



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ANÁLISIS DE IMPACTO DE EVENTOS OPERACIONALES EN LÍNEAS DE METRO
S.A. Y PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

ALONSO IGNACIO OLATE ARAYA

**PROFESOR GUIA:
JOSÉ MOSQUERA CÁDIZ**

**PROFESORES DE LA COMISIÓN:
RICARDO SAN MARTÍN ZURITA
FRANCISCO TUBINO CORTÉS**

**SANTIAGO DE CHILE
ENERO 2011**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
POR: ALONSO OLATE ARAYA
FECHA: 25/01/11
PROF. GUIA: SR. JOSÉ MOSQUERA

ANÁLISIS DE IMPACTO DE EVENTOS OPERACIONALES EN LÍNEAS DE METRO S.A. Y PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS

Metro de Santiago es el más importante medio de transporte público en la ciudad, transportando a 2.300.000 pasajeros diarios. Un evento operacional se define como cualquier imprevisto que interrumpa la operación diaria de transporte público, como averías o emergencias de usuarios y empleados. Sólo durante las horas punta de operación, los eventos generan pérdidas de frecuencia de trenes, con costos privados promedio por hora reloj entre MM\$1,065 y MM\$1,350 en línea 1, y entre MM\$0,202 y MM\$0,585 en línea 4. La problemática actual radica en que no existe una asociación clara entre la ocurrencia de estos eventos y sus efectos en la variación de la oferta programada de trenes. Por consiguiente, no hay claridad sobre cuáles tipos de eventos generar medidas preventivas.

El objetivo de esta memoria es medir el impacto en términos de atraso y variación de la oferta que ocasionan los distintos eventos operacionales en la operación diaria de Metro. Se busca generar medidas y procedimientos preventivos. Este estudio se aplica en los horarios punta de operación, para las líneas 1 y 4 del Metro. La metodología usada fue primero categorizar los eventos operacionales relevantes, segundo asociar su ocurrencia a caídas de frecuencia de trenes mediante modelos econométricos logit multinomiales, tercero medir sus costos sociales y privados, y cuarto generar medidas de reacción ante los eventos más importantes.

Los eventos operacionales se agrupan en 16 categorías, de las cuáles el análisis arroja que solo 7 de estas explican sobre el 80% de los atrasos históricos registrados desde Enero 2009 hasta Julio 2010. De los modelos econométricos, los resultados revelan como principales causantes de las caídas de frecuencia a atrapamientos de clientes en puertas de los trenes, accidentes en vagones y en andenes, y averías en los sistemas de puertas de los trenes. Además, se observa que línea 4 en su horario punta tarde no posee caídas de frecuencia relevantes debido a eventos.

Se observa que en promedio en cada horario punta, entre un 52,11% y un 62,69% de los pasajeros en las direcciones de viaje más cargadas son afectadas por algún evento operacional. Estos pasajeros retrasan su viaje cuando ocurren eventos entre un 6,03% y un 12,38% del tiempo que usualmente tardarían. Se calcula además que la operación es más costosa en la mañana que en la tarde en ambas líneas.

Se proponen medidas como la instalación de puertas especiales en andenes (VAN de MM\$ -375,782 a 10 años), implementación de botones de emergencia en trenes de línea 1 (VAN de MM\$ 23,474 a 5 años), o redistribución y contratación de personal de apoyo en andenes (beneficios mensuales de hasta \$80.000 por estación). Salvo las puertas en andén, estas medidas son rentables privada y socialmente, recuperando trenes perdidos de frecuencia, ahorrando tiempos de viaje, y mejorando la imagen que Metro entrega a sus usuarios. Se propone también modificaciones a las políticas de mantenimiento, enfocadas a la disminución de costos operativos, cuyo estudio de rentabilidad queda abierto a futuras investigaciones de carácter más técnico.

AGRADECIMIENTOS

Con esta memoria se acaba un enorme proceso de aprendizaje y crecimiento. No puedo sino agradecer a todas las personas que de alguna forma se involucraron en esta memoria e hicieron posible que se esté cerrando este ciclo.

Me gustaría agradecer a mis profesores guía José Mosquera y Ricardo San Martín quienes guiaron el proceso que hizo posible generar este documento. José jugó un papel fundamental ayudándome a sortear los callejones sin salida que muchas veces una memoria puede presentar a un alumno. Ricardo siempre estuvo presente dando una palabra de apoyo, contestando dudas y compartiendo su experiencia en el desarrollo de esta memoria.

Nada de esto habría sido posible sin la oportunidad brindada por Metro de Santiago. Agradezco toda la disposición, la alegría y la ayuda otorgada por todas las personas que trabajan en Metro. En especial, agradezco a Gabriel Nilsson y a Meisy Ortega por su constante apoyo en la memoria. Gracias por la disposición, el tiempo, las reuniones y por guiarme en los momentos difíciles de abordar.

Gracias a mi familia y en especial a mis padres por darme la oportunidad de estudiar una gran carrera en una de las mejores universidades de Chile. Gracias no solo por eso, sino también por permitir que conociera la experiencia en el extranjero y que estudiase un semestre en la Universidad Tecnológica del Rey, en Estocolmo, Suecia. Mis cariños y gratitudes van hacia ellos por siempre creer en mí.

Agradecer a todo el equipo de la Universidad San Sebastián, quiénes me dieron la oportunidad de aprender, disfrutar y crecer junto con ellos. Gracias por los espacios brindados, la calidez y la amistad formada. Mi gratitud a Javier Pumarino, Fernanda Aguirre, Paula Latorre y Eduardo Olguín.

Agradezco a mis compañeros, amigos y colegas que me ayudaron no sólo a lo largo de esta memoria sino que a lo largo de toda la carrera. Agradecimientos especiales a Álvaro Echeverría por su apoyo en la comprensión y aplicación de modelos matemáticos y a Nicolás Cisternas por sus aportes relacionados a la ingeniería de transportes. No dejo de lado a mis amigos que me han acompañado incluso antes de entrar a la universidad. A los ignacianos Ismael Aguilera y José Quiroz. Agradezco a quienes han sido mis amigos desde el inicio de mis primeros pasos en ingeniería. A David Rosales, Rodrigo Martínez, Werner Lange, Sebastián Pizarro, Juan Muñoz, Ignacio Escobar y Juan Cuevas. En especial a mis grandes amigos Marcela Huerta y Miguel Pavez, quienes siempre han estado ahí cuando los he necesitado. También a quienes conocí en Suecia y estreché importantes lazos, a Esther Moreno y Aurélie Rose. Finalmente, agradecer a la comunidad de industrias y a las grandes personas que conocí ahí. Mis dedicatorias para Pedro Inostroza, Javier Zapata, Sebastián Águila, Patricia Rojas, Francisco Vargas, Soledad Torres, Clemente Martínez, Rossy Alegría, y al gran Nicolás Velásquez.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DIARIA DE METRO	1
1.2 PUESTO DE COMANDO CENTRALIZADO	2
1.3 INGRESO Y REGISTRO DE EVENTOS OPERACIONALES.....	3
2. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO	3
2.1 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
2.2 OBJETIVOS.....	4
2.2.1 <i>Objetivo General</i>	4
2.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
2.3 METODOLOGÍA	4
2.3.1 <i>Limpieza y Filtro de Eventos Operacionales relevantes para el estudio</i>	5
2.3.2 <i>Categorización de Eventos Operacionales</i>	5
2.3.3 <i>Modelamiento Explicativo de la Caída de Oferta en Función de la Ocurrencia de Eventos Operacionales</i>	5
2.3.4 <i>Medición de Costos Sociales y Privados asociados a Eventos Operacionales</i>	6
2.3.5 <i>Diseño de Medidas</i>	6
2.4 ALCANCES	6
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1 ALGORITMOS DE CLASIFICACIÓN DE TEXTO.....	7
3.2 MODELOS DE REGRESIÓN DE DATOS.....	9
3.2.1 <i>Regresión Lineal con Mínimos Cuadrados Ordinarios</i>	9
3.2.2 <i>Regresión Logit Multinomial</i>	10
3.3 MEDICIÓN DEL COSTO DE LOS USUARIOS	13
3.4 DISEÑO DE MEDIDAS DE SEGURIDAD	14
4. DESARROLLO DEL ESTUDIO	15
4.1 CATEGORIZACIÓN DE EVENTOS OPERACIONALES.....	15
4.1.1 <i>Registros en Sistema GEOS</i>	15
4.1.2 <i>Subdivisión de Incidentes</i>	16
4.1.3 <i>Análisis sobre las categorías</i>	18
4.2 IMPACTO DE EVENTOS OPERACIONALES SOBRE LA OFERTA PROGRAMADA	26
4.2.1 <i>Construcción de las variables</i>	27
4.2.2 <i>Medición de Impacto a través de Regresiones Lineales</i>	30
4.2.3 <i>Medición de Impacto a través de Regresiones Logit Multinomiales</i>	31
4.3 DEPENDENCIA DE INCIDENTES SOBRE EVENTOS.....	45
4.3.1 <i>Dependencia de Incidentes en Línea 1</i>	46
4.3.2 <i>Dependencia de Incidentes en Línea 4</i>	49
4.4 MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE COSTOS	51
4.4.1 <i>Análisis de Costos Privados</i>	51
4.4.2 <i>Análisis de Costos Sociales</i>	54
4.5 MEDIDAS PREVENTIVAS ANTE EVENTOS OPERACIONALES	64
4.5.1 <i>Medidas ante Incidentes</i>	65
4.5.2 <i>Políticas de Mantenimiento</i>	82
5. CONCLUSIONES	92
5.1 CONCLUSIONES GENERALES.....	92

5.2 SOBRE LOS MODELOS UTILIZADOS	92
5.3 SOBRE LOS RESULTADOS ARROJADOS POR LOS MODELOS	93
5.4 SOBRE LOS COSTOS OBTENIDOS	94
5.5 SOBRE LAS MEDIDAS PROPUESTAS	94
6. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN	96
ANEXOS	98
ANEXO A: GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	98
ANEXO B: PORCENTAJES EN TIEMPOS DE ATRASO POR LÍNEA Y HORARIO	100
ANEXO C: GRÁFICOS DE OCURRENCIAS DE EVENTOS PROMEDIO POR RANGOS DE INCUMPLIMIENTO	102
ANEXO D: VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN MODELOS LOGIT MULTINOMIALES	108
ANEXO E: SALIDAS DE SPSS MODELOS LOGIT MULTINOMIALES	110
<i>E.1 Modelo Logit Multinomial L1 PAM V1</i>	<i>110</i>
<i>E.2 Modelo Logit Multinomial L1 PAM V2</i>	<i>113</i>
<i>E.3 Modelo Logit Multinomial L1 PPM V1</i>	<i>117</i>
<i>E.4 Modelo Logit Multinomial L1 PPM V2</i>	<i>122</i>
<i>E.5 Modelo Logit Multinomial L4 PAM V1</i>	<i>124</i>
<i>E.6 Modelo Logit Multinomial L4 PAM V2</i>	<i>127</i>
<i>E.7 Modelo Logit Multinomial L4 PPM V1</i>	<i>130</i>
<i>E.8 Modelo Logit Multinomial L4 PPM V2</i>	<i>131</i>

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: EJEMPLO DE CLASIFICACIÓN EN CATEGORÍAS DE ACUERDO A PALABRAS.....	18
TABLA 2: COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN PARA REGRESIONES LINEALES SOBRE EL PORCENTAJE DE CAÍDA DE FRECUENCIA.....	31
TABLA 3: COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN PARA REGRESIONES LINEALES SOBRE LA RAÍZ DEL PORCENTAJE DE CAÍDA DE FRECUENCIA.....	31
TABLA 4: AJUSTE DE LOS MODELOS LOGIT MULTINOMIALES	35
TABLA 5: VARIABLES DE VÍA 1 A UTILIZAR EN MODELO L1 PAM V1.....	36
TABLA 6: VARIABLES DE VÍA 2 A UTILIZAR EN MODELO L1 PAM V1.....	37
TABLA 7: VARIABLES DE VÍA 1 A UTILIZAR EN MODELO L1 PPM V2.....	39
TABLA 8: VARIABLES DE VÍA 2 A UTILIZAR EN MODELO L1 PPM V2.....	39
TABLA 9: VARIABLES DE VÍA 1 A UTILIZAR EN MODELO L4 PAM V1.....	40
TABLA 10: VARIABLES DE VÍA 2 A UTILIZAR EN MODELO L4 PAM V1	41
TABLA 11: VARIABLES DE VÍA 1 A UTILIZAR EN MODELO L4 PAM V2	41
TABLA 12: VARIABLES DE VÍA 2 A UTILIZAR EN MODELO L4 PAM V2	42
TABLA 13: VARIABLES DE VÍA 1 A UTILIZAR EN MODELO L4 PPM V1	43
TABLA 14: VARIABLES DE VÍA 2 A UTILIZAR EN MODELO L4 PPM V1	43
TABLA 15: VARIABLES DE VÍA 1 A UTILIZAR EN MODELO L4 PPM V2	44
TABLA 16: VARIABLES DE VÍA 2 A UTILIZAR EN MODELO L4 PPM V2	44
TABLA 17: RESUMEN DE EVENTOS RELEVANTES.....	45
TABLA 18: COSTO PRIVADO POR CAÍDA DE FRECUENCIA L1 (\$CLP).....	52
TABLA 19: COSTO PRIVADO POR CAÍDA DE FRECUENCIA L4 (\$CLP).....	53
TABLA 20: CAPACIDAD PROMEDIO Y COSTO POR TREN PERDIDO L1.....	53
TABLA 21: CUMPLIMIENTO DE FRECUENCIA PROMEDIO L1	53
TABLA 22: CUMPLIMIENTO DE FRECUENCIA PROMEDIO L4.....	53
TABLA 23: COSTO SOCIAL L1 PAM V1.....	57
TABLA 24: COSTO SOCIAL L1 PAM V2.....	57
TABLA 25: COSTO SOCIAL POR TIPO DE EVENTO L1 PAM.....	58
TABLA 26: TIEMPO DE VIAJE PROMEDIO DEL CLIENTE VS CPPA L1 PAM	58
TABLA 27: COSTO SOCIAL L1 PPM V1.....	59
TABLA 28: COSTO SOCIAL L1 PPM V2.....	59
TABLA 29: COSTO SOCIAL POR TIPO DE EVENTO L1 PPM.....	60
TABLA 30: TIEMPO DE VIAJE PROMEDIO DEL CLIENTE VS CPPA L1 PPM	60
TABLA 31: COSTO SOCIAL L4 PAM V1.....	61
TABLA 32: COSTO SOCIAL L4 PAM V2.....	61
TABLA 33: COSTO SOCIAL POR TIPO DE EVENTO L4 PAM.....	62
TABLA 34: TIEMPO DE VIAJE PROMEDIO DEL CLIENTE VS CPPA L4 PAM	62
TABLA 35: COSTO SOCIAL L4 PPM V1.....	63

