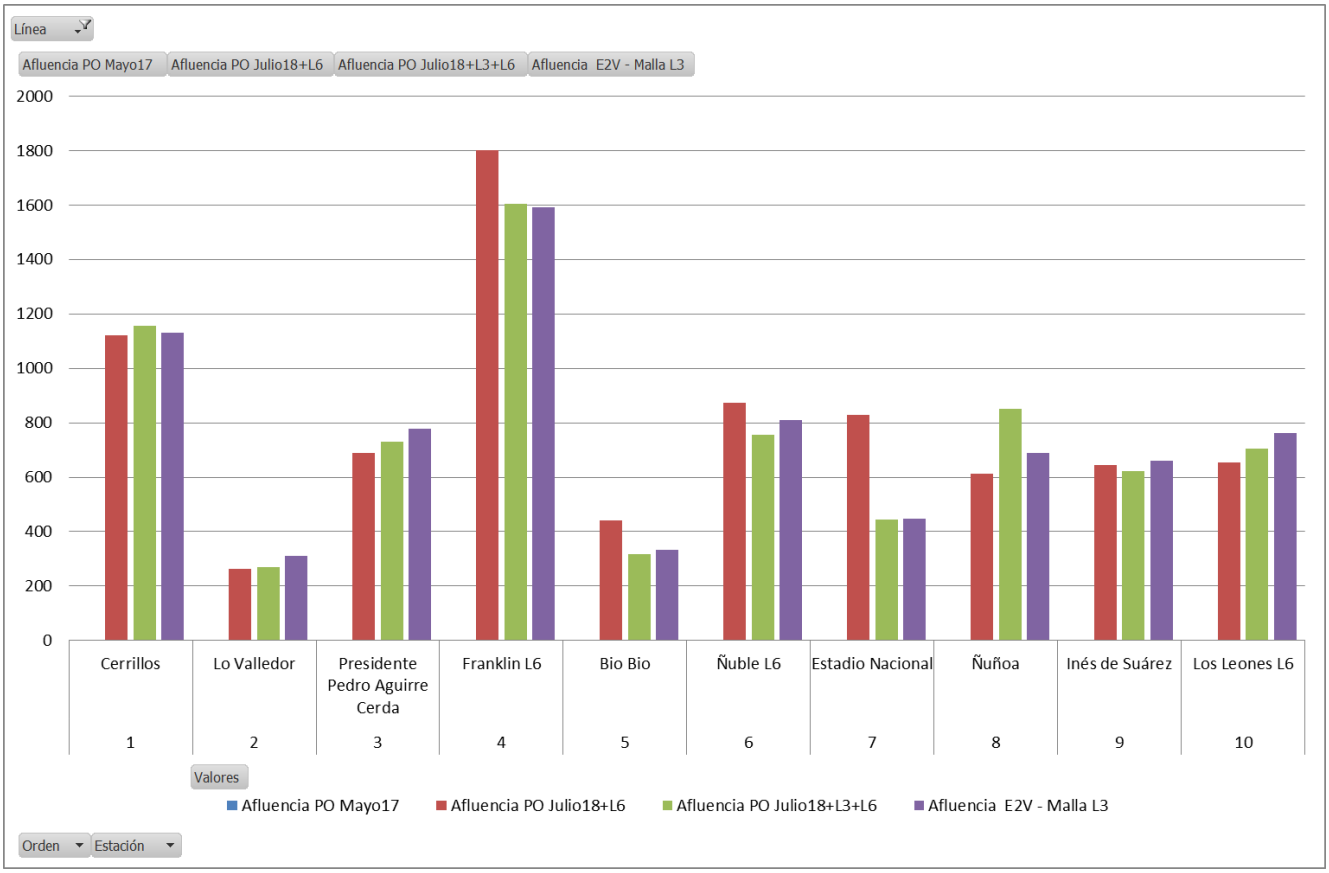
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-70: Afluencia Línea 5



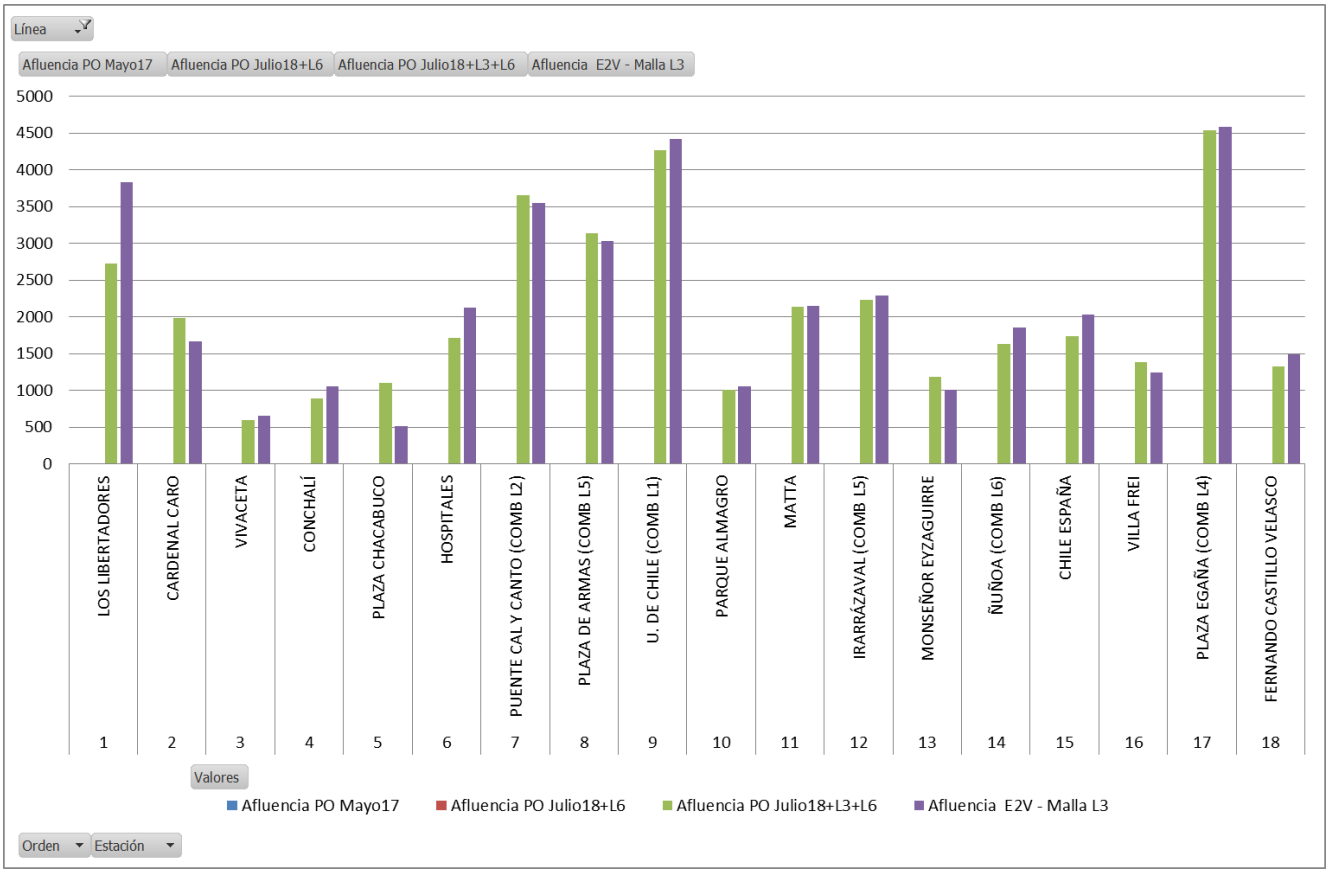
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-71: Afluencia Línea 6



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-72: Afluencia Línea 3

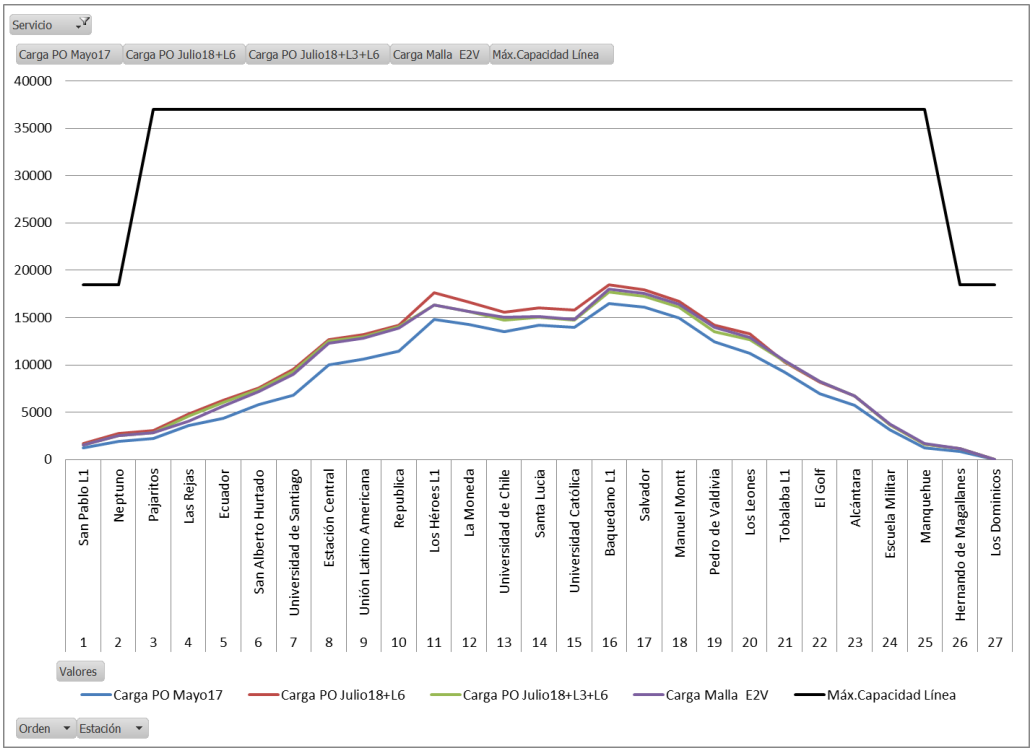


Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En la variación de afluencia de la Línea 3 de metro, se evidencia un aumento en la accesibilidad de la demanda del sector a la estación Los Libertadores, que no se reporta tan significativamente en el resto de las estaciones.

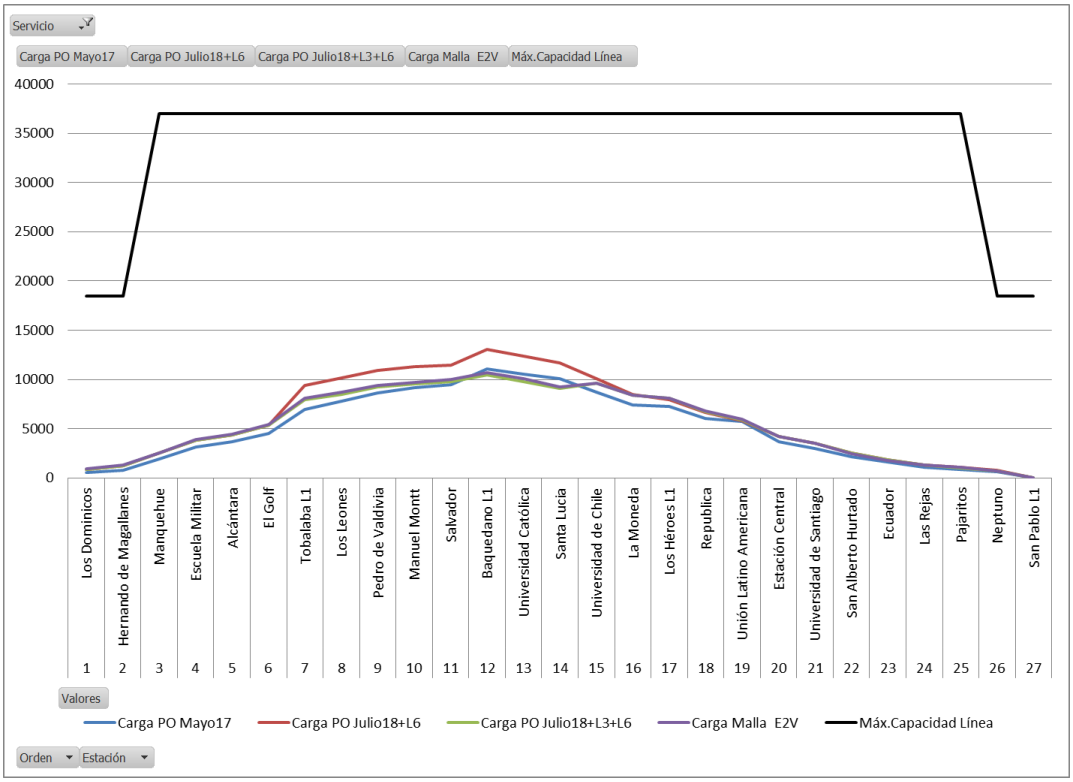
A continuación se presentan los perfiles de carga por línea sentido.

Figura 14-73: Perfil de Carga L1I



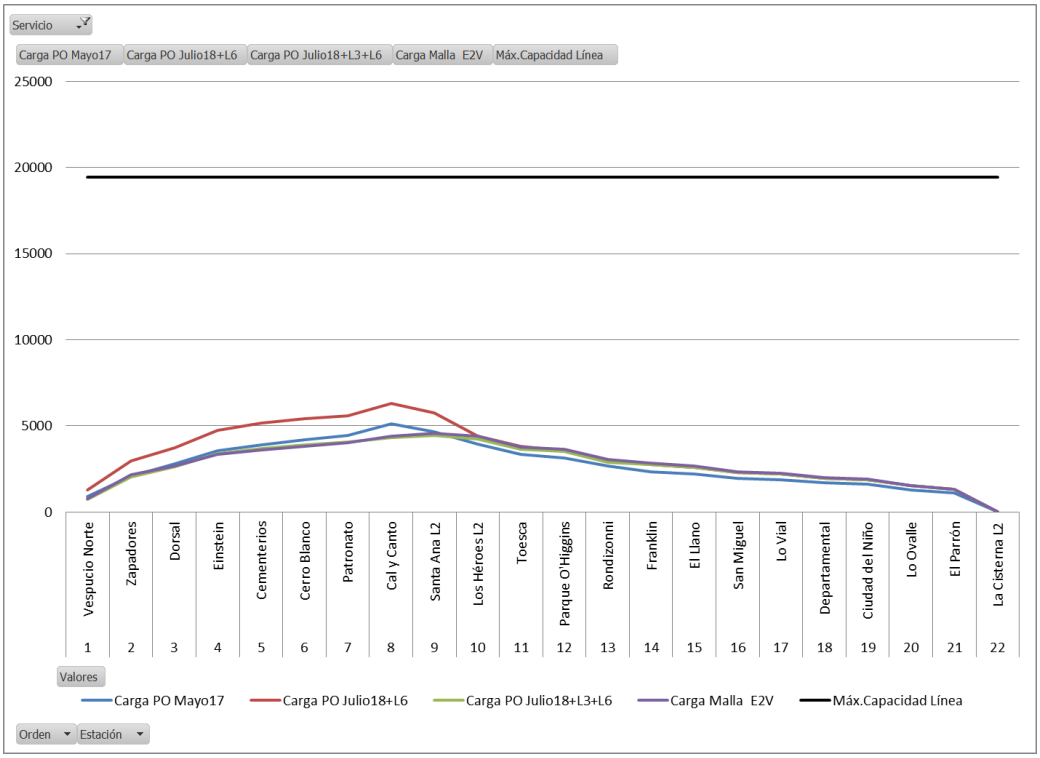
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-74: Perfil de Carga L1R



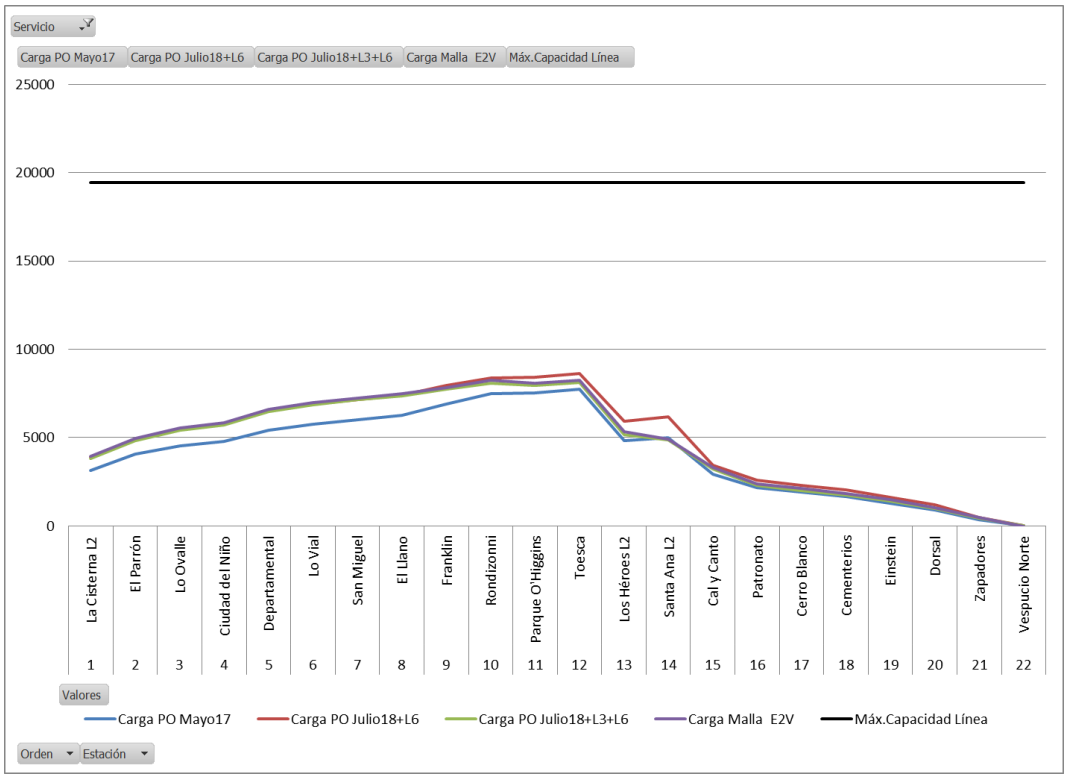
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-75: Perfil de Carga L2I



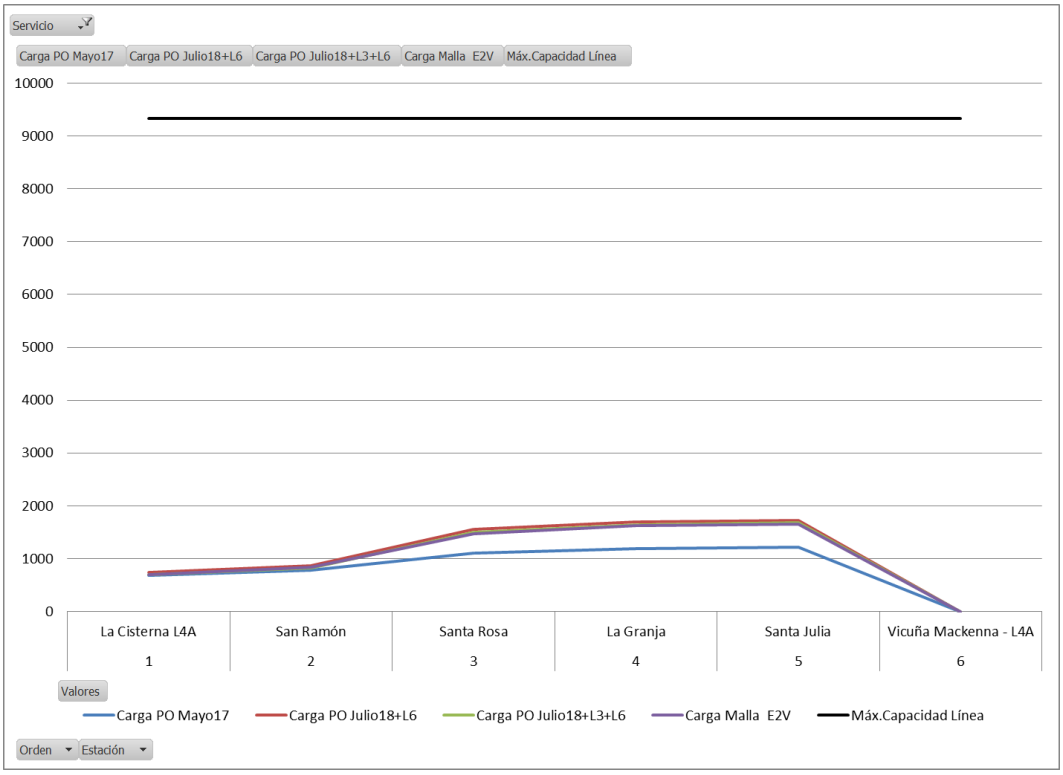
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-76: Perfil de Carga L2R



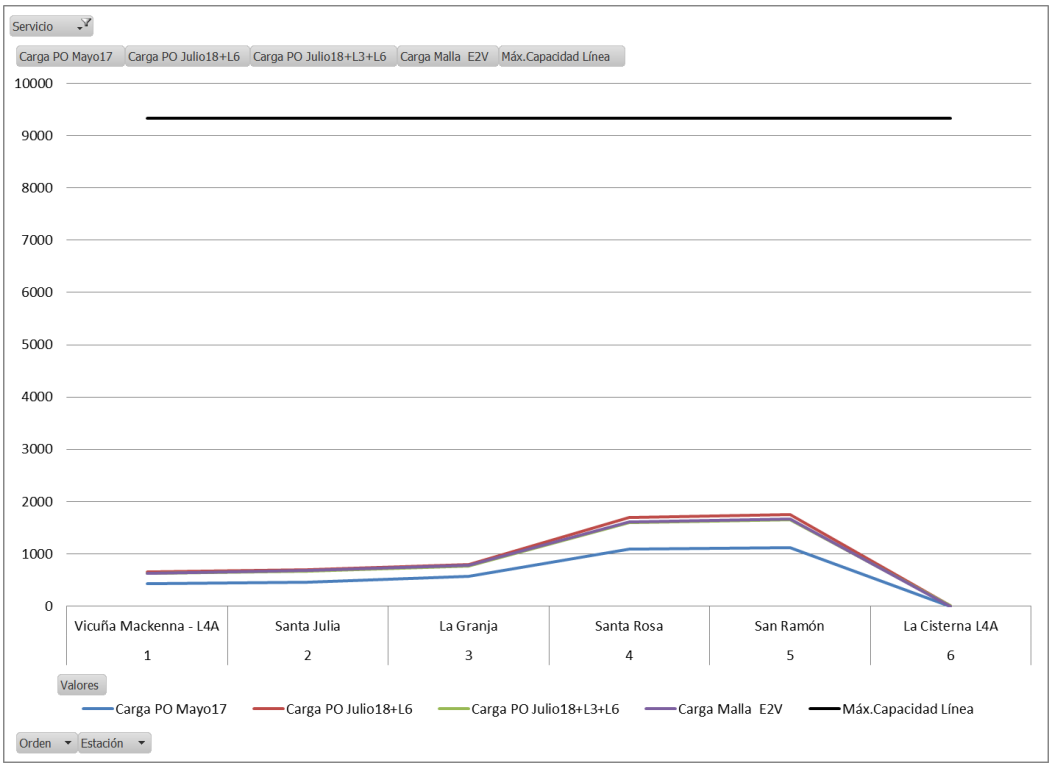
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-77: Perfil de Carga L4AI



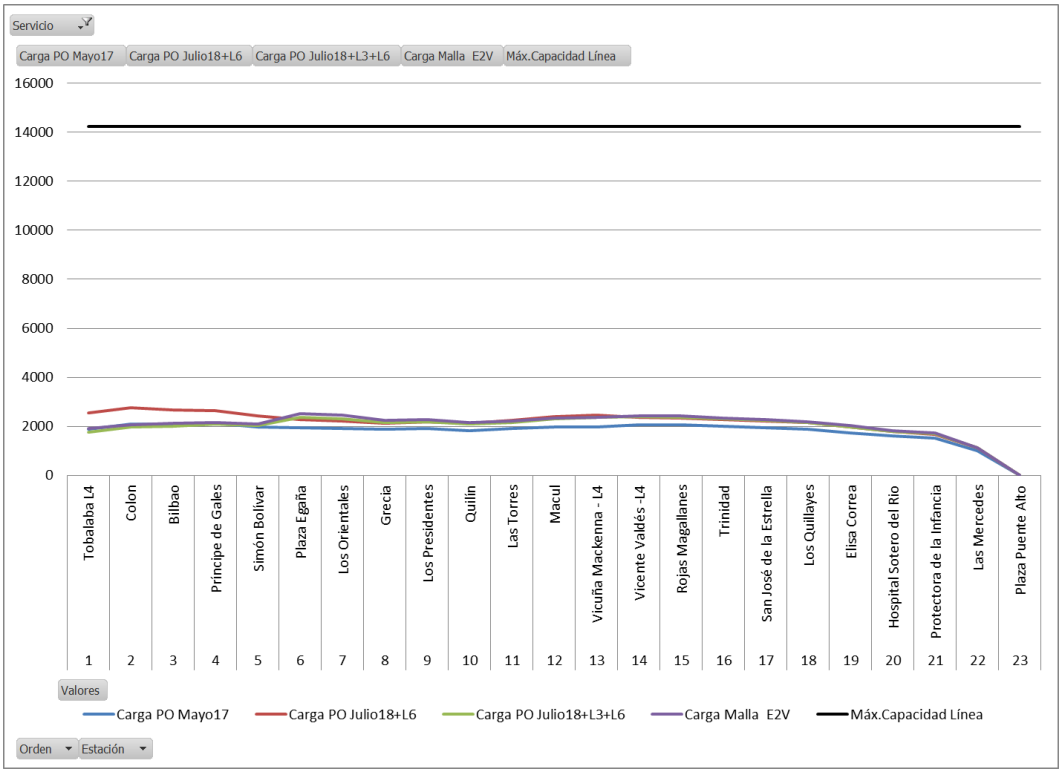
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-78: Perfil de Carga L4AR



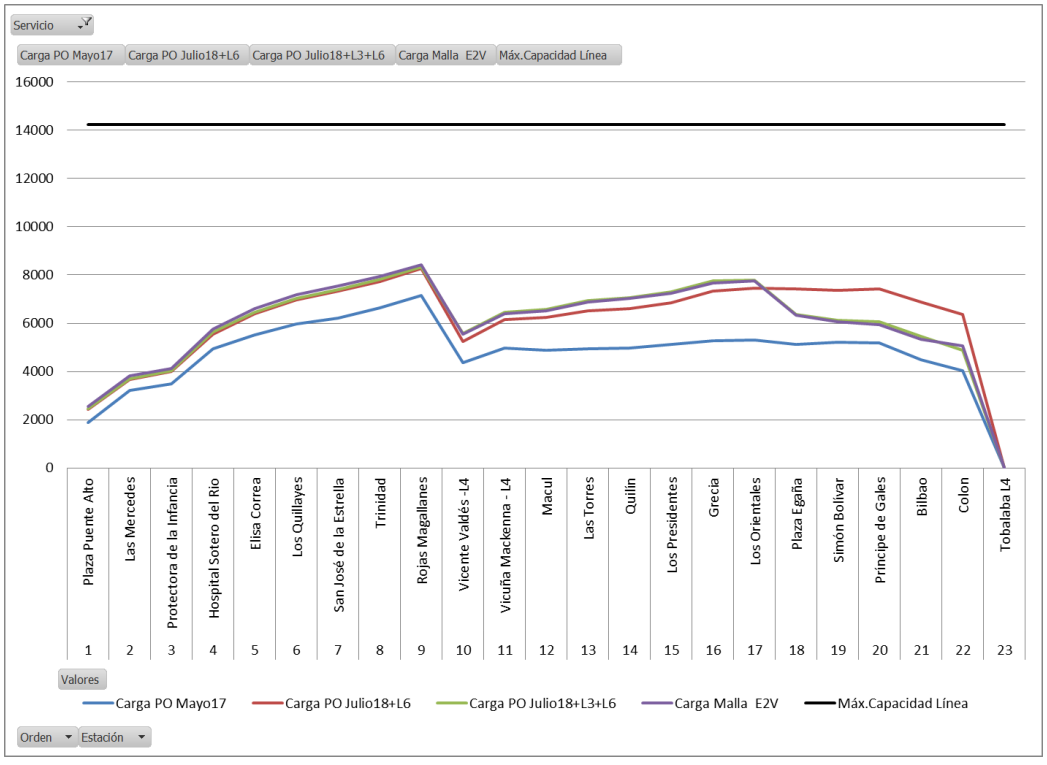
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-79: Perfil de Carga L4I