TABLA 36: COSTO SOCIAL L4 PPM V2.....	63
TABLA 37: COSTO SOCIAL POR TIPO DE EVENTO L4 PPM.....	64
TABLA 38: TIEMPO DE VIAJE PROMEDIO DEL CLIENTE VS CPPA L4 PPM	64
TABLA 39: EVALUACIÓN SOCIAL INSTALACIÓN PUERTAS DE ANDÉN (\$CLP)	69
TABLA 40: VAN SOCIAL AL 6% (\$CLP) EN PUERTAS DE ANDÉN	69
TABLA 41: BENEFICIOS Y COSTOS ASOCIADOS A LA INSTALACIÓN DE BOTONES DE EMERGENCIA (CLP).....	72
TABLA 42: VAN SOCIAL AL 6% (\$CLP) EN BOTONES DE EMERGENCIA	72
TABLA 43: COSTO SOCIAL DE INCIDENTES POR ESTACIÓN L1 PAM.....	76
TABLA 44: COSTO SOCIAL DE INCIDENTES POR ESTACIÓN L1 PPM.....	77
TABLA 45: COSTO SOCIAL DE INCIDENTES POR ESTACIÓN L4 PAM.....	78
TABLA 46: SEGUIMIENTO DE INSPECCIONES, CATASTROS, MODIFICACIONES Y PROYECTOS EN SISTEMAS DE PUERTAS	87

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: DISTRIBUCIÓN χ^2	12
FIGURA 2: FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE EVENTOS EN TODA LA MUESTRA	19
FIGURA 3: ATRASO PROMEDIO POR TIPO DE EVENTO EN TODA LA MUESTRA.....	19
FIGURA 4: ATRASO PORCENTUAL HISTÓRICO POR TIPO DE EVENTO	20
FIGURA 5: EVENTOS POR ESTACIÓN L1 PAM	21
FIGURA 6: EVENTOS POR FECHA L1 PAM.....	22
FIGURA 7: EVENTOS POR ESTACIÓN L1 PPM	23
FIGURA 8: EVENTOS POR FECHA L1 PPM.....	23
FIGURA 9: EVENTOS POR ESTACIÓN L4 PAM	24
FIGURA 10: EVENTOS POR FECHA L4 PAM.....	25
FIGURA 11: EVENTOS POR ESTACIÓN L4 PPM	26
FIGURA 12: EVENTOS POR FECHA L4 PPM.....	26
FIGURA 13: ESTACIONES SOBRE LA AFLUENCIA PROMEDIO L1	29
FIGURA 14: ESTACIONES SOBRE LA AFLUENCIA PROMEDIO L4	29
FIGURA 15: CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES EN LÍNEA 1	30
FIGURA 16: CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES EN LÍNEA 4	30
FIGURA 17: TIEMPOS DE RETRASO PROMEDIO EN CAÍDAS DE FRECUENCIA	32
FIGURA 18: OCURRENCIA PROMEDIO POR HORARIO PUNTA DE UN EVENTO CUALQUIERA	33
FIGURA 19: DEPENDENCIA DE PROBLEMAS DE CLIENTES CON PUERTAS EN PUNTA AM	47
FIGURA 20: DEPENDENCIA DE PROBLEMAS DE CLIENTES CON PUERTAS EN PUNTA PM	47
FIGURA 21: DEPENDENCIA DE INCIDENTES ACCIDENTALES DE CLIENTES EN PUNTA AM LÍNEA 1	48
FIGURA 22: DEPENDENCIA DE INCIDENTES ACCIDENTALES DE CLIENTES EN PUNTA PM LÍNEA 1	48
FIGURA 23: DEPENDENCIA DE PROBLEMAS DE CLIENTES CON PUERTAS EN PUNTA AM LÍNEA 4	50
FIGURA 24: DEPENDENCIA DE INCIDENTES ACCIDENTALES DE CLIENTES EN PUNTA AM LÍNEA 4	50
FIGURA 25: FUNCIONAMIENTO DE SOFTWARE CALDAS	55
FIGURA 26: MEDICIÓN DEL COSTO SOCIAL POR EVENTO	56
FIGURA 27: DIAGRAMA PUERTAS DE ANDÉN	66
FIGURA 28: SISTEMA SIN BOTÓN DE EMERGENCIA EN TREN NS04 (IZQUIERDA), Y CON BOTÓN DE EMERGENCIA EN TREN AS02 (DERECHA)	71
FIGURA 29: PROPORCIÓN DE CLIENTES Y DE ASISTENTES POR ESTACIÓN L1 PAM	73
FIGURA 30: PROPORCIÓN DE CLIENTES Y DE ASISTENTES POR ESTACIÓN L1 PPM	74
FIGURA 31: PROPORCIÓN DE CLIENTES Y DE ASISTENTES POR ESTACIÓN L4 PAM	75
FIGURA 32: MEDIDAS PARA ORDENAR EL FLUJO DE PASAJEROS EN METRO DE SAO PAULO....	80

FIGURA 33: EJEMPLOS DE BANDAS DE GOMA RELLENANDO EL ESPACIO ENTRE ANDÉN Y TREN	81
FIGURA 34: N° DE AVERÍAS AL SISTEMA DE PUERTAS MENSUALES TRENES NS93.....	84
FIGURA 35: N° DE AVERÍAS AL SISTEMA DE PUERTAS MENSUALES TRENES NS2004	84
FIGURA 36: N° DE AVERÍAS AL SISTEMA DE PUERTAS MENSUALES TRENES NS2007	85
FIGURA 37: AVERÍAS EN SISTEMA DE PUERTAS ESTANDARIZADAS POR NÚMERO DE VAGONES, LÍNEA 1	86
FIGURA 38: PORCENTAJE COMPARATIVO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR FLOTA	88
FIGURA 39: EFECTO DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO EN HORAS PUNTA	89
FIGURA 40: MÉTODO TRADICIONAL DE INSPECCIONES DE MANTENIMIENTO, HONG KONG MTR	90
FIGURA 41: MÉTODO DE INSPECCIONES BALANCEADAS DE MANTENIMIENTO, HONG KONG MTR	91

1. ANTECEDENTES GENERALES

El servicio público de transporte subterráneo corresponde a una de las vías de transporte público más utilizadas en Santiago. Este servicio es entregado por Metro S.A., cuyas operaciones constituyen el eje central de los cientos de miles de viajes diarios que ocurren en la capital.

Metro de Santiago es considerado uno de los sistemas de transporte subterráneo más modernos y a la vanguardia en Latinoamérica. Se posiciona como el segundo más largo, siendo el primero el de Ciudad de México. En la actualidad cuenta con cinco líneas, 101 estaciones y una extensión de su red de 94,2 km, por el que viajan diariamente cerca de 2.300.000 pasajeros. Sólo en el año 2009 se registraron 608 millones de viajes en toda la red de Metro, promediando 2.036 mil viajes por día laboral (Memoria Anual 2009, Metro de Santiago).

Además de las 5 líneas actualmente en funcionamiento, se encuentran en construcción y pronto a ser inauguradas 7 nuevas estaciones, que expanden la red al poniente hacia la comuna de Maipú. Sumado a esto, 2 nuevas líneas están en preparación para iniciar su construcción, y se presume su completo funcionamiento en el año 2014: la Línea 6, que atravesará desde la comuna de Cerrillos hasta Las Condes, la cual tendría 12 nuevas estaciones. Por otro lado, la Línea 3 cruzaría las comunas de Conchalí y La Reina.

Como empresa, Metro posee dos misiones. Como eje del transporte público de Santiago, su misión es “Buscar la contribución a la rentabilidad social del sistema de transporte público de Santiago, respondiendo con agilidad a sus requerimientos y proponiendo alternativas que permitan mejorar significativamente la calidad de vida e integración de los habitantes de Santiago, haciendo de esta una ciudad más amable y competitiva”. Por otro lado, como empresa de servicios modelo, su misión es “Buscar la entrega de servicios sustentables y de excelencia a nuestros clientes, manteniendo el equilibrio operacional y construyendo con ello una Empresa de Servicios Modelo”¹.

Dada la magnitud de viajes diarios que Metro debe manejar, y bajo los objetivos de excelencia que plantea como empresa, el servicio de transporte entregado debe ser de la más alta calidad posible. En ese sentido, un elemento fundamental a observar es la frecuencia de trenes. Esta debe ser suficiente para satisfacer la demanda de pasajeros, y al mismo tiempo, deben pasar trenes a intervalos regulares para minimizar los tiempos de espera de sus usuarios. Luego, el cumplimiento de la programación de los trenes cumple un rol fundamental en el logro de estos factores.

1.1 Contextualización de la Operación Diaria de Metro

La operación diaria de Metro se caracteriza por una elaborada estructura de procedimientos, que permite mantener registro de todos los eventos que ocurren minuto

¹ <http://www.metro.cl/corporativo/misionyvision>

a minuto. Para comprender mejor estos procedimientos, es necesario introducir un par de breves conceptos primero.

La línea 1 cuenta con 27 estaciones recorriendo 5 comunas de Santiago, de las cuales estaciones Manquehue, Hernando de Magallanes y los Dominicos fueron inauguradas el 07 enero de 2010. Esta línea opera con 3 tecnologías de trenes distintas, cuyos modelos se denominan NS93, NS04 y NS07². Los dos primeros fueron construidos por la empresa ALSTOM, mientras que los NS07 provienen de la empresa CAF. Estos últimos comenzaron a ser incorporados a la línea a partir del 07 de Noviembre de 2009, y han ido añadiéndose a la operación paulatinamente. En Julio 2010, esta línea contó con 46 trenes disponibles en total.

La línea 4 está formada por 23 estaciones recorriendo 8 comunas de Santiago. De estas 23, la estación San José de la Estrella fue la última inaugurada el 05 de Noviembre de 2009. Esta línea opera con un solo tipo de tren, de la empresa ALSTOM y modelo AS02³. En los horarios punta, la línea 4 realiza operación expresa, donde los trenes paran estación por medio salvo en las 9 estaciones de detención común a lo largo de la línea. Las dos posibles rutas de viaje en operación expresa se denominan bajo los colores rojo y verde. Esta línea contó con 29 trenes disponibles en Julio 2010.

1.2 Puesto de Comando Centralizado

El flujo diario de trenes es constantemente monitoreado por el Puesto de Comando Centralizado (PCC), y a través de sistema de tableros de control ópticos de (TCO), puede determinar la ubicación de cada tren en la red. Al mismo tiempo, cuenta con cámaras que permiten ver la situación en todas las estaciones.

El PCC tiene la responsabilidad de hacer cumplir los programas de circulación de trenes, de tomar las medidas correspondientes para corregir y solucionar los incidentes o accidentes que se presenten en el Material Rodante⁴ (averías, fallas, etc.) y en las instalaciones fijas de la red. Coordinan el control del descenso a las vías que deba realizar personal de tráfico, técnico, de mantenimiento y/o contratistas, tanto en horas de explotación, como en horario nocturno para los trabajos de mantención. Su rol los hace responsables de que se cumplan tanto la frecuencia programada de trenes (el número de trenes que deben pasar por la línea de acuerdo a la programación) como el intervalo objetivo (el tiempo que debe pasar entre un tren y el siguiente en una misma estación).

En las líneas, el Conductor es el “funcionario a cargo del tren”, asegurando el servicio a los pasajeros y la vigilancia general del tren. Esto implica que el Conductor debe acatar las instrucciones del regulador del PCC, de los supervisores de tráfico y asistentes de terminal, y que ante cualquier imprevisto mal manejado él es el primer responsable. Para ello, el Conductor cuenta con una serie de procedimientos sobre cómo enfrentar cada tipo de eventos, y de no actuar bajo iniciativa propia a menos que PCC se lo indique. A su vez el regulador del PCC, deberá mantener informado a los conductores de las condiciones generales de circulación.

² Revisar Glosario en Anexo A

³ Revisar Glosario en Anexo A

⁴ Revisar Glosario en Anexo A

1.3 Ingreso y Registro de Eventos Operacionales

Cualquier atraso o incidente que afecte a un tren, puede tener repercusiones en toda la red; es indispensable entonces, que el Regulador y los Supervisores de Tráfico estén informados al más breve plazo. Cuando un incidente o avería obliga al conductor a detener su tren en la interestación (entre dos estaciones) o a prolongar anormalmente su detención en la estación, el conductor avisa al Regulador del PCC el motivo de la detención, a la mayor brevedad. Según sea el caso, el conductor tomará todas las medidas de seguridad relativas a las precauciones para la detención del tren.

Todos los incidentes o averías detectadas por el Conductor, ya sea en la vía o en las demás instalaciones fijas, son informadas al Regulador del PCC, de inmediato.

En PCC, los reguladores cuentan con un sistema de registro de eventos operacionales llamado GEOS (Sistema de Gestión de Eventos Operacionales), perteneciente a un sistema más grande de consulta de variables operacionales denominado OSIE II. En él, se ingresan las irregularidades que se observan a diario, la estación donde ocurren, el tiempo de retraso que estiman que el evento ocasionó en la programación, comentarios respecto a si hubo evacuación, anulación o bloqueo, la vía⁵ en que ocurrió, una clasificación macro del evento y una glosa con su descripción.

Se entiende por evacuación a si los pasajeros tuvieron que abandonar el tren producto del incidente, por anulación a si el tren tuvo que ser sacado de circulación (nunca se envió a las líneas), y por bloqueo si los controles del tren dejaron de responder.

2. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

2.1 Planteamiento y Justificación del Problema

Se define un evento operacional como una situación inesperada que interfiere con el normal funcionamiento del servicio, provocando o no algún tipo de retraso en la programación de los trenes. Estos incluyen desde averías en los trenes o las vías hasta irregularidades ocasionadas por clientes o el personal en los andenes o conductores. Esta clase de incidentes no sólo interrumpe el servicio de transporte, sino que altera las frecuencias de trenes, disminuyendo directamente la calidad de servicio.

A modo contexto, en el año 2009 ocurrieron 443 evacuaciones en trenes, y 130 eventos que no provocaron evacuaciones pero que sí conllevaron un atraso superior a los 5 minutos en la programación normal de trenes (Compendio de Operaciones 2009, Gerencia de Operaciones Metro S.A.).

Si bien es sumamente difícil predecir la ocurrencia de eventos operacionales, sí es posible generar planes preventivos que permitan disminuir su impacto negativo. Las preguntas son ¿cómo generar estos planes? y ¿a qué clase de eventos deben estar dirigidos?

⁵ Revisar Glosario en Anexo A

Metro cuenta en su sistema GEOS con toda la información histórica de eventos operacionales. Gracias a ella, se han podido detectar problemas puntuales en las vías, averías frecuentes y otra serie de aplicaciones. Si bien, mucho se ha trabajado sobre el impacto en términos de atraso ocasionado por los eventos, aún no hay claridad en el impacto de estos eventos en la caída de frecuencia en el paso de trenes. Cada evento conlleva un atraso en la programación normal de material rodante, el cual sería interesante medir no sólo en la estación puntual donde ocurre, sino en toda la línea.

Las consecuencias son fáciles de interpretar. Cada vez que ocurre un evento operacional, la programación de trenes se atrasa en un tiempo a priori desconocido. Atrasos de tiempo importantes pueden disminuir tanto la frecuencia de trenes en un periodo de tiempo como incrementar el intervalo de paso entre tren y tren, y por ende provocar una disminución en la calidad de servicio. Al haber menos coches circulando en una misma hora por ejemplo, aumentan los índices de hacinamiento en los coches y los tiempos de espera de los usuarios en andenes.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Medir el impacto en términos de atraso y variación de la oferta que ocasionan los distintos eventos operacionales en la operación diaria de Metro. A partir de ese análisis, proponer medidas y procedimientos de reacción ante tales eventos, analizando para cada categoría relevante.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los tipos de eventos que explican el 80% del atraso en la operación de la línea en horas punta.
- Identificar cuáles son los eventos que inciden directamente en la disminución de la oferta de trenes, provocando caídas sobre el 10% de su frecuencia programada diaria en horas punta.
- Medir el costo social promedio que percibe cada usuario por minuto extra de atraso en su viaje producto de distintos eventos operacionales.
- Medir el costo privado que percibe Metro producto de las caídas de frecuencia asociadas a la ocurrencia de eventos operacionales.
- Proponer y evaluar medidas preventivas que permitan disminuir la ocurrencia de los eventos que generan caídas de frecuencia sobre el 10%.

2.3 Metodología

La metodología a seguir en esta memoria constará de los siguientes pasos:

2.3.1 Limpieza y Filtro de Eventos Operacionales relevantes para el estudio

Para el desarrollo de este estudio, se cuenta con la información detallada de todos los eventos operacionales que ocurrieron en todas las líneas de Metro desde Enero de 2008 en adelante. Específicamente, en esta memoria se trabaja con los datos del 5 de Enero de 2009 hasta el 30 de Julio de 2010. Si bien, el sistema GEOS posee datos antes del 2009, su registro no es del todo completo y por ende son marginados del análisis.

A fin de obtener resultados representativos, es importante realizar un trabajo de limpieza en esta base de datos que permitiese recoger solamente los datos relevantes para este estudio. El tipo de eventos considerados fueron aquellos que ocurrieron en días laborales normales, en los horarios punta de operación y en las líneas 1 y 4. Las razones tras esta elección se detallan en la sección de Alcances de este informe.

La limpieza de esta base de datos conlleva la eliminación de días feriados y fines de semana; días especiales; vacaciones de verano e invierno, y en general cualquier fecha que escape a la operación normal.

2.3.2 Categorización de Eventos Operacionales

Si bien, GEOS posee una clasificación para ciertos tipos de eventos, estos no necesariamente están ordenados de acuerdo a las situaciones que causan cada evento. Por ejemplo, la categoría "Freno de Emergencia" indica que algún cliente activó este mecanismo paralizando el tren, pero a priori no es posible determinar si fue producto de una enfermedad, una situación delictiva u otra razón. Luego, es complicado realizar mayores análisis acerca de si un evento de un tipo fue por culpa del cliente, del personal de Metro o de alguna otra situación.

En esta etapa es relevante analizar cuáles categorías en GEOS son efectivamente útiles para posteriores análisis, cuáles son modificables y cuáles hay que crear desde cero. Para ello se aplican algoritmos de clasificación de texto que permitan a partir de la descripción de un evento, clasificar en distintas categorías de acuerdo a su causalidad y efecto.

Una vez agrupados los eventos, se estudia si existen patrones de ocurrencia en ciertas fechas del año, lugares de mayor frecuencia y consecuencias dependiendo de sus características.

2.3.3 Modelamiento Explicativo de la Caída de Oferta en Función de la Ocurrencia de Eventos Operacionales

Es necesario observar cómo la ocurrencia de los eventos previamente caracterizados afectó la planificación en la oferta de trenes, y conllevó bajas en la frecuencia de trenes programada. Luego, se busca medir el impacto de los eventos en la oferta de transporte. Para ello, se aborda la problemática con modelos de regresión lineales y logit multinomiales. En estas regresiones se utilizan como variables independientes la ocurrencia de los distintos tipos de eventos clasificada por categorías, estación y la dirección en la que ocurrieron, y por otro lado se usa el porcentaje de

caída de oferta en la programación de los trenes (es decir, que porcentaje de los trenes programados realmente cumplieron su servicio) como variable dependiente.

2.3.4 Medición de Costos Sociales y Privados asociados a Eventos Operacionales

No solo basta con medir el impacto de cada evento en la frecuencia, sino también medir el costo que este atraso ocasiona. Se calcula la diferencia de costo social para el pasajero entre los tiempos de viaje que hubiese enfrentado bajo una programación normal, versus los tiempos que vivió producto de la ocurrencia de eventos operacionales.

Con una medida del costo que significan estos eventos tanto para el usuario como para Metro como empresa, es posible justificar directamente el gasto en medidas de mejora. De este modo, se llega a un valor referencial para evaluar proyectos asociados a responder o a anticipar eventos específicos.

2.3.5 Diseño de Medidas

En esta etapa final se proponen medidas para enfrentar los eventos operacionales. Se proponen medidas que permitan disminuir la frecuencia con la que estos problemas ocurren, comparando los costos de su implantación con los costos sociales y que ocasionan.

Se realizan comentarios finales a lo que ha sido el trabajo de la memoria, destacando tanto aspectos positivos como negativos del proceso.

2.4 Alcances

El estudio realizado en esta memoria abarca únicamente los periodos en el día en que los incidentes operacionales generan atrasos significativos. Por ello, el trabajo se centra solamente en los horarios Punta de operación de Metro (de 7:00 a 9:00 AM y de 18:00 a 20:00 PM). Dado que interesa el atraso durante los periodos punta, también es necesario incluir al análisis los eventos ocurridos antes de esos horarios. Por ello, se trabajará con los eventos ocurridos desde una hora antes del inicio de las horas punta en adelante (de 6:00 para la Punta AM y de 17:00 para la Punta PM). Así mismo, el estudio se realizará para DL (días laborales) normales.

Un segundo alcance está dado por las líneas a las que se aplica el estudio. Dado el periodo de desarrollo de la memoria y por requerimientos de la empresa, sólo se analizan los efectos de eventos operacionales en las líneas 1 y 4. La línea 4 se analiza por su simpleza de operación y su alta congestión en horario punta, y la línea 1 por ser la línea con mayor afluencia de pasajeros. Tampoco se consideran los efectos de eventos ocurridos en otras líneas que pudiesen afectar mediante transbordos a las líneas 1 y 4.

Finalmente, la memoria sólo contempla el diseño y propuesta de medidas para enfrentar los eventos operacionales. No está prevista ni una evaluación económica profunda ni su posterior puesta en marcha.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Algoritmos de Clasificación de Texto

Para el caso particular de esta memoria, se cuenta con el registro histórico de los eventos operacionales en Metro, y con una breve descripción de cada uno (entre 3 y 12 palabras cada una) correspondiente a lo que anota el regulador del PCC cuando ingresa el evento al sistema GEOS. Ejemplos de esto pueden ser frases como “Cliente se desmaya”, “Objeto obstruye cierre de puertas”, “Exceso de público en andén”, etc. A fin de lograr clasificar estas descripciones en categorías previamente definidas, será relevante introducir un par de conceptos pertenecientes a la Minería de Texto.

Se define:

- Una palabra: La unidad básica discreta en el análisis. Se entienden como iguales las palabras escritas con diferencias en acentuación, mayúsculas o minúsculas, y como palabras distintas los sinónimos o conjugaciones de un mismo verbo (Ejemplo: comer, comía, comeré, etc.).
- Un documento: Es un conjunto de N palabras consecutivas. Pueden ser desde textos completos hasta pequeñas frases. En este caso, se tomará cada una de las descripciones de eventos como un documento.
- Un corpus: Un conjunto de M documentos. En este caso, se cuenta con un único corpus, correspondiente al conjunto de todas las descripciones.
- Una categoría: Agrupaciones distintas y mutuamente excluyentes. El objetivo de este proceso es asignar cada uno de los documentos a una categoría determinada.

Del análisis se excluyen las palabras denominadas *stopwords*, correspondientes a nexos, artículos, preposiciones y palabras propias del idioma en que se esté trabajando que no aporten mayor información.

La intuición que hay detrás es que cada palabra está asociada a una categoría, y por lo tanto, un documento está asociado a una mezcla de categorías dada por las palabras que lo conforman.

Sea I el conjunto de i categorías existentes. Se definen los conjuntos

$$g_i = \{w_1, w_2, \dots, w_{ni}\} \quad i \in (1 \dots I)$$

con w_j las palabras claves o términos que componen y representan a esa categoría. Para cada categoría, existe un número ni variable de palabras que las caracteriza. Cada término w_j es una palabra exclusiva a la categoría g_i , y no pertenece a otro conjunto.

De esta forma, tanto los documentos como las categorías pueden ser representados como vectores de palabras o términos (Salton, Wong & Yang, 1975). Sea un documento x compuesto por k palabras, de la forma

$$x = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$$

Para determinar a qué categoría g_i pertenece el documento x , es necesario calcular una distancia $d(x, g_i)$ entre x y cada categoría g_i . Luego, se deduce la categoría a la que corresponde el documento x a través de la expresión:

$$G(x) = \operatorname{argmax} d(x, g_i)$$

Dependiendo de la extensión del texto con la que se esté trabajando, de la cantidad de palabras clave en cada categoría y de la cantidad de palabras en cada documento, se utilizan distintas expresiones para $d(x, g_i)$. Algunas de ellas son:

$$d(x, g_i) = \begin{cases} tf(x, g_i) & (\textit{term frequency}) \\ \cos(x, g_i) \\ \|x - g_i\|^2 \\ |x - g_i| \end{cases}$$

Para este caso en el que los documentos son de extensión corta, y donde no existen palabras repetidas en un mismo documento, se utilizará la función de distancia más sencilla, correspondiente a *term frequency*. Con ella, la distancia se calcula como el número de palabras en el documento x que corresponden a términos clave en la categoría g_i .

Por ejemplo, si se tiene el documento “a b c d e f g h”, y 3 categorías, cuyos términos clave son:

$$g_1 = (a, c, f)$$

$$g_2 = (b, d)$$

$$g_3 = (h, k, l)$$

Entonces

$$d(x, g_1) = 3$$

$$d(x, g_2) = 2$$

$$d(x, g_3) = 1$$

y por lo tanto $x \in g_1$.

En este estudio, no todas las palabras serán asociadas a una categoría, ya que muchas de ellas cuentan con un cierto grado de ambigüedad que no permite la asociación directa a una categoría (por ejemplo, la palabra “cliente” podría asociarse a múltiples incidencias).

Finalmente, a través de este algoritmo no todos los documentos serán categorizados, pues pueden ocurrir “empates” en la función de distancia. Para solucionar eso, será necesaria una lectura minuciosa para los casos particulares.

Si bien, existen pocas experiencias similares conocidas sobre este tema, la aplicación de algoritmos de clasificación de texto ya ha sido realizada con éxito para la determinación de patrones en eventos operacionales en trenes subterráneos (Ramírez et al., 2008).

En su estudio, Ramírez et al. obtuvieron para el sistema de trenes subterráneo de Nueva York los meses de mayor ocurrencia para cada categoría de incidentes, y determinaron patrones aproximados para cada tipo de evento.

3.2 Modelos de Regresión de Datos

Una regresión se define como la teoría que trata de explicar a través de una función matemática la relación que existe entre una variable dependiente y un set de variables independientes. Esta función puede ser utilizada para pronosticar valores de la variable dependiente en el futuro, así como para explicar el grado de influencia de cada una de las variables independientes en el resultado final.

Existen distintos modelos de regresión, que intentan aproximar los valores en estudio con distintas curvas. En este estudio se aplicarán dos aproximaciones a fin de relacionar ocurrencia de eventos operacionales con caída de oferta de trenes. El primero y más sencillo corresponde a la regresión lineal, debido a la facilidad en su aplicación e interpretación. El segundo enfoque será la regresión logit multinomial, debido a su aproximación no lineal y a su mejor ajuste en variables dependientes discretas.

3.2.1 Regresión Lineal con Mínimos Cuadrados Ordinarios

Este método busca expresar un vector y (variable dependiente), a través de una combinación lineal de las columnas de una matriz X (variables dependientes), obteniéndose un modelo de la forma:

$$y = X\hat{\beta} + \varepsilon$$

donde ε es representa el error de medición o residuo entre y y $X\hat{\beta}$, calculado como su diferencia.

El método de los mínimos cuadrados ordinarios busca minimizar la suma de los cuadrados residuales, de la forma:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^2 &= \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\beta}X_i)^2 \end{aligned}$$

con lo que los estimadores de β quedan definidos como:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y$$

Dichos estimadores permiten cuantificar la proporción en que las variables independientes afectan a la variable dependiente.

Una vez obtenida una recta que se ajusta a la nube de puntos que representa cada observación, es necesario medir el nivel de ajuste de esa recta sobre los datos reales. Para ello, se utiliza el coeficiente de determinación como medida de bondad de ajuste, el cual se define como:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Este coeficiente de determinación mide el porcentaje de la varianza que explica el modelo, tomando valores entre 0 y 1. Cuando todas las observaciones se encuentran sobre la recta se tiene un ajuste perfecto y este coeficiente toma el valor 1.

Si bien, la regresión lineal es un método fácil de aplicar y de interpretar, sus limitaciones dadas por la forma lineal de su función de ajuste no suelen dar buenos resultados con datos reales. Más aún, es muy difícil ver en la realidad regresiones con ajustes significativos y confiables.

3.2.2 Regresión Logit Multinomial

La regresión lineal permite modelar variables dependientes cuantitativas a partir de una serie de variables independientes. Sin embargo, cuando es difícil ajustar un modelo bajo un enfoque cuantitativo, es útil transformar esta variable en a una versión cualitativa por rangos, y probar otro tipo de regresiones.

Las regresiones logit permiten clasificar un caso particular de observaciones en un rango o categoría de casos. Este modelo se basa en su versión más simple de regresión logit binomial, la cual calcula la probabilidad de que una observación tome un valor binario en su variable dependiente y . El modelo logit binomial básicamente presenta dos categorías, y permite clasificar observaciones en uno u otro grupo. El modelo logit multinomial en cambio corresponde a una extensión del anterior, permitiendo clasificar datos en N categorías distintas.

Si se quisiese modelar una probabilidad Z_{in} mediante un enfoque lineal, se tendría:

$$Z_{in} = \beta_{n0} + \sum_{j=1}^J \beta_{nj} X_{inj}$$

Sin embargo, el problema de esta formulación es que no necesariamente estará en un rango entre 0 y 1. Se necesita entonces una función $F()$ que tome valores entre 0 y 1, y que permita normalizar al modelo lineal. Esta función $F()$ para un modelo logit sigue una distribución logística de la forma:

$$F(z) = \frac{\exp(z)}{1 + \exp(z)}$$

Suponiendo que existen N categorías posibles (por ejemplo, colores de un auto como rojo, azul o verde), interesa, para una combinación de J variables independientes, saber cuál es la probabilidad de que ese caso pertenezca a cada categoría, y por ende, a cual es más probable que pertenezca.

De acuerdo a la función probabilística recién expresada, estas probabilidades se calculan como:

$$P(y_i = n) = \frac{e^{z_{in}}}{1 + \sum_{n=1}^N e^{z_{in}}}$$

$$P(y_i = 0) = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^N e^{z_{in}}}$$

siendo $P(y_i = n)$ la probabilidad de que el caso o individuo i pertenezca a la categoría n con respecto a una categoría de referencia o categoría 0. Dado que existen más de 2 categorías, el cálculo de un vector de coeficientes β no es directo como en la regresión lineal, pues se tienen igual número de vectores que de categorías menos uno. Es por ello que el modelo logit multinomial establece una de las categorías como de referencia. Luego, cada coeficiente β de una categoría representa la probabilidad de estar en esa categoría versus estar en la de referencia. Por lo tanto un modelo de N categorías generará $N-1$ ecuaciones de probabilidad. La probabilidad para la categoría 0 se estima como la diferencia entre 1 y el resto de las probabilidades.

Los coeficientes β_{nj} son regresores para cada una de las ecuaciones de probabilidad, y al igual que en la regresión lineal, permiten verificar qué tan relevante es esa variable para la elección de la categoría y . Sin embargo, su interpretación no es tan directa como en la regresión lineal.