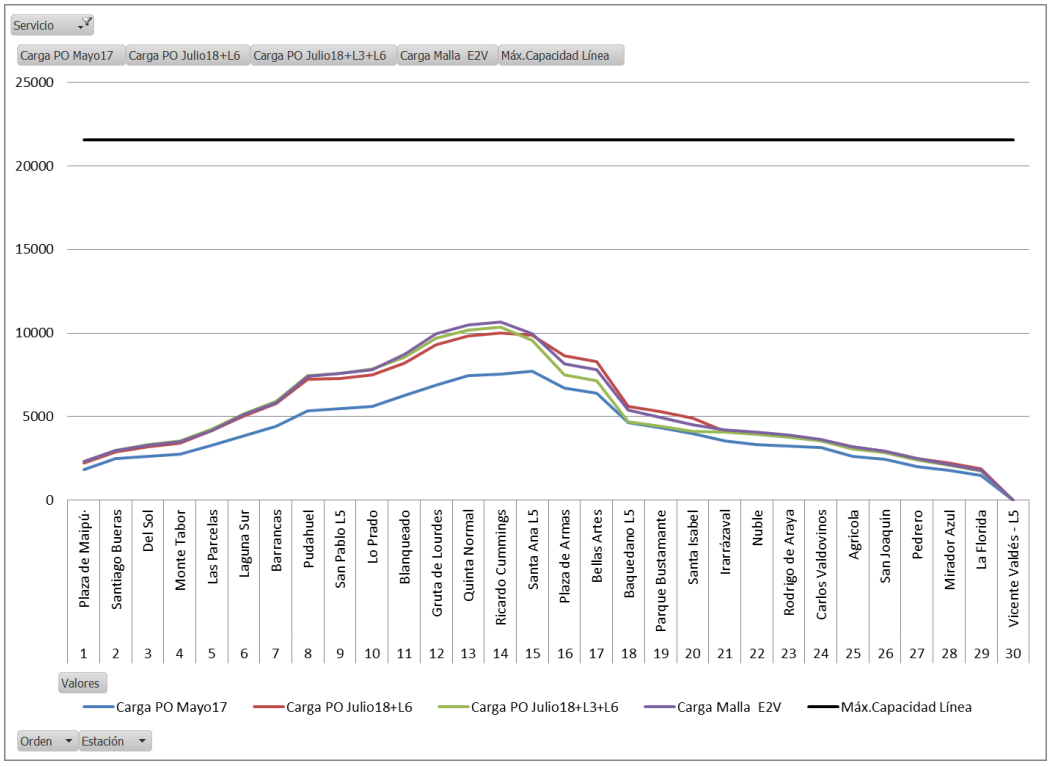
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-80: Perfil de Carga L4R



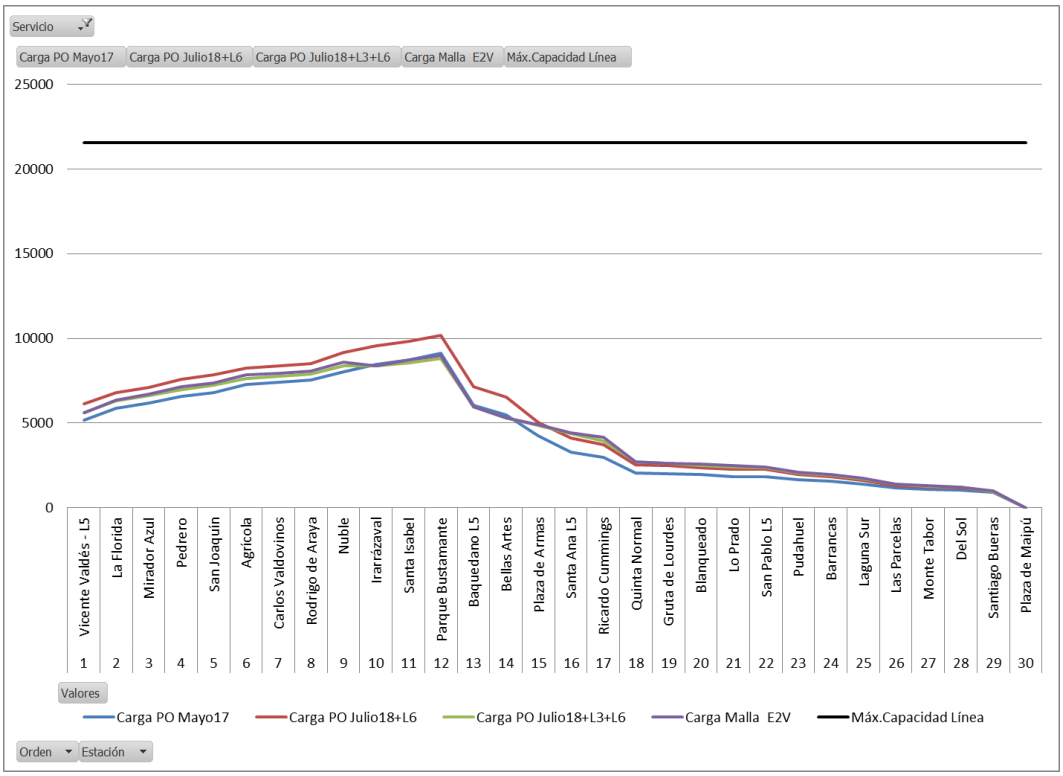
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-81: Perfil de Carga L5I



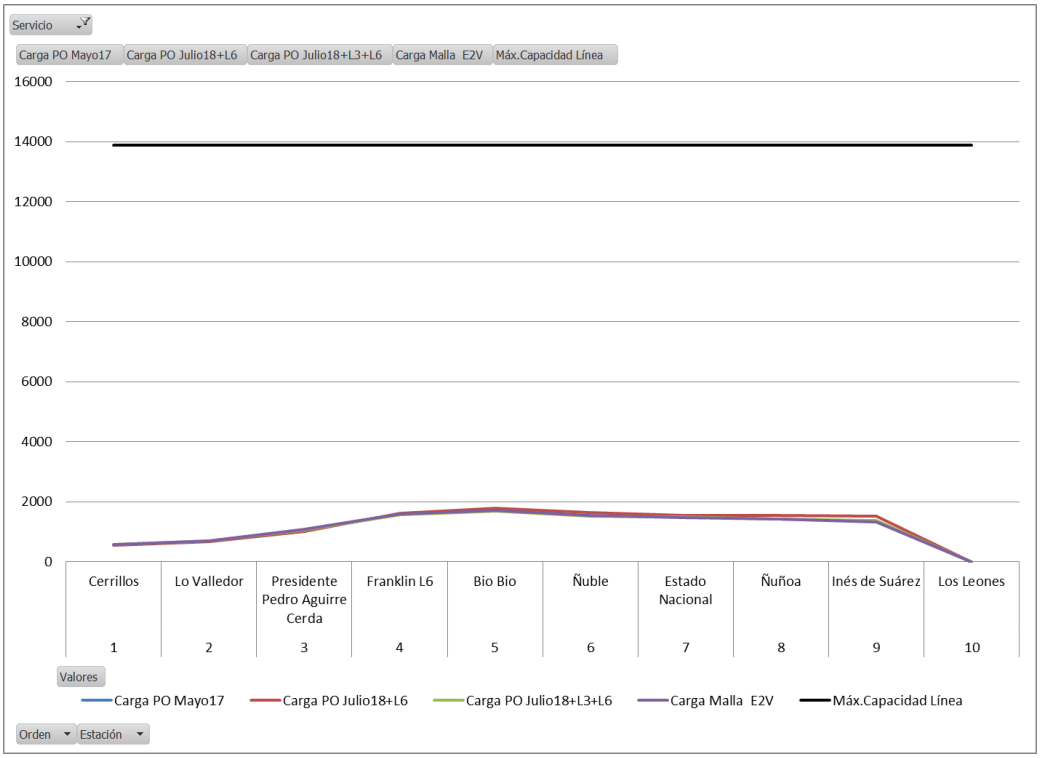
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-82: Perfil de Carga L5R



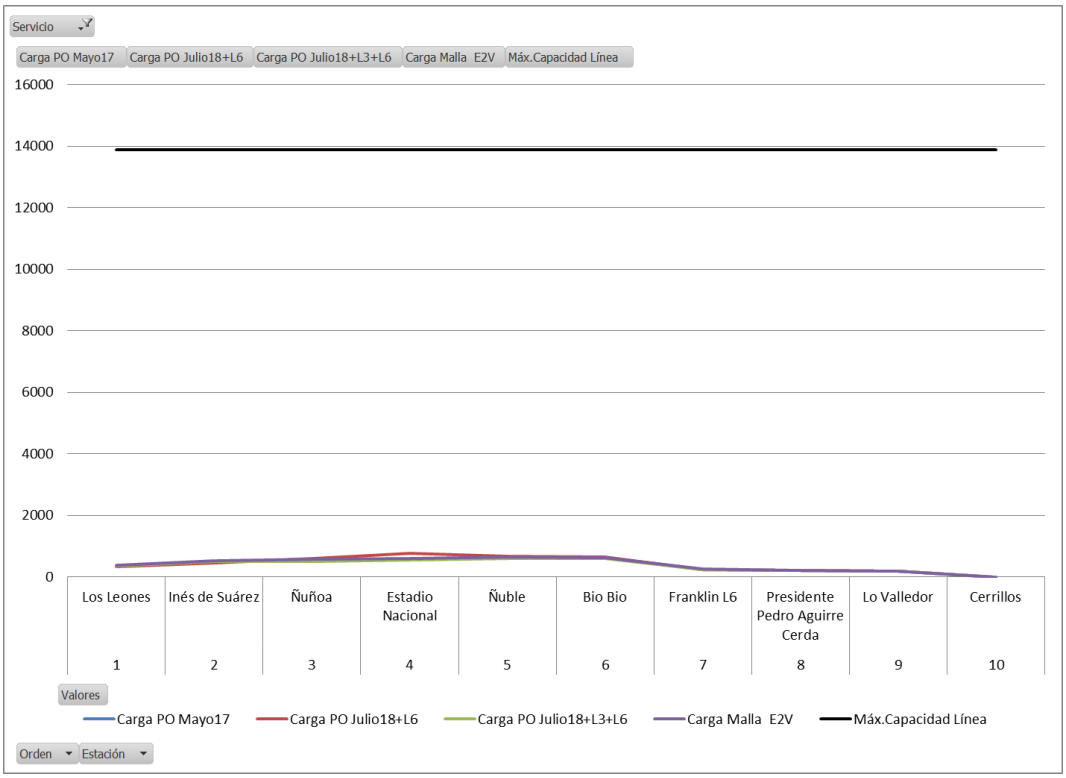
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-83: Perfil de Carga L6I



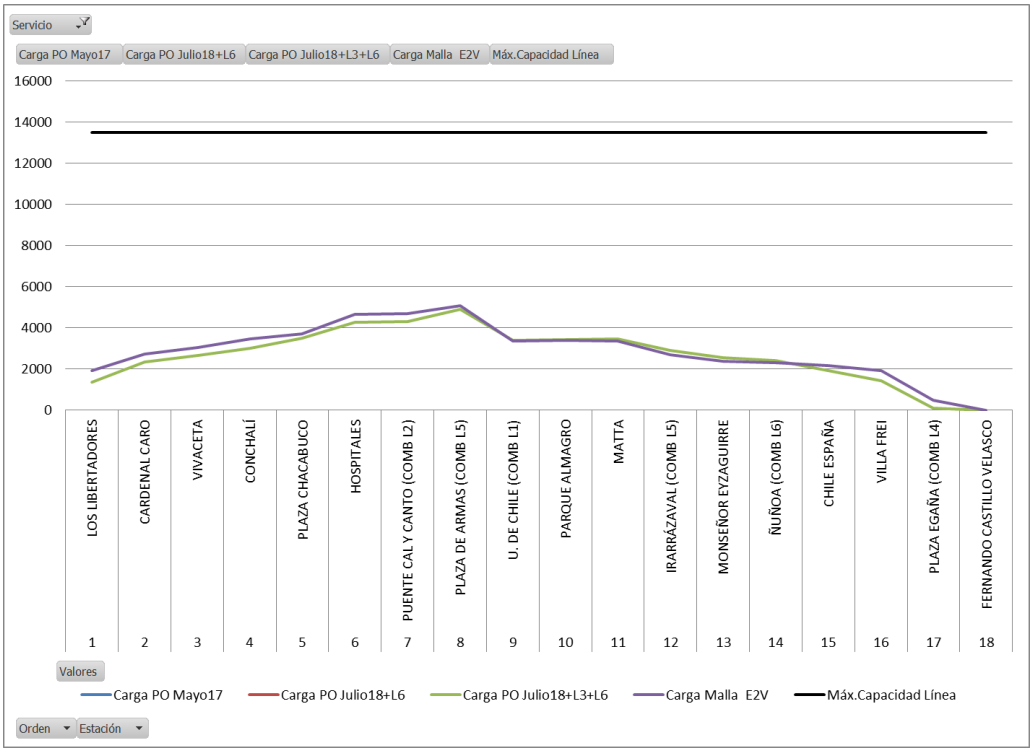
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-84: Perfil de Carga L6R



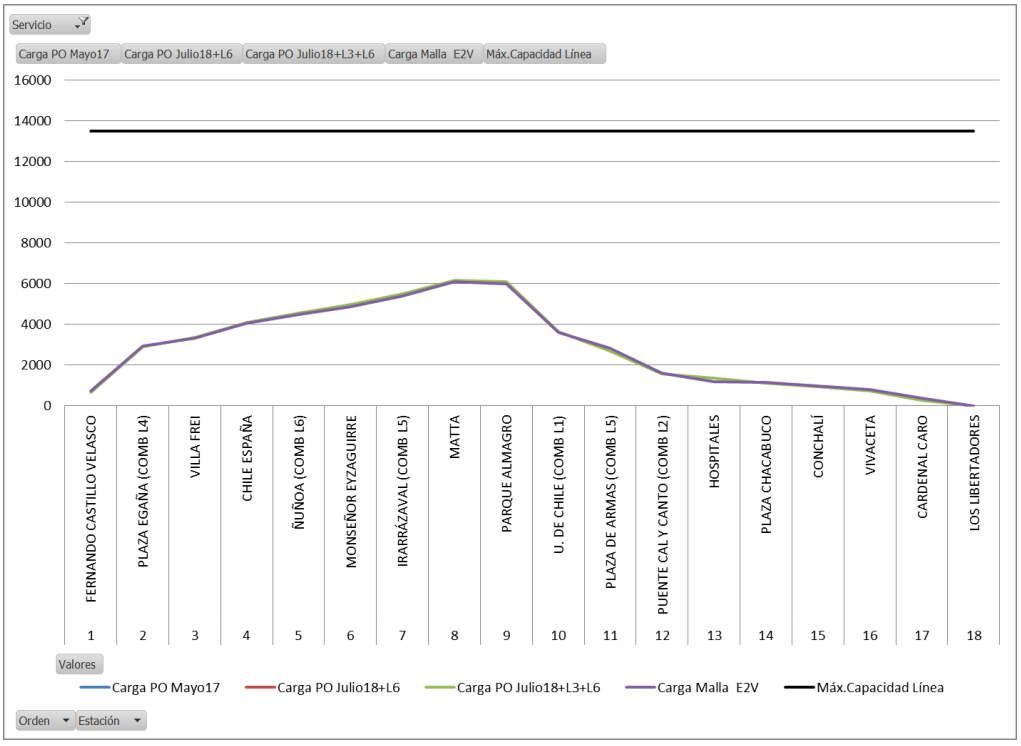
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-85: Perfil de Carga L3I



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-86: Perfil de Carga L3R



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En la dimensión buses, se comparan las etapas a nivel de servicio y se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 14-31: Etapas de servicios con mayor modificación.

UN	Servicios	Escenario Julio 18+L6+L3	Escenario E6 – Malla L3	Variación %	Itinerario Modificado
1	101I	678	501	-26	
1	107I	1183	834	-30	
1	113R	286	123	-57	X
1	115R	349	152	-56	X
2	201eI	352	199	-43	X
2	201eR	667	346	-48	X
2	230I	1756	274	-84	X
2	230R	1566	187	-88	X
3	301cI	44	21	-52	X
3	308R	672	399	-41	X
3	315eI	689	403	-42	X
3	322I	49	68	39	
4	D01I	134	253	89	X
4	D02R	456	135	-70	X
4	D17vI	51	111	118	
4	D17vR	42	90	114	
5	505I	1485	1259	-15	X
5	509R	560	711	27	X
5	J06I	42	77	83	
5	J19R	392	295	-25	X
6	B04vI	202	322	59	
6	B07I	356	107	-70	X
6	B10R	173	274	58	X
6	B25I	82	145	77	X
7	213eI	190	133	-30	
7	F16R	160	182	14	
7	F23R	111	97	-13	
7	F25R	311	388	25	X

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Los servicios con mayor variación de etapas corresponden a las unidades de negocio 4 y 2, las cuales contienen servicios con modificación de itinerarios, lo que explica los cambios reportados, considerando también los cambios de oferta a la baja son mayores que en los servicios que aumentan su capacidad ofertada.

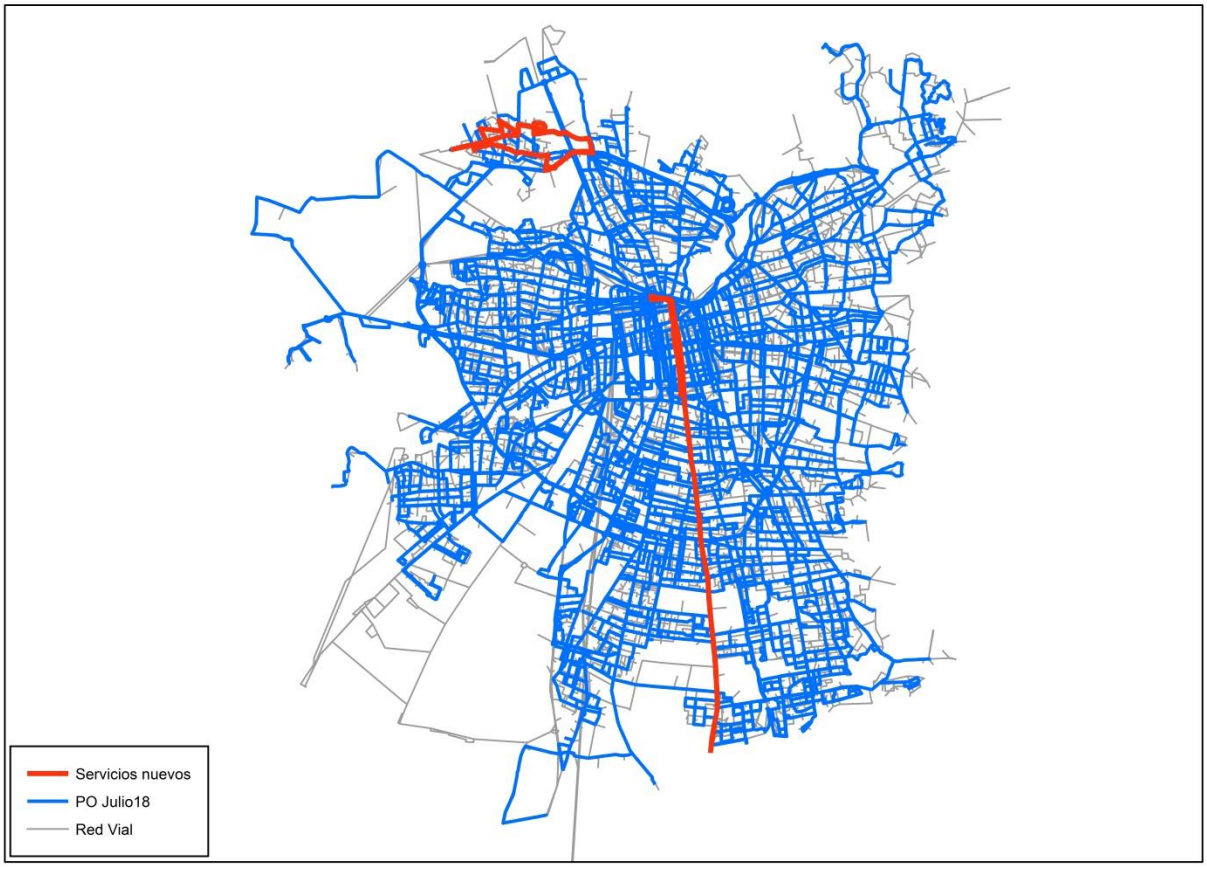
A continuación, se presentan los servicios nuevos del escenario correspondiente al PO Julio 2018.

Tabla 3 6: Etapas Servicios Nuevos, Escenario E6- Malla L3

Servicio	Etapas
207eI	439
207eR	779
307cI	225
307cR	53
308cI	416
308cR	102
315cI	354
315cR	105

Fuente: Elaboración Propia

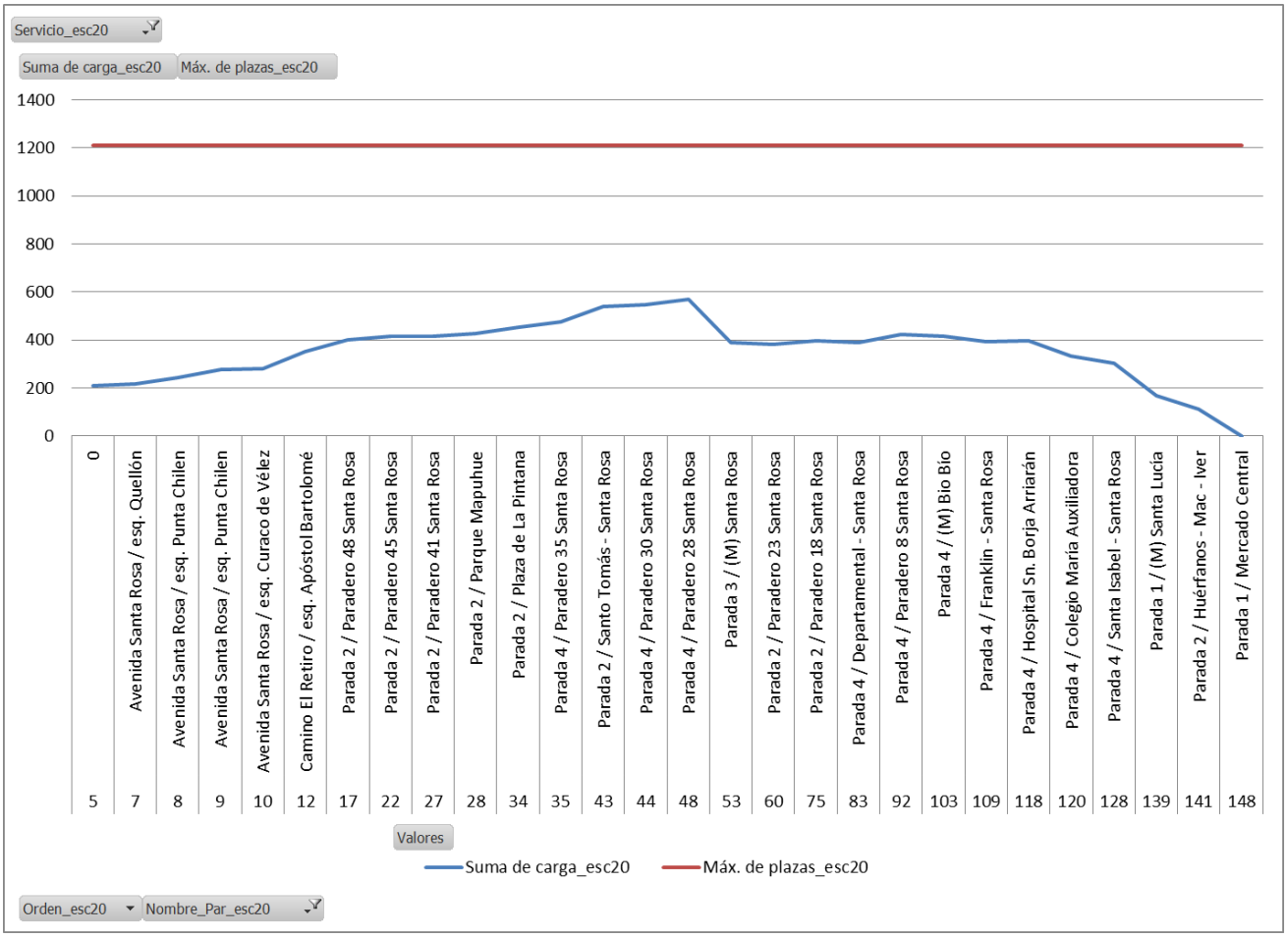
Figura 14-87: Mapa Servicios Nuevos E6 –Malla L3



Fuente; Elaboración Propia

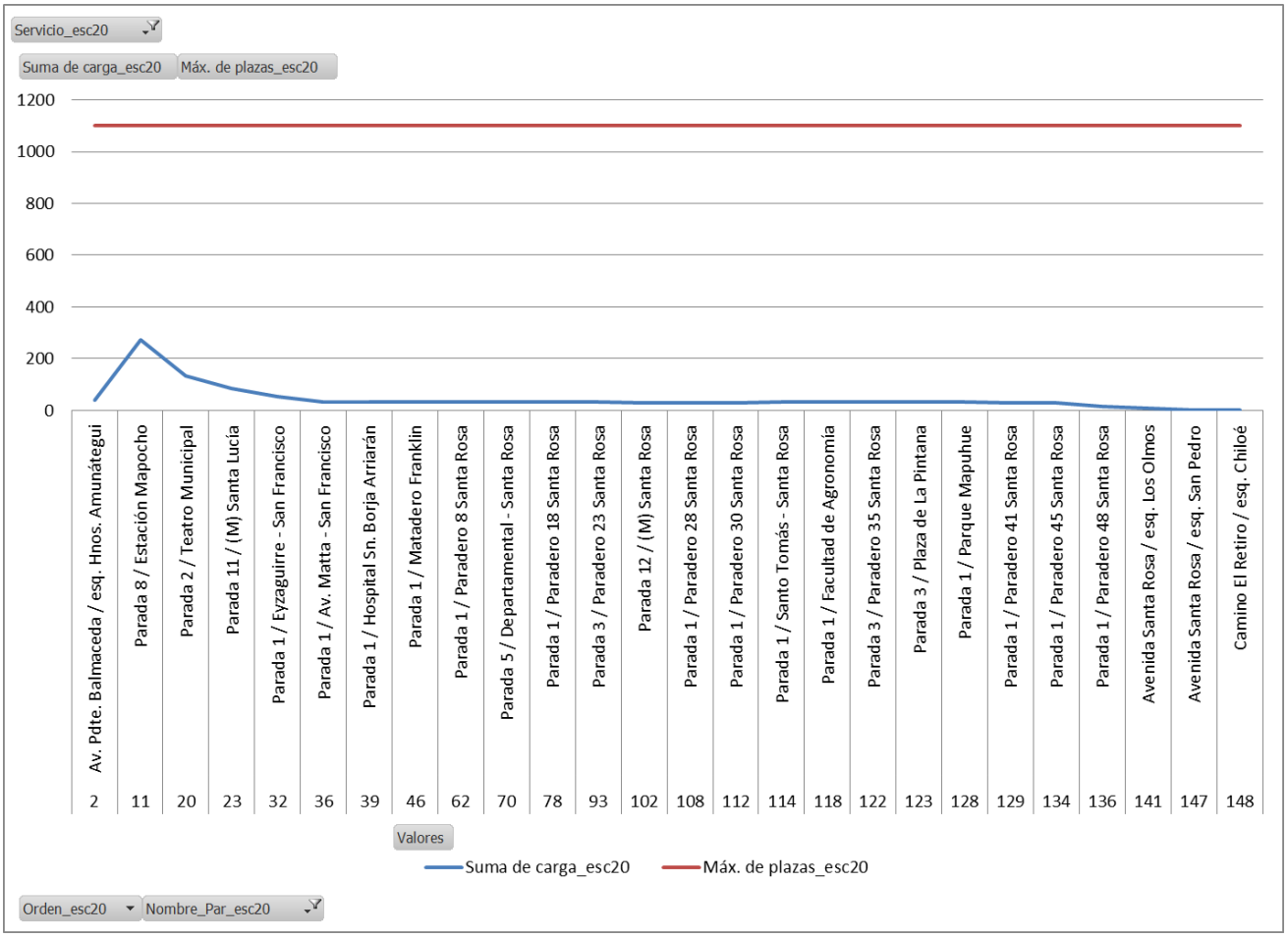
A continuación se presentan algunos de los perfiles de carga de los servicios nuevos.