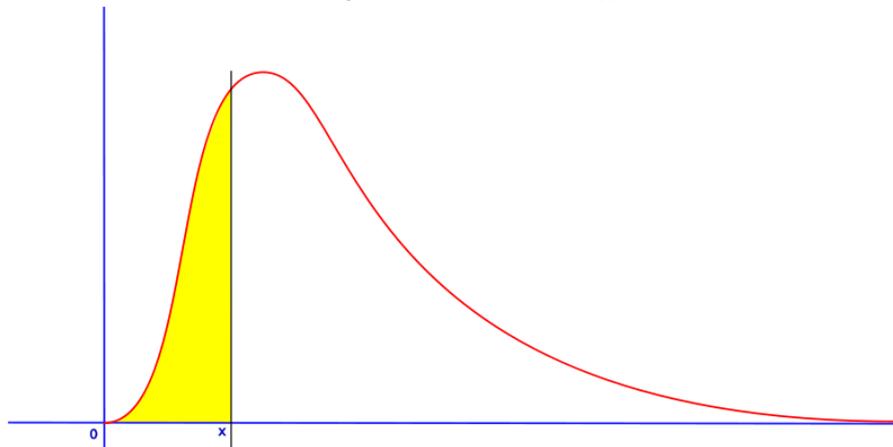
Si $e^{\beta_{nj}} > 1$, entonces ante un incremento de la variable asociada X_j , será mayor la probabilidad de que una observación pertenezca a la categoría n . Análogamente, si $e^{\beta_{nj}} < 1$, entonces ante un incremento de la variable asociada X_j , será menos probable que una observación pertenezca a la categoría n . Estos criterios corresponden al criterio base que permite corroborar qué variables afectan positiva o negativamente a la variable dependiente. Sin embargo, los valores de los coeficientes β_{nj} no son comparables entre sí emitiendo juicios de valor sobre si una variable influye más que la otra.

Para validar una hipótesis nula de que un determinado regresor es igual a cero, o bien que todos los regresores son iguales a cero, es necesario comparar el modelo simple con menos variables versus el modelo completo con ellas. Para ello, se calcula la función $-2 * \log(\hat{L})$ (siendo \hat{L} el estimador de máxima verosimilitud) tanto para el modelo con variables independientes como para su versión sin ellas, y se utiliza el estadístico.

$$D = -2 * \log \left(\frac{\hat{L}_{\text{Modelo Sin Variables}}}{\hat{L}_{\text{Modelo Completo}}} \right)$$

Ahora, la distribución de probabilidad del estadístico D puede ser aproximada por una distribución χ^2 con grados de libertad (df1 – df2), siendo df1 y df2 los grados de libertad de los modelos sin variables y completo respectivamente. Luego, el valor del estadístico D permite determinar mediante la distribución χ^2 un p-valor que permita rechazar o no la hipótesis nula estudiada. La distribución χ^2 sigue la forma mostrada en la figura 1, mostrando el área pintada la probabilidad de rechazar la hipótesis nula y equivocarse.

Figura 1: Distribución χ^2



Fuente: http://es.wikibooks.org/wiki/Tablas_estadísticas/Distribución_chi-cuadrado

Bajo este enfoque, el modelo en su totalidad es sometido a un test χ^2 , a fin de contrastar la razón de verosimilitud, evaluando la hipótesis nula de que todos los regresores $\beta_{nj} = 0, \forall j$.

Adicionalmente es necesario para cada una de las ecuaciones de probabilidad definir si cada una de las variables involucradas es significativa en el modelo. Esto se conoce como el criterio de significancia. Este contraste se realiza comparando una versión del modelo completo con todas las variables versus una versión con todas las variables menos la que se está estudiando. Luego, si se está estudiando la variable X_j para la categoría n , se contrasta la razón de verosimilitud del modelo para evaluar la hipótesis nula de que en particular el coeficiente $\beta_{nj} = 0$. Esto también se hace a través de un estadístico χ^2 .

Si bien, no existe un coeficiente de determinación formal para la regresión logit como lo es R^2 en la regresión lineal, sí existen otros coeficientes propuestos por diferentes investigadores que intentan dar una interpretación similar. Entre ellos destacan los coeficientes de McFadden, Cox & Snell y Nagelkerke. Su interpretación es análoga y para valores cercanos a 1, se estima un ajuste bueno del modelo.

El coeficiente de McFadden se calcula con la ecuación:

$$R^2 = 1 - \frac{\log(\hat{L}_{Modelo\ Completo})}{\log(\hat{L}_{Modelo\ Sin\ Variables})}$$

El valor del estimador de máxima verosimilitud se encuentra entre 0 y 1, por lo que el logaritmo de ese valor es o negativo, o cero. En el caso en que un modelo tenga un valor de verosimilitud bajo, entonces su logaritmo tendrá una magnitud superior a la de un modelo más acertado. Luego, un ratio pequeño de logaritmos de verosimilitudes indicará que el modelo completo es una aproximación mucho mejor que el modelo sin variables.

El coeficiente de Cox & Snell se obtiene de la fórmula:

$$R^2 = 1 - \left\{ \frac{\log(\hat{L}_{Modelo\ Sin\ Variables})}{\log(\hat{L}_{Modelo\ Completo})} \right\}^{2/M}$$

Si el modelo cuenta con M observaciones, tomar una raíz M-ésima corresponde a buscar un estimado del valor de verosimilitud de cada observación (pues, el estimador de máxima verosimilitud es construido mediante la multiplicación de las M probabilidades condicionales de cada observación). Este coeficiente calcula el ajuste midiendo la convergencia de la regresión logística, cuyo mejor caso es cuando $\hat{L}_{Modelo\ Completo}$ es igual a 1 (es decir, cuando el modelo explica perfectamente el set de datos). A diferencia de los coeficientes de ajuste convencionales, este no llega a un valor máximo de 1. En el mejor caso, la convergencia lleva a un valor de $1 - \log(\hat{L}_{Sin\ Variables})^{2/M}$, lo que es menos de 1.

El coeficiente de Nagelkerke se calcula como:

$$R^2 = \frac{1 - \left\{ \frac{\log(\hat{L}_{Modelo\ Sin\ Variables})}{\log(\hat{L}_{Modelo\ Completo})} \right\}^{2/M}}{1 - \log(\hat{L}_{Modelo\ Sin\ Variables})^{2/M}}$$

Este coeficiente corresponde a un ajuste del propuesto por Cox & Snell. Para ello, se toma el coeficiente de Cox & Snell y se divide por el máximo valor que este puede tomar, igual a $1 - \log(\hat{L}_{Sin\ Variables})^{2/M}$. De esta forma, se normaliza el coeficiente llegando a un valor máximo igual a 1. Sin embargo, producto de esta corrección, el coeficiente no puede tomar un valor igual a cero.

3.3 Medición del Costo de los Usuarios

El costo social del viaje de un pasajero se mide a través del tiempo que este invierte en viajar. Para ello, se divide este tiempo en tiempo de acceso, tiempo de espera y tiempo de viaje al interior del vehículo. El tiempo de acceso corresponde al tiempo que gasta el usuario en llegar a la estación de transporte. El tiempo de espera es el tiempo que transcurre desde que el usuario llegó a la estación hasta que llega el vehículo (ya sea un bus, un tren, etc.). Finalmente, el tiempo al interior del vehículo considera desde que el usuario aborda el vehículo hasta que se baja en su destino.

Para efectos de esta memoria, no será relevante el tiempo de acceso. Sí lo serán el tiempo de espera y el tiempo de viaje al interior del vehículo.

La formulación más común para el costo de viaje por pasajero está dada por la expresión:

$$C = P_e * t_e + P_v * t_v$$

Siendo P_e, P_v los precios sociales asociados a la espera y al viaje en el vehículo, y t_e, t_v los tiempos de espera y de viaje en el vehículo.

Los precios sociales se calculan en función de la valoración del usuario a cada minuto, y se formulan a partir del costo de oportunidad del usuario por minuto perdido. Las aproximaciones de cálculo de estos precios están ligadas a las ganancias promedio de los usuarios, y serán utilizados como input en el cálculo de costo social.

El Departamento de Inversiones del MIDEPLAN es el organismo encargado en Chile de determinar los precios sociales que corrigen las distorsiones ocasionadas en distintos mercados. De acuerdo el cálculo realizado para el año 2010, se fijó el precio del tiempo de viaje urbano en \$1.006 (pesos chilenos/hora/pasajero). Por otro lado, el costo por tiempo de espera se estima como el triple del costo por tiempo de viaje (Ortúzar, Williamsen, 2008).

3.4 Diseño de Medidas de Seguridad

El diseño de medidas de seguridad para prevenir los riesgos de incidentes es un tema de importancia no sólo para Metro Santiago, sino para todas las compañías de transporte subterráneo en el mundo.

Revisando casos de transporte público en trenes subterráneos en países como Japón, Portugal, España o Francia, es posible encontrar diversos mecanismos de prevención de eventos operacionales. Estas medidas en gran medida van dirigidas al usuario, pero algunas de ellas también sirven para monitorear el funcionamiento correcto de la operación.

Se observa por ejemplo en Japón la implementación de paredes de mediana altura y de puertas especiales en los andenes, a fin de reducir el riesgo de caída a las vías. Por otro lado, aparece como un sistema preferido por las compañías extranjeras la implantación de vigilancia a través de cámaras en todas las estaciones, las cuales pueden ser monitoreadas tanto por los conductores de los trenes como por el resto de los empleados en las zonas de control. El servicio en París por ejemplo incorpora un sistema de audio y video vigilancia avanzado con manejo de alarmas. El Metro de Santiago en particular también ha optado por la vigilancia por medio de cámaras de seguridad.

Otras alternativas implementadas apuntan a disminuir la delincuencia en los andenes. En Washington hay teléfonos de emergencia en todas las estaciones, que conectan directo a personal, a policía y bomberos. La seguridad en los coches también se torna relevante, invirtiendo algunas empresas en carteles en los trenes indicando qué hacer en caso de emergencia.

4. DESARROLLO DEL ESTUDIO

4.1 Categorización de Eventos Operacionales

4.1.1 Registros en Sistema GEOS

En el sistema GEOS se encuentra la totalidad de los eventos operacionales ocurridos en toda la operación de Metro. Cada registro de evento cuenta con la siguiente información relevante para el estudio:

- Fecha de ocurrencia del evento.
- Línea en que ocurrió el evento.
- Hora exacta de ocurrencia del evento.
- Estación donde ocurrió el evento.
- Clasificación macro del tipo de evento.
- Descripción de lo ocurrido, correspondiente a un texto escrito por el regulador PCC.
- Si ocurrió una evacuación o no.
- Si ocurrió una anulación o no.
- Si ocurrió un bloqueo o no.
- El atraso estimado que ocasionó el evento medido en segundos.
- El lugar donde ocurrió, siendo este la Vía 1, la Vía 2, una Interestación o alguna Vía de maniobras internas.

El registro de la hora de ocurrencia está sesgado. Cuando ocurre un cambio de turno en PCC, los operadores suelen traspasar eventos que aún no han ingresado al sistema a los operadores del turno siguiente. Como resultado de ello, hay una gran cantidad de eventos que son registrados en las horas de cambio de turno (7.00, 8.00, 17.00 o 18.00 hrs.) cuando en realidad no ocurrieron exactamente en esa hora. Para efectos de esta memoria, se trabajará con rangos horarios minimizando el efecto producido por el posible mal registro.

Un segundo registro sesgado es el atraso estimado que causó el incidente. Cuando se trata de incidentes significativos, que causan un atraso de aproximadamente 3 minutos o más en la planificación, los operadores son minuciosos con el tiempo e ingresan efectivamente cuánto duró cada evento. Sin embargo, para eventos recurrentes de bajo atraso, el tiempo ingresado al sistema corresponde a una estimación basada en la experiencia de los operarios, y no es una medida exacta de lo que ocurrió realmente. Por supuesto que la diferencia es sólo en términos de segundos, pero es importante tenerlo claro para posteriores análisis.

Finalmente, la clasificación asignada por el sistema a cada evento motiva la fase siguiente a detallar. Para ello, se distinguirán los eventos operacionales de ahora en adelante bajo dos subdivisiones. Se hablará de “incidentes” cuando se haga mención a cualquier evento cuya causa resida en comportamientos humanos, ya sea por la acción de usuarios de Metro como del mismo personal de la empresa. Por otro lado, se hablará de “averías” cuando se trate de eventos cuya causa resida en desperfectos en los trenes, en las vías o en los sistemas informáticos de apoyo.

Con respecto a la clasificación de las averías, el sistema GEOS entrega categorías suficientemente desagregadas como para realizar análisis de causa con ellas. Es por ello que estas categorías sufrieron solo leves modificaciones referentes a unión de algunas, y se utilizan así en el transcurso de la memoria.

Con respecto a la clasificación de los incidentes, la situación se torna más compleja. Las categorías entregadas por GEOS no permiten identificar fácilmente al causante del evento, e incluso se cae en categorías muy ambiguas como “Incidentes Varios de Clientes”. Es por ello que se realizó una subdivisión a través de una aplicación sencilla de algoritmos de clasificación de texto.

4.1.2 Subdivisión de Incidentes

Las categorías definidas para averías son:

- Bloqueo: Situación en la cual los controles del tren dejan de funcionar, hasta que las condiciones de manejo vuelvan a la normalidad. Pueden ocurrir por sobrepasar el límite de velocidad permitido, cuando el conductor acciona un Frenado de Urgencia (FU, no confundir con un Frenado de Emergencia, el cual es accionado por los usuarios desde los vagones), por fallas en el sistema RPS⁶, o por otras causas.
- Cabina: Averías observadas en cualquiera de las dos cabinas de conducción del tren. Aparecen fallas en el tablero de control, en las puertas de la cabina o en otras partes de la misma. Se presentan averías relacionadas tanto al sistema de comunicación del tren como al sistema de control y comando del mismo.
- Deslocalización: Situación en la que el tren pierde su ubicación geográfica y “deja de saber dónde está”. Puede ocurrir por una falla en el sistema RPS, por no reiniciar sus sistemas al inicio de un nuevo recorrido (el tren no alcanza a darse cuenta que terminó un recorrido y comenzará uno nuevo), o por otros motivos.
- Energía y Sistemas: Averías que no ocurren en el tren, sino que se concentran fuera de este. Aparecen averías en las vías, en los sistemas de señalización en túneles, en los sistemas de control de trenes, en los sistemas de comunicación externos, o los sistemas eléctricos que dan energía a la operación.
- Equipos Eléctricos: Fallas en el sistema eléctrico de los trenes. Se concentran fallas en el CVS⁷, problemas con las baterías, entre otros.
- Equipos Neumáticos: Averías en el equipamiento neumático en los trenes. Aparecen fugas de aire, problemas con compresores, y fallas en energía neumática en general.

⁶ Revisar Glosario en Anexo A

⁷ Revisar Glosario en Anexo A

- Frenos: Situaciones de frenado largo, trenes que han sobrepasado el punto normal de detención en la estación y deben retroceder.
- Sistema de Puertas: Averías que influyen directamente en la apertura o cierre de puertas. Aparecen errores en la señal Monocup⁸, y fallas con las puertas en general.
- Sistema Mecánica Bogue: El “Bogue” corresponde a la estructura bajo el tren que sostiene los sistemas de frenado, las ruedas y la suspensión. Se clasifican en esta categoría las averías relacionadas a esta estructura.
- Sistema Pilotaje Automático: Corresponden a las averías relacionadas con el pilotaje automatizado del tren. Se incluyen errores en el sistema SACEM⁹, situaciones en las que el modo de pilotaje automático no responde, entre otros.
- Sistema de Tracción/Frenado: Son averías al sistema de aceleración y freno del tren. Se incluyen problemas con tirones en el frenado mecánico, error en la tracción, etc.
- Averías Varias: Averías que no entran en ninguna de las clasificaciones anteriores.

Analizando las posibles situaciones que pueden ocurrir producto de comportamientos humanos, se definieron las categorías que podrían definir mejor a los incidentes. Estas categorías son:

- Cliente Accidental: Corresponde a toda clase de comportamiento de parte de los usuarios que provoque un incidente, de manera involuntaria o accidental por parte del cliente. Aquí se pueden encontrar incidentes tales como desmayos de pasajeros, atrapamientos de persona entre coche y andén, exceso de público, personas en la franja de seguridad, retrasos por objetos olvidados, caídas a las vías, accionamientos involuntarios de frenos de emergencia, entre otros.
- Cliente Intencional: Al contrario de la categoría anterior, esta clasificación agrupa los incidentes ocasionados por mal comportamiento de los usuarios en los andenes, de manera intencional o voluntaria. Figuran aquí peleas, robos, vandalismo, pasajeros en estado de ebriedad y delitos en general.
- Cliente Puertas: Debido a la alta frecuencia en la ocurrencia de problemas en el cierre de puertas producto de pasajeros u objetos obstaculizando, se creó una categoría aparte exclusivamente para distinguir estos incidentes. En esta categoría se concentran atrapamientos de clientes en las puertas, incidentes por doble apertura de puertas y por puertas que no enclavan¹⁰ correctamente.

⁸ Revisar Glosario en Anexo A

⁹ Revisar Glosario en Anexo A

¹⁰ Revisar Glosario en Anexo A

- **Personal Metro:** Se agrupan aquí todos los incidentes causados por miembros del staff de la empresa, en las estaciones, los trenes o en la mesanina¹¹. Se incluyen errores en el manejo de trenes por parte de los conductores, acciones realizadas por los asistentes de tráfico, retrasos provocados por guardias, etc.

Dadas estas 4 categorías fijas de incidentes, se procedió a subdividir mediante las descripciones de los eventos. A través del software RapidMiner, se obtuvo una lista de las palabras más frecuentes en las descripciones. A cada palabra, se le asignaron una o dos categorías posibles de acuerdo a su ambigüedad, como indica el ejemplo en la tabla 1.

Tabla 1: Ejemplo de clasificación en categorías de acuerdo a palabras

Palabra	Frecuencia	Categoría
apertura	1332	Cliente Puertas
Doble	1213	Cliente Puertas
Puertas	1182	Cliente Puertas
Cierre	1162	Cliente Puertas
Cliente	845	
Enclavan	813	Cliente Puertas
Tren	760	
obstruye	503	Cliente Puertas
seguridad	171	Cliente Accidental o Cliente Intencional
Público	167	Cliente Accidental
Usuario	164	
Salud	159	Cliente Accidental
Conductor	158	Personal Metro

Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS y Software RapidMiner

Se observa que palabras como “cliente” o “tren” no permiten categorizar de manera directa un incidente, por lo que no se les asigna una categoría. Otro tipo de palabras como “seguridad” puede servir para más de una categoría, refiriéndose en este caso a un operativo de seguridad (Cliente Intencional) o a usuarios que traspasan la franja de seguridad (Cliente Accidental).

Utilizando este procedimiento, es posible categorizar alrededor del 90% de los incidentes. El 10% restante se analizó caso a caso, asignándose manualmente sus categorías.

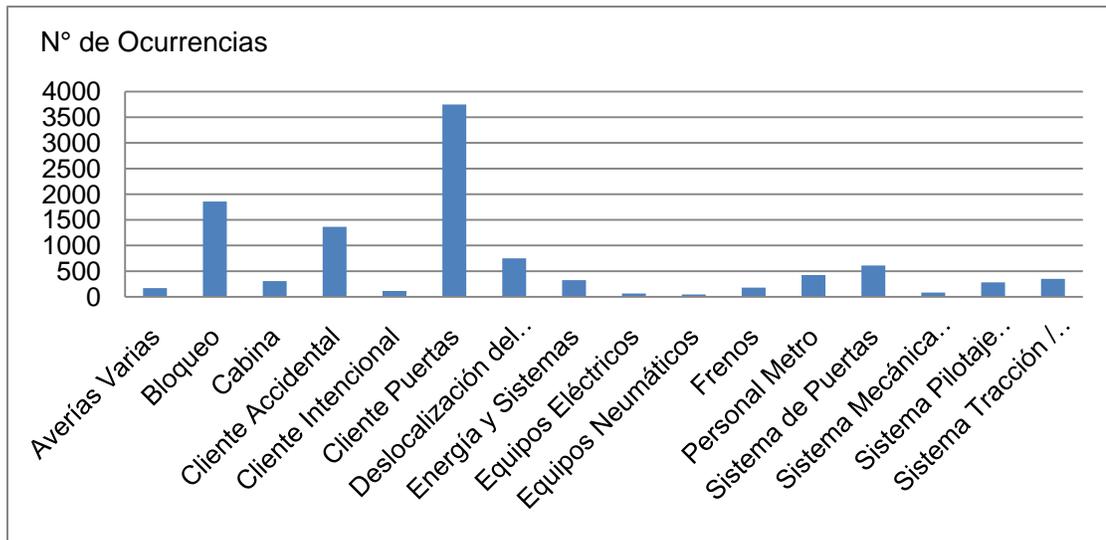
4.1.3 Análisis sobre las categorías

Una vez determinadas las 16 categorías finales de eventos operacionales, se estudió su impacto en términos de frecuencia de ocurrencia, atraso asociado y otro tipo de tendencias.

¹¹ Revisar Glosario en Anexo A

En primera instancia se observó su frecuencia de ocurrencia a lo largo del año y 7 meses en estudio. Esto se ilustra en la figura 2. Se observa que los eventos más frecuentes son en gran cantidad los relacionados con clientes obstaculizando el cierre de puertas. Los bloqueos aparecen como un segundo problema frecuente, y las conductas accidentales de clientes como un tercero.

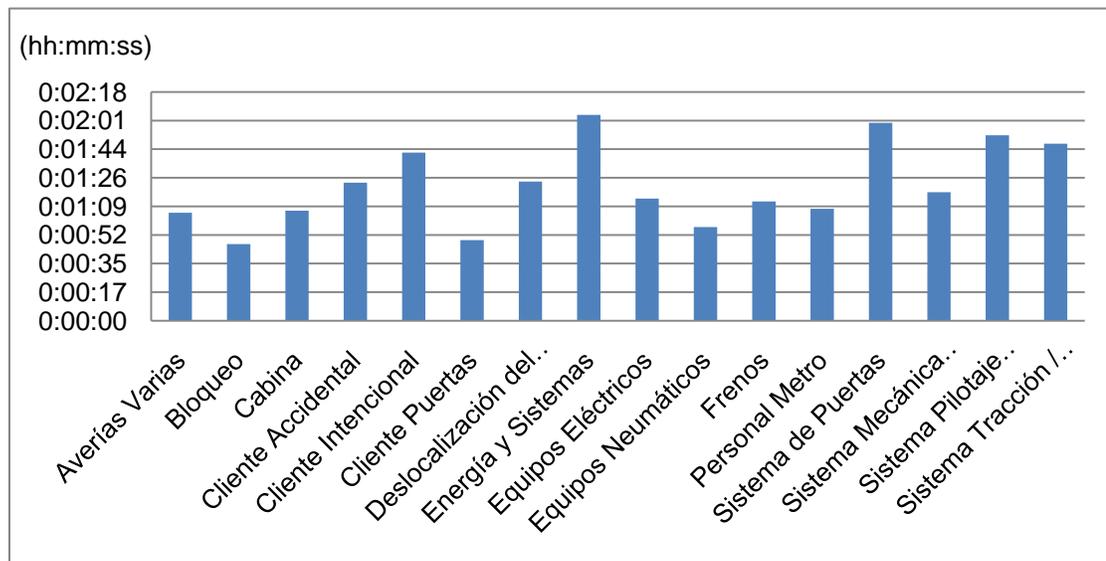
Figura 2: Frecuencia de Ocurrencia de Eventos en Toda la Muestra



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

Sin embargo, no basta con analizar cuantas veces ocurrió cada evento, sino también el atraso que conllevó cada uno. La figura 3 muestra el atraso promedio que cada tipo de evento genera. Este atraso está medido en base a los registros de GEOS, por lo tanto no es una medida exacta y representa sólo un valor referencial.

Figura 3: Atraso Promedio por tipo de Evento en Toda la Muestra



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

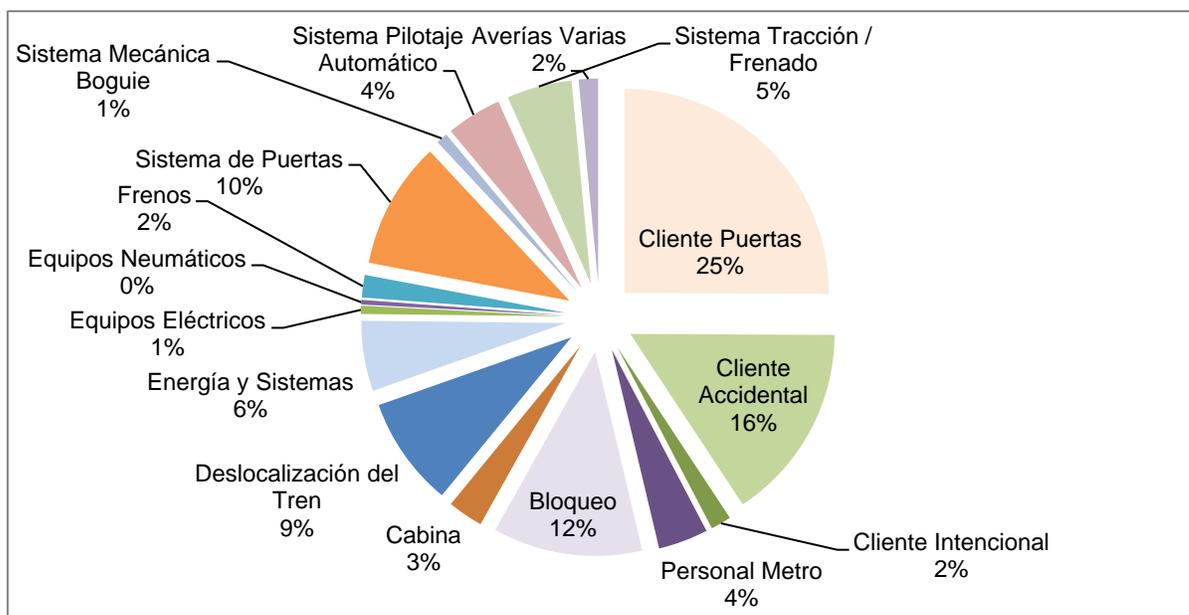
Se observa que precisamente los eventos más frecuentes son aquellos que menor atraso en promedio causan. Por otro lado, eventos puntuales de baja frecuencia como los relacionados a averías en las vías, a averías en el sistema de puertas o al sistema de pilotaje automático tienen un impacto mayor en términos de atraso cada vez que ocurren.

No queda del todo claro mirando estos gráficos cuales son los eventos que a priori podrían considerarse más perjudiciales para la operación, por lo que es relevante hacer el siguiente análisis. Considerando que durante 1 año y 7 meses en total la suma de los eventos ha ocasionado un retraso total de aproximadamente 202 horas (en línea 1 y línea 4, horarios punta AM y PM), es relevante hacerse la pregunta de a qué porcentaje corresponde cada tipo de evento. Esto se puede apreciar en la figura 4.

Si bien los incidentes de Cliente Puertas y Bloqueos traen consigo un atraso menor al resto, siguen siendo representantes importantes del total de atraso producido históricamente. Un cuarto del tiempo de atraso total producido en todo el periodo en estudio fue producido únicamente por incidentes de clientes con las puertas. Un 16% le sigue con conductas accidentales de los clientes, un 12% relacionado a bloqueos, un 10% a averías en el sistema de puertas y un 9% a deslocalizaciones del tren.

Realizando una división en tipo de eventos de acuerdo al porcentaje que estos explican del atraso, en este estudio serán solo relevantes la suma de eventos que ocasionan el 80% del atraso. El 20% restante será marginado del análisis ya sea por su poca ocurrencia o el bajo tiempo de atraso que implican. Luego, los eventos más importantes corresponden a Cliente Puertas, Cliente Accidental, Bloqueo, Sistema de Puertas, Deslocalización, Energía y Sistemas y Sistema de Tracción / Frenado, sumando estos un 83% del atraso total.

Figura 4: Atraso Porcentual Histórico por tipo de Evento



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

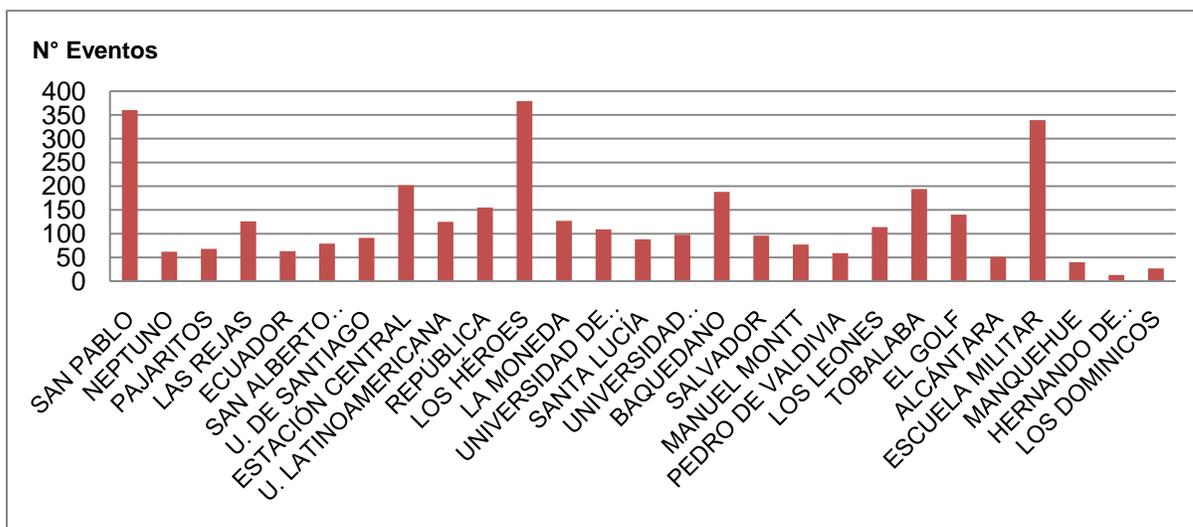
El análisis anterior posee una mirada a la totalidad de los datos, pero vale la pena revisar si estas tendencias se mantienen en las líneas y en los horarios por separado. Por ello, se realizaron además 4 análisis, correspondientes a observar la ocurrencia de eventos en Línea 1 horario Punta AM (L1 PAM), Línea 1 horario Punta PM (L1 PPM), Línea 4 horario Punta AM (L4 PAM) y Línea 4 horario Punta PM (L4 PPM).

4.1.3.1 Análisis L1 PAM

La tendencia en cuanto a los eventos que más atraso han causado históricamente sigue siendo la misma. Las mismas 7 categorías explican el 81% del tiempo de atraso¹².

También se torna relevante observar cómo se ubican espacialmente los eventos a lo largo de la línea. Esto se ilustra en la figura 5.