Figura 14-88: Perfil de Carga 207eR



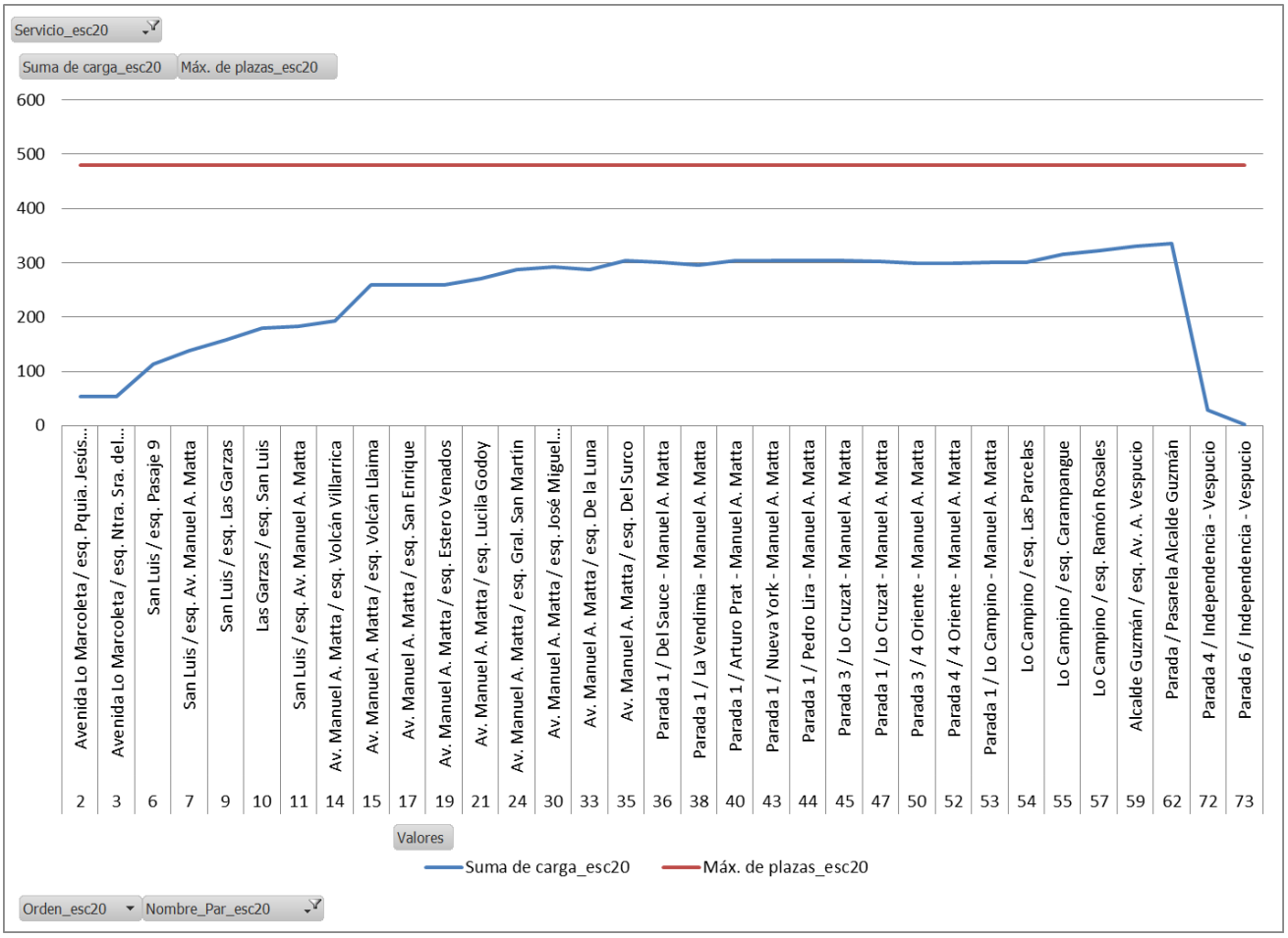
Fuente: Elaboración Propia

Figura 14-89: Perfil de Carga 207el



Fuente: Elaboración Propia

Figura 14-90: Perfil de Carga 308cI

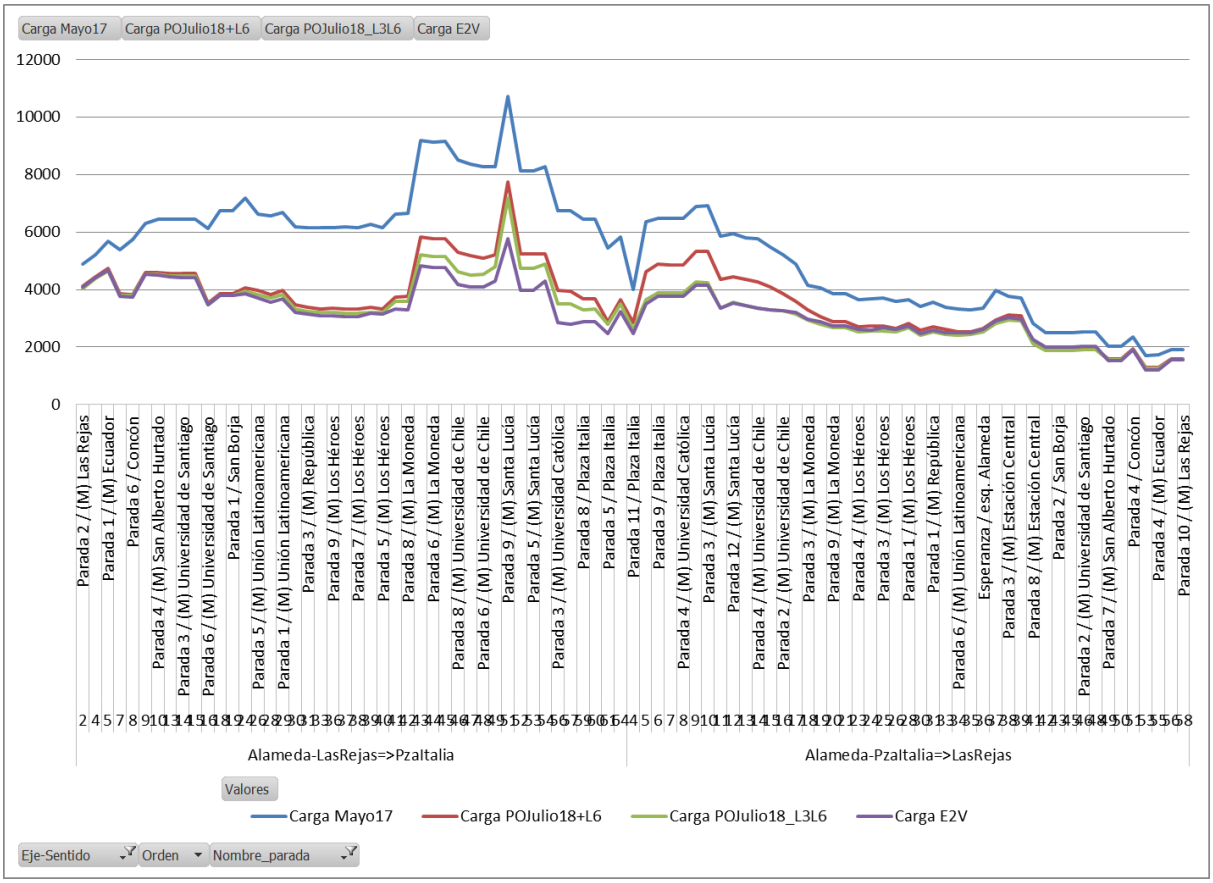


Fuente: Elaboración Propia

En Anexo 14 del capítulo se encuentra la comparación de todos los perfiles del sistema.

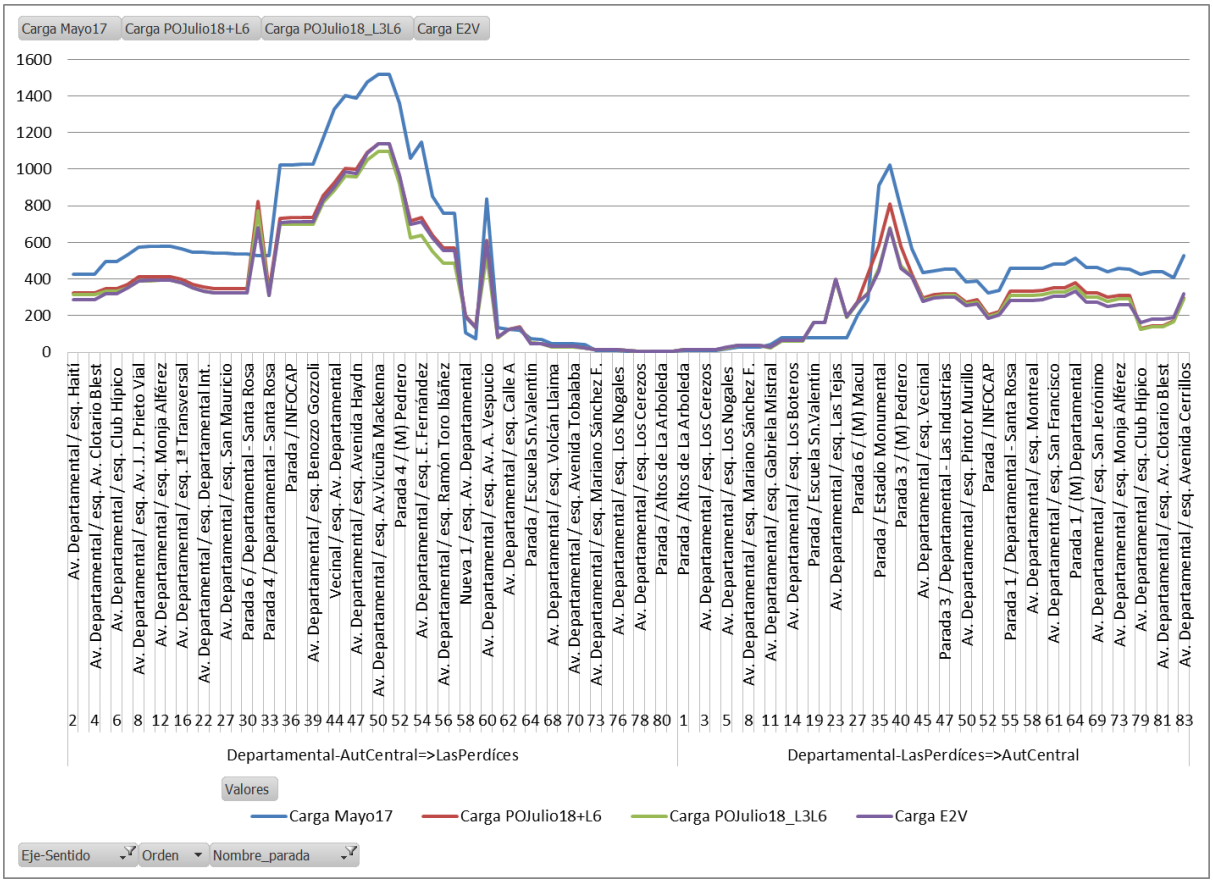
A continuación se presenta el flujo de pasajeros de los escenarios en algunos ejes relevantes de la ciudad.

Figura 14-91: Perfil de Eje Alameda



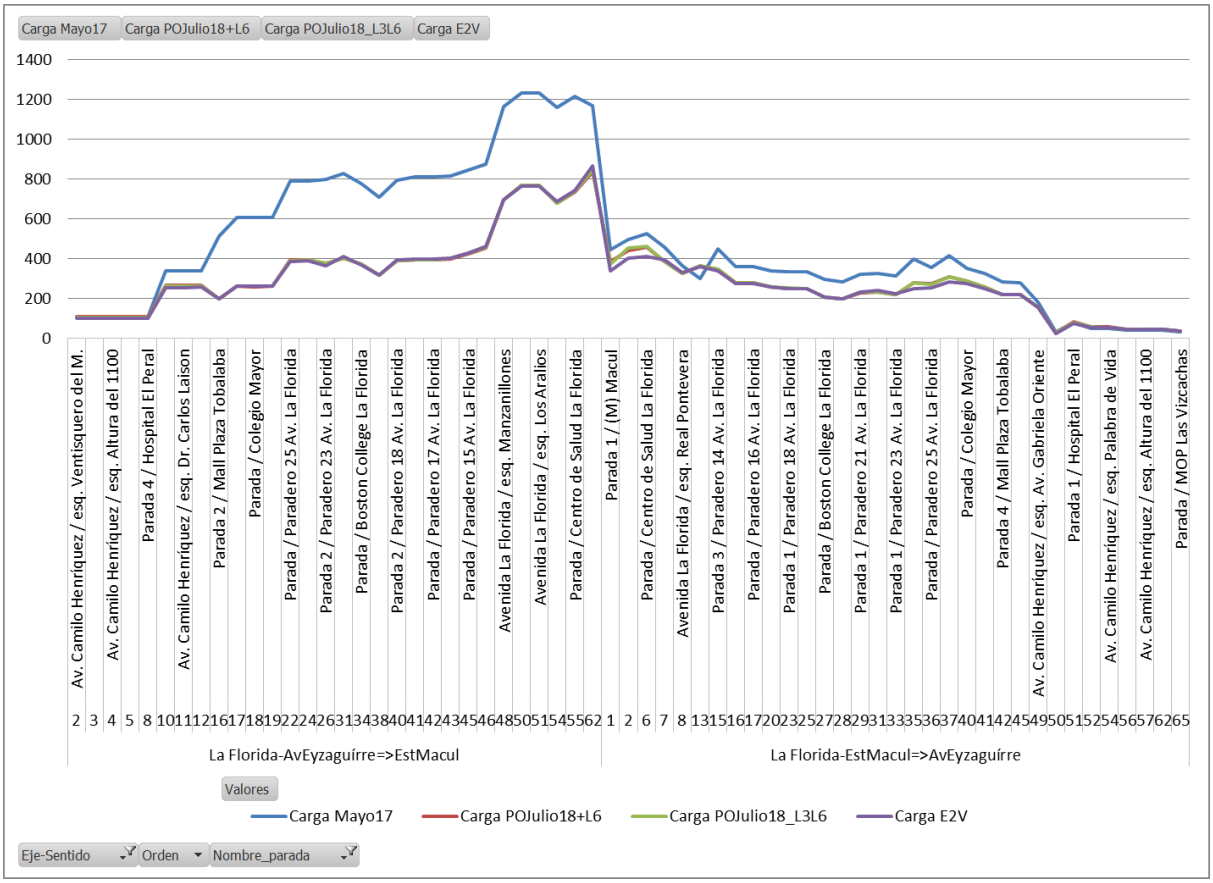
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-92: Perfil de Eje Departamental



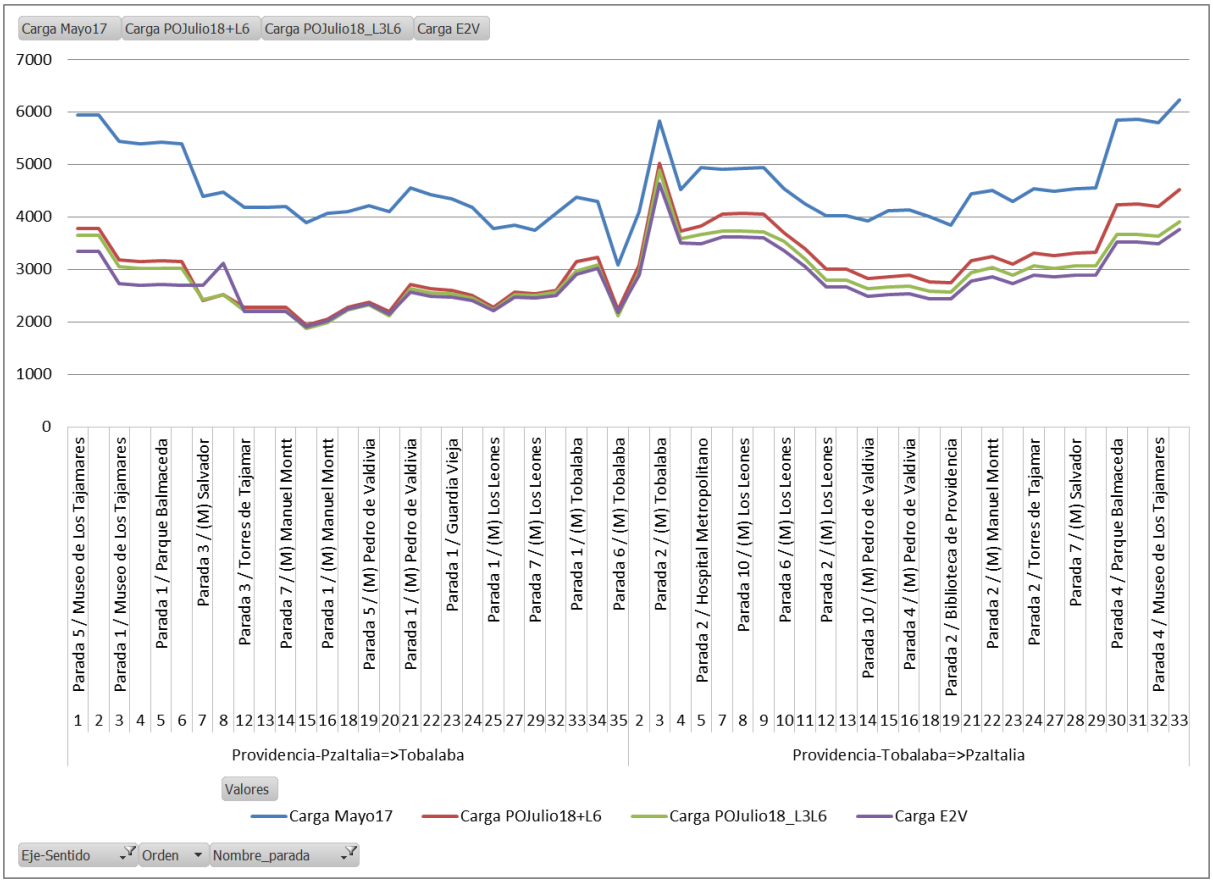
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-93: Perfil de Eje La Florida



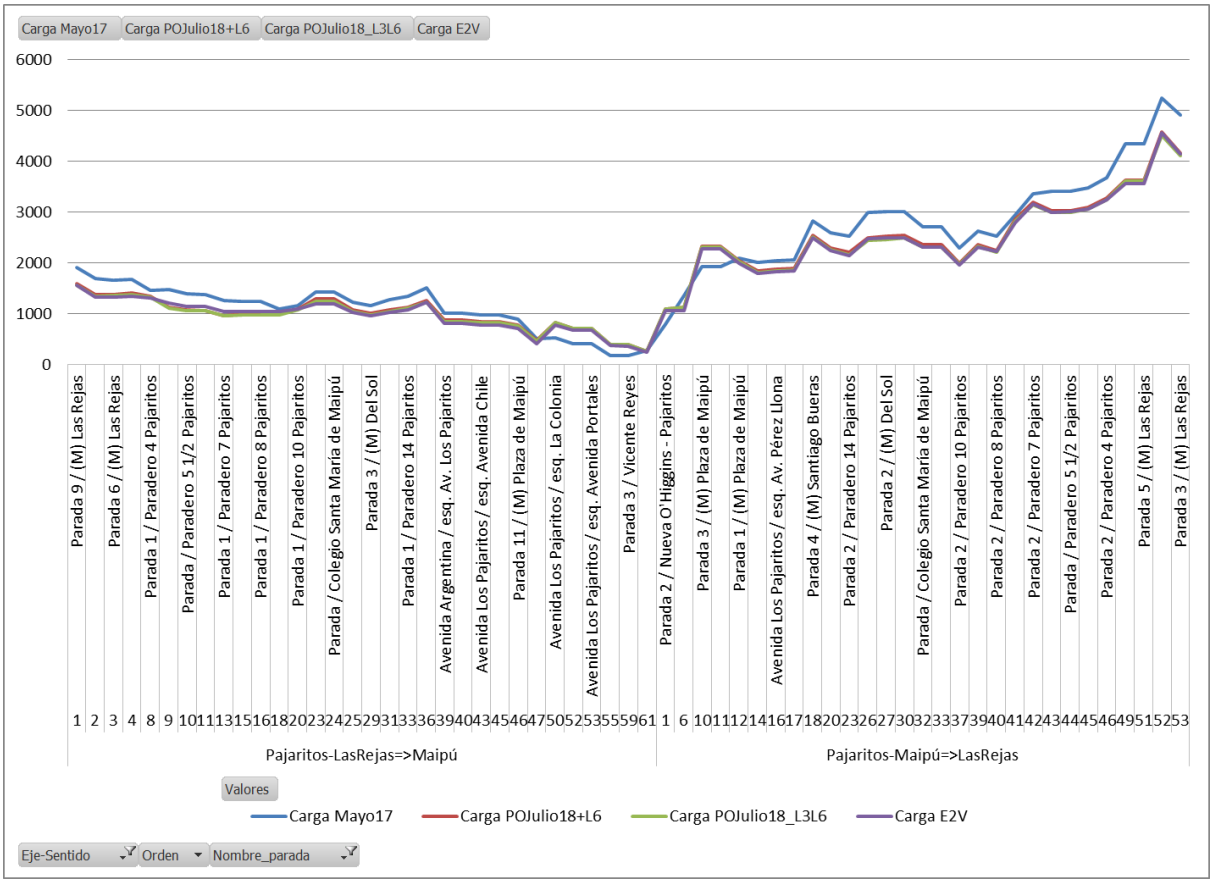
Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-94: Perfil de Eje Providencia



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Figura 14-95: Perfil de Eje Pajaritos



Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

En términos globales, se observa una disminución de la carga en los ejes alameda y providencia, y por otro lado, no se aprecian cambios significativos en el resto de ejes.

En Anexo 14 se presenta un archivo con más ejes para analizar.

Finalmente, se presentan las componentes del tiempo de viaje del sistema.

Tabla 14-32: Comparación de Niveles de servicio (min)

	Escenario Base_May17	Escenario Base_Jul18+L6	Escenario Julio18+L6+L3	Escenario E6 – Malla L3
Tiempo Caminata	10.92	11.37	11.33	11.49
Tiempo Espera	6	5.62	5.67	5.73
Tiempo vehículo	35.35	39.47	38.40	38.07
Tiempo de Viaje	52.27	56.46	55.40	55.30

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-33: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Caminata

Origen	Destino	Variación
INDEPENDENCIA	PADRE HURTADO	3.86
SAN BERNARDO	CONCHALI	3.67
SAN JOSE DE MAIPO	PENALOLEN	3.65
CALERA DE TANGO	LA GRANJA	2.59
SAN BERNARDO	CERRO NAVIA	2.41
SAN BERNARDO	INDEPENDENCIA	2.09
CALERA DE TANGO	PEDRO AGUIRRE CERDA	2.06
LO PRADO	LA PINTANA	2.01
SAN JOAQUIN	COLINA	1.98
COLINA	SAN MIGUEL	1.93

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-34: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Caminata

Origen	Destino	Variación
SAN JOAQUIN	CALERA DE TANGO	-0.90
HUECHURABA	MAIPU	-0.95
HUECHURABA	PUENTE ALTO	-0.99
SANTIAGO	CALERA DE TANGO	-1.08
LAMPA	LO PRADO	-1.30
MACUL	PADRE HURTADO	-1.71
PEDRO AGUIRRE CERDA	CALERA DE TANGO	-2.07
INDEPENDENCIA	CALERA DE TANGO	-3.04
HUECHURABA	PADRE HURTADO	-3.95
PADRE HURTADO	CONCHALI	-5.63

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-35: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo espera

Origen	Destino	Variación
SAN JOAQUIN	CONCHALI	3.69
SAN BERNARDO	CONCHALI	2.82
PADRE HURTADO	HUECHURABA	2.66
RENCA	LA GRANJA	2.42
PADRE HURTADO	CONCHALI	2.37
RENCA	HUECHURABA	2.19
PEDRO AGUIRRE CERDA	HUECHURABA	2.14
PUENTE ALTO	CONCHALI	1.95
HUECHURABA	LA PINTANA	1.88
ESTACION CENTRAL	QUILICURA	1.83

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-36: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo espera

Origen	Destino	Variación
MAIPU	NUNOA	-1.47
CERRILLOS	QUINTA NORMAL	-1.48
SAN JOAQUIN	COLINA	-1.51
PUDAHUEL	NUNOA	-1.62
COLINA	PEDRO AGUIRRE CERDA	-1.85
SAN JOSE DE MAIPO	PENALOLEN	-1.91
RECOLETA	PADRE HURTADO	-2.05
LAMPA	PEDRO AGUIRRE CERDA	-2.11
LA GRANJA	CALERA DE TANGO	-2.76
LA CISTERNA	PADRE HURTADO	-2.96

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-37: Variación positivo de viajes (min) – Tiempo Vehículo

Origen	Destino	Variación
PADRE HURTADO	CONCHALI	11.80
SAN MIGUEL	CALERA DE TANGO	11.23
INDEPENDENCIA	CALERA DE TANGO	10.82
PEDRO AGUIRRE CERDA	CALERA DE TANGO	7.01
SAN JOSE DE MAIPO	LA REINA	5.99
LA GRANJA	CALERA DE TANGO	5.78
LAMPA	LO PRADO	5.57
RENCA	HUECHURABA	5.53
SANTIAGO	CALERA DE TANGO	5.11
SAN JOAQUIN	CALERA DE TANGO	5.01

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 14-38: Variación negativa de viajes (min) – Tiempo Vehículo

Origen	Destino	Variación
COLINA	SAN MIGUEL	-6.08
PUDAHUEL	LA PINTANA	-6.09
CERRO NAVIA	LA PINTANA	-7.40
SAN BERNARDO	CONCHALI	-7.73
CALERA DE TANGO	PEDRO AGUIRRE CERDA	-8.02
LO PRADO	LA PINTANA	-8.71
CALERA DE TANGO	LA GRANJA	-9.86
CONCHALI	PADRE HURTADO	-10.36
SAN JOSE DE MAIPO	PENALOLEN	-14.67
INDEPENDENCIA	PADRE HURTADO	-16.62

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

15 ESTIMACION DE LA MATRIZ DE VIAJES L6

15.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta tarea es estimar matrices de viajes que permitan representar de la mejor forma posible la demanda real y el comportamiento de los usuarios del STPS en los periodos Punta Mañana y Fuera Punta Mañana. La diferencia de las matrices que se presentan en este capítulo con las que ya se han reportado los resultados de calibración y evaluaciones de escenarios en este estudio, es que las estimadas en este acápite tienen incorporados los viajes realizados en la Línea 6 de Metro.

Para cumplir con este objetivo ha sido necesario utilizar las Tablas de Etapas y de Viajes de noviembre de 2017, disponibilizadas por DTPM para el desarrollo del presente estudio, además de la información de evasión y los boletos Edmonson de Metro, que forman parte de la demanda de transporte, demanda que no se encuentra representada en las tablas mencionadas.

La estimación de la matriz OD se compone de 3 procesos y todos ellos se basan en la Tabla de Viajes, a la cual se le aplica transformaciones de estructura y/o factores de corrección según indique la información adicional. Los procesos aplicados son:

- Incorporación de evasión parcial a partir de la información contenida en la EOD de Metro de 2017
- Incorporación de evasión sistemática a partir de datos de mediciones de evasión realizadas por fiscalización durante el año 2016, y de mediciones de perfiles de carga realizadas por DICTUC el año 2012
- Incorporación de boletos Edmonson de Metro, para agregar a la matriz todos aquellos viajes realizados en Metro y pagados con boletos Edmonson y no con tarjeta bip!

La metodología de cada uno de estos procesos se explicó en el capítulo 6 de este informe y se aplica de manera independiente, para revisar el impacto de cada proceso sobre la matriz obtenida de la tabla de viajes.

La matriz OD de fuera punta se obtiene de la suma de las modificaciones o matrices generadas en cada paso. Adicionalmente a estos tres pasos, a la matriz de punta mañana se le debe realizar un proceso previo a los tres ya mencionados, y que tiene que ver con la obtención de matriz de bips!

En este capítulo se presenta en primer lugar un análisis de los datos de entrada, que incorpora una descripción de las tablas de viajes y etapas de noviembre de 2017, de la encuesta Origen Destino de Metro de 2017, y de los datos de boletos Edmonson de octubre de 2017. A continuación se presenta la matriz de viajes L6 de punta mañana, con sus principales resultados y la comparación de estos con los de agosto de 2017. Finalmente, se presentan los principales resultados de la matriz de viajes L6 de fuera de punta y su comparación con la matriz de agosto de 2017.

15.2 ANÁLISIS DATOS DE ENTRADA

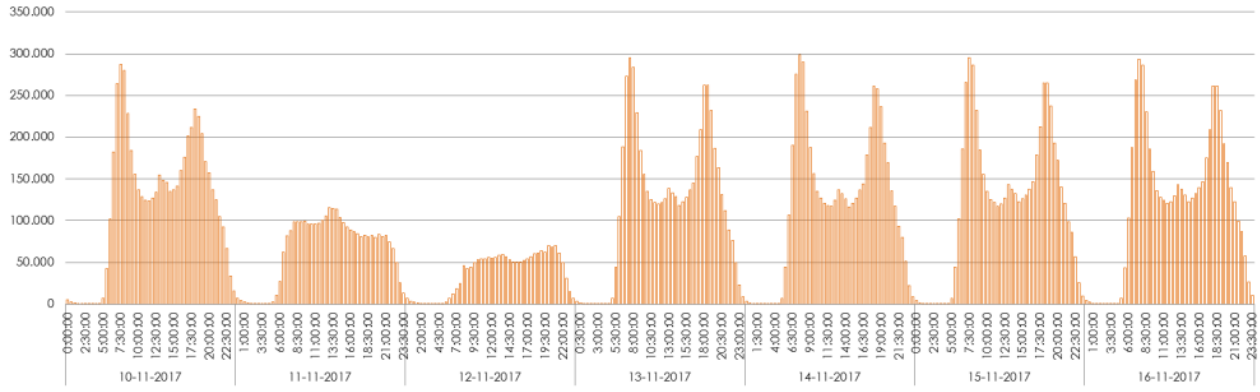
En este capítulo se describen los datos utilizados para estimar las matrices de punta mañana y fuera de punta con datos que incluyen la línea 6 de metro, y que corresponden a las Tablas de Viajes y de Etapas de ADATRAP para una semana de noviembre de 2017, Boletos Edmonson de Metro con datos de octubre de 2017, y Encuesta Origen Destino de Metro de 2017.

15.2.1 TABLAS DE VIAJES Y ETAPAS NOVIEMBRE 2017

Para la estimación de la matriz de viajes L6 se cuenta en primer lugar con las tablas de viajes y de etapas extraídas del software ADATRAP para la semana del 10 al 16 de noviembre de 2017.

Las tablas de viajes y etapas cuentan con un total de 24.026.260 y 32.981.246 registros, respectivamente. En la siguiente figura se muestra el total de etapas, agrupadas por cada media hora para cada uno de los días, lo que permite analizar la composición diaria de la demanda según horario.

Figura 15-1: Etapas de viaje por día y media hora



Fuente: Elaboración propia

Se observa claramente que en días laborales (viernes 10, lunes 13, martes 14, miércoles 15 y jueves16 de noviembre), existe una mayor demanda en la mañana (7:00-8:30) y en la tarde (18:00-19:30), salvo el día viernes en la tarde, donde se presenta un peak un poco menor y que comienza un poco antes (17:30-19:00). También se observa que la demanda crece al mediodía en día laboral (13:00-14:00).

La siguiente tabla muestra el número de viajes y de tarjetas por fecha, además de la tasa de viajes por tarjeta.