Figura 5: Eventos por Estación L1 PAM



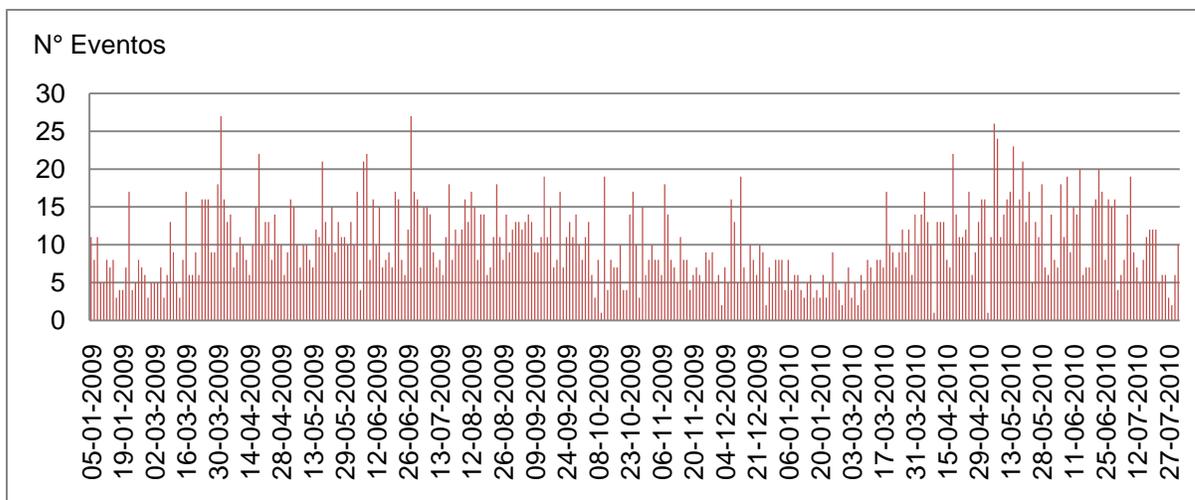
Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

Se observa una alta concentración de eventos en las antiguas estaciones terminales de San Pablo y Escuela Militar, así como en la combinación con Línea 2 en Los Héroes. La primera explicación tras este fenómeno es que los incidentes relacionados con clientes se incrementan en estaciones de alta afluencia, y por otro lado, las averías son observadas en su mayoría una vez terminado el servicio en San Pablo. Cabe destacar que las estaciones Manquehue, Hernando de Magallanes y Los Dominicos al ser inauguradas después que el resto, presentan menos datos y por ello poseen menos eventos operacionales que el resto de la línea.

En relación a las fechas de ocurrencia de los eventos, no se aprecian mayores tendencias. Así lo muestra la figura 6.

¹² Gráfico disponible en sección Anexos.

Figura 6: Eventos por Fecha L1 PAM



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

Si bien, hay un peak de eventos a finales de Marzo 2009, a finales de Julio 2009 y a finales de Abril 2010, no pareciera haber un patrón de ocurrencia para los eventos en su totalidad.

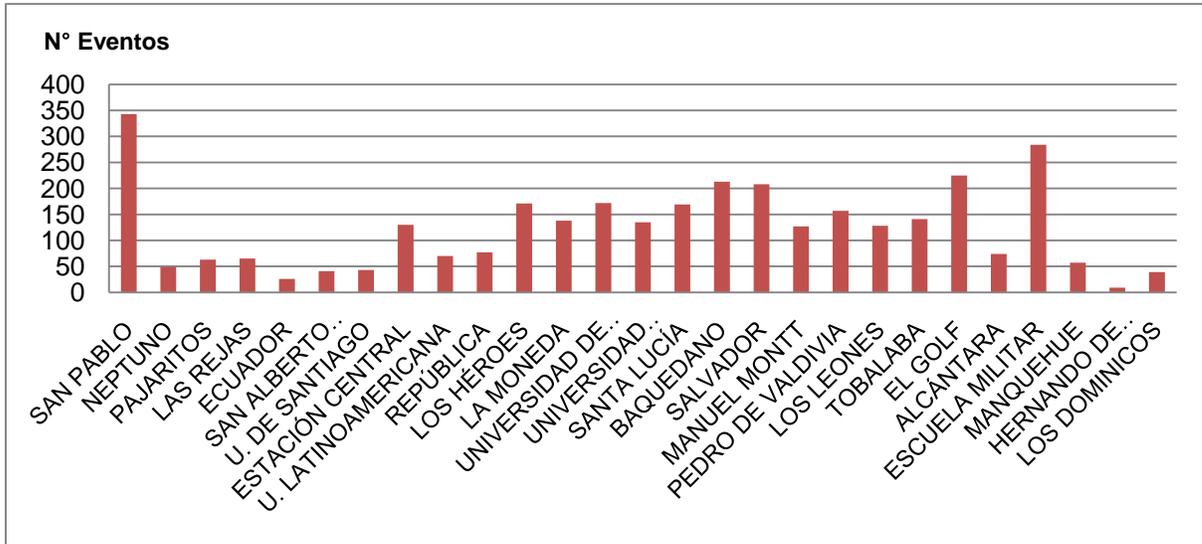
4.1.3.2 Análisis L1 PPM

A diferencia que en horario AM, la hora punta PM presenta una distribución similar de eventos más representativos, pero con una leve modificación¹³. De las 7 categorías descritas anteriormente, Energía y Sistemas pierde relevancia con un 4% de incidencia, y aparece Personal Metro con un 6% desplazándola.

En comparación con PAM, la distribución por estaciones de eventos varía, como muestra la figura 7. Sigue existiendo una fuerte aglomeración de eventos en las estaciones San Pablo y Escuela Militar, pero esta vez la ocurrencia de eventos en estaciones intermedias de la línea está mucho más suavizada. Un factor causante de esto podría ser que la distribución espacial de los viajes es distinta entre la tarde y la mañana. Las personas que concurren a un lugar de trabajo en la mañana se bajan masivamente en estaciones como Los Héroes o Escuela Militar, pero en el regreso a sus hogares en la tarde se bajan en estaciones distribuidas por toda la línea.

¹³ Gráfico disponible en sección Anexos

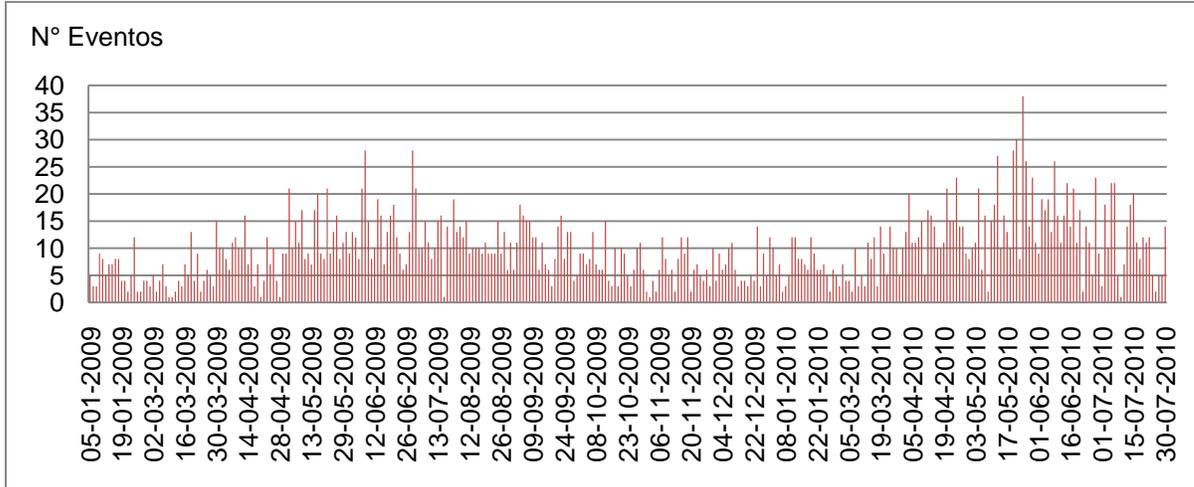
Figura 7: Eventos por Estación L1 PPM



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

En relación a las fechas de ocurrencia, los cuales se ilustran en la figura 8, se observa un incremento en la ocurrencia de eventos desde el año 2009 al año 2010. En lo que va del año laboral, el promedio de eventos ocurridos ha sido mayor que el del año pasado, con un notorio peak a mediados de Mayo.

Figura 8: Eventos por Fecha L1 PPM



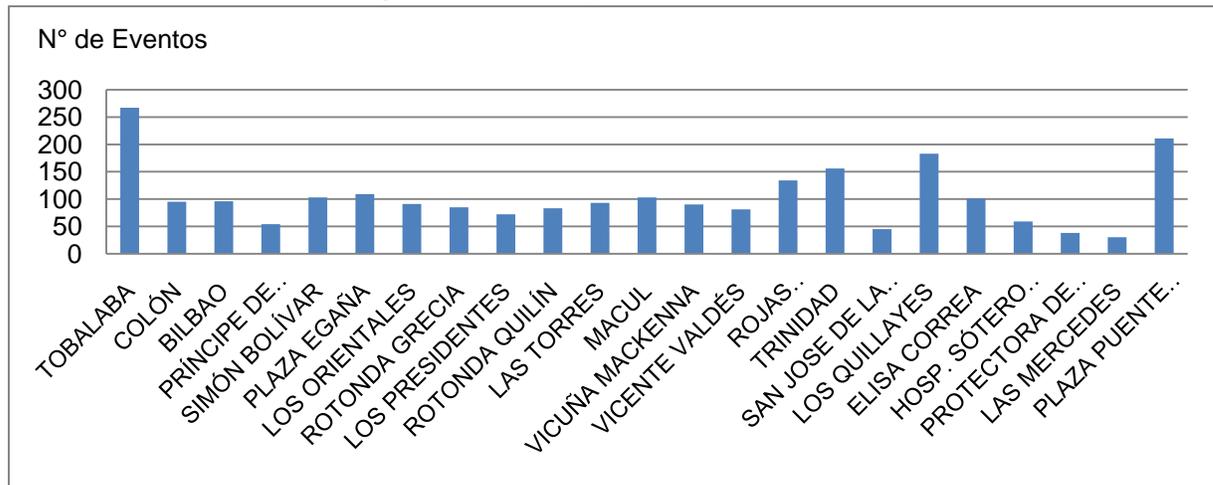
Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

4.1.3.3 Análisis L4 PAM

La Línea 4 presenta un comportamiento distinto al de la Línea 1¹⁴. Más de la mitad de los eventos son explicados únicamente por los incidentes de Cliente Puerta y Cliente Accidental, sumando un 56% del atraso histórico. Las averías de Energía y Sistemas pasan a ser insignificantes en comparación al resto, y utilizando las 6 categorías restantes es posible explicar el 88% de los eventos operacionales. En ese sentido, la Línea 4 parece tener mejores resultados que la línea 1 en términos técnicos, pero concentra sus problemas en errores humanos.

Analizando la distribución por estaciones de los eventos, se observa un comportamiento distinto a L1 PAM, como lo muestra la figura 9.

Figura 9: Eventos por Estación L4 PAM



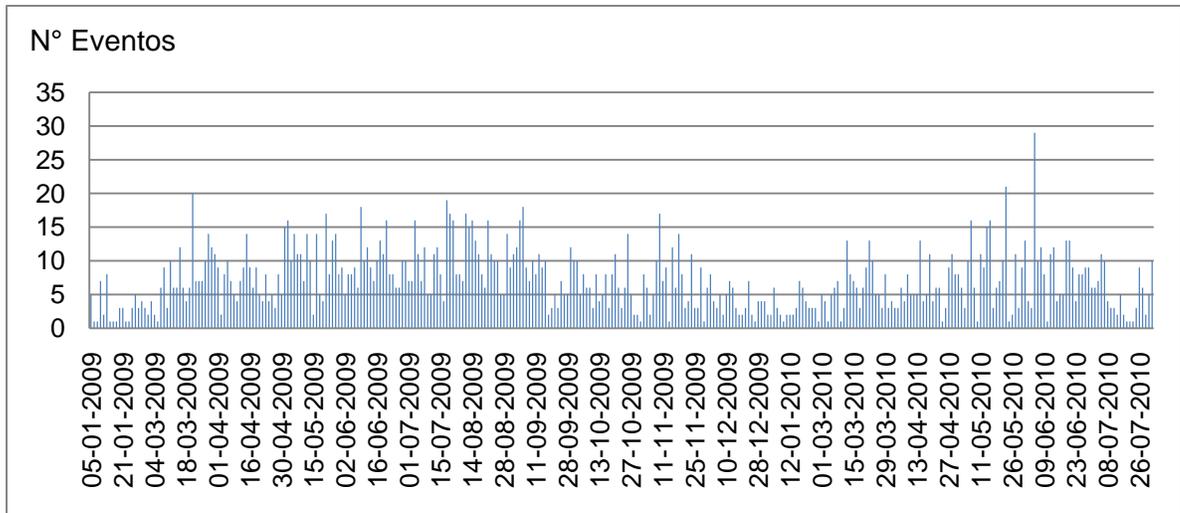
Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

Al igual que en Línea 1, existe una alta concentración de eventos en las estaciones terminales, debido a la alta afluencia de pasajeros que estas tienen. A esto se suma el hecho de que Tobalaba sea una estación de combinación, destacando el número de eventos ocurridos en ella. Sin embargo, estaciones como Vicente Valdés o Vicuña Mackenna no presentan gran número de problemas, aun cuando estas son combinación para las líneas 5 y 4A respectivamente. Interesante es el caso de San José de la Estrella también, pues esta estación fue inaugurada después que el resto. Aun con ello, presenta más eventos históricos que estaciones como Protectora de la Infancia o Las Mercedes.

En relación a fechas de ocurrencia, la figura 10 grafica los datos en estudio. Se aprecia una leve tendencia a la baja desde el año 2009 al 2010. Si bien existe un peak marcado a mediados de Junio de este año, en general se observan menos eventos en relación al año pasado.

¹⁴ Gráfico disponible en sección Anexos

Figura 10: Eventos por Fecha L4 PAM



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

4.1.3.4 Análisis L4 PPM

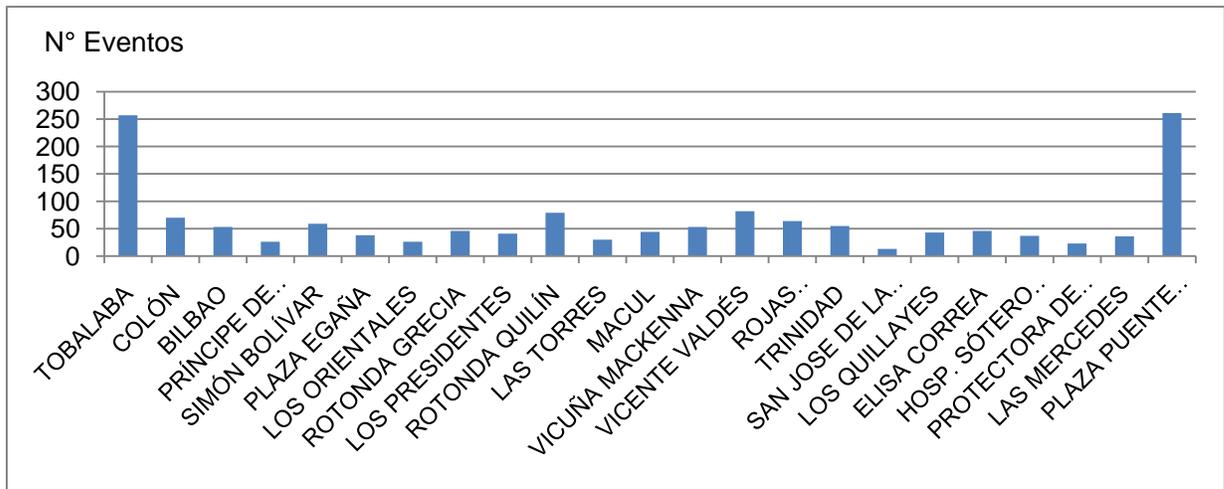
En comparación al horario Punta AM, la importancia en los eventos basados en errores humanos disminuye¹⁵. Sólo 6 categorías son necesarias para explicar sobre el 80% de los eventos, quedando Energía y Sistemas de lado con un 6%. Fuera de esta diferencia, los eventos más explicativos siguen siendo los mismos que en los casos anteriores.