Tabla 15-1: Número de viajes, tarjetas y tasa de viajes por tarjeta, análisis por fecha

Fecha	Tipo día	Tarjetas	Viajes	Viajes/Tarjeta
10-11-2017	Laboral	1.998.260	4.165.246	2,1

Fecha	Tipo día	Tarjetas	Viajes	Viajes/Tarjeta
11-11-2017	Sábado	1.181.079	2.249.850	1,9
12-11-2017	Domingo	739.778	1.296.217	1,8
13-11-2017	Laboral	1.956.055	4.037.535	2,1
14-11-2017	Laboral	1.944.494	4.055.602	2,1
15-11-2017	Laboral	1.966.549	4.107.120	2,1
16-11-2017	Laboral	1.972.992	4.114.690	2,1

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra que en día laboral se observa un promedio de aproximadamente 4,1 millones de viajes diarios realizados por casi 2 millones de usuarios, lo que entrega una tasa de 2,1 viajes por usuario. Esta tasa decrece en fin de semana, con 1,9 viajes por usuario en día sábado y 1,8 viajes por usuario en día domingo.

Sin embargo, los viajes pueden conformarse por varias etapas. Para analizar esta composición se muestra la siguiente tabla, que muestra el número y porcentaje de viajes caracterizados por número de etapas de viaje por día, para los días laborales.

Tabla 15-2: Número y % de viajes según etapas de viaje, análisis por fecha para días laborales

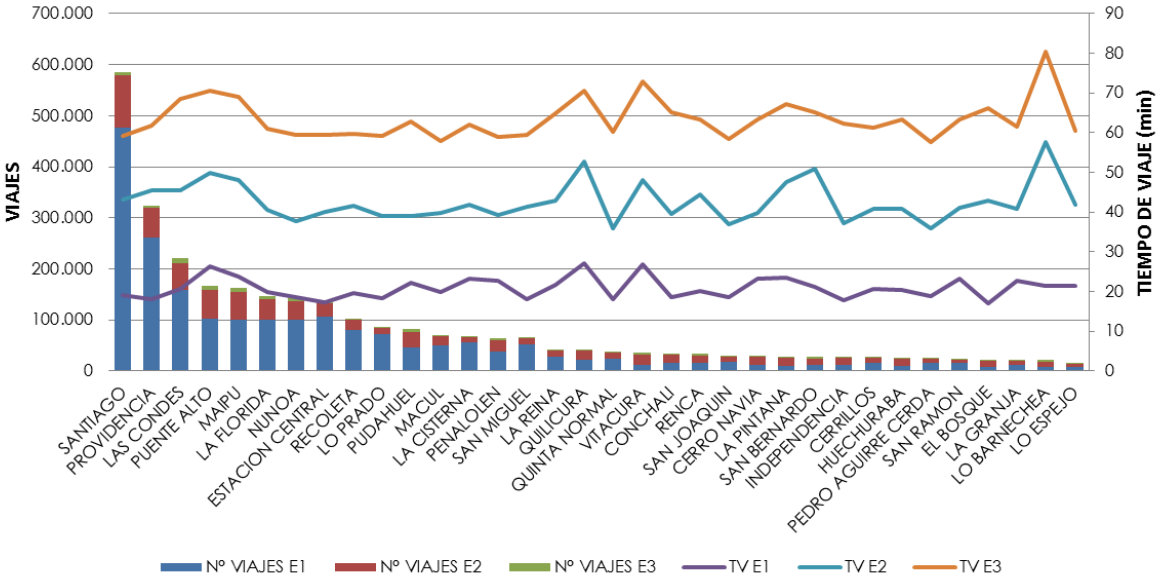
Fecha	Viajes por n° de etapas				Total
	1	2	3	4 y más	
10-11-2017	2.836.402 (68,1%)	1.134.511 (27,2%)	189.639 (4,6%)	4.694 (0,1%)	4.165.246
13-11-2017	2.720.156 (67,4%)	1.125.458 (27,9%)	187.905 (4,7%)	4.016 (0,1%)	4.037.535
14-11-2017	2.721.042 (67,1%)	1.138.147 (28,1%)	192.240 (4,7%)	4.173 (0,1%)	4.055.602
15-11-2017	2.766.970 (67,4%)	1.144.269 (27,9%)	191.556 (4,7%)	4.325 (0,1%)	4.107.120
16-11-2017	2.774.568 (67,4%)	1.144.509 (27,8%)	191.273 (4,6%)	4.340 (0,1%)	4.114.690
Promedio DLN	**2.763.828 (67,5%)**	**1.137.379 (27,8%)**	**190.523 (4,7%)**	**4.310 (0,1%)**	**4.096.039**
Total Semana	**13.819.138 (67,5%)**	**5.686.894 (27,8%)**	**952.613 (4,7%)**	**21.548 (0,1%)**	**20.480.193**

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los viajes de una etapa son en promedio el 67,5% del total de viajes, los viajes de dos etapas son el 27,8% y los viajes de 3 etapas son el 4,7%. Existe un porcentaje menor de viajes (0,1%) con un alto costo de viaje por número de trasbordos, que van desde los 3 a los 14 trasbordos por viaje.

Concentrándose en un análisis más profundo en cuanto a demanda y características de los viajes, la siguiente gráfica muestra el volumen de viajes agrupados por hora media de viaje, en día laboral, según comuna de origen de viaje y número de etapas de viaje. Además, se muestra el tiempo promedio de viaje por comuna de origen y según número de etapas de viaje.

Figura 15-2: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Tiempo promedio de viaje [min] en día laboral, según comuna de origen de viaje (eje der)



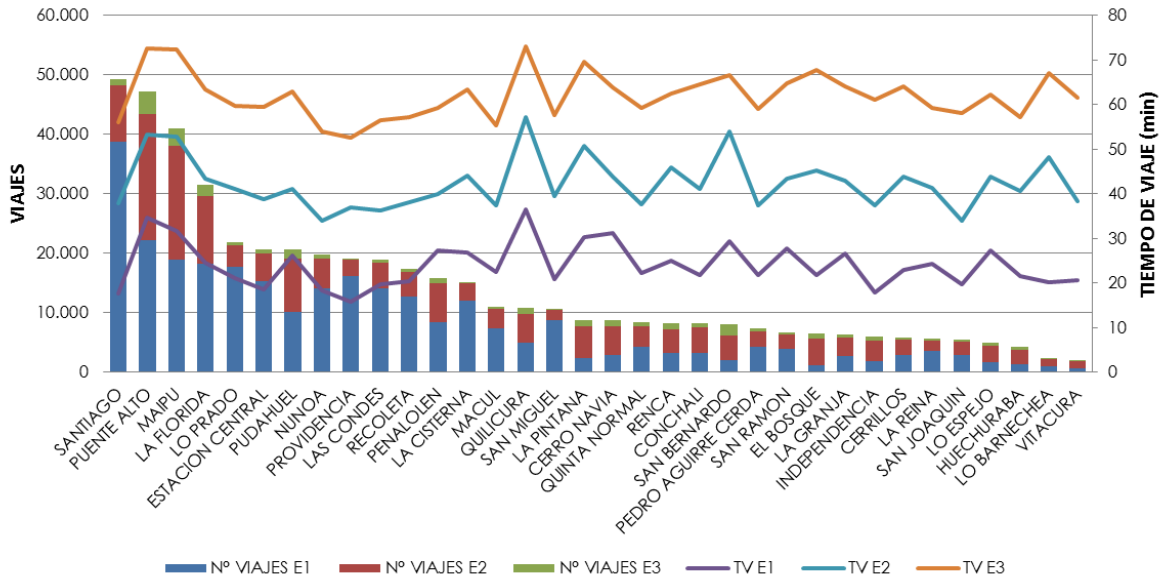
Fuente: Elaboración propia

Se observa que las comunas con mayor demanda de viaje en origen en el día completo son Santiago, Providencia y Las Condes, que generan 586 mil, 324 mil y 221 mil viajes, respectivamente. Sin embargo, se observa que la distribución de viajes según número de etapas varía fuertemente entre comunas. La comuna con mayor porcentaje de viajes de una etapa es Lo Prado con un 84%, mientras que la comuna con menor porcentaje de viajes de una etapa es El Bosque, con 31%.

Respecto a tiempo de viaje, la comuna con mayor tiempo de viaje es Lo Barnechea, con 49,1 minutos de viaje promedio en el día completo. A su vez, la comuna con menor tiempo de viaje promedio es Lo Prado, con un promedio de 21,8 minutos. Notar que el tiempo de viaje se obtiene de la diferencia entre la hora que se realiza la primera transacción y el tiempo estimado de bajada de la última etapa de viaje.

Concentrándose en un análisis más profundo respecto del periodo de estudio, la siguiente gráfica muestra el volumen de viajes agrupados por hora media de viaje, en día laboral y periodo punta mañana (6:30-8:30), según comuna de origen de viaje y número de etapas de viaje. Además, se muestra el tiempo promedio de viaje por comuna de origen y según número de etapas de viaje.

Figura 15-3: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Tiempo promedio de viaje [min] en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje der)



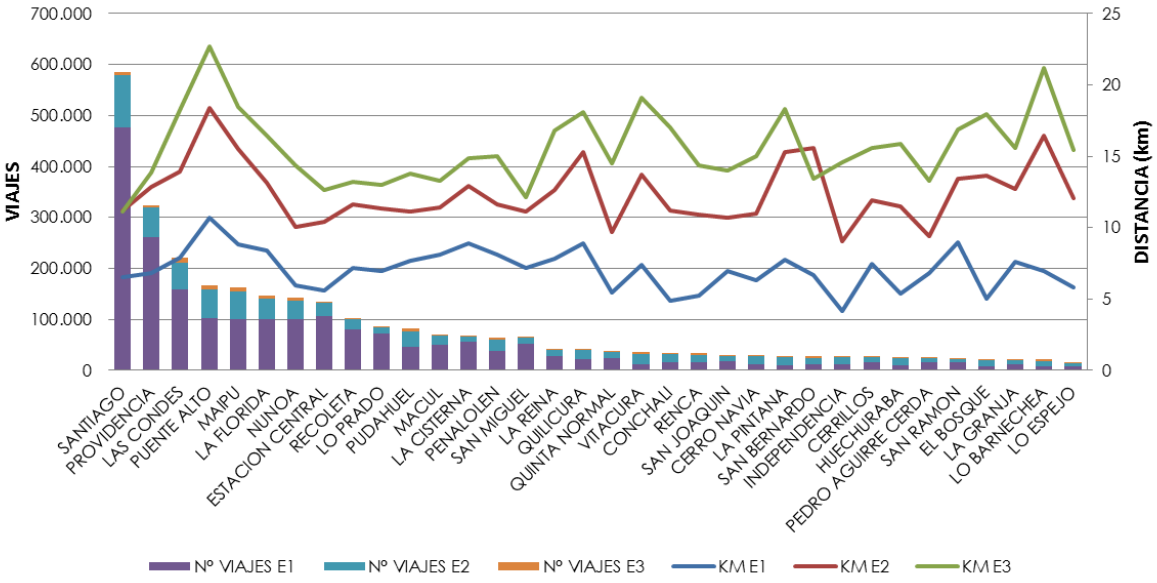
Fuente: Elaboración propia

Se observa que las comunas con mayor demanda de viaje en origen para día laboral y periodo punta mañana son Santiago, Puente Alto y Maipú, que generan 49 mil, 47 mil y 41 mil viajes, respectivamente. Sin embargo, en la figura se observa que la distribución de viajes según número de etapas varía fuertemente entre comunas. La comuna con mayor porcentaje de viajes de una etapa es Providencia con un 85%, mientras que la comuna con menor porcentaje de viajes de una etapa es El Bosque, con 19%.

Respecto a tiempo de viaje, la comuna con mayor tiempo de viaje es San Bernardo, con 50,4 minutos de viaje promedio. A su vez, la comuna con menor tiempo de viaje promedio es Providencia, con un promedio de 19,2 minutos. Notar que el tiempo de viaje se obtiene de la diferencia entre la hora que se realiza la primera transacción y el tiempo estimado de bajada de la última etapa de viaje.

La siguiente gráfica mantiene los resultados de volumen de viaje para el día completo, y muestra la distancia promedio de viaje en ruta por comuna de origen, según número de etapas de viaje.

Figura 15-4: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Distancia promedio de viaje en ruta [km] en día laboral, según comuna de origen de viaje (eje der)

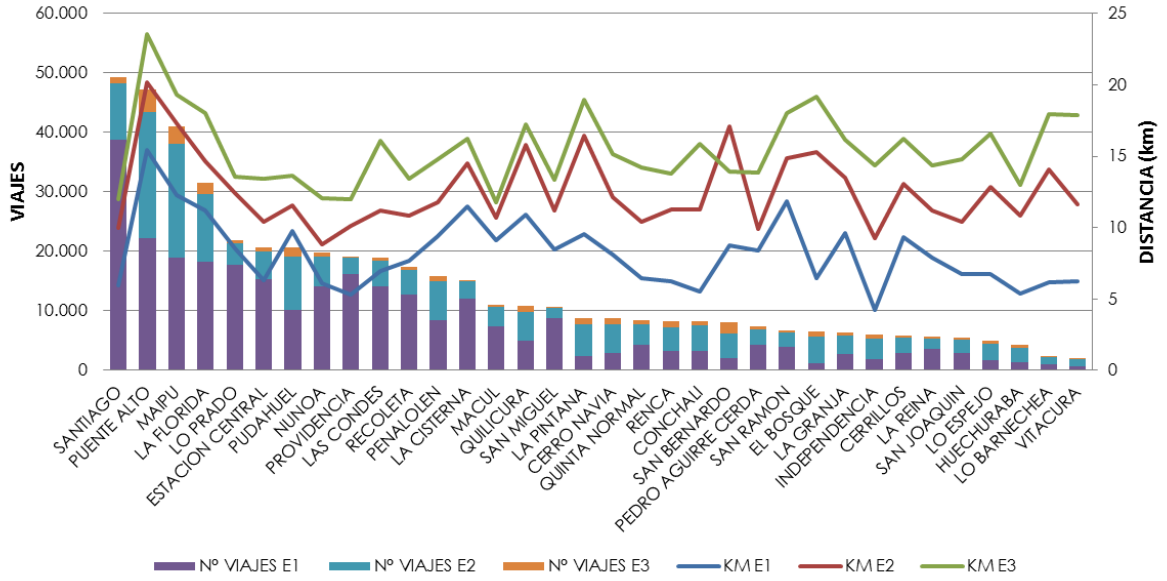


Fuente: Elaboración propia

Al analizar la distancia promedio de viaje por comuna de origen, las comunas con viajes más cortos son Estación Central, Independencia y Quinta Normal, con 6,6, 7,3 y 7,3 km de distancia promedio en ruta, respectivamente. Las comunas con mayor distancia promedio de viaje en ruta son Lo Barnechea y Puente Alto con 14 y 13,9 km, respectivamente.

La siguiente gráfica mantiene los resultados de volumen de viaje para punta mañana (6:30-8:30), y muestra la distancia en ruta promedio de los viajes que se realizan en este período, por comuna de origen, según número de etapas de viaje.

Figura 15-5: Gráfico de barra: Número de viajes en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje izq). Gráfico de línea: Distancia promedio de viaje en ruta [km] en día laboral, periodo punta mañana, según comuna de origen de viaje (eje der)



Fuente: Elaboración propia

Al analizar la distancia promedio de los viajes de punta mañana por comuna de origen, se observa que las comunas con viajes más cortos son Providencia y Santiago con 6 y 6,9 km de distancia promedio en ruta, respectivamente. Las comunas con mayor distancia promedio de viaje en ruta son Puente Alto y Maipú con 18,2 y 15,1 km, respectivamente.

15.2.2 EOD METRO

La Encuesta Origen-Destino de Metro S.A. disponible para este estudio fue realizada entre el 8 de marzo y el 13 de septiembre de 2017 a 136.553 pasajeros que accedieron a Metro para llevar a cabo una etapa de su viaje. Este muestreo tiene como objetivo recoger detalles del viaje como son el origen y destino en la ciudad, el propósito de viaje, las demás etapas de su viaje y modos elegidos y las combinaciones dentro de Metro, entre otros campos que no son observados en las transacciones bip! a partir de las cuales se generan tanto la matriz de Metro como la matriz del sistema integrado bus+Metro. Además, es preciso resaltar que, a diferencia de las transacciones bip!, en el muestreo EOD se asume que entre los viajes interceptados está presente el fenómeno de evasión.

Los resultados obtenidos de la EOD de Metro se utilizan para estimar la evasión de etapas en bus previas al modo metro, mediante un proceso que se presentará más adelante en este capítulo.

En cuanto a la caracterización general de esta fuente de datos, las etapas realizadas en día laboral (lunes-viernes) tienen inicio en los siguientes horarios:

- 7:00 a 7:59
- 8:00 a 8:59
- 13:00 a 13:59
- 14:00 a 14:59
- 17:30 a 18:29
- 18:30 a 19:29

Para fines de este estudio se considerarán las etapas en metro observadas con inicio entre las 7:00 y las 8:59 horas para la estimación de evasión parcial en Punta Mañana, y las realizadas entre las 13:00 y las 14:59 para Fuera de Punta Mañana.

15.2.3 EDMONSON

La base de datos de boletos Edmonson que se encuentra disponible para este análisis contiene el número de boletos promedio de todos los días laborales del mes de octubre de 2017, desagregada por estación y por periodo de 15 minutos.

Al revisar estos datos, se encontraron dos inconsistencias. La primera de ellas es que la estación Parque Bustamante tiene 0 boletos en todo el día, y 1.087 boletos a las 00:00 horas. La segunda de las inconsistencias es que no cuadran los totales fila ni columna con la suma del número de boletos de cada fila y columna. Si bien es cierto, estas inconsistencias podrían hacer dudar de la calidad de los datos, se optó por utilizar de todos modos esta base de datos, ya que presenta información mucho más actualizada con respecto a la que se había estado utilizando hasta el momento, y que corresponde a mayo de 2016.

El boleto registrado durante el periodo punta mañana se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 15-3: Boletos Edmonson PM octubre 2017

Periodo	N° Boletos
6:30 AM-6:45 AM	1.058
6:45 AM-7:00 AM	1.292
7:00 AM-7:15 AM	1.554
7:15 AM-7:30 AM	1.725
7:30 AM-7:45 AM	1.821
7:45 AM-8:00 AM	1.868
8:00 AM-8:15 AM	1.946
8:15 AM-8:30 AM	2.103

Fuente: Elaboración propia

Los boletos registrados durante el periodo fuera de punta mañana se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 15-4: Boletos Edmonson FP octubre 2017

Periodo	Boletos
11:00 AM-11:15 AM	3.002
11:15 AM-11:30 AM	3.167
11:30 AM-11:45 AM	3.166
11:45 AM-12:00 PM	3.116

Fuente: Elaboración propia

Estos totales corresponden a viajes que se realizan en Metro utilizando como medio de pago los boletos Edmonson, y que se deben incorporar a la matriz de viajes OD. Este proceso se presentará más adelante en este capítulo.

15.3 ESTIMACIÓN DE MATRIZ DE VIAJES L6 PUNTA MAÑANA

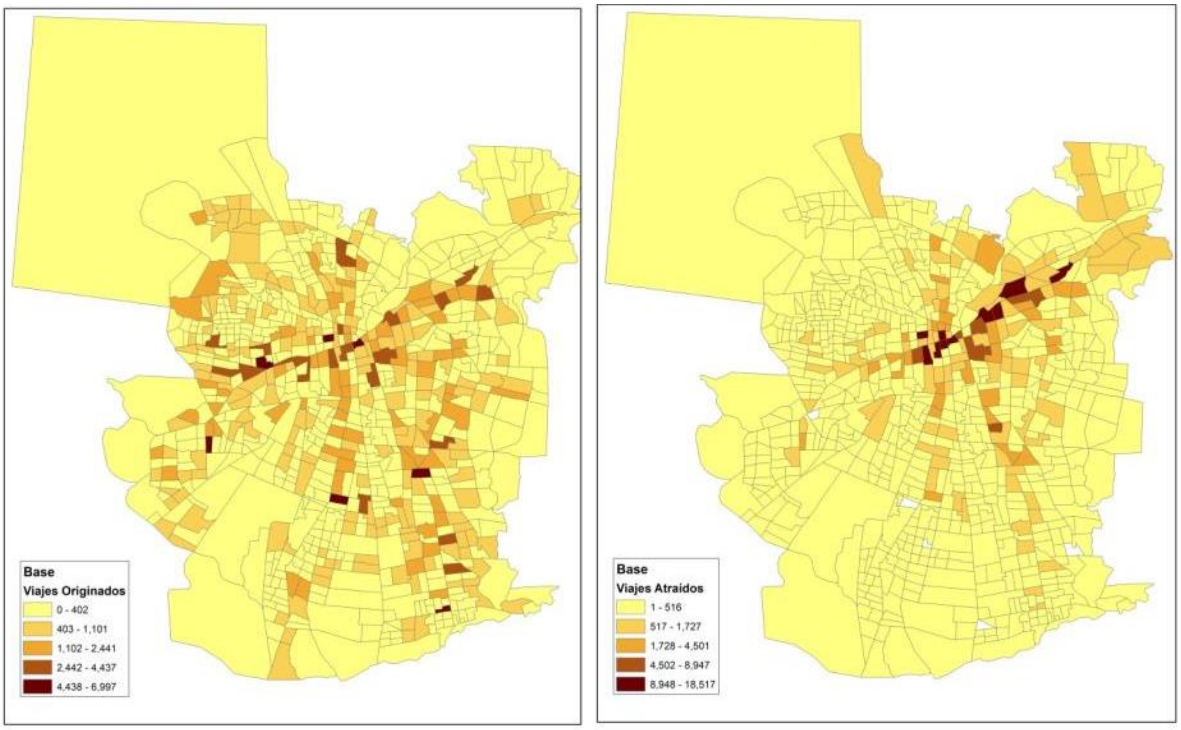
El objetivo de esta tarea es la construcción de una matriz de viajes OD L6 PM, que represente la estructura de viajes del periodo Punta Mañana, en su hora más cargada.

La hora más cargada de viajes según hora media de viaje para el sistema completo es de las 7:30 a las 8:30 en un día laboral normal promedio. Sin embargo, dadas las grandes dimensiones de la ciudad de Santiago, ha ocurrido que algunas zonas presenten un desfase significativo en la hora de mayor número viajes generados, con respecto de la hora de mayor carga del sistema.

Para corregir esto, se ha elaborado un proceso denominado obtención de matriz de bips!, donde se identifica la hora más cargada de viajes de cada zona 777 entre las 06:30 y las 09:30 (una hora adicional en torno a la hora más cargada), y se corrigen aquellas zonas en que la hora media ponderada de viajes se encuentra fuera de la banda del sistema (antes de las 7:30 o después de las 8:30), utilizando los viajes de la hora más cargada de esa zona en particular, siempre y cuando la diferencia de viaje de la zona, entre su hora más cargada y la hora más cargada del sistema, sea considerable (mayor a un porcentaje dado, que para este estudio fue definido como 10%).

En la siguiente figura se puede visualizar la generación y atracción de viajes de la matriz base, con la corrección a nivel de zona 777 en la siguiente figura, y que se realiza sobre la tabla de viajes TB9 en su versión de expansión por día, que contiene 435.477 viajes.

Figura 15-6: Viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 de matriz OD base, PM



Fuente: Elaboración propia

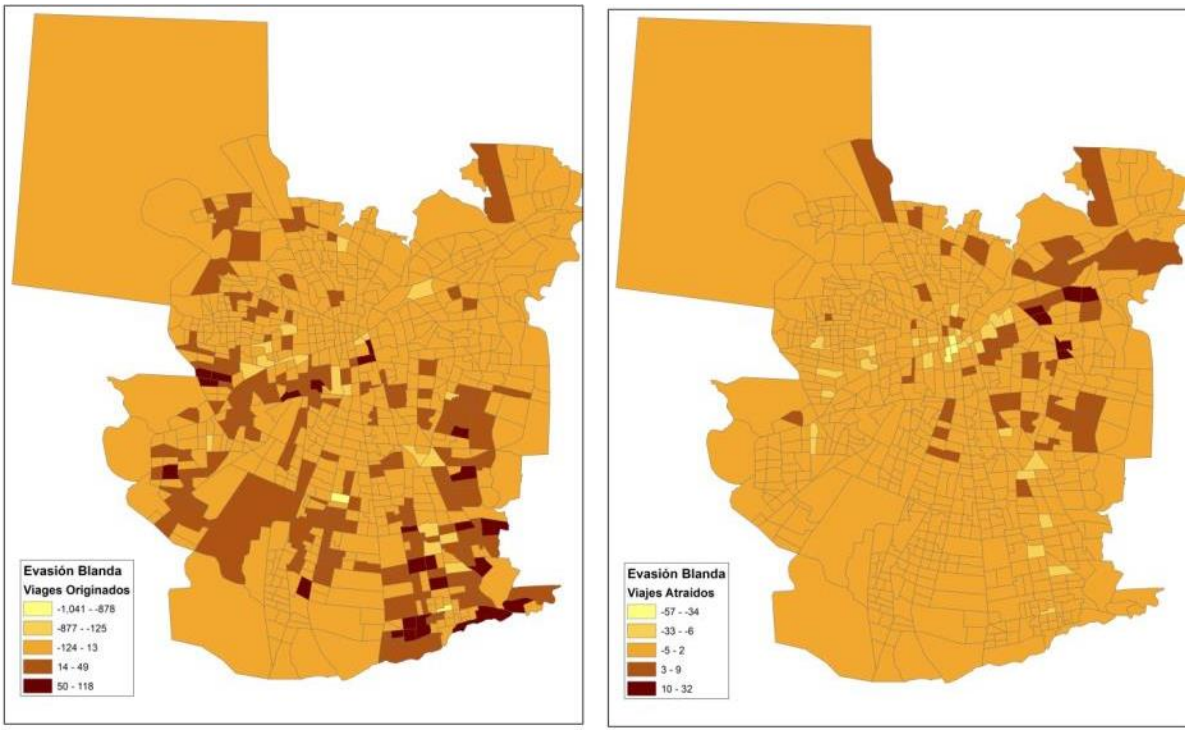
15.3.1 INCORPORACIÓN DE EVASIÓN PARCIAL

Como se explicó anteriormente en este informe, los resultados obtenidos de la EOD de Metro se utilizan para estimar la evasión de etapas en bus previas al modo metro. La EOD contiene el modo de acceso a cada una de las estaciones de la red. Con estos datos se estima la proporción de usuarios que provienen de buses de Transantiago respecto del total de usuarios que acceden a cada estación entre las 7:00 y las 8:59 horas (horario considerado para PM) de un día laboral normal. El supuesto es que si no existiese evasión parcial, las proporciones obtenidas de la matriz base y de la encuesta de metro serían muy similares. Por tanto, la diferencia entre estas proporciones permite cuantificar los niveles de evasión parcial a nivel de estación.

El detalle de la metodología de incorporación de evasión parcial se encuentra en el punto 6.4.1 de este informe. La proporción de viajes con la combinación bus-metro respecto del total de viajes, a nivel de estación, se encuentra en el anexo de este capítulo de estimación de matriz, tanto según la encuesta EOD Metro, como según la tabla de bip!

Si se compara la matriz OD base con la matriz corregida por evasión parcial, se obtiene una variación en la estructura, pero no en el total de viajes de la matriz, la cual puede agruparse por zona 777 tanto en orígenes como destinos. Esta diferencia de viajes generados y atraídos se muestra en la siguiente figura.

Figura 15-7: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, PM



Fuente: Elaboración propia

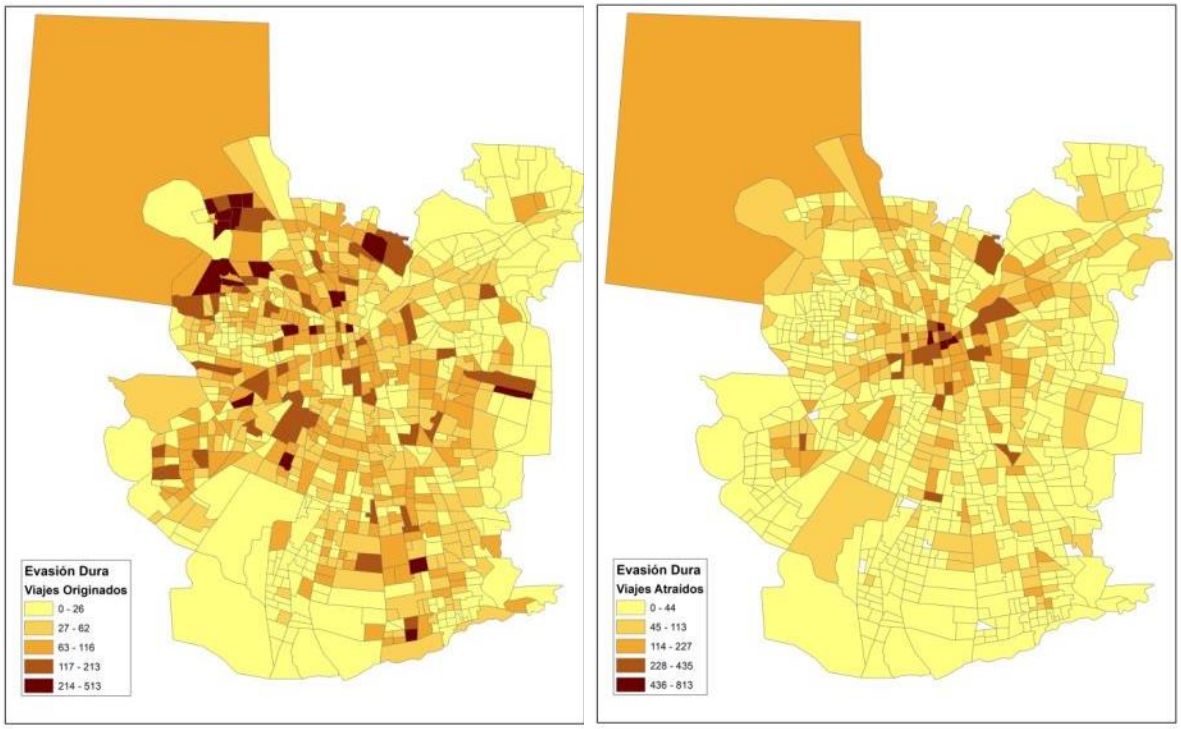
15.3.2 INCORPORACIÓN DE EVASIÓN SISTEMÁTICA

La corrección por evasión sistemática implica un aumento en el número de viajes de la matriz OD base, el cual se obtiene de aplicar factores de expansión a los viajes existentes a nivel de zona 777, proporcional a la estructura de viajes afectados en la zona y combinación de modos en que se aplica e incrementando la demanda en base a la evasión observada en cada zona.

El detalle de la metodología de incorporación de evasión sistemática se encuentra en el punto 6.4.2 de este informe. Los factores de evasión a nivel de zona 777 que se obtienen de este proceso se encuentran en los anexos de este capítulo.

Para dimensionar este aumento de la demanda, correspondiente a 41.675 viajes, la siguiente figura muestra el incremento de viajes generados y atraídos a nivel de zona 777 debido a la incorporación de viajes de evasión sistemática.

Figura 15-8: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión sistemática, PM



Fuente: Elaboración propia

15.3.3 INCORPORACIÓN DE BOLETOS EDMONSON

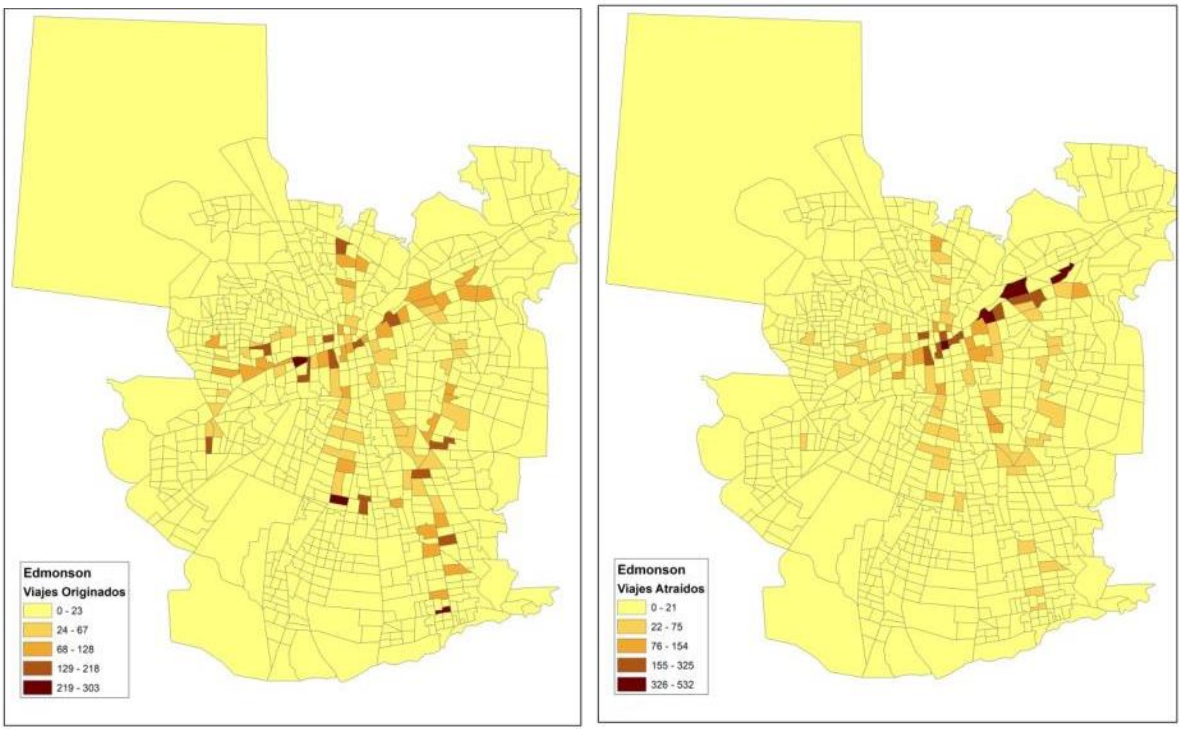
Los viajes que se realizan en Metro utilizando como medio de pago los boletos Edmonson se deben incorporar a la matriz de viajes OD, ya que no se encuentran registrados en la tabla de viajes ni de etapas, porque no corresponden a transacciones bip!, pero sí representan a parte de la demanda de Metro.

Esta incorporación se hace bajo el supuesto de que los viajes pagados con boletos Edmonson son viajes que se realizan por completo en Metro y no combinan con bus. La incorporación además se realiza por estación de origen y siguiendo la misma distribución origen-destino de los viajes de una etapa en metro que se observan en la matriz OD base, implicando un aumento en el número de viajes de dicha matriz.

El detalle de la metodología de incorporación de boletos Edmonson se encuentra en el punto 6.5 de este informe. La demanda y la hora utilizada para incorporar los viajes de boletos Edmonson representativos de cada estación se encuentran en los anexos de este capítulo.

En total se incorporaron 7.837 viajes diarios en PM. Para analizar los cambios en la matriz OD base respecto de la matriz que incorpora los boletos Edmonson, la siguiente figura muestra la diferencia en viajes generados y atraídos a nivel de zona 777.

Figura 15-9: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de boletos Edmonson, PM



Fuente: Elaboración propia

15.3.4 OBTENCIÓN DE MATRIZ OD PUNTA MAÑANA L6

Considerando que cada uno de los procesos aplicados se realiza de forma independiente y sobre la matriz OD base PM, para incorporar todos los procesos se suma la diferencia de viajes producida en la aplicación de cada factor sobre el factor de expansión original de cada viaje proveniente de la tabla TB9, es decir:

$$Vij = Vij_Base + \Delta Evasión_Parcial + \Delta Evasión_Sistemática + \Delta Boletos_Edmonson$$

La agregación de todos los procesos genera una nueva matriz OD de viajes de PM. Si se comparara la diferencia de viajes generados y atraídos a nivel de zona, entre la matriz actualizada y la matriz base, se obtiene diferencias de viajes por zona, como se muestra en la siguiente tabla.

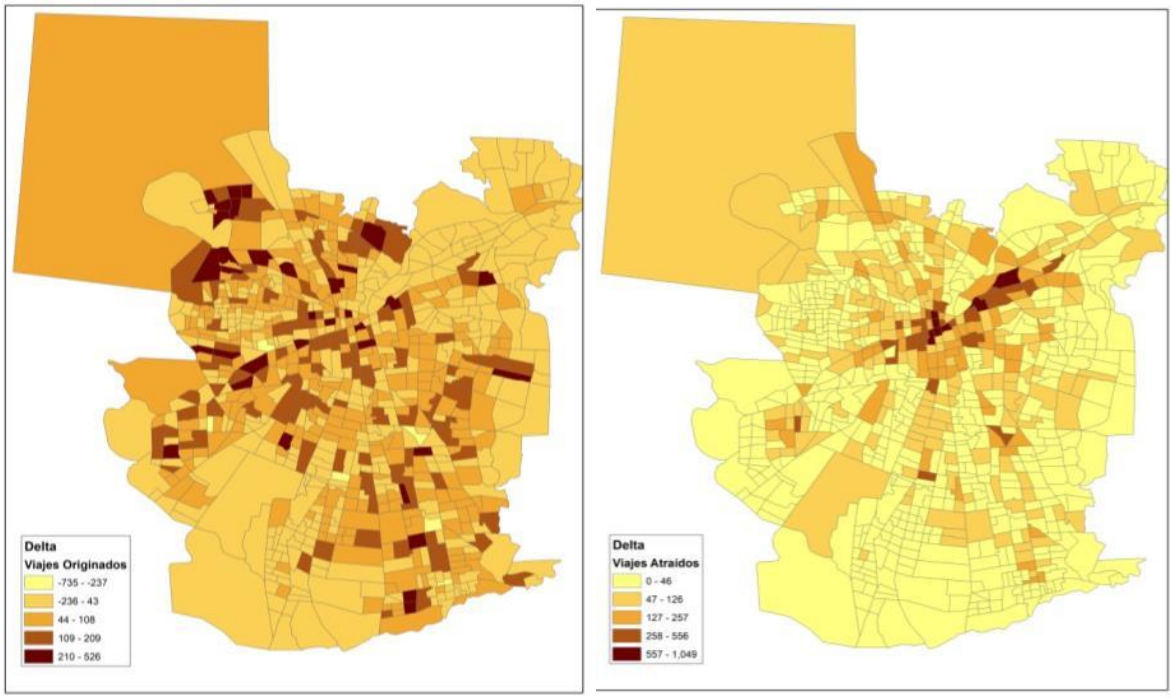
Tabla 15-5: Detalle de variación de viajes por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson

Matriz	Comentario	Viajes adicionales	Total viajes matriz
Matriz Base	Corrección por zona	-	435.477
Matriz Ev. Parcial	Corrección de estructura, no incorpora viajes	0	435.477
Matriz Ev. Sistemática	Corrección r/ matriz base	41.675	477.152
Matriz Edmonson	Corrección r/ matriz base	7.837	443.314
Matriz Actualizada	Corrección r/ matriz base, se calcula como suma de correcciones por zona	49.512	484.990

Fuente: Elaboración Propia

Para visualizar espacialmente las modificaciones a la matriz, la siguiente imagen muestra la variación de viajes a nivel de zona.

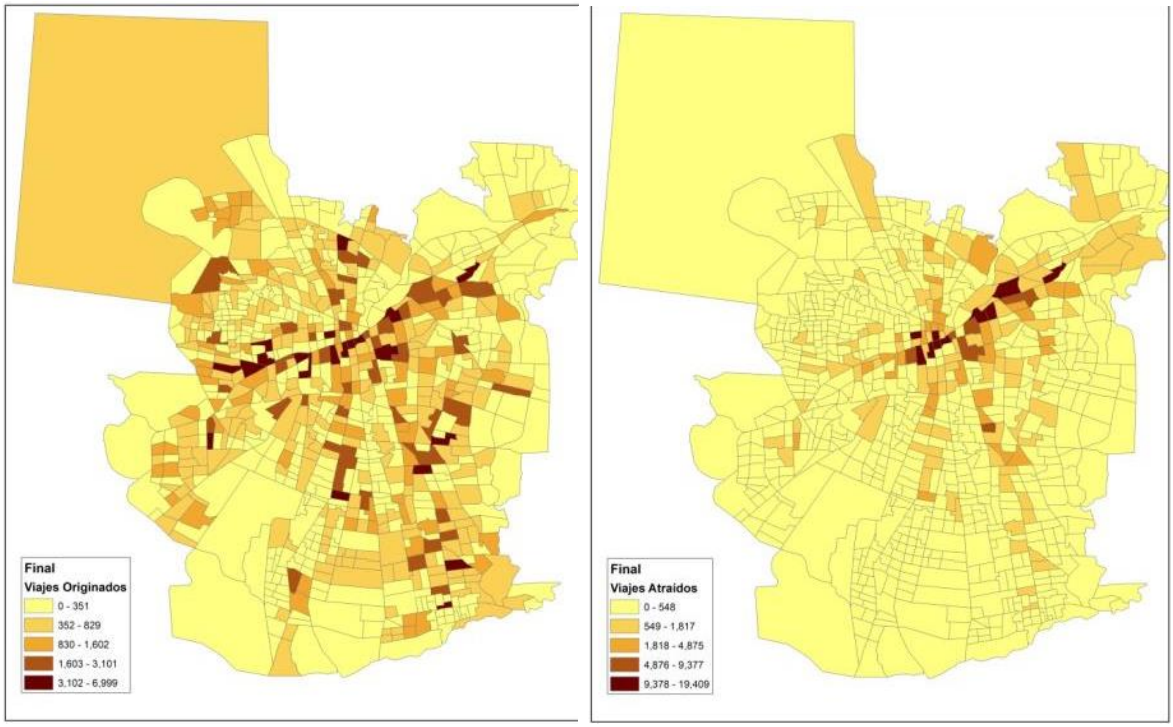
Figura 15-10: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la siguiente figura muestra los viajes generados y atraídos en la matriz OD fuera de punta actualizada a nivel de zona 777.

Figura 15-11: Generación (izq) y atracción (der) de viajes a nivel de zona 777, matriz OD PM actualizada



Fuente: Elaboración Propia

Notar que las visualizaciones del informe se realizan a nivel de zona 777, pero que todos los factores de actualización de la matriz fueron aplicados directamente a nivel de viaje, razón por la cual se cuenta con una matriz desagregada a nivel de parada.

Al contar con la matriz PM de noviembre actualizada a nivel de viaje, es posible analizar su composición en este mismo nivel de detalle. La matriz actualizada presenta una tasa de 1,42 etapas por viaje. La siguiente tabla muestra la cantidad de etapas por operador (contabilizadas hasta la 4ta etapa de viaje):

Tabla 15-6: Detalle de matriz actualizada, número de etapas de viaje por operador

UN	DATOS BIPS	DATOS ESTIMADOS	EVASION MATRIZ	EVASION MINISTERIO 3° TRIMESTRE 2017
U1	35.214	42.501	17%	31%
U2	56.574	68.073	17%	25%
U3	59.406	71.920	17%	23%
U4	53.812	62.690	14%	25%
U5	56.537	67.050	16%	22%
U6	31.005	35.992	14%	11%
U7	23.589	28.435	17%	29%
TOTAL BUS	320.325	381.523	16%	24%
SIN UNIDAD	4.187	4.861	14%	
METRO	293.496	301.333	3%	
METROTREN	6.770	6.769	0%	
TOTAL ETAPAS	620.591	689.625	10%	
ETAPAS VIAJE		1,42		

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la evasión introducida por Unidad de Negocio es sistemáticamente menor que la reportada por el Ministerio, con excepción de la UN6.

En la misma línea, también es posible calcular los transbordos observados entre tipos de transporte, lo que se reporta en la tabla siguiente.

Tabla 15-7: Transbordos entre combinaciones de tipo de transporte

ETAPA N	ETAPA N+1	TRASBORDOS NOV2017
BUS+ZP	BUS+ZP	53.301
BUS+ZP	METRO	114.361
BUS+ZP	METROTREN	1.386
METRO	BUS+ZP	30.768
METRO	METROTREN	401
METROTREN	BUS+ZP	519
METROTREN	METRO	3.899
TOTAL		**204.636**

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el total de trasbordos es casi de 205 mil, donde la gran mayoría se realiza entre Bus y Metro (56%), seguido por los realizados entre Bus y Bus (26%).

15.3.5 COMPARACIÓN DE MATRICES OD PUNTA MAÑANA AGOSTO VERSUS NOVIEMBRE

A continuación se presenta una comparación de los principales resultados de las matrices de punta mañana de agosto de 2017 (reportada en el Capítulo 6 de este informe), y de noviembre de 2017 (L6).

En la siguiente tabla se observa el número de viajes observados, expandidos y totales de ambas matrices, además de los deltas aplicados por conceptos de incorporación de evasión y de boletos Edmonson.

Tabla 15-8: Viajes de matrices PM agosto 2017 y noviembre 2017

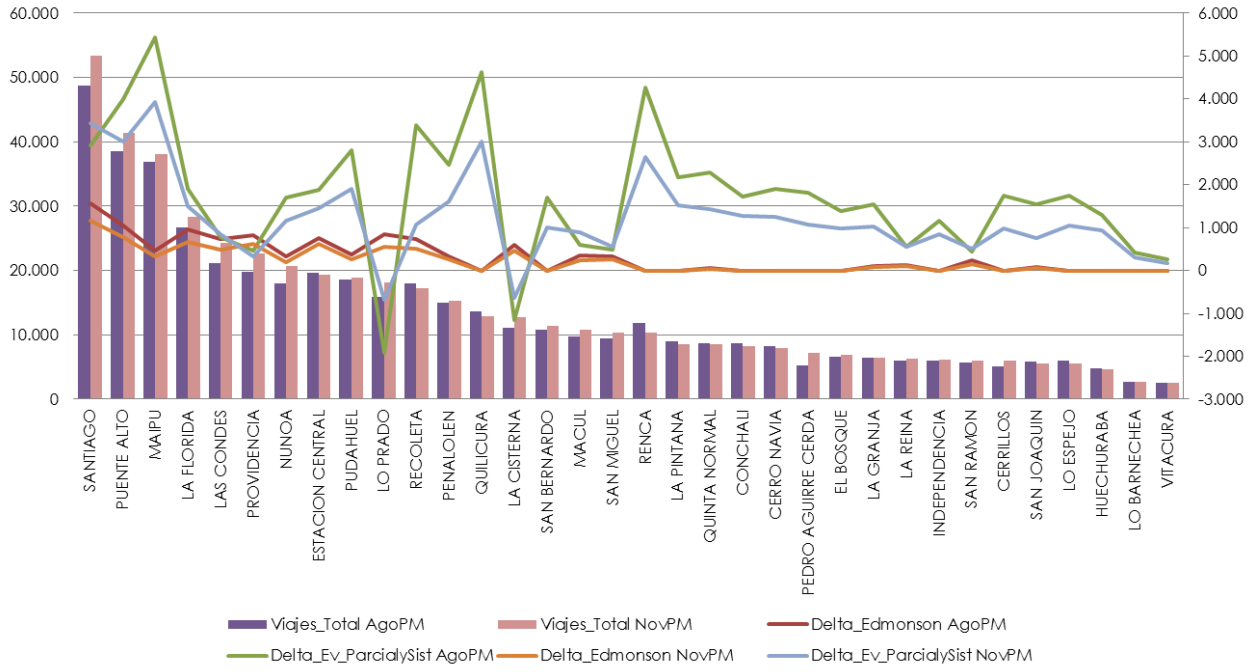
PM	PM Ago 2017	PM Nov 2017	Δ %
Viajes Obs	285.758	324.923	14%
Viajes Expandidos	391.110	435.477	11%
Viajes_Corr_Ev_Parcial_Ini	391.110	435.477	11%
Viajes_Corr_Ev_Sist	449.410	477.152	6%
Viajes_Corr_Edmonson	401.944	443.314	10%
Viajes_Corr_Ev_ParcialySist	449.410	477.152	6%
Delta_Edmonson	10.835	7.837	-28%
Delta_Ev_ParcialySist	58.300	41.675	-29%
Viajes_Total	460.245	484.990	5%

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que el número total de viajes aumentó un 5% en noviembre con respecto a agosto, y que tanto los viajes incorporados por evasión sistemática y parcial, como los incorporados por boletos Edmonson disminuyeron un 29% y un 28%, respectivamente.

En la siguiente figura se muestra en barras, los viajes totales de agosto 2017 y de noviembre de 2017 por comuna, y en líneas, los deltas de viajes agregados por evasión y por boletos en ambas matrices.

Figura 15-12: Viajes PM totales y deltas edmonson y evasión por comuna, para agosto 2017 y noviembre 2017



Fuente: Elaboración propia

En 23 de las 34 comunas el número de viajes aumenta en noviembre con respecto a agosto, siendo las comunas de Pedro Aguirre Cerda y Cerrillos las que presentan un mayor incremento porcentual, con un 38% y un 16%, respectivamente. En las 11 comunas restantes, el número total de viajes de noviembre es menor al de agosto. En estos casos, a pesar de que inicialmente los viajes observados fueron mayores en noviembre a los de agosto, los deltas de evasión y de boletos edmonson son menores en noviembre, lo que genera la diferencia. Las comunas de Renca y Lo Espejo presentan las mayores diferencias porcentuales, con 13% y 9% menos de viajes en noviembre.

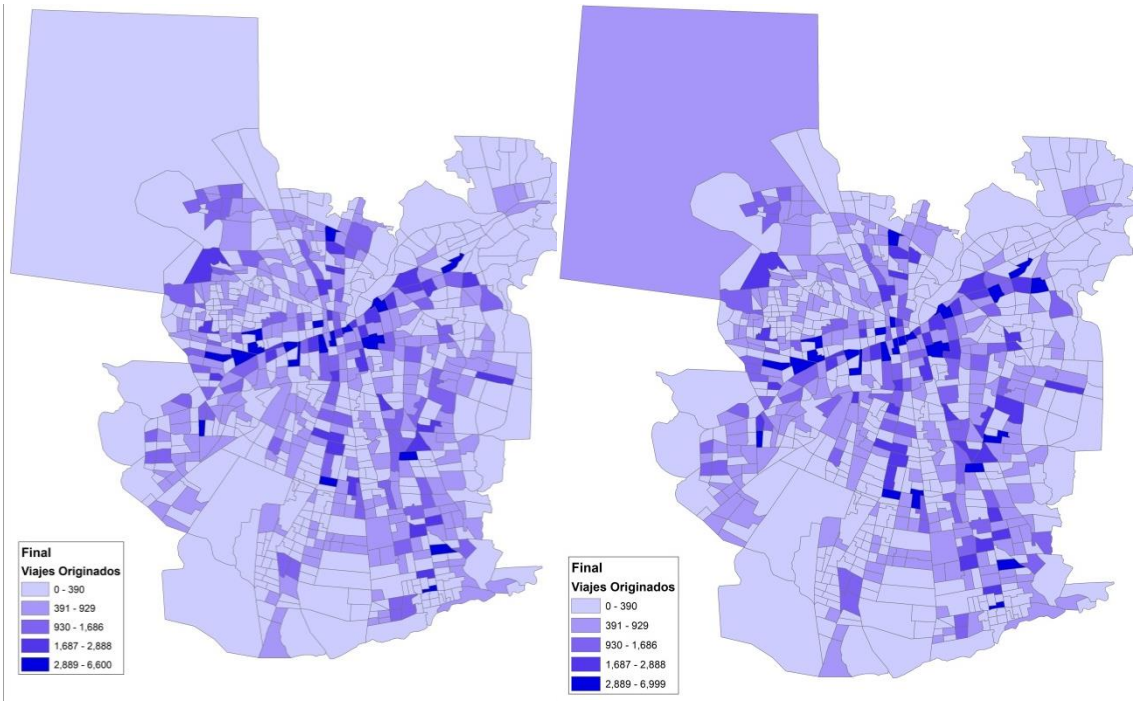
Tabla 15-9: Viajes PM totales y deltas edmonson y evasión por comuna, para agosto 2017 y noviembre 2017

Comuna Subida	Delta_Edmonson AgoPM	Delta_Ev_Parcial ySist AgoPM	Viajes_Total AgoPM	Delta_Edmonson NovPM	Delta_Ev_Parcial ySist NovPM	Viajes_Total NovPM
SANTIAGO	1.563	2.905	48.693	1.171	3.432	53.316
PUENTE ALTO	1.051	4.004	38.478	771	2.997	41.442
MAIPU	453	5.446	36.935	333	3.923	38.025
LA FLORIDA	958	1.914	26.662	659	1.495	28.314
LAS CONDES	741	773	21.065	493	855	24.283
PROVIDENCIA	824	465	19.807	620	335	22.609
NUNOA	333	1.695	18.034	204	1.160	20.657
ESTACION CENTRAL	758	1.886	19.567	615	1.462	19.285
PUDAHUEL	380	2.802	18.576	254	1.906	18.872
LO PRADO	836	-1.925	15.852	549	-677	18.084
RECOLETA	725	3.390	17.966	511	1.074	17.184
PENALOLEN	324	2.466	14.988	253	1.600	15.264
QUILICURA	0	4.616	13.710	0	3.001	12.897
LA CISTERNA	599	-1.152	11.071	470	-634	12.781
SAN BERNARDO	0	1.703	10.747	0	1.012	11.323
MACUL	341	591	9.775	237	883	10.760
SAN MIGUEL	327	477	9.388	261	543	10.414
RENCA	0	4.277	11.807	0	2.653	10.280
LA PINTANA	0	2.183	8.923	0	1.513	8.592
QUINTA NORMAL	56	2.288	8.659	47	1.429	8.513
CONCHALI	0	1.718	8.617	0	1.276	8.224
CERRO NAVIA	0	1.895	8.195	0	1.247	7.965
PEDRO AGUIRRE CERDA	0	1.813	5.272	0	1.076	7.251
EL BOSQUE	0	1.383	6.545	0	981	6.868
LA GRANJA	109	1.549	6.439	82	1.019	6.477
LA REINA	134	554	5.923	94	546	6.236
INDEPENDENCIA	0	1.154	5.984	0	841	6.121
SAN RAMON	248	436	5.641	157	511	6.049
CERRILLOS	0	1.747	5.104	0	989	5.917
SAN JOAQUIN	76	1.544	5.848	56	767	5.561
LO ESPEJO	0	1.742	6.028	0	1.044	5.477
HUECHURABA	0	1.292	4.791	0	936	4.674
LO BARNECHEA	0	414	2.670	0	303	2.716
VITACURA	0	254	2.487	0	178	2.559

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se presentan los viajes totales generados a nivel de zona 777 en las matrices OD punta mañana de agosto y noviembre de 2017.

Figura 15-13: Generación de viajes a nivel de zona 777, matriz OD PM Agosto 2017 (izquierda) y Noviembre 2017 (derecha)

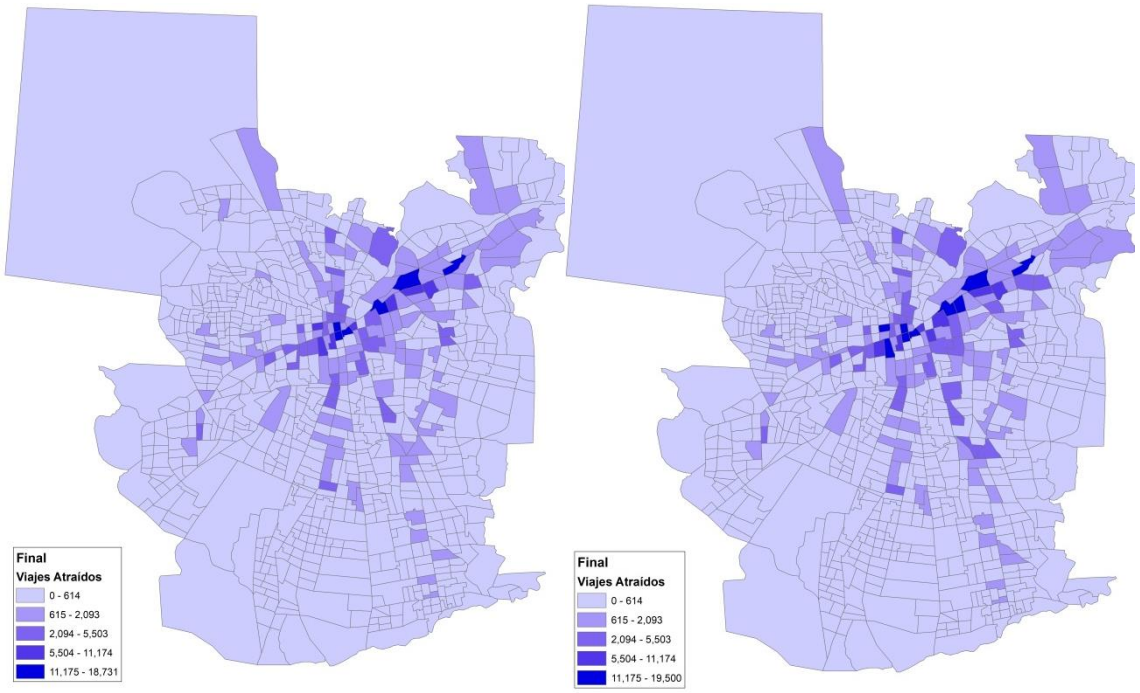


Fuente: Elaboración propia

Se observa que la estructura de viajes no varía mayormente entre ambas matrices, pero que los totales de noviembre son levemente mayores. Se puede ver que la generación de viajes en punta mañana no solo se da en los sectores céntricos, sino que en varias comunas de la ciudad.

En la siguiente figura se presentan los viajes totales atraídos a nivel de zona 777 en las matrices OD punta mañana de agosto y noviembre de 2017.

Figura 15-14: Atracción de viajes a nivel de zona 777, matriz OD PM Agosto 2017 (izquierda) y Noviembre 2017 (derecha)



Fuente: Elaboración propia

Se observa que la estructura de viajes no varía mayormente entre ambas matrices, pero que los totales de noviembre son mayores. Se puede ver que las zonas que atraen un mayor número de viajes se encuentran en torno al eje Alameda-Providencia-Apoquindo, y que la periferia de la ciudad atrae muy pocos viajes.

A continuación se presenta una tabla con la comparación del número de etapas de viaje por operados para las matrices de agosto 2017 y noviembre 2017.

Tabla 15-10: Comparación del número de etapas de viaje por operador, matrices agosto 2017 y noviembre 2017, PM

UN	DATOS BIPS AGO2017	DATOS ESTIMADOS AGO2017	DATOS BIPS NOV2017	DATOS ESTIMADOS NOV2017	Δ DATOS BIPS	Δ DATOS OBSERVADOS
U1	34.232	46.416	35.214	42.501	3%	-8%
U2	53.148	70.136	56.574	68.073	6%	-3%
U3	54.350	73.731	59.406	71.920	9%	-2%
U4	51.707	65.762	53.812	62.690	4%	-5%
U5	54.895	70.585	56.537	67.050	3%	-5%
U6	31.773	39.729	31.005	35.992	-2%	-9%
U7	21.343	27.498	23.589	28.435	11%	3%
TOTAL BUS	305.077	398.479	320.325	381.523	5%	-4%
SIN UNIDAD	3.629	4.624	4.187	4.861	15%	5%
METRO	265.159	275.993	293.496	301.333	11%	9%
METROTREN	4.899	4.898	6.770	6.769	38%	38%
TOTAL ETAPAS	575.134	679.371	620.591	689.625	8%	2%
ETAPAS VIAJE		1,48		1,42		

Fuente: Elaboración propia

Se observa que en la matriz de noviembre el número de etapas correspondientes a datos bips es mayor con respecto a agosto para todos los operadores, salvo para la Unidad de Negocios 6. Por otro lado, el número de etapas que corresponden a datos observados de noviembre es menor con respecto a agosto para todos los operadores de bus. Esto se debe a que los deltas correspondientes a evasión sistemática son menores en noviembre.