Analizando la distribución por estaciones, las diferencias observadas en horario PAM se acentúan, como muestra la figura 11. La presencia de eventos en las estaciones intermedias se torna insignificante en comparación a la alta cantidad de ocurrencias en las zonas terminales. Juntando los eventos de Tobalaba con Puente Alto se tienen aproximadamente la mitad de todas las situaciones que han ocurrido históricamente desde Enero de 2009. Estas dos estaciones se transforman en puntos críticos a observar y a tener en cuenta.

Finalmente, observando la distribución en fechas de los eventos, como muestra la figura 12, se aprecia una notoria mejora. La cantidad de eventos ocurridos en 2009 ha disminuido en 2010. Si bien, es una disminución de alrededor de solo 4 eventos diarios en promedio, es significativa dada la cantidad de ocurrencias en este horario. A su vez, la cantidad de eventos que concentra la línea 4 es mucho menor a la que ocurre en línea 1. Esto principalmente por la diferencia de afluencia de pasajeros entre ambas líneas.

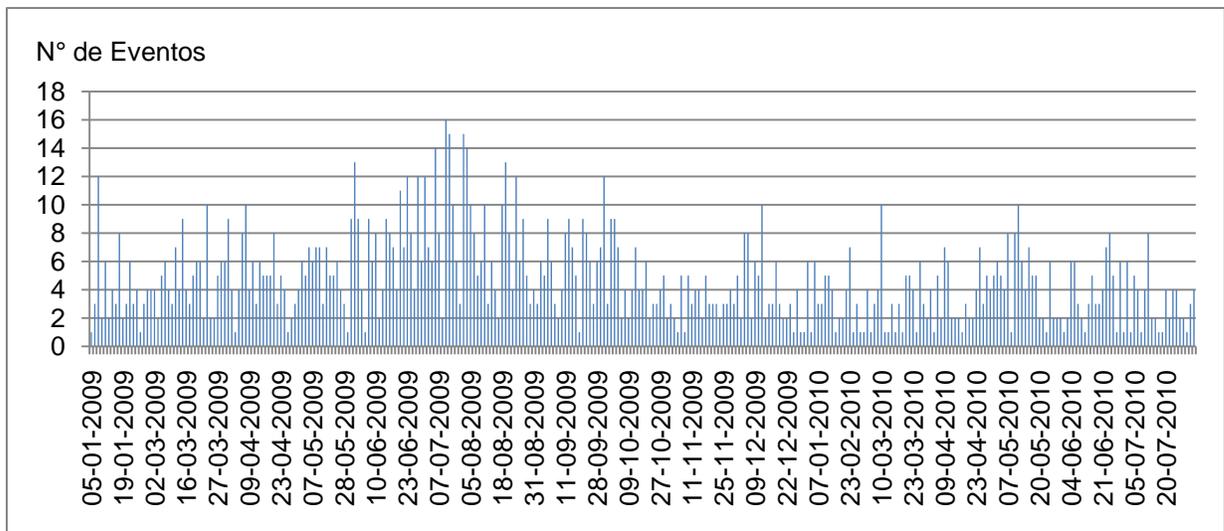
¹⁵ Gráfico disponible en sección Anexos

Figura 11: Eventos por Estación L4 PPM



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

Figura 12: Eventos por Fecha L4 PPM



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

4.2 Impacto de Eventos Operacionales sobre la Oferta Programada

Ya se ha estudiado el impacto de los eventos operacionales medido en segundos de atraso promedio en la línea, sin embargo, estas interrupciones son menores y muchas veces casi imperceptibles por parte de los usuarios. A fin de tener una medida mucho más relevante sobre el verdadero impacto de los eventos operacionales en la calidad de servicio, se observó las consecuencias que estos traen sobre la oferta.

Para el usuario, será mucho más notoria la pérdida en la frecuencia de un cierto número de trenes programado, pues por cada tren perdido menos personas podrán viajar en un mismo intervalo de tiempo y la sensación de hacinamiento tanto en

andenes como coches aumentará. Al mismo tiempo, no todos los eventos operacionales tendrán el impacto suficiente como para traer caídas de oferta, y algunos de ellos tendrán que ocurrir en repetidas ocasiones para recién generar un daño observable.

En esta sección se aborda el procedimiento realizado para medir este impacto, primero a través de regresiones lineales, y luego a través de regresiones logit multinomiales.

4.2.1 Construcción de las variables

Sin importar el tipo de regresión a utilizar, es necesario construir tanto la variable dependiente Y como la matriz de variables independientes X.

4.2.1.1 Variable Dependiente Y

La variable dependiente a analizar busca reflejar cuál fue la caída de oferta en trenes en un día determinado. Metro cuenta con un registro histórico día a día de las frecuencias programadas FP (el número de trenes que debió haber circulado) y la frecuencia real FR (el número de trenes que efectivamente pasó) en intervalos de 1 hora, para cada línea y en cada vía. Al mismo tiempo, cuenta con el registro de las ofertas programadas y reales, que no son más que la frecuencia multiplicada por la capacidad promedio de cada tren.

Una primera formulación sencilla llevaría a utilizar como variable dependiente la caída de oferta absoluta, calculada simplemente como $\Delta F = FP - FR$. Este valor daría una mirada directa de cuántos trenes se perdieron en un horario fijo. Sin embargo, este tipo de medidas no permite determinar qué tan importante fue para Metro esa caída de oferta. Por ejemplo, si debían pasar 40 trenes y solo pasaron 38 no es la misma situación a si debían pasar 20 y sólo pasaron 18. Ambas medidas serán iguales bajo este enfoque, pero no representan la realidad completa.

El enfoque utilizado fue trabajar con porcentajes de caída de oferta, calculados como

$$\Delta F\% = 1 - \frac{FP - FR}{FP}$$

De esta forma, se capturan los efectos en la relevancia en la caída de oferta. A su vez, dado que la frecuencia programada es fácil de predecir observando la fecha del evento, es posible recuperar también cuántos trenes se perdieron aproximadamente.

4.2.1.2 Variables Independientes X

La construcción de estas variables busca reflejar cuántos eventos de cada una de las 7 categorías obtenidas anteriormente ocurrieron día a día. De esta manera será posible observar efectos de eventos que ocurren muchas veces y que no traen caídas de oferta significativas, o eventos que al ocurrir una sola vez producen caídas importantes.

Una primera aproximación en la construcción de estas variables sería crear 7 variables X_i , que cuantifiquen cuántos eventos de la categoría i ocurrieron en un horario determinado. Sin embargo, en esta etapa del análisis es relevante no sólo ver qué tipo de eventos generan caídas de oferta significativas, sino también analizar en qué estaciones generan mayor impacto y por cuál vía traen mayores consecuencias. Probablemente un accidente en estación Ecuador no tendrá el mismo impacto sobre la línea 1 que el mismo accidente en estación Los Héroes. A la vez, dependiendo del horario en análisis, si el accidente ocurre por vía 1 tampoco ocasionará el mismo daño a si ocurrió por vía 2.

Dado que la línea corresponde a un circuito cerrado con dos vías, lo que ocurre en una vía puede afectar la frecuencia de la otra. Por lo tanto, se modelarán las caídas de frecuencia programada en una vía usando como variables independientes los eventos ocurridos en ambas vías.

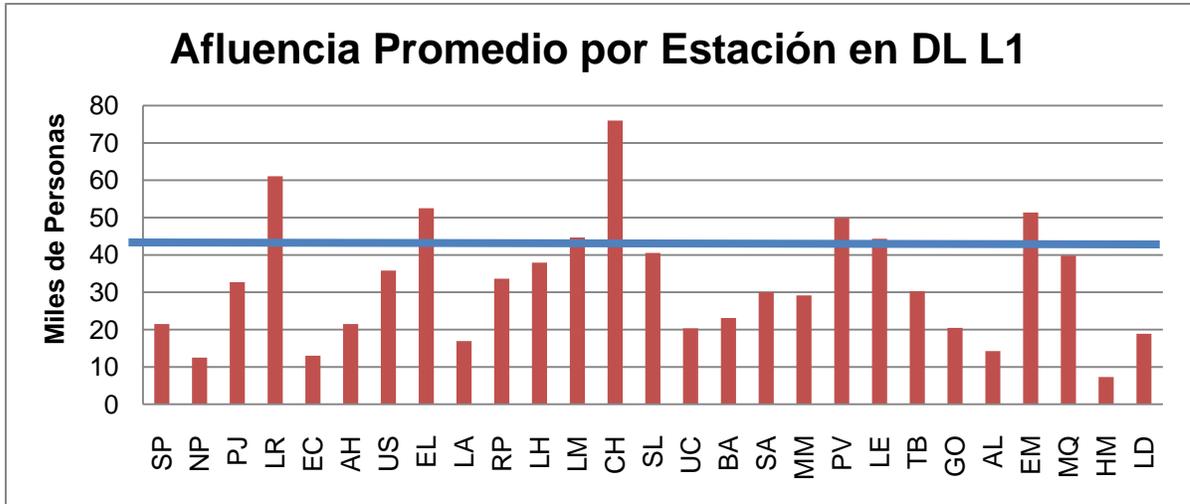
A fin de simplificar el análisis y reducir el número de variables independientes en juego, las estaciones fueron clasificadas de acuerdo a sus funcionalidades, afluencia de pasajeros y su ubicación espacial en la línea. La afluencia es registrada día a día en Metro y puede ser consultada a través del software SISMET¹⁶. A partir de ello, se obtuvieron 4 tipos de estaciones a utilizar en el análisis:

- Estación Terminal: Corresponden a las estaciones en los extremos de la línea, donde los trenes realizan el cambio de vía y ocurren cambios de conductores.
- Estación de Combinación: Corresponden a las estaciones de intersección entre distintas líneas, en las que es posible realizar trasbordo de una línea a otra.
- Estación de Alta Afluencia: Corresponden a estaciones sin características funcionales especiales, pero que reciben alta afluencia de pasajeros en los horarios punta. Para la línea 1, se consideró que estaciones con afluencia promedio por sobre los 45.000 pasajeros diarios en día laboral caían en esta categoría. Para la línea 4, el criterio de corte se basó en los 17.000 pasajeros en día laboral. Esto se ilustra en las figuras 13 y 14.
- Otras Estaciones: El resto de las estaciones que no caían en ninguna de las categorías anteriores se clasificó en este grupo.

Las categorías van en orden prioritario. Es decir, una estación que es Terminal y Combinación a la vez será vista en el análisis como Terminal. A su vez, una estación de Alta Afluencia que también es de Combinación será vista como Combinación, etc. Las figuras 15 y 16 ilustran la distribución de los tipos de estaciones tanto en línea 1 como en línea 4.

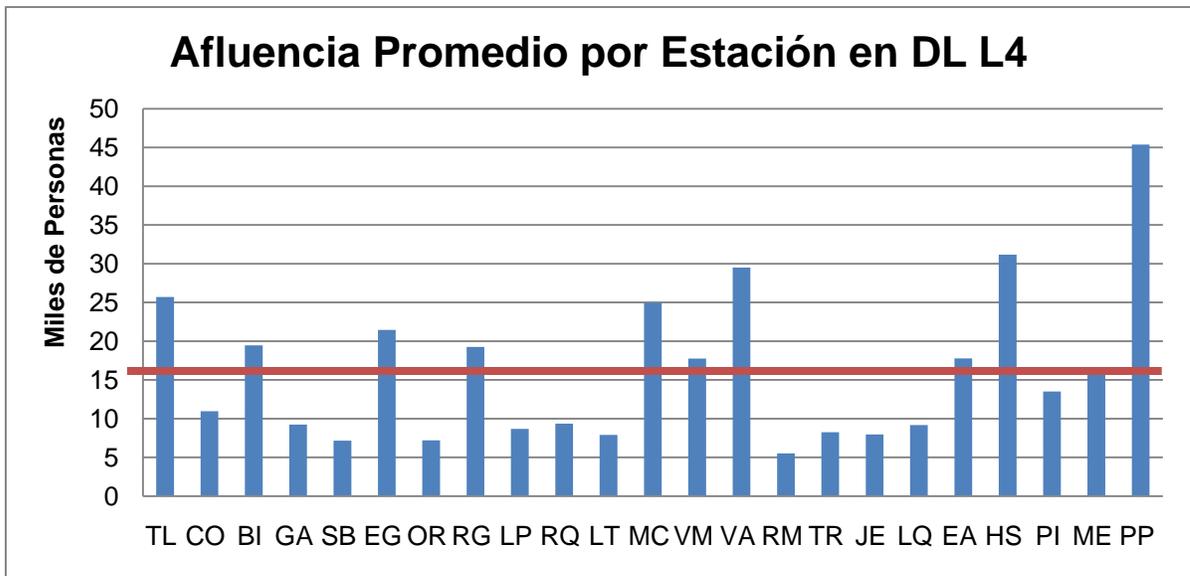
¹⁶ Revisar Glosario en Anexo A

Figura 13: Estaciones sobre la Afluencia Promedio L1



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro SISMET

Figura 14: Estaciones sobre la Afluencia Promedio L4



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro SISMET

Las variables independientes quedan construidas de la siguiente manera:

x_{ijk} = N° de eventos de la categoría i ocurridos en la estación del tipo j , por la vía k .

$i \in (1 \dots 7)$, con 1 = Cliente Puerta, 2 = Cliente Accidental, 3 = Bloqueo, 4 = Sistema de Puertas, 5 = Deslocalización, 6 = Energía y Sistemas, 7 = Sistema de Tracción / Frenado.

$j \in (1 \dots 4)$, con 1 = Terminal, 2 = Combinación, 3 = Alta Afluencia, 4 = Otras.

$k \in (1,2)$, con 1 = Vía 1, 2 = Vía 2.

Figura 15: Clasificación de Estaciones en Línea 1



Fuente: Modificación de Planos Disponibles de Líneas de Metro

Figura 16: Clasificación de Estaciones en Línea 4



Fuente: Modificación de Planos Disponibles de Líneas de Metro

Así, se construyó un modelo para todas las combinaciones de L1 y L4, horario PAM y PPM, y Vía 1 y Vía 2. Es decir, se medirá la caída de oferta en 8 escenarios distintos generando un modelo para cada uno. Cada uno de estos modelos cuenta con una matriz de ocurrencias de eventos, la cual consta de 56 variables independientes, y una variable dependiente correspondiente al porcentaje de caída de oferta.

4.2.2 Medición de Impacto a través de Regresiones Lineales

El primer modelo aplicado a cada escenario fue el de la regresión lineal. Para ello se usó el software SPSS. Con él, se buscó una respuesta sencilla al porqué en la caída de oferta. En un principio, sólo se consideró esta vía como la forma principal de medición de impacto, sin embargo, los resultados obtenidos a través de este enfoque obligaron a explorar otro tipo de regresiones.

El ajuste obtenido para los 8 escenarios con regresiones lineales fue muy bajo, por lo que no permitió obtener mayores conclusiones sobre el impacto de los eventos sobre la caída de oferta. La tabla 2 resume los coeficientes de determinación R^2 obtenidos.