Por otro lado, se observa que las etapas de viaje totales en Metrotren presentan un gran aumento en noviembre (38%), y que existe un 9% más de etapas de viaje en Metro en noviembre, lo que se podría explicar por la implementación de la línea 6.

Por último, se puede ver que en el global, el número de etapas de viaje totales aumenta un 2% en la matriz de noviembre con respecto a la de agosto, y que el número de etapas por viaje pasa de un 1,48 a un 1,42.

Finalmente, en la siguiente tabla se presenta la comparación del número de trasbordos entre combinaciones de tipos de transporte de las matrices de noviembre y agosto 2017.

Tabla 15-11: Comparación entre el número de transbordos entre combinaciones de tipo de transporte de noviembre y agosto 2017, PM

ETAPA N	ETAPA N+1	TRASBORDOS NOV2017	TRASBORDOS AGO2017	Δ %
BUS+ZP	BUS+ZP	53.301	59.327	-10%
BUS+ZP	METRO	114.361	117.261	-2%
BUS+ZP	METROTREN	1.386	957	45%
METRO	BUS+ZP	30.768	37.459	-18%
METRO	METROTREN	401	239	68%
METROTREN	BUS+ZP	519	539	-4%
METROTREN	METRO	3.899	3.345	17%
TOTAL		204.636	219.126	-7%

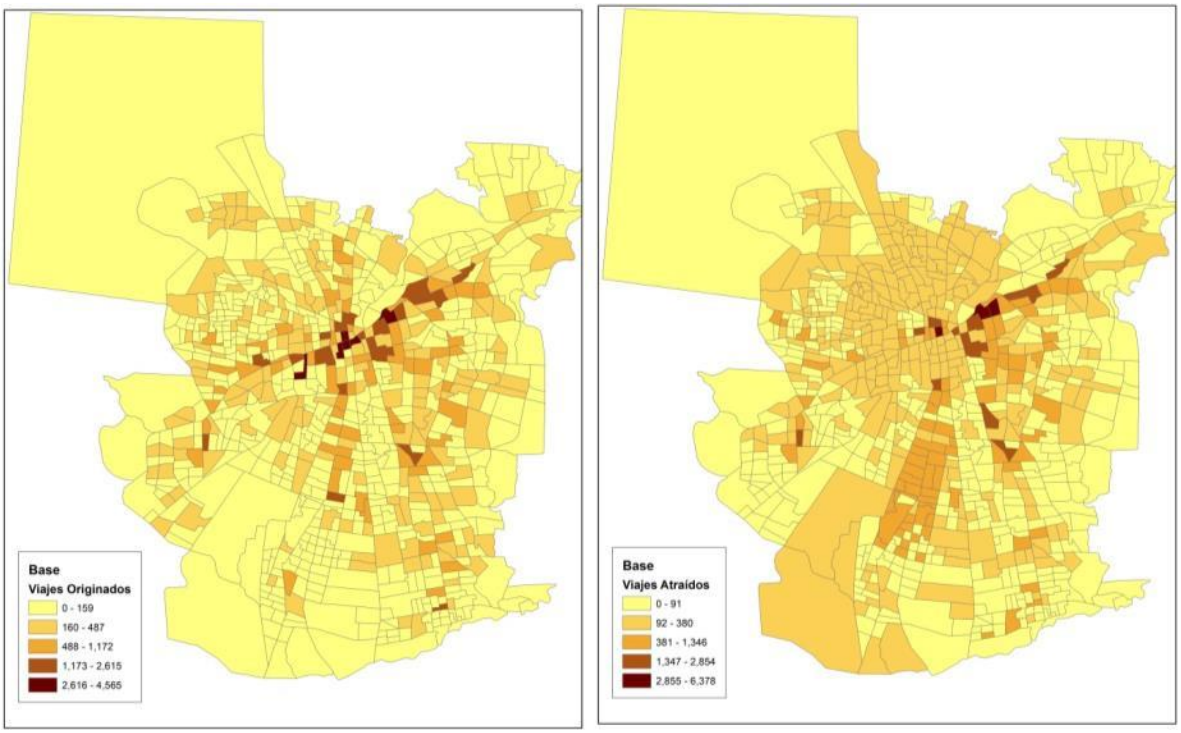
Fuente: Elaboración propia

Se observa que el número total de trasbordos es un 7% menor en noviembre con respecto a agosto, pero que en casos donde el trasbordo se realiza entre Metrotren y algún otro tipo de transporte, el número de trasbordos es mayor en noviembre, salvo en aquéllos donde el trasbordo es entre Metrotren y Bus.

15.4 ESTIMACIÓN DE MATRIZ DE VIAJES L6 FUERA DE PUNTA

El objetivo de esta tarea es la construcción de una matriz de viajes OD L6 FP, que represente la estructura de viajes del periodo Fuera Punta. Por lo tanto, para obtener la matriz base del modelo se ha seleccionado de la Tabla de Viajes todos los viajes con hora media entre las 11:00 y las 12:00 horas. En la siguiente figura se puede visualizar la generación y atracción de viajes de la matriz base, que contiene 188.009 viajes.

Figura 15-15: Viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 de matriz OD base, FP



Fuente: Elaboración propia

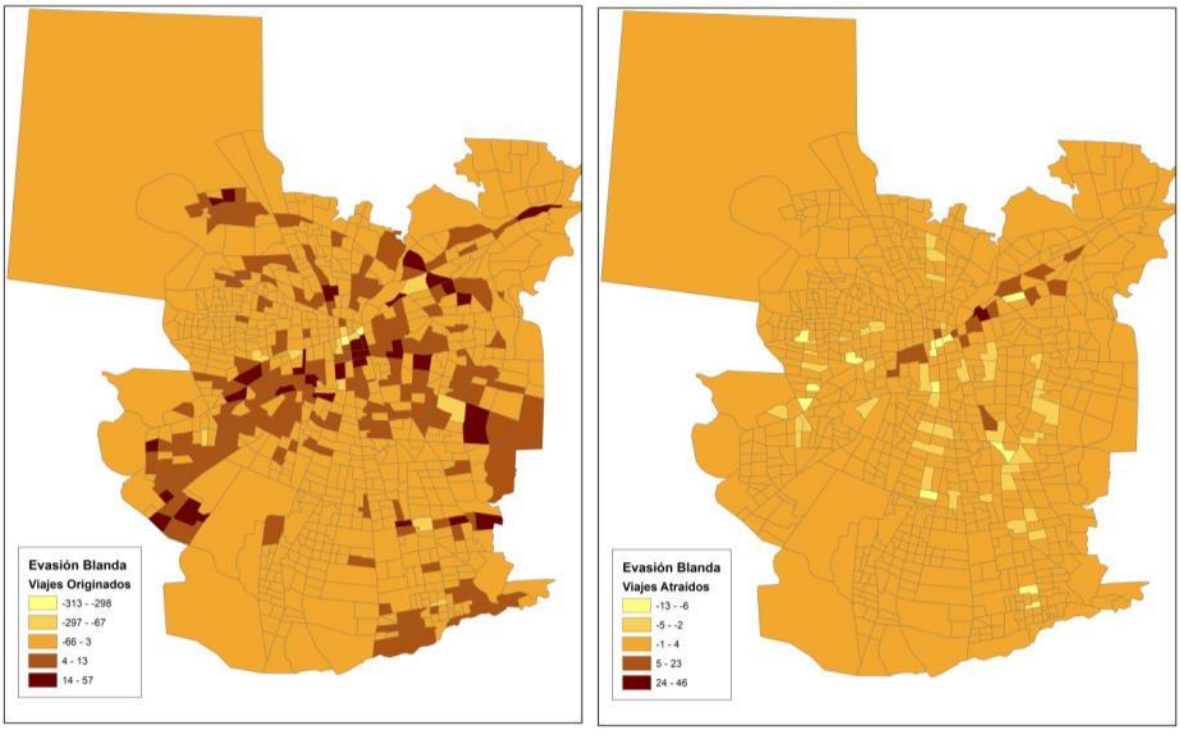
15.4.1 INCORPORACIÓN DE EVASIÓN PARCIAL

Como se explicó anteriormente en este informe, los resultados obtenidos de la EOD de Metro se utilizan para estimar la evasión de etapas en bus previas al modo metro. La EOD contiene el modo de acceso a cada una de las estaciones de la red. Con estos datos se estima la proporción de usuarios que provienen de buses de Transantiago respecto del total de usuarios que acceden a cada estación entre las 13:00 y las 14:59 (horario considerado para FP) de un día laboral normal. El supuesto es que si no existiese evasión parcial, las proporciones obtenidas de la matriz base y de la encuesta de metro serían muy similares. Por tanto, la diferencia entre estas proporciones permite cuantificar los niveles de evasión parcial a nivel de estación.

El detalle de la metodología de incorporación de evasión parcial se encuentra en el punto 11.2.1 de este informe. La proporción de viajes con la combinación bus-metro respecto del total de viajes, a nivel de estación, se encuentra en el anexo de este capítulo de estimación de matriz, tanto según la encuesta EOD Metro, como según la tabla de bip!

Si se compara la matriz OD base obtenida en la sub-sección anterior con la matriz corregida por evasión parcial, se obtiene una variación en la estructura (pero no en el total) de viajes de la matriz, la cual puede agruparse por zona 777 tanto en orígenes como destinos. Esta diferencia de viajes generados y atraídos se muestra en las siguientes figuras.

Figura 15-16: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, FP



Fuente: Elaboración propia

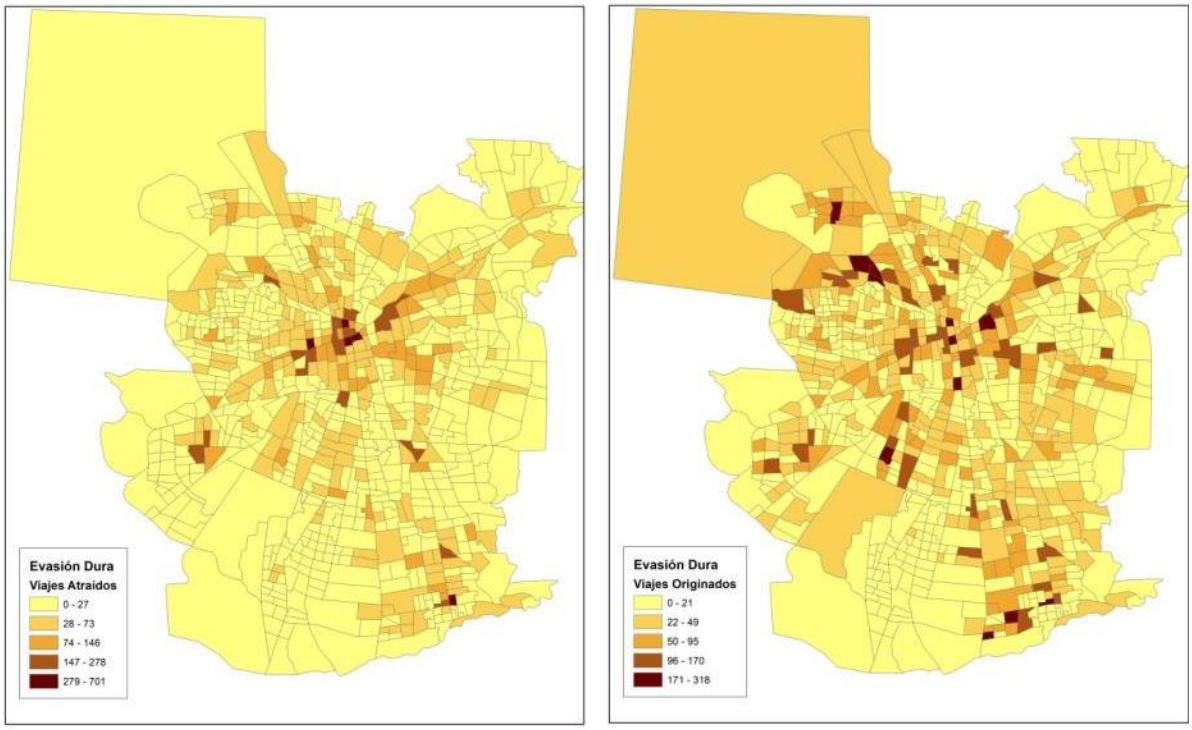
15.4.2 INCORPORACIÓN DE EVASIÓN SISTEMÁTICA

La corrección por evasión sistemática implica un aumento en el número de viajes de la matriz OD base, el cual se obtiene de aplicar factores de expansión a los viajes existentes a nivel de zona 777, proporcional a la estructura de viajes afectados en la zona y combinación de modos en que se aplica e incrementando la demanda en base a la evasión observada en cada zona.

El detalle de la metodología de incorporación de evasión sistemática se encuentra en el punto 11.2.2 de este informe. Los factores de evasión a nivel de zona 777 que se obtienen de este proceso se encuentran en los anexos de este capítulo.

Para cuantificar este aumento de la demanda, correspondiente a 24.833 viajes, la siguiente figura muestra el incremento de viajes generados y atraídos a nivel de zona 777 debido a la incorporación de viajes de evasión sistemática.

Figura 15-17: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión sistemática, FP



Fuente: Elaboración propia

15.4.3 INCORPORACIÓN DE BOLETOS EDMONSON

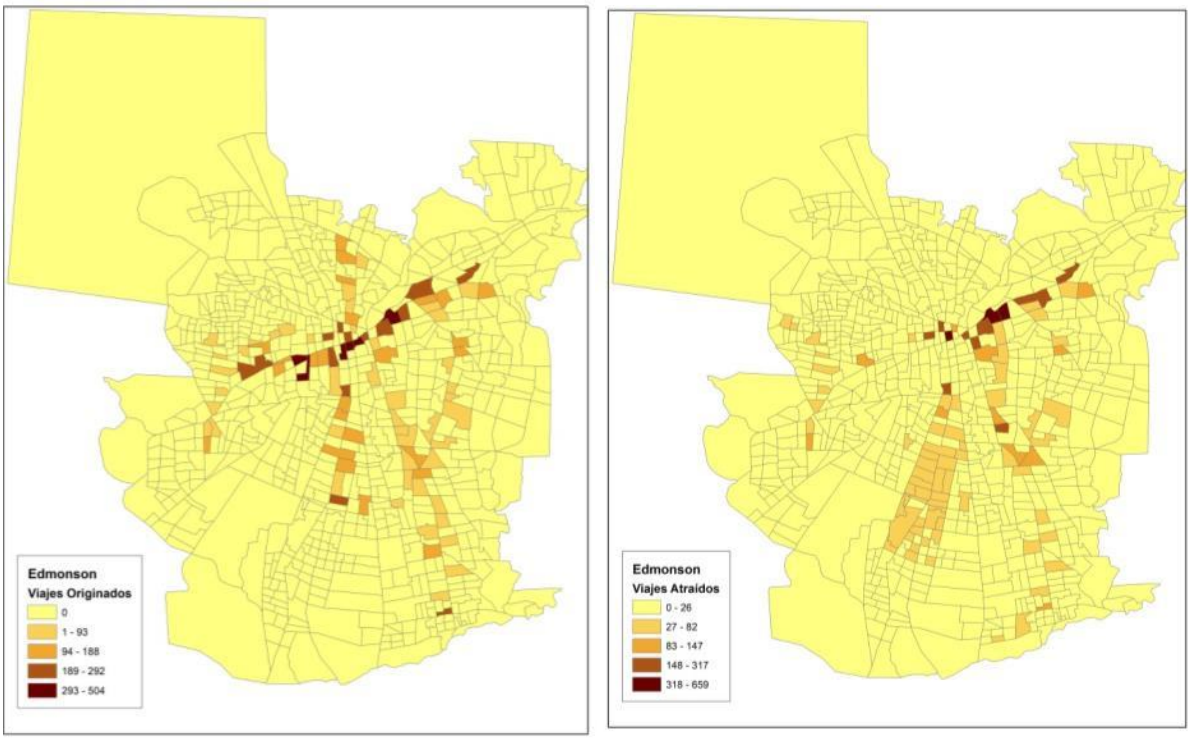
Los viajes que se realizan en Metro utilizando como medio de pago los boletos Edmonson, se deben incorporar a la matriz de viajes OD, ya que no se encuentran registrados en la tabla de viajes ni de etapas, porque no corresponden a transacciones bip!, pero sí representan a parte de la demanda de Metro.

Esta incorporación se hace bajo el supuesto de que los viajes pagados con boletos Edmonson son viajes que se realizan por completo en Metro y no combinan con bus. La incorporación además se realiza por estación de origen y siguiendo la misma distribución origen-destino de los viajes de una etapa en metro que se observan en la matriz OD base, implicando un aumento en el número de viajes de dicha matriz.

El detalle de la metodología de incorporación de boletos Edmonson se encuentra en el punto 11.3 de este informe. La demanda y la hora utilizada para incorporar los viajes de boletos Edmonson representativos de cada estación se encuentran en los anexos de este capítulo.

En total se incorporaron 12.339 viajes diarios en FP. Para analizar los cambios en la matriz OD base respecto de la matriz que incorpora los boletos Edmonson, la siguiente figura muestra la diferencia en viajes generados y atraídos a nivel de zona 777.

Figura 15-18: Aumento de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de boletos Edmonson, FP



Fuente: Elaboración propia

15.4.4 OBTENCIÓN DE MATRIZ OD FUERA DE PUNTA L6

Considerando que cada uno de los procesos aplicados se realiza de forma independiente y sobre la matriz OD base FP, para incorporar todos los procesos se suma la diferencia de viajes producida en la aplicación de cada factor sobre el factor de expansión original de cada viaje proveniente de la tabla TB9, es decir:

$$Vij = Vij_Base + \Delta Evasión_Parcial + \Delta Evasión_Sistemática + \Delta Boletos_Edmonson$$

La agregación de todos los procesos genera una nueva matriz OD de viajes de FP. Si se comparara la diferencia de viajes generados y atraídos a nivel de zona, entre la matriz actualizada y la matriz base, se obtiene diferencias de viajes por zona, como se muestra en la siguiente tabla.

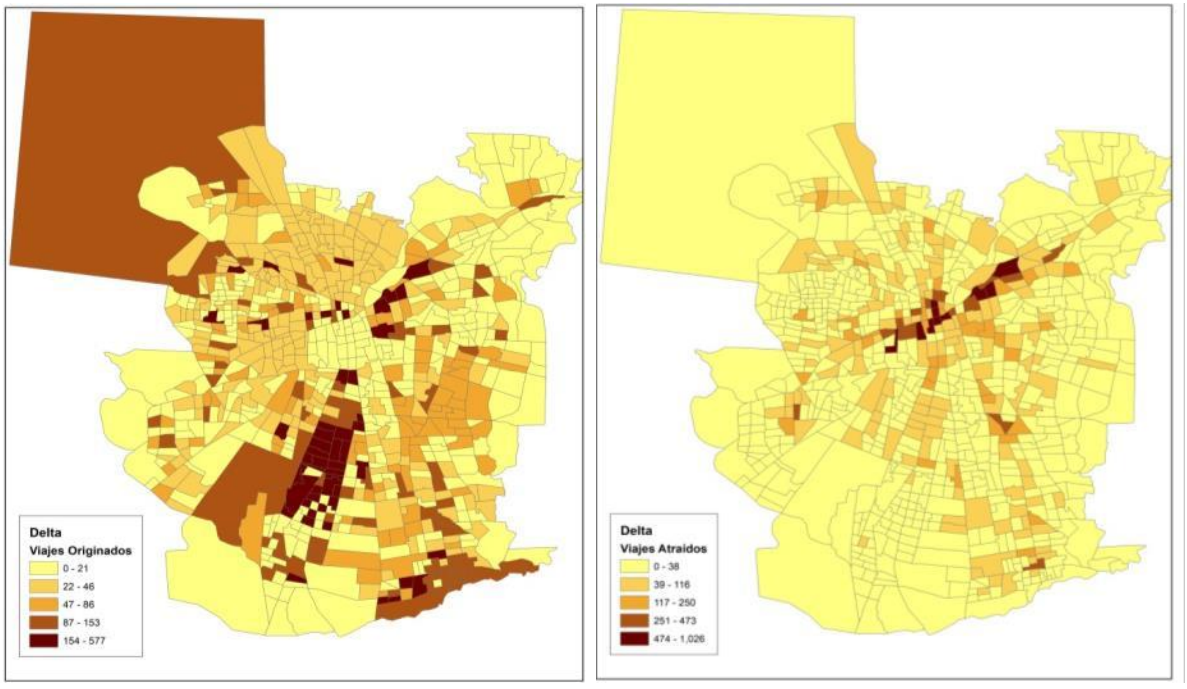
Tabla 15-12: Detalle de variación de viajes por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson

Matriz	Comentario	Viajes adicionales	Total viajes matriz
Matriz Base	viajes con hora media entre 11 y 12 hrs.	-	188.009
Matriz Ev. Parcial	corrección de estructura, no incorpora viajes	0	188.009
Matriz Ev. Sistemática	corrección r/ matriz base	24.833	212.842
Matriz Edmonson	corrección r/ matriz base	12.339	200.348
Matriz Actualizada	corrección r/ matriz base, se calcula como suma de correcciones por zona	37.172	210.257

Fuente: Elaboración propia

Para visualizar espacialmente las modificaciones a la matriz, la siguiente imagen muestra la variación de viajes a nivel de zona.

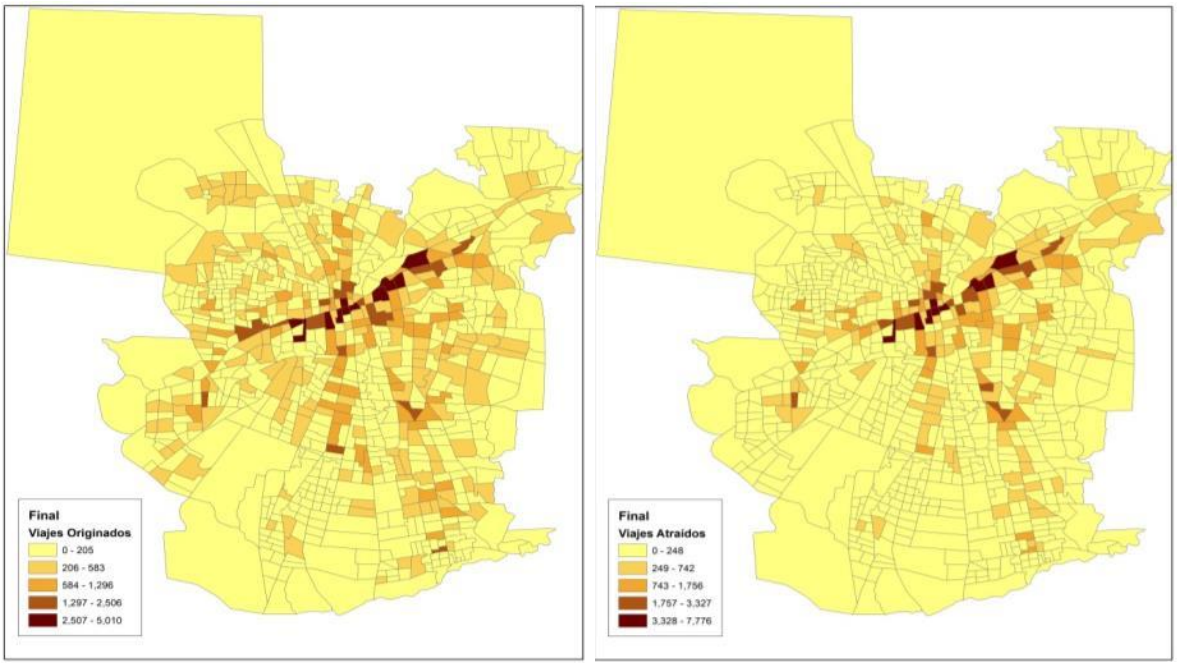
Figura 15-19: Variación de viajes generados (izquierda) y atraídos (derecha) a nivel de zona 777 por incorporación de evasión parcial, sistemática y boletos Edmonson



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, la siguiente figura muestra los viajes generados y atraídos en la matriz OD fuera de punta actualizada a nivel de zona 777.

Figura 15-20: Generación (izq) y atracción (der) de viajes a nivel de zona 777, matriz OD FP actualizada



Fuente: Elaboración propia

Notar que las visualizaciones del informe se realizan a nivel de zona 777, pero que todos los factores de actualización de la matriz fueron aplicados directamente a nivel de viaje, razón por la cual se cuenta con una matriz desagregada a nivel de parada.

Al contar con la matriz de FP de noviembre actualizada a nivel de viaje, es posible analizar su composición en este mismo nivel de detalle. La matriz actualizada presenta una tasa de 1,27 etapas por viaje. La siguiente tabla muestra la cantidad de etapas por operador (contabilizadas hasta la 4ta etapa de viaje):

Tabla 15-13: Detalle de matriz FP noviembre actualizada, número de etapas de viaje por operador

UN	DATOS BIPS	DATOS ESTIMADOS	EVASION MATRIZ	EVASION MINISTERIO 3° TRIMESTRE 2017
U1	14.997	19.319	22%	31%
U2	21.306	26.600	20%	25%
U3	22.492	28.241	20%	23%
U4	24.834	30.178	18%	25%
U5	23.611	28.333	17%	22%
U6	12.585	15.127	17%	11%
U7	8.154	11.151	27%	29%
TOTAL BUS	**129.229**	**160.470**	**19%**	24%
SIN UNIDAD	1.250	1.521	18%	
METRO	**109.867**	**122.206**	**10%**	
METROTREN	**2.306**	**2.303**	**0%**	
TOTAL ETAPAS	**241.402**	**284.979**	**15%**	
ETAPAS VIAJE		1,27		

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la evasión introducida por Unidad de Negocio es sistemáticamente menor que la reportada por el Ministerio, con excepción de la UN6, consiste con lo reportado en la matriz PM.

En la misma línea, también es posible calcular los transbordos observados entre tipos de transporte, lo que se reporta en la tabla siguiente.

Tabla 15-14: Transbordos entre combinaciones de tipo de transporte

ETAPA N	ETAPA N+1	TRASBORDOS NOV2017
METRO	METROTREN	396
METRO	BUS+ZP	9.990
METROTREN	METRO	900
METROTREN	BUS+ZP	102
BUS+ZP	METRO	29.569
BUS+ZP	METROTREN	329
BUS+ZP	BUS+ZP	18.512
TOTAL		**59.798**

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el total de trasbordos es casi de 60 mil, donde la gran mayoría se realiza entre Bus y Metro (49%), seguido por los realizados entre Bus y Bus (31%).

15.4.5 COMPARACIÓN DE MATRICES OD FUERA DE PUNTA AGOSTO VERSUS NOVIEMBRE

A continuación se presenta una comparación de los principales resultados de las matrices de fuera de punta de agosto de 2017 (reportada en el Capítulo 11 de este informe), y de noviembre de 2017 (L6).

En la siguiente tabla se observa el número de viajes observados, expandidos y totales de ambas matrices, además de los deltas aplicados por conceptos de incorporación de evasión y de boletos Edmonson.

Tabla 15-15: Viajes de matrices FP agosto 2017 y noviembre 2017

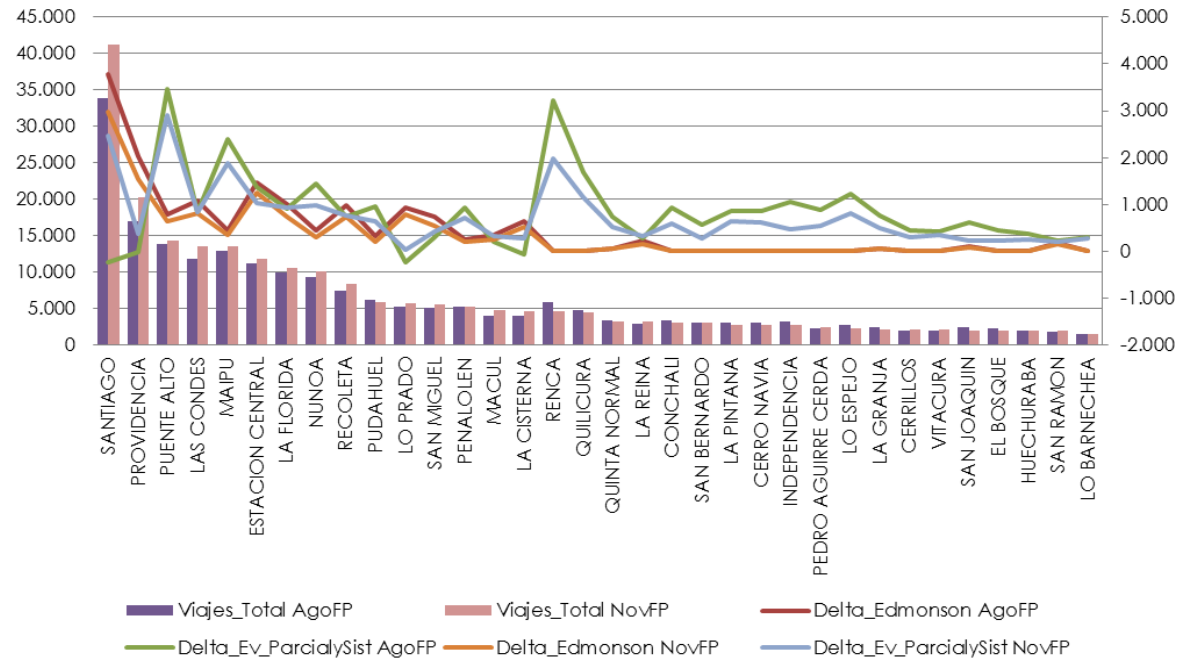
FP	FP Ago 2017	FP Nov 2017	Δ %
Viajes Obs	123.399	144.228	17%
Viajes Expandidos	165.498	188.009	14%
Viajes_Corr_Ev_Parcial_Ini	165.498	188.009	14%
Viajes_Corr_Ev_Sist	194.377	212.842	10%
Viajes_Corr_Edmonson	181.378	200.348	10%
Viajes_Corr_Ev_ParcialySist	194.377	212.842	10%
Delta_Edmonson	15.880	12.339	-22%
Delta_Ev_ParcialySist	28.879	24.833	-14%
Viajes_Total	210.257	225.182	7%

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que el número total de viajes aumentó un 7% en noviembre con respecto a agosto, y que tanto los viajes incorporados por evasión sistemática y parcial, como los incorporados por boletos Edmonson disminuyeron un 22% y un 14%, respectivamente.