Tabla 2: Coeficientes de determinación para regresiones lineales sobre el porcentaje de caída de frecuencia

Línea 1	PAM	PPM	Línea 4	PAM	PPM
V1	,088	,150		,217	,015
V2	,081	,066		,143	,042

Fuente: Elaboración Propia por medio de software SPSS

A fin de linealizar los datos se aplicaron distintas transformaciones a la variable dependiente, incluyendo la toma de logaritmo, el uso del inverso, etc. Los mejores resultados fueron obtenidos a través de la raíz del porcentaje de caída de oferta, observándose los ajustes en la tabla 3.

Tabla 3: Coeficientes de determinación para regresiones lineales sobre la raíz del porcentaje de caída de frecuencia

Línea 1	PAM	PPM	Línea 4	PAM	PPM
V1	,134	,146		,240	,154
V2	,101	,075		,067	,056

Fuente: Elaboración Propia por medio de software SPSS

Las mejoras no son significativas y no permiten realizar análisis sobre los regresores. Más aún, no es posible obtener conclusiones confiables de estos modelos.

Analizando los datos, se observa que existen muchas caídas de oferta iguales a cero. En reiterados días no ha habido caídas significativas en términos porcentuales, lo cual gráficamente se refleja en una gran cantidad de datos difíciles de ajustar bajo una recta. En vista de que para este estudio no es relevante determinar un porcentaje preciso de caída de oferta, sino que más bien es relevante determinar cuándo hay caídas importantes, una solución razonable a este problema es recodificar la variable dependiente, transformándola de una variable cuantitativa continua a una variable cualitativa por rangos. Esta transformación permitirá disminuir el peso en la regresión de la gran cantidad de datos iguales a cero, y dará la posibilidad de generar un modelo con un ajuste mucho mejor.

4.2.3 Medición de Impacto a través de Regresiones Logit Multinomiales

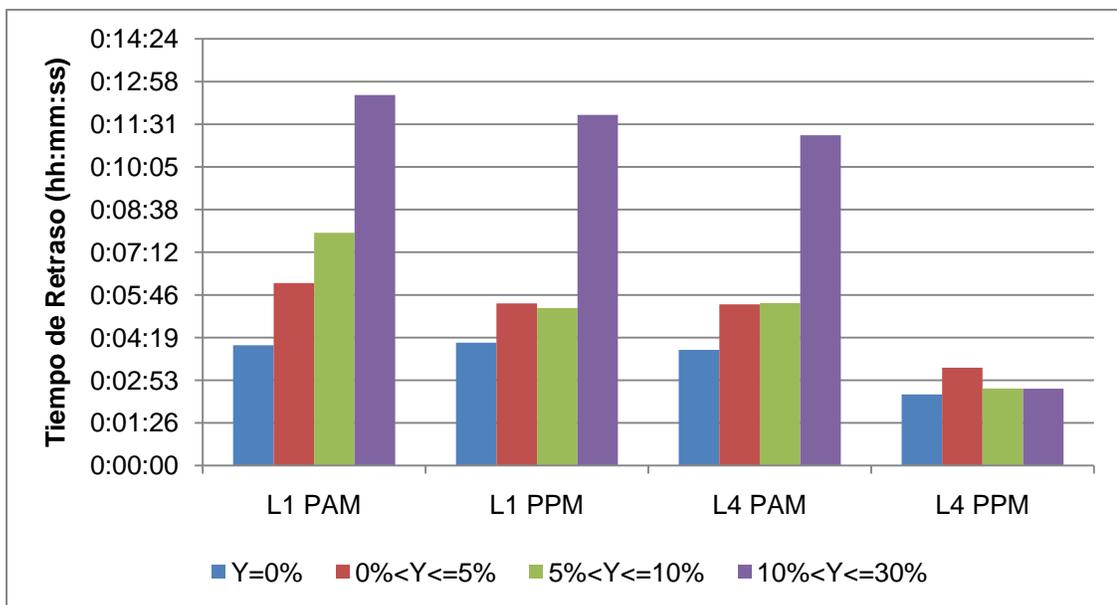
Para la construcción de modelos logit multinomiales se dividieron las caídas porcentuales de oferta en 5 rangos. Estos rangos consideran caídas de frecuencia ocurridas en un intervalo de dos horas, correspondientes a la duración de un horario punta. Estos son:

- Caídas iguales al 0% ($Y = 0\%$)
- Caídas entre 0% y 5% ($0\% < Y \leq 5\%$)
- Caídas entre 5% y 10% ($5\% < Y \leq 10\%$)
- Caídas entre 10% y 30% ($10\% < Y \leq 30\%$)
- Caídas superiores al 30% ($Y > 30\%$)

Como referencia, para un intervalo de 2 horas, una caída de oferta en línea 1 de entre 5% y 10% corresponde a perder entre 4 y 7 trenes para la punta mañana, y entre un 10% y un 30% es una pérdida de entre 8 y 20 trenes aproximadamente. Para la línea 4, entre 5% y 10% equivale a una pérdida de entre 3 a 5 trenes para la punta mañana, y entre 10% y 30% es una pérdida aproximada de entre 6 a 14 trenes. Los valores para la punta tarde son prácticamente los mismos.

Se torna interesante analizar si hay una relación entre el tiempo total de retraso registrado en las 2 horas de un horario punta, y la caída de frecuencia observada en esas 2 horas. Por ejemplo, si se observó que la frecuencia disminuyó en 15%, y si eso fue acompañado de un atraso acumulado de 5 minutos. Se esperaría que mayores caídas de oferta fuesen acompañadas de tiempos de retraso mayores. La figura 17 muestra los tiempos de retraso promedio observados tanto por horario como por línea para cada caída de frecuencia.

Figura 17: Tiempos de Retraso Promedio en Caídas de Frecuencia



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

Se observa en general una tendencia creciente, que condice a la intuición. Mientras más minutos acumulados de retrasos se tienen por la ocurrencia de distintos eventos en una misma mañana o tarde, mayor es la cantidad de trenes que dejan de circular. Esto se aprecia de manera notoria en los 3 primeros casos, no así en la tarde en línea 4.

Cabe destacar que esta tendencia no es completamente perfecta. En particular, para línea 1 en la tarde y línea 4 en la mañana el salto de caídas de frecuencia del segundo rango al tercero no es claro. Al parecer, atrasos acumulados de alrededor 5 minutos y 20 segundos pueden repercutir en caídas de frecuencia inferiores o superiores al 5%, influyendo otros factores además del atraso generado por eventos en la variación de la oferta.

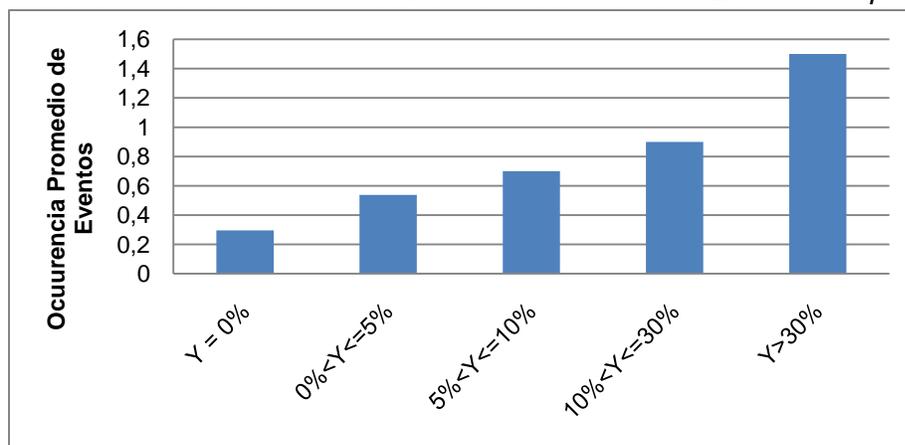
La línea 4 en la tarde no sigue el comportamiento esperado. Más aún, se aprecia un atraso acumulado promedio cercano a los 2 minutos y 30 segundos, independiente de la caída de frecuencia. Esta situación da la sensación de no presentar una relación entre trenes perdidos y atraso acumulado en la línea. Otros factores como la ubicación y el tipo de eventos se tornan relevantes a considerar en el análisis. Mayores conclusiones se aprecian en los modelos escritos más adelante.

Dado que este tipo de regresiones requiere de una categoría base de referencia, se escogió la categoría ($Y = 0\%$) para esa función. De esta forma, todas las ecuaciones obtenidas reflejan la probabilidad de que una combinación de eventos genere una caída de frecuencia en un rango de porcentajes en vez de no generar una caída de oferta.

Los modelos generados por este método presentaron ajustes mucho mayores, sin embargo al generar los modelos con las 56 variables, 6 de los escenarios no superaron el test de χ^2 para el modelo completo, y por lo tanto no es posible rechazar la hipótesis nula de que todos los regresores son iguales a cero. Para solucionar este tema, fue necesario realizar una limpieza de las variables que generan ruido, recurriendo a los siguientes criterios:

- **Criterio de significancia:** Aquellas variables que tuviesen significancias altas por separado a través del test χ^2 fueron eliminadas secuencialmente del modelo. De esta forma, se obtiene un modelo solamente con las variables que potencialmente pueden ser significativas explicando la variable dependiente.
- **Criterio de tendencia:** Este es un criterio particular para el caso en estudio. Si un incidente en particular es el que explica en gran medida las caídas de oferta, entonces la intuición indica que en promedio, ese incidente debería estar presente pocas veces cuando hay baja caída de oferta, y muchas veces cuando hay caídas relevantes. Si se graficara esta situación para una variable que cumple este requisito en cada uno de los rangos previamente definidos, se obtendría, en condiciones ideales, un gráfico como el de la figura 18.

Figura 18: Ocurrencia Promedio Por Horario Punta de un Evento cualquiera



Fuente: Elaboración Propia

La figura 18 muestra un caso hipotético de un evento de la categoría i , que ocurre en una estación de tipo j por la vía k . En promedio, cada vez que no se observa caída de oferta durante las dos horas cronológicas del horario punta, este evento se ha presentado 0,3 veces. Es decir, en todo el periodo de levantamiento de datos, para un horario punta determinado, este evento ha estado presente en muy pocas ocasiones cuando no ha habido caídas de oferta. Cuando ha habido caídas menores al 5%, el evento se ha presentado 0,5 veces. Análogamente, para caídas entre el 5% y el 10%, entre el 10% y el 30%, y superiores al 30%, el evento ha ocurrido 0,7, 0,9 y 1,5 veces respectivamente.

Observar esta tendencia completamente creciente no es posible en las variables actuales. En particular, los casos en que ha habido caídas de frecuencia superiores al 30% son tan escasos que no formarán parte del análisis, y no serán incluidos en la modelación.

Es importante entender que bajo este criterio, la cantidad de ocurrencias de un evento no es importante, sino que solo lo es la tendencia de crecimiento. Si un evento ocurre en promedio 5 veces en el rango de 0%, pero 2 veces en el rango entre 10% y 30%, esta variable en teoría no debería ser incluida. En cambio, una variable con aparición promedio de 0,2 veces en el rango inferior y 0,4 veces en el rango superior sí sería relevante para el análisis.

De acuerdo a este criterio, variables que no sigan una tendencia aproximada creciente no deberían ser incluidas tampoco en el modelo. Sin embargo, es necesario tener cuidado en no eliminar variables que podrían ser relevantes en la explicación de la caída de la oferta. Por ello, este criterio se aplica bajo las siguientes reglas:

- Una variable que presente ocurrencias en el rango entre 10% y 30% debe ser incluida.
- Si una variable no presenta la tendencia completa de crecimiento, pero sí presenta crecimiento en 3 de los 4 rangos, debe ser incluida.
- Variables con significancia bajo el 5%, de acuerdo al test de χ^2 para cada variable, podrán incluirse al modelo, pues representan una porción explicativa importante y se comprueba la hipótesis nula de que el coeficiente asociado a ella es distinto de cero.

Luego, se graficaron las variables para los 8 escenarios y a partir de cada gráfico¹⁷, y junto con los 2 criterios anteriores, se escogieron las variables que se incorporarían a cada modelo. Construyendo los modelos con el software SPSS, se alcanzaron resultados satisfactorios para 7 de los 8 escenarios, con ajustes razonables para la mayoría de ellos. La tabla 4 muestra el ajuste de cada modelo según los enfoques de McFadden, Nagelkerke y Cox & Snell.

¹⁷ Gráficos disponibles en la sección Anexos

Tabla 4: Ajuste de los modelos logit multinomiales

	Línea 1		Línea 4	
	PAM	PPM	PAM	PPM
	Vía 1	Vía 1	Vía 1	Vía 1
Cox & Snell	0,503	0,737	0,555	0,273
Nagelkerke	0,553	0,787	0,596	0,326
McFadden	0,209	0,483	0,303	0,175
	Vía 2	Vía 2	Vía 2	Vía 2
Cox & Snell	0,692	0,449	0,436	0,477
Nagelkerke	0,737	0,519	0,52	0,538
McFadden	0,42	0,297	0,314	0,298

Fuente: Elaboración Propia por medio de Software SPSS

Como se observa, hay un incremento considerable en el ajuste de los modelos en general. Si bien este no es perfecto y se alejan bastante del ajuste perfecto igual a 1, estos modelos permiten obtener conclusiones mucho más acertadas que interpretando las regresiones lineales.

Cabe preguntarse porque no es posible obtener mejores ajustes bajo estos enfoques, incluso a través de limpieza de variables. Para ello es necesario contextualizar un poco más la operación diaria de Metro en horarios punta.

Tanto en la mañana como en la tarde, los operadores de PCC deben velar por que la frecuencia de trenes sea al menos igual a la oferta programada. Para ello, pueden realizar inyecciones de trenes en distintas vías, o hacer que trenes se cambien de una vía hacia la otra. Para medir la frecuencia, existe un punto específico en cada línea en el que cada vez que un tren pasa, se registra como oferta cumplida. Este punto se encuentra entre estaciones Los Héroes y La Moneda en línea 1, y entre estaciones Vicente Valdés y Rojas Magallanes en línea 4.

Si bien, los operadores deben cumplir con la oferta programada en ambas vías, para cada horario existe una vía que es más relevante que la otra (vía prioritaria o vía cargada), y cuya frecuencia debe cumplirse sí o sí. Para la línea 1, esta vía es la vía 1 en la mañana, y la vía 2 en la tarde. Para la línea 4, las vías relevantes son la vía 2 en la mañana y la vía 1 en la tarde. De esta forma, los operadores tienden a sobrecargar de trenes una vía en desmedro de la otra, y mueven trenes desde la vía menos cargada hacia la vía relevante en la que están obligados a cumplir la frecuencia.

Como consecuencia de esto, los datos se ven distorsionados pues una vía siempre está recibiendo un exceso de trenes de manera artificial, mientras la otra los está perdiendo. Revisando la data asociada, se aprecia que en promedio la vía cargada tiene caídas de frecuencia menores que la otra vía. Este es un comportamiento que no debiese darse por parte de los operadores, ya que se pierde equilibrio en la frecuencia en ambas direcciones, y se distorsionan las mediciones de cumplimiento de oferta para Metro.

Específicamente se observa que las vías cargadas tienen un ajuste menor en los modelos que las vías menos importantes, en ambas líneas y en ambos horarios. Esto se da probablemente por el cambio de trenes hacia las vías prioritarias, disminuyendo el impacto visible en toda la línea de eventos operacionales.

Una segunda razón para explicar la falta de ajuste tiene que ver con las no disponibilidades. Si un tren presenta una falla mayor que no permite su salida a las vías desde talleres, será inmediatamente un tren menos para utilizar en la operación. Bajo esta situación, la frecuencia programada se verá golpeada, incluso si no ocurren eventos operacionales en la línea.

Finalmente, cabe incluir en el análisis el hecho de que la frecuencia real de trenes puede ser