En la siguiente figura se muestra en barras, los viajes totales de agosto 2017 y de noviembre de 2017 por comuna, y en líneas, los deltas de viajes agregados por evasión y por boletos en ambas matrices.

Figura 15-21: Viajes FP totales y deltas edmonson y evasión por comuna, para agosto 2017 y noviembre 2017



Fuente: Elaboración propia

En 21 de las 34 comunas el número de viajes aumenta en noviembre con respecto a agosto, siendo las comunas de Santiago y Providencia las que presentan un mayor incremento porcentual, con un 22% y un 20%. En las 13 comunas restantes, el número total de viajes de noviembre es menor al de agosto. En estos casos, a pesar de que inicialmente los viajes observados fueron mayores en noviembre a los de agosto, los deltas de evasión y de boletos edmonson son menores en noviembre, lo que genera la diferencia. Las comunas de Renca, Independencia y Lo Espejo presentan los mayores diferencias porcentuales, con 22%, 17% y 17% menos de viaje en noviembre.

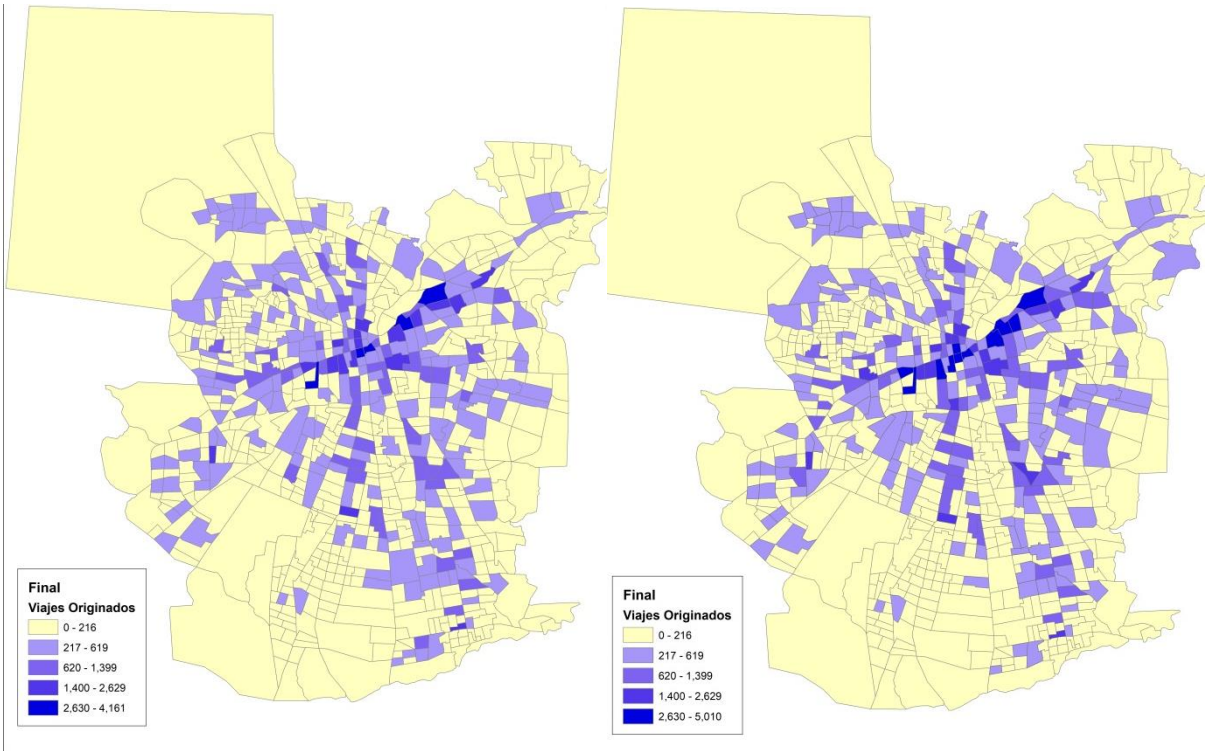
Tabla 15-16: Viajes FP totales y deltas edmonson y evasión por comuna, para agosto 2017 y noviembre 2017

Comuna Subida	Delta_Edmonson AgoFP	Delta_Ev_ParcialySist AgoFP	Viajes_Total AgoFP	Delta_Edmonson NovFP	Delta_Ev_ParcialySist NovFP	Viajes_Total NovFP
SANTIAGO	3.774	-236	33.810	2.978	2.464	41.167
PROVIDENCIA	2.034	-17	16.895	1.550	370	20.325
PUENTE ALTO	790	3.464	13.820	648	2.900	14.264
LAS CONDES	1.090	837	11.845	816	838	13.525
MAIPU	434	2.392	12.943	340	1.886	13.507
ESTACION CENTRAL	1.459	1.359	11.125	1.242	1.034	11.753
LA FLORIDA	1.017	910	9.973	749	931	10.572
NUNOA	451	1.452	9.272	288	993	10.122
RECOLETA	983	745	7.388	741	767	8.327
PUDAHUEL	318	955	6.100	205	646	5.896
LO PRADO	933	-238	5.257	776	42	5.672
SAN MIGUEL	736	306	5.021	543	427	5.586
PENALOLEN	258	928	5.291	205	713	5.229
MACUL	336	190	4.026	254	312	4.719
LA CISTERNA	644	-58	3.957	506	270	4.663
RENCA	0	3.217	5.836	0	1.988	4.555
QUILICURA	0	1.691	4.792	0	1.149	4.377
QUINTA NORMAL	62	744	3.366	56	512	3.235
LA REINA	221	285	2.894	163	324	3.123
CONCHALI	0	922	3.338	0	587	3.086
SAN BERNARDO	0	561	3.014	0	279	3.038
LA PINTANA	0	860	2.987	0	630	2.733
CERRO NAVIA	0	862	3.060	0	620	2.720
INDEPENDENCIA	0	1.043	3.238	0	460	2.677
PEDRO AGUIRRE CERDA	0	889	2.320	0	542	2.368
LO ESPEJO	0	1.232	2.707	0	800	2.238
LA GRANJA	66	763	2.344	52	497	2.139
CERRILLOS	0	449	1.904	0	294	2.131
VITACURA	0	417	2.013	0	357	2.131
SAN JOAQUIN	104	616	2.347	70	229	2.023
EL BOSQUE	0	457	2.189	0	236	2.004
HUECHURABA	0	360	1.940	0	261	1.973
SAN RAMON	170	228	1.825	157	210	1.879
LO BARNECHEA	0	291	1.419	0	265	1.424

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se presentan los viajes totales generados a nivel de zona 777 en las matrices OD fuera de punta de agosto y noviembre de 2017.

Figura 15-22: Generación de viajes a nivel de zona 777, matriz OD FP Agosto 2017 (izquierda) y Noviembre 2017 (derecha)

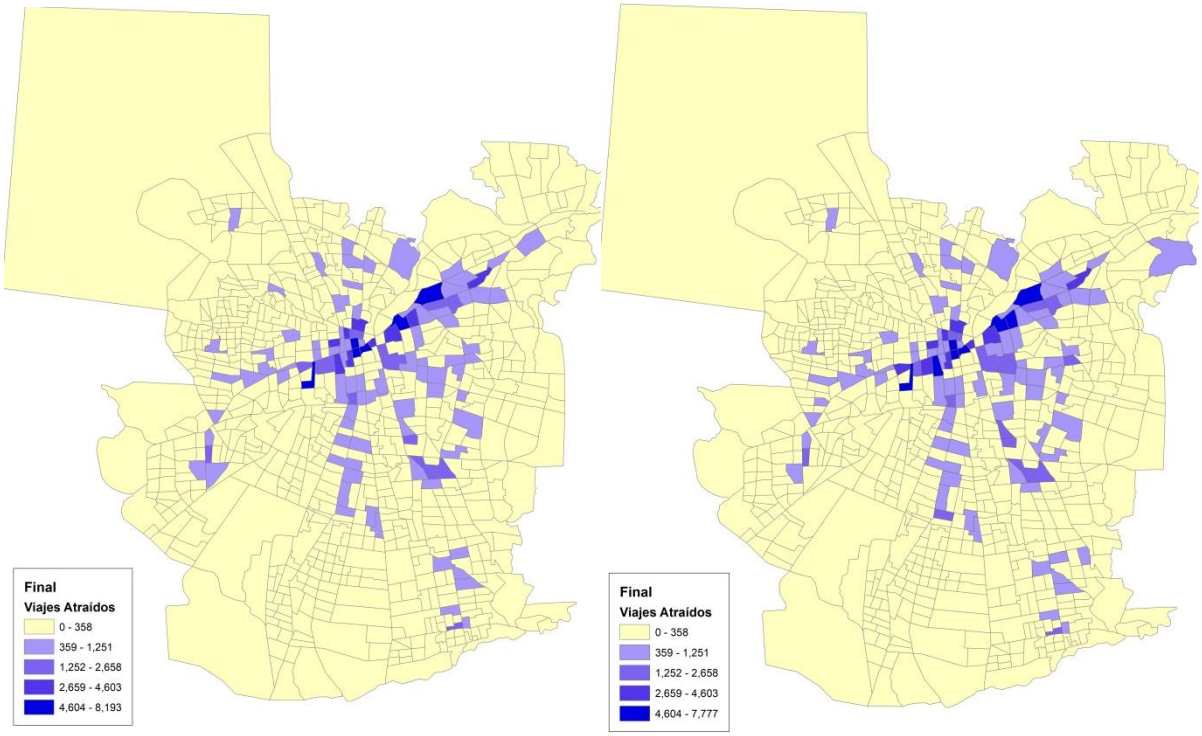


Fuente: Elaboración propia

Se observa que la estructura de viajes no varía mayormente entre ambas matrices, pero que los totales de noviembre son mayores. Se puede ver que el menor número de viajes se origina en la periferia, y que la mayor concentración de viajes se origina en torno al eje Alameda-Providencia-Apoquindo.

En la siguiente figura se presentan los viajes totales atraídos a nivel de zona 777 en las matrices OD fuera de punta de agosto y noviembre de 2017.

Figura 15-23: Atracción de viajes a nivel de zona 777, matriz OD FP Agosto 2017 (izquierda) y Noviembre 2017 (derecha)



Fuente: Elaboración propia

Se observa que la estructura de viajes no varía mayormente entre ambas matrices, pero que los totales de noviembre son mayores. Se puede ver que las zonas que atraen un mayor número de viajes se encuentran en torno al eje Alameda-Providencia-Apoquindo, y que la periferia de la ciudad atrae muy pocos viajes.

A continuación se presenta una tabla con la comparación del número de etapas de viaje por operados para las matrices de agosto 2017 y noviembre 2017.

Tabla 15-17: Comparación del número de etapas de viaje por operador, matrices agosto 2017 y noviembre 2017, FP

UN	DATOS BIPS AGO2017	DATOS ESTIMADOS AGO2017	DATOS BIPS NOV2017	DATOS ESTIMADOS NOV2017	Δ DATOS BIPS	Δ DATOS OBSERVADOS
U1	14.410	20.788	14.997	19.319	4%	-7%
U2	20.345	28.254	21.306	26.600	5%	-6%
U3	21.349	30.208	22.492	28.241	5%	-7%
U4	23.527	30.387	24.834	30.178	6%	-1%
U5	22.570	29.211	23.611	28.333	5%	-3%
U6	11.805	15.243	12.585	15.127	7%	-1%
U7	7.543	11.526	8.154	11.151	8%	-3%
TOTAL BUS	122.794	167.281	129.229	160.470	5%	-4%
SIN UNIDAD	1.244	1.663	1.250	1.521	0%	-9%
METRO	96.944	112.824	109.867	122.206	13%	8%
METROTREN	1.678	1.659	2.306	2.303	37%	39%
TOTAL ETAPAS	221.415	281.764	241.402	284.979	9%	1%
ETAPAS VIAJE	1,34		1,27			

Fuente: Elaboración propia

Se observa que en la matriz de noviembre el número de etapas correspondientes a datos bips es mayor con respecto a agosto para todos los operadores, pero el número de etapas que corresponden a datos observados de noviembre es menor con respecto a agosto para todos los operadores de bus. Esto se debe a que los deltas correspondientes a evasión sistemática son menores en noviembre.

Por otro lado, se observa que las etapas de viaje totales en Metrotren presentan un gran aumento en noviembre (39%), y que existe un 8% más de etapas de viaje en Metro en noviembre, lo que se podría explicar por la implementación de la línea 6.

Por último se puede ver que en el global, el número de etapas de viaje totales aumenta un 1% en la matriz de noviembre con respecto a la de agosto, y que el número de etapas por viaje pasa de un 1,34 a un 1,27.

Finalmente, en la siguiente tabla se presenta la comparación del número de trasbordos entre combinaciones de tipos de transporte de las matrices de noviembre y agosto 2017.

Tabla 15-18: Comparación entre el número de transbordos entre combinaciones de tipo de transporte de noviembre y agosto 2017, FP

ETAPA N	ETAPA N+1	TRASBORDOS NOV2017	TRASBORDOS AGO2017	Δ %
METRO	METROTREN	396	205	93%
METRO	BUS+ZP	9.990	11.299	-12%
METROTREN	METRO	900	776	16%
METROTREN	BUS+ZP	102	67	53%
BUS+ZP	METRO	29.569	38.574	-23%
BUS+ZP	METROTREN	329	244	35%
BUS+ZP	BUS+ZP	18.512	20.342	-9%
TOTAL		**59.798**	**71.507**	**-16%**

Fuente: Elaboración propia

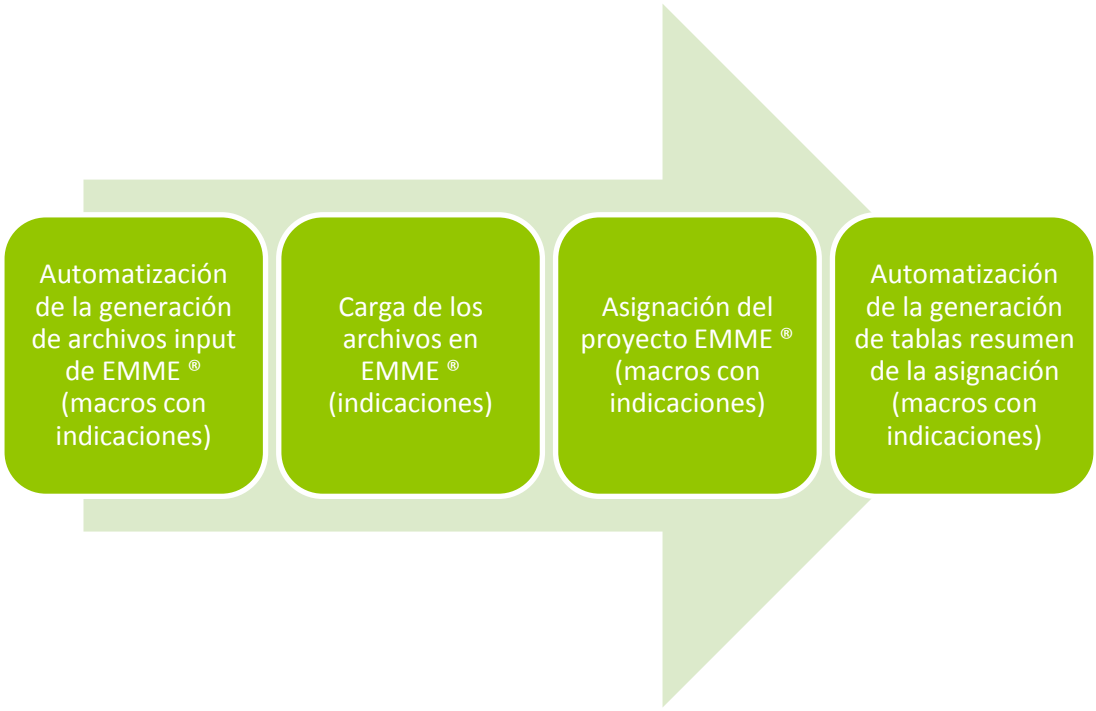
Se observa que el número total de trasbordos es un 16% menor en noviembre con respecto a agosto, pero que en casos donde el trasbordo se realiza entre Metrotren y algún otro tipo de transporte, el número de trasbordos es mayor en noviembre.

16 MODIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN

16.1 INTRODUCCIÓN

Con el fin de facilitar la creación del modelo y nuevos escenarios en EMME ®, a continuación se exponen las indicaciones y herramientas creadas para la automatización de los procesos necesarios para ello. Éstos responden a la secuencia que se muestra en la siguiente figura.

Figura 16-1: Secuencia de procesos para creación del modelo y asignación de escenarios



Fuente: Elaboración Propia

Las dos primeras fases se abordan con el documento Excel de automatización de inputs que se incluye en el los anexos de este capítulo. En él se aporta un conjunto de indicaciones generales para el uso del documento y, en cada hoja, se proveen indicaciones para la introducción de datos, la generación de cada archivo input (archivos de red, demanda y oferta) y la carga de cada uno de ellos en EMME ®.

Una vez cargados los archivos con los datos de red, demanda y oferta, el proceso de asignación se realiza mediante la aplicación de macros creados en el entorno EMME ®. En los anexos de este capítulo se exponen las indicaciones que servirán como guía en el uso de EMME ® para correr la asignación.

Por último, con el uso del documento Excel de lectura de las salidas de EMME ® que se incluye en los anexos de este capítulo es posible generar el resumen de los resultados de la asignación. Para ello en cada hoja del mismo documento se encuentran las indicaciones específicas para obtener los diversos resúmenes a partir de los archivos de salida de EMME ®.

En los anexos de este capítulo se incluye un manual detallado sobre el uso de las herramientas de automatización de datos de entrada y de lectura de salidas para realizar un resumen de los resultados.

16.2 AUTOMATIZACIÓN DE INPUTS

Los archivos para la construcción de un modelo en EMME ® son diferentes para cada elemento de la red y, para la definición de cada elemento, se han de introducir diversos campos bajo requisitos establecidos. A continuación se resumen las principales indicaciones para generar con éxito los archivos. En el Anexo del capítulo se encuentra el documento Excel que genera, en cada hoja, el archivo correspondiente que es input para la construcción del modelo en EMME ®. En cada hoja del documento se aporta mayor detalle de los requerimientos de los datos que deben introducirse.

16.2.1 Indicaciones generales

- En la creación de la red por primera vez o de un escenario nuevo, es necesario introducir los diversos elementos en el orden establecido: modos, vehículos, nodos, arcos, matriz, itinerarios y oferta. Así mismo al modificar un componente de la red, el mismo orden debe estar considerado.
- En cada hoja, el botón Paso 1 borra los inputs de anteriores usos de la herramienta con el fin de poder comenzar con la introducción de información.
- A continuación se debe introducir los datos en cada campo. Cada hoja contiene un ejemplo de información a introducir en cada columna y las indicaciones respecto a la naturaleza de dicha información (tipo de variable esperada), de manera de evitar errores en la introducción de datos.
- En cada hoja, cualquiera de los botones Paso 2 genera el archivo en formato EMME ®. Las dos opciones (botón 2a y botón 2b) únicamente varían en el encabezado del archivo y la elección depende de si se está creando el modelo por primera vez o es una modificación de un modelo ya creado.
  Si se crea el modelo por primera vez, en todas las hojas se debe pulsar el botón 2a porque imprime en el encabezado la palabra *init*.
  Si ya se ha creado el modelo y se desea generar un archivo que defina un añadido, modificación, o eliminación, entonces debe elegirse el botón 2b, que no imprime la palabra *init*.
- Los botones paso 2 informan cuando el archivo ha sido generado con éxito. De no ser así arrojará información sobre el error encontrado para que sea corregido. El archivo se generará cuando todos los datos introducidos estén correctos según los requisitos que se indican en cada caso.

- Específicamente, los decimales deben expresarse mediante punto (.). Los millares ni con punto ni con coma, no se explicitan.
- El archivo en formato EMME ® aparecerá en la carpeta que el usuario designe para ello. En caso de ya haber un archivo de ese tipo, será reemplazado con el nuevo archivo.
- Si se desean añadir, modificar o eliminar elementos de la red, se deben generar nuevos archivos con el botón Paso 2b y éstos deberán añadirse a los archivos anteriores, es decir, deben mantenerse los archivos del modelo y añadir los de modificación.

Se generaron dos hojas en el archivo para incluir información previa de diccionario de servicios y de consolidado de oferta por servicio sentido.

16.2.2 Modos

En esta hoja se introducen los modos que participan en el modelo y sus características, entre las que destacan los siguientes campos: descripción, identificador y velocidad.

En la carpeta que se le indique, la macro genera un archivo denominado 1_MODOS.txt cuya extensión ha de sustituirse por .ini para su aplicación en EMME ®.

16.2.3 Vehículos

En esta hoja se introducen los tipos de vehículo que participan en el modelo y sus características, entre las que destacan los siguientes campos: descripción, identificador, modo, flota, capacidad de pasajeros sentados y capacidad total de pasajeros.

En la carpeta que se le indique, la macro genera un archivo denominado 2_VEHICULOS.txt cuya extensión ha de sustituirse por .ini para su aplicación en EMME ®.

16.2.4 Nodos

En esta hoja se introducen los nodos que participan en el modelo y sus características, entre las que destacan los siguientes campos: identificador y coordenadas X, Y.

En la carpeta que se le indique, la macro genera un archivo denominado 3_NODOS.txt cuya extensión ha de sustituirse por .ini para su aplicación en EMME ®.

16.2.5 Arcos

En esta hoja se introducen los arcos que participan en el modelo y sus características, entre las que destacan los siguientes campos: identificadores de nodo inicial y final, longitud, modos permitidos, número de calles o pistas y velocidad.

En la carpeta que se le indique, la macro genera un archivo denominado 4_ARCOS.txt cuya extensión ha de sustituirse por .ini para su aplicación en EMME ®.

16.2.6 Matriz

En esta hoja se introduce la matriz de viajes que será asignada, según zona origen, zona destino y viajes en el par origen-destino correspondiente.

En la carpeta que se le indique, la macro genera un archivo denominado 5_MATRIZ.txt cuya extensión ha de sustituirse por .ini para su aplicación en EMME ®.

16.2.7 Itinerarios

En esta hoja se introducen los itinerarios de los diversos modos de transporte público que participan en el modelo.

Al inicio de un itinerario se definen sus características: servicio, modo, tipo (identificador) del vehículo, intervalo y velocidad. Después de esta definición general del servicio, se especifican los nodos que forman el itinerario, el tiempo de detención en parada, la función de tiempo de viaje y tres características a definir por el usuario. Éstas se mantienen 0 excepto en el modo metro, que en el campo us2 se introduce la velocidad por tramos de servicios expresos. Con el nodo del último paradero o estación ha de indicarse lay=1 de manera que quede identificado como término del itinerario.

En la carpeta que se le indique, la macro genera un archivo denominado 6_ITINERARIOS.txt cuya extensión ha de sustituirse por .ini para su aplicación en EMME ®.

16.2.8 Oferta

En esta hoja se introduce la oferta en términos de la definición de servicios. Para ello es necesario que se hayan creado los itinerarios con el archivo generado en la hoja anterior. El archivo contiene las características de cada servicio en relación al tipo de vehículo (id), intervalo del servicio y velocidad.

En la carpeta que se le indique, la macro genera un archivo denominado 7_OFERTA.txt cuya extensión ha de sustituirse por .ini para su aplicación en EMME ®.

16.3 PROYECTO EMME ®

Para realizar la asignación de un escenario, se utilizó la herramienta Project Toolbox disponible en el software EMME ®, donde se dejó predeterminada una secuencia de procesos que culminan con la entrega de reportes de un escenario determinado. Esta herramienta en el proyecto lleva como nombre "Asignación TS".

PASO 0: Activar el escenario a modelar

PASO 1: RunMacro

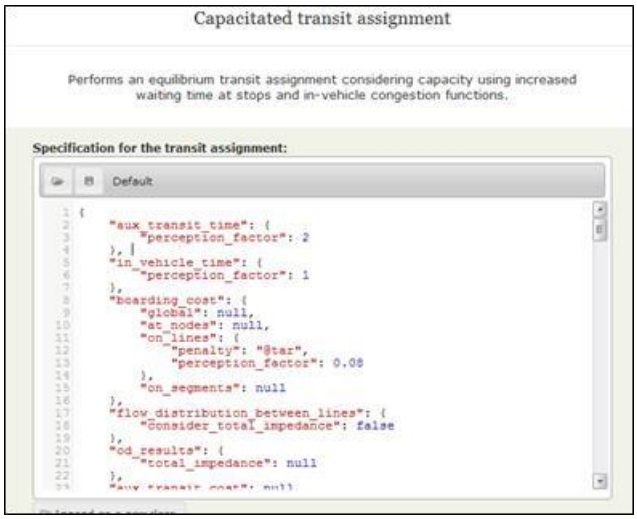
Esta macro inicializa parámetros us1, define que se utilice la frecuencia percibida, define las tarifas y penalidades de transferencia a utilizar en el escenario. Además define los parámetros por Unidad de Negocio necesarios para correr el Paso 3.

Para "llamar" a la macro creada, en el campo "Macro name" se debe dejar la ruta del archivo cuya extensión es .mac

PASO 2: CapacitatedTransitAsigment

En este paso el modelo corre la asignación con restricción de capacidad. Las especificaciones para la asignación de transito se ingresan de acuerdo a lo establecido en el apartado "4.9 Parámetros de Asignación", teniendo en consideración el lenguaje de codificación que EMME ® requiere, en la ventana habilitada para esto como se muestra a continuación.

Figura 16-2: Especificaciones de asignación de tránsito



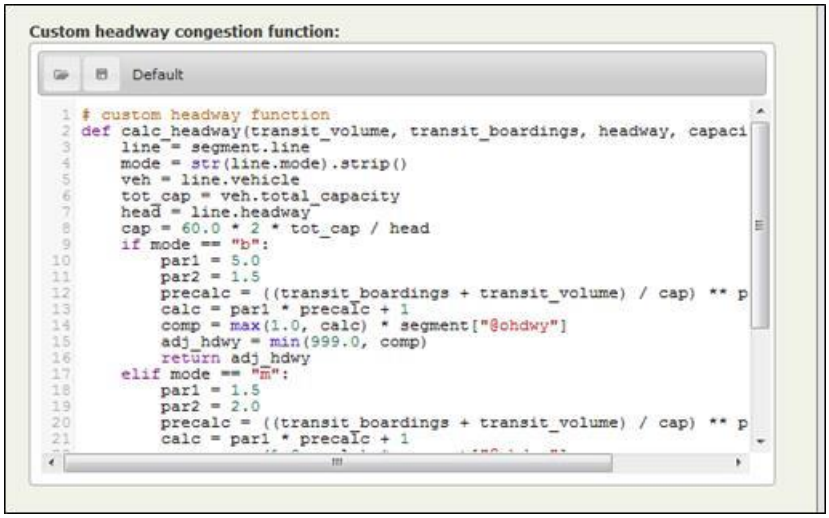
Fuente EMME ®. Elaboración Propia

Es aquí también donde se define la matriz de viajes a utilizar en el escenario respectivo, para esto se deben tener cargadas todas las matrices en el proyecto para que estén disponibles para su uso.

Posteriormente se define todo lo relacionado con las funciones de congestión, donde primero se define la función de congestión por segmento, sus factores y el atributo definido por el usuario que contenga esta información (us1,us2 o us3).

Finalmente se crea la función de congestión como se muestra a continuación.

Figura 16-3: Personalización de la función de congestión



Fuente EMME ®. Elaboración Propia

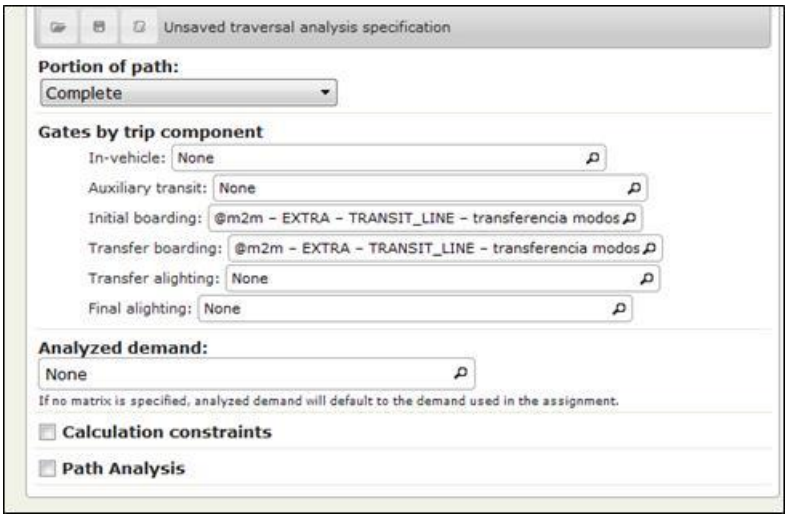
Por último se asignan los criterios para detener el proceso iterativo del modelo definidas por el usuario.

PASO3: TraversalTransitAnalysis

En este paso, el modelo realiza un análisis cruzado sobre las rutas extraídas desde las estrategias generadas por el paso 2. De manera sucinta, analiza una parte del viaje entre el inicio de este hasta el final.

Las especificaciones de este análisis se ingresan en la ventana que se muestra a continuación:

Figura 16-4: Especificaciones para traversal transit analysis

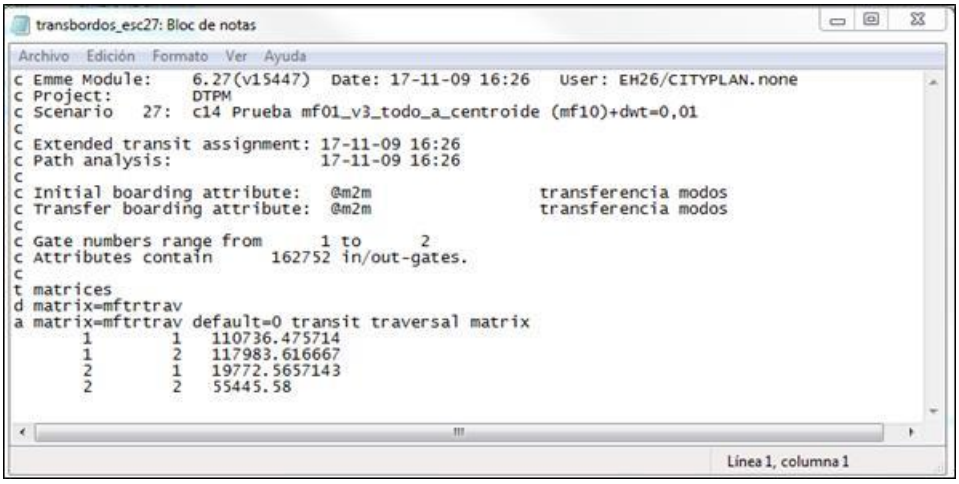


Fuente EMME ®. Elaboración Propia

En el caso del presente proyecto, se define la función @m2m para calcular los valores respectivos a la transferencia de modos.

Para finalizar, se asigna la ruta y nombre de archivo de salida del escenario corrido cuyo formato es .txt como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 16-5: Ejemplo de archivo de salida de transbordos



Fuente EMME ®. Elaboración Propia

PASO 4: TableReport

Como paso final, el modelo genera un reporte por cada combinación de la tabla(s) seleccionadas de trabajo y del (los) escenarios abiertos.

Para el presente proyecto se generaron 3 tipos de tablas, cuyos nombres son:

- "Asignacion_lines"
- "Asignacion_Links"
- "Asignacion_Segments

Como se muestra a continuación, estas deben estar seleccionadas para que se generen las tablas de resultados requeridos en la carpeta "logbook".

Figura 16-6: Selección de tabla(s) de archivos de salida



Fuente EMME ®. Elaboración Propia

De manera general entonces se tiene la secuencia de 4 toolbox, que tras personalizar cada una de acuerdo a los requerimientos del usuario, se pueden correr individualmente o de manera secuencial como se muestra a continuación:

Figura 16-7: Secuencia Asignación Project Toolbox



Fuente: Elaboración Propia

Asimismo se incorporó la secuencia que entrega información sobre transbordo entre servicios

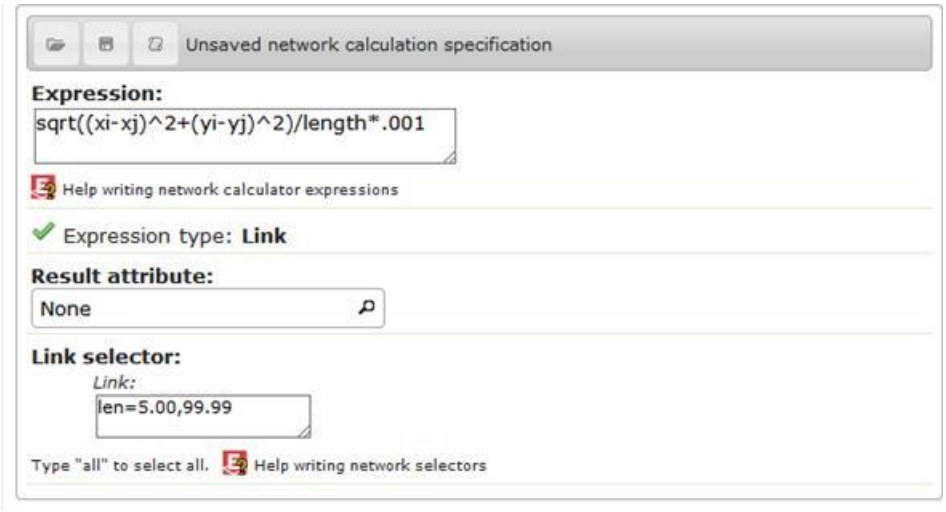
PASO 1: NetworkCalculation

Esta Toolbox entrega la capacidad de evaluar expresiones relacionando atributos de la network de la base de información por un subconjunto de elementos seleccionados. Otros procesos que se pueden realizar son:

- Guardar los resultados de un atributo
- Realizar reportes detallados que contengan valores de todos los atributos usados en la expresión seguido por un valor de resultado
- Realizar resúmenes de cálculos los cuales incluyen información tal como el número de elementos procesados, la suma de resultados, etc.

Como se puede ver en la siguiente imagen, se ingresa el cálculo que se quiere realizar en la pestaña "Expression" y se asigna el nombre del atributo resultante. Si se busca realizar un cálculo en específico sobre algún arco, se debe señalar en "link selector".

Figura 16-8: Ejemplo Network Calculation



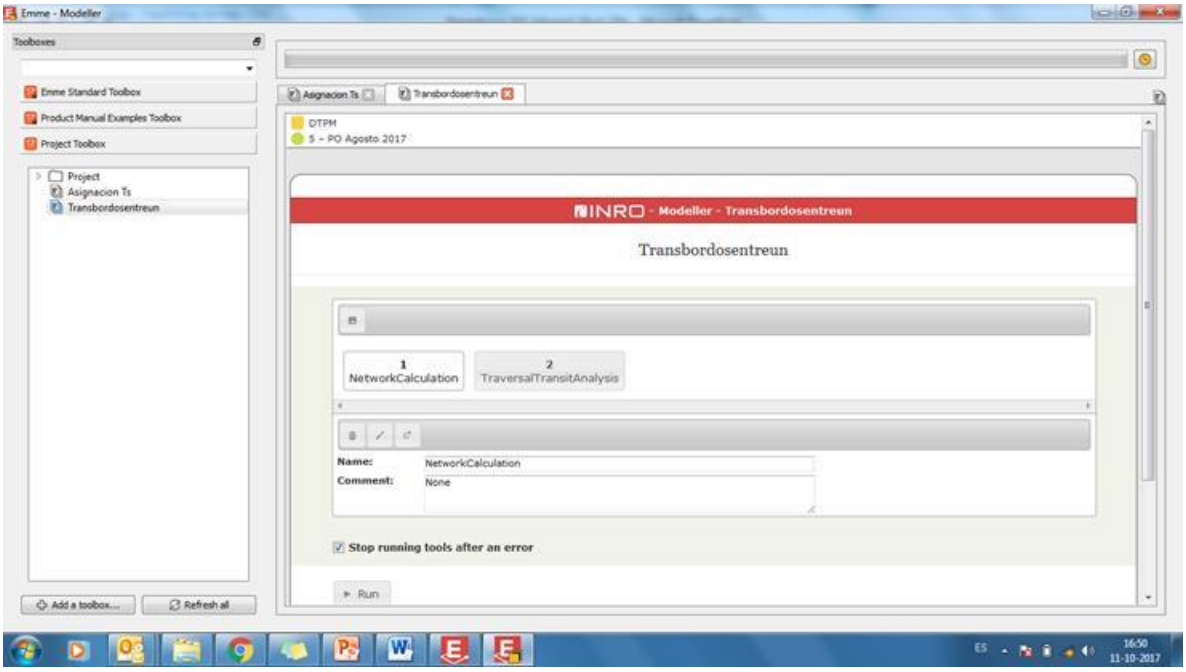
Fuente: Elaboración Propia

PASO 2 TraversalTransitAnalysis

Como se menciona anteriormente en el paso 3 de la secuencia de asignación, se realiza el "Traversal Transit Analysis" para realizar un análisis sobre las rutas extraídas desde las estrategias generadas. Esta Toolbox se añade a esta secuencia para poder analizar de mejor manera los resultados de los transbordos pero en este caso es entre servicios por unidad de negocio.

A continuación se muestra la imagen general de la secuencia de asignación de transbordos entre unidad de negocio.

Figura 16-9: Secuencia Asignación Transbordos entre UN, Project Toolbox



Fuente: Elaboración Propia

16.4 AUTOMATIZACION RESUMEN DE RESULTADOS

Este volumen de información generado por cada escenario del modelo se puede resumir en cuatro conceptos: líneas, arcos, segmentos y transbordos.

En el Anexo del capítulo se encuentra el archivo Excel que genera un Resumen de resultados a partir de las salidas de EMME ®.

16.4.1 Hojas con información previa

Se generan las siguientes hojas Excel que servirán luego para correr las macros que generan los resultados.

Diccionario_Servicios

Diccionario de Unidad de Negocio - Servicio Sentido. Se utiliza para obtener resultados resumen por unidad de negocio en los procesos 'Line', 'Segment', 'Transbordos' y 'Flota'.

Todos los servicios sentidos del modelo deben estar descritos en esta hoja (no genera error si hay servicios extras).

Diccionario de Linea-sentido de metro-segmento en Emme (diferenciado por expresos) y en Metro (toda la línea). Se utiliza para obtener resultados resumen de perfiles de metro a partir del archivo de salida "Segment" y mediciones de Metro.

1_carga_salidas_Emme: establece la ruta desde donde se leen los archivos de salida.

Carga PO veloc por Serv-Sent: se incorpora la información de velocidad por periodo y servicio sentido dispuesta en los Consolidados de PO vigente.

Carga PO dist por Serv-Sent: se incorpora la información de distancia por periodo y servicio sentido dispuesta en los Consolidados de PO vigente.

16.4.2 Líneas

El proceso genera como resumen un conjunto de indicadores por unidad de negocio y del sistema completo. Para ello requiere cargar el archivo de salida de líneas (lines) y con ello obtiene el dato desagregado de intervalo, longitud, tiempo de viaje, volumen de pasajeros y tasas de ocupación por servicio sentido. A partir de esta información genera el resultado resumen que describe cada unidad de negocio según su volumen, kilómetros comerciales y tasa de subidas por kilómetro. Además, en relación al sistema completo se describe el volumen de servicios de buses, el volumen de servicios de metro, el tiempo total de viaje en vehículo, la carga promedio del sistema, el número de servicios sentido de bus con sobrecarga y la participación de las líneas con sobrecarga.

16.4.3 Arcos

El proceso genera como resumen el tiempo total de caminata en horas. Para ello requiere cargar el archivo de salida de arcos (links) y con ello obtiene el dato desagregado de longitud de arco y volumen de pasajeros por arco. A partir de esta información genera el resultado resumen.

16.4.4 Segmentos

El proceso genera como resumen el valor del tiempo total esperado en horas. Para ello requiere cargar el archivo de salida de segmentos (segments) y con ello obtiene el dato desagregado de demanda y de intervalo por servicio sentido, a partir de los cuales genera el resultado resumen.

16.4.5 Transbordos

El proceso genera como resumen una matriz con transbordos entre unidades de negocio. Para ello requiere cargar los archivos de salida de líneas y de transbordos y con ello obtiene el dato desagregado de transbordos entre servicios-sentido, los cuales resume en una **matriz de transbordos entre unidades de negocio, según lo solicitado por bases de licitación.**

16.4.6 Flota

El proceso genera como resumen la suma de flotas por unidad de negocio. Para ello requiere cargar los archivos de salida de segmentos (tiempo, costo, intervalo y unidad de negocio) y con ello obtiene el dato de flota por servicios-sentido, los cuales resume en la suma de flotas por unidad de negocio.

16.4.7 Perfiles de Metro

Se obtiene una tabla con los pasajeros por cada línea segmento definido en Emme y una tabla resumen de comparación de volumen de pasajeros por cada línea-segmento definido por Metro (es una agregación de las líneas-segmentos definidas en Emme)

16.4.8 Tiempo de viaje por servicio sentido

Se comparar las diferencias de tiempo de viaje por servicio sentido en el escenario versus el PO.

17CAPACITACIÓN

El **Plan de Capacitación** ofertado en la propuesta técnica, consideraba 4 sesiones con los siguientes contenidos:

1. ***Introducción a los Modelos de Transporte***

Este seminario comenzará con una introducción teórica sobre los modelos de transporte, cómo se representan, las consideraciones más importantes que debe tener un modelo y cuáles son los resultados principales de una asignación de un modelo de transporte público.

Se entregará una descripción general de los módulos que componen EMME y de las distintas capacidades de estos. Este seminario tiene como principal objetivo contextualizar a los participantes de las capacidades que tiene la herramienta utilizada y de los elementos básicos que componen un modelo de transporte urbano.

Se espera recoger de este seminario las principales inquietudes y necesidades de los participantes con respecto al modelo y al software EMME, de manera de realizar los ajustes necesarios al Plan de Capacitación.

Se propone realizar al menos 2 jornadas de 7 horas en los que se revisarán los temas descritos, antes de iniciar las capacitaciones relacionadas con el manejo de las herramientas de EMME.

2. ***Codificación en EMME***

En este seminario se mostrará en detalle las herramientas disponibles en EMME en cada uno de los principales módulos que se utilizan para la modelación de transporte público. Se enseñará a cómo ingresar los distintos elementos de la red de modelación la interfaz gráfica del software.

Se propone realizar 1 jornada de capacitación de 7 horas para abordar estos temas.

3. ***Datos de Entrada al Modelo EMME***

En esta jornada de capacitación, se mostrará cómo se debe realizar la transferencia de información entre EMME y Transcad. También se mostrará cómo realizar modificaciones de los distintos elementos que componen la red de modelación, a partir de archivos que permiten realizar modificaciones masivas en el modelo.

Lo anterior será reforzado a través de ejercicios en los que se deben realizar modificaciones al modelo de distintos elementos de este.

Se propone realizar 2 jornadas de capacitación de 7 horas, de manera que los participantes puedan realizar modificaciones de todos los elementos que considera el modelo calibrado.

4. Simulación del Modelo EMME

Luego, se dispondrá el modelo calibrado a los participantes y se les detallará los distintos elementos que fueron necesarios incorporar en el modelo para caracterizar el periodo Punta Mañana, con sus respectivas fuentes.

El objetivo final de este seminario es que los participantes logren replicar los resultados del modelo calibrado, comparando con los principales resultados de la asignación.

Se considera 1 jornada de capacitación de 7 horas para abordar la asignación del modelo calibrado.

5. Lectura, Visualización de Resultados y Archivos Exportables

Una vez que los participantes sean capaces de realizar el proceso de asignación del modelo calibrado, replicando los resultados entregados por el consultor, se analizarán en detalle todos los resultados generados y que son requeridos en las presentes bases como resultados de la modelación. Es importante mencionar que EMME genera una serie de resultados adicionales a los requeridos por el mandante, los que también serán revisados aunque con un menor nivel de detalle.

Finalmente, se revisará la transferencia de resultados a distintos formatos, aunque en las últimas versiones de EMME, la mayoría de los resultados es posible crearlos directamente en Excel, por ejemplo.

Estos temas serán abordados en 2 jornadas de capacitación de 7 horas cada una.

6. Taller Práctico

Se preparará un ejercicio en donde los profesionales deban desarrollar un escenario de modelación desde el inicio hasta el fin, utilizando todas las herramientas desarrolladas en el contexto del estudio.

Este Taller será abordado en 2 jornadas de capacitación de 7 horas cada una.

*En cada jornada de capacitación se entregará la **documentación** necesaria para que los participantes puedan consultar posteriormente si así lo requieren. Esta documentación será generada particularmente para el mandante de acuerdo a las necesidades y requerimientos del modelo calibrado desarrollado en el estudio.*

Las sesiones de capacitación se realizarán en dependencias del consultor y serán para 3 profesionales que la Contraparte designe.

Asimismo, el equipo consultor estará disponible para atender consultas propias de la implantación de los procesos al interior de la DTPM.

De acuerdo a lo conversado en la Reunión de Coordinación N°10, sostenida el 20 de Diciembre de 2017, como parte de la capacitación solicitada en las Bases de Licitación y ofertada por Cityplanning, se coordinó un curso formal de EMME® impartido directamente

por su proveedor INRO, realizado desde el 22 al 25 de enero de 2018 de 9:00 a 17:00 horas en Salones de Capacitación, contratados para este efecto.

Buscando siempre mantener el volumen de horas-capacitado ofertado, se consideró un cupo adicional para la contraparte técnica (en total 4) y se gestionó que el curso se imparta en idioma español con material en inglés.

La distribución de contenido fue la siguiente:

- EMME basics (1 día)
- Network editor and calculators (1 día)
- Traffic assignment and analysis (1 día)
- Transit assignment and analysis (1 día)

Figura 17-1: Imágenes Capacitación INRO



Fuente: Elaboración Propia

El curso contó con una parte teórica y una práctica en cada Módulo impatido. INRO dispuso de llaves para hacer los ejercicios, entregó un libro con un compendio de las presentaciones y un tutorial de los ejercicios posible de ser instalado y replicado por el estudiante. Al final del curso, se procedió a entregar un Certificado de asistencia a cada participante.

Para dar cumplimiento a los contenidos ofrecidos en la propuesta técnica, durante el mes de mayo, Cityplanning impartió un segunda curso complementario práctico donde se trataron aspectos directamente relacionados al uso del modelo de asignación calibrado, las aplicaciones desarrolladas para procesamiento y el análisis de resultados; además de casos de análisis con situaciones potencialmente reales. Los detalles de esta segunda ronda de sesiones se describen a continuación:

- Duración: 3 medios jornadas
- Lugar: Oficinas Cityplanning
- Temario por día:
    - Día 1
    - Presentación Modelo de Asignación DTPM
    - Día 2
    - Asignación modelo de demanda DTPM
    - Análisis de resultados
    - Día 3

- Modificación de itinerarios
- Modificación de red de modelación
- Modificación de variables operacionales
- Revisión de escenarios ficticios
- Consultas específicas

En Anexo 17 del capítulo se encuentra el material de apoyo utilizado en la capacitación 2.

18 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo del presente servicio fue realizar un mejoramiento y actualización del Modelo de asignación de viajes de transporte público desarrollado en plataforma EMME®, para así, apoyar a la autoridad en la toma de decisiones estratégicas asociadas a la definición y ajuste de los planes operacionales que se deben evaluar y sancionar en la DTPM.

Consistente con lo anterior, se propuso y desarrolló un conjunto de tareas que permitieran cumplir con el objetivo planteado por DTPM. En concreto, se desarrolló una zonificación del área de estudio, se seleccionó una hora de modelación para cada periodo y se estimaron matrices a partir de data pasiva e información complementaria, todo ello de manera funcional al objetivo de modelar la hora más cargada del sistema en Punta Mañana, lo cual fue ampliado al periodo Fuera de Punta Mañana según lo propuesto por CityPlanning en su Oferta Técnica.

Con lo anterior, se construyeron y calibraron los modelos de asignación de viajes del sistema de transporte público de buses, Metro y Metrotren para la ciudad de Santiago, para los periodos Punta Mañana y Fuera de Punta Mañana, a Mayo 2017.

Posteriormente, los modelos desarrollados fueron actualizados a Julio de 2018 y se evaluaron un conjunto de escenarios de modelación, entre ellos la incorporación de las nuevas líneas de Metro proyectadas, cambios de la malla de recorridos de buses y sensibilidades de tarifa.

De manera complementaria, se generaron procesos de automatización para trabajar de mejor manera con los escenarios futuros que DTPM desee evaluar, y se realizaron capacitaciones tendientes a ampliar el conocimiento de la herramienta en la contraparte.

A modo de resumen, se presenta un cuadro con los principales resultados de las modelaciones desarrolladas para Mayo 2017 y Julio 2018.

Tabla 18-1: Resultados Globales Punta Mañana

Ítem	Etapas Matriz a priori	Escenario Base_May17	Escenario Base_Jul18
Etapas Buses	398.481	493.947	482.515
Etapas Metro	275.993	249.971	261.005
Etapas Metro (con transbordo Metro Metro)	-	349.786	366.147
Total Etapas (sin transbordo Metro Metro)	674.474	750.387	750.234
Matriz de viajes	460.149	494.730	494.730
Etapas de viaje por Bip	1,48	1,52	1,52
Etapas caminando	0	152	410

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Tabla 18-2: Resultados Globales Fuera de Punta

Ítem	Etapas Matriz a priori	Escenario Mayo17	Escenario Base Jul18
Etapas Buses	167,280	267,200	252,990
Etapas Metro	112,824	96,641	114,597
Etapas Metro (con transbordo Metro Metro)	S/I	131,539	160,767
Total Etapas (sin transbordo Metro Metro)	281,764	365,820	370,727
Matriz de viajes	210,150	226,263	226,263
Etapas Bip por viaje	1.34	1.71	1.73
Etapas caminando	0	10,969	11,383

Fuente: Proyecto DTPM EMME ®

Este tipo de modelo de asignación de demanda de transporte público, permite identificar y cuantificar cambios en la distribución de demanda a nivel de servicio, parada y/o zona, producto de alteraciones en las condiciones de la oferta del sistema y así evaluar su impacto, en los usuarios y operadores. Mediante la modelación es posible determinar los niveles de demanda, tiempos de viaje e indicadores de comportamiento del sistema como son los transbordos entre líneas, número de etapas por viaje, etapas asignadas a cada modo, viajes que no utilizan servicios de buses y/o metro, entre otros. Todo lo anterior se realiza, con procedimientos sencillos y de fácil acceso, que fueron automatizados para su rápida ejecución.

Si bien los modelos construidos permiten la consulta de resultados con un alto nivel de detalle, se recomienda privilegiar el análisis de las variaciones porcentuales de los cambios registrados en una evaluación respecto a un escenario base, por sobre las variaciones a nivel de valores absolutos. Lo anterior, considerando que la demanda no es fija a lo largo de un año, aun cuando su estructura lo sea, y debido a que el enfoque estático de los modelos de asignación no asegura recoger adecuadamente las cargas en todos los servicios, para aquellos periodos donde existe remanente de demanda de un periodo anterior.

La caracterización de la red de modelación en ambos periodos de análisis, permite una asociación directa con los ejes y paradas que conforman el sistema de transporte público actual de la ciudad, además de permitir la extensión y/o modificación de la cobertura del sistema, ya que cuenta también con la vialidad principal de la ciudad. Producto de lo anterior, estos modelos permiten realizar de manera rápida y simple modificaciones en alguna de las características operacionales del sistema, como cambio de itinerarios, oferta, velocidades, tarifa, para evaluar su impacto en el sistema, tanto para los usuarios como para los operadores.

En consecuencia, el uso de esta herramienta en el proceso de decisiones de la autoridad es fundamental para orientar adecuadamente los recursos tanto en el proceso de mejoramiento de la malla de servicios desarrollado en los Programas de Operación, como en procesos de más largo aliento como lo son, las modificaciones necesarias producto de la entrada en operación de nuevas líneas de Metro. El nivel de detalle con el que fueron construidos los

modelos permite que sean capaces de responder frente a pequeños cambios operacionales (alta sensibilidad), dimensionando su impacto a nivel táctico, así como también ante cambios importantes de la oferta, como lo es la incorporación de nuevos servicios al sistema.

Si bien el objetivo principal de este estudio fue actualizar el modelo de asignación de viajes del sistema Transantiago, para ello se debieron desarrollaron valiosas e innovadoras metodologías. Se destacan entre ellas:

- Se desarrolló una metodología de zonificación, que permite segmentar el área de estudio considerando el comportamiento de los usuarios del sistema y la información de uso de suelo. Se obtuvo una zonificación que es un subconjunto de la zonificación previamente utilizada por DTPM, elaborando un polígono adhoc para agregación de información espacial. La zonificación resultante cuenta con 2.493 zonas. Además, se desarrolló un proceso que permitió asignar la demanda a nivel de paraderos a las zonas de manera distribuida.

- Se estableció una metodología para la incorporación de la evasión en la tabla de viajes obtenida por ADATRAP, lo que permitirá la actualización de la matriz de viajes con evasión, cuando se registren cambios significativos en la tabla de viajes, o bien, cuando se cuente con información actualizada de evasión.

- Se estableció una forma de construir la demanda que considera la hora más cargada para la punta mañana por zona, que pretende aproximarse al problema de la diferente temporalidad de las puntas en diferentes zonas de la ciudad, entendiendo que este problema en realidad es intrínseco a un sistema de esta dimensión en un enfoque estático de modelación.

Respecto al modelo de asignación de demanda utilizado en ambos periodos, destaca el hecho de que corresponde a una asignación con restricción de capacidad, esto quiere decir, que la selección de estrategias de viaje de los usuarios, no solo considera los tiempos de viaje, sino que también la aglomeración de todas las líneas disponibles que permiten completar el viaje y el aumento del tiempo de espera en parada, producto de la capacidad disponible en los servicios. Esto, en un sistema de transporte público con altos niveles de congestión como el de Santiago, es fundamental para la correcta representación de la afluencia a nivel de línea, unidad de negocio y modo de transporte, como ha sido mostrado en los resultados obtenidos y validado con datos observados.

Por su parte, el proceso de calibración resultó exitoso, con altos niveles de ajuste, no sólo en los flujos de pasajeros de buses utilizados en el proceso de asignación, sino también en la afluencia de pasajeros por estación de Metro, utilizados para la validación del proceso. Lo anterior fue posible por la experiencia de CityPlanning en otros procesos de calibración realizados en modelo de demanda de distintas ciudades, y el contacto permanente entre los desarrolladores del software EMME®, quienes durante el desarrollo del estudio dispusieron, previo a la incorporación oficial en el software, la herramienta de ajuste de matriz que utiliza asignación con restricción de capacidad en las iteraciones. **Lo anterior, permitió mejorar significativamente los niveles de ajuste obtenidos respecto a la versión que no consideraba restricción de capacidad**.

Una consideración importante del modelo, es que si bien la demanda que evade está incluida en la matriz de demanda a priori y, por lo tanto, en la matriz ajustada para ambos periodos modelados, el modelo no reproduce cabalmente el comportamiento de los usuarios que evaden en el sistema ya sea en una o todas las etapas del viaje. Esta aseveración se basa en dos elementos:

- Es necesario re-evaluar la metodología de estimación de evasión ampliando su alcance y diseñando una corrección de este proceso que combine la corrección de las etapas de acceso y egreso al modo Metro, producto de las distorsiones observadas en el egreso de algunas estaciones, toda vez que la corrección sólo se desarrolló para el acceso.

- En la calibración de parámetros se utilizó una única estructura tarifaria, considerando la tarifa real del sistema, con un único tipo de usuario y por lo tanto, un único valor del tiempo y de penalidades. Así, en los modelos calibrados, se considera que los usuarios que pagan y los evasores enfrentan las mismas tarifas y emplean el mismo comportamiento al definir su estrategia de viaje, **lo que presenta un importante espacio de mejora a los modelos desarrollados, orientando los futuros posibles desarrollos a aplicar un enfoque multiusuario para la modelación, que permita también modelar adecuadamente a los usuarios escolares**.

Se debe tener presente que los resultados de los modelos de asignación pueden ser proyectados o bien, es posible evaluar cambios proyectados, siempre que dichas proyecciones no estén asociados a cambios en la estructura o dimensión de la demanda del sistema, por lo que dependiendo de la naturaleza de la iniciativa analizada puede que el modelo no responda adecuadamente, por ejemplo cuando un proyecto induce demanda (a matriz) desde modos que no están incorporados en el sistema.

Considerando los resultados y conocimientos obtenidos en el presente estudio, tanto de la caracterización de la demanda del sistema de transporte público (buses, metro y metrotren) de Santiago, como de su comportamiento, es que CityPlanning propone líneas futuras de mejora para complementar la caracterización que entregan los modelos de Punta Mañana y Fuera de Punta del sistema de transporte público de Santiago. Entre ellas destacan:

- Construcción y calibración de un Modelo de Demanda del periodo Punta Tarde, que apoye y complemente la evaluación de iniciativas de mejora del sistema.

- Caracterización de distintos tipos usuarios del sistema (usuarios pagos, evasores, estudiantes) tanto en la modelación como en la estimación de la demanda.

- Incorporación de funciones flujo-demora para caracterizar las velocidades del transporte público en función del flujo vehicular y de esta manera obtener cambios en la demanda producto del deterioro de los niveles generales de servicios del sistema.

- Incorporar modos complementarios al sistema de transporte público de la ciudad (colectivos, taxi, auto, bicicleta, buses rurales), ampliando con ello, su capacidad de

predicción, integración de modos y zonas aledañas potenciales a ser integradas al sistema.

La adopción de las recomendaciones anteriores permitirá, en el futuro y con la experiencia de uso de los Modelos, evolucionar desde este enfoque estático a un enfoque dinámico de modelación, cuestión que resolvería de mejor manera la modelación de la diferente temporalidad de los periodos puntas en diferentes zonas de la ciudad, así como también permitiría una mejor aproximación a la estimación de perfiles de carga por servicio en aquellos periodos donde existe remante de demanda de periodos anteriores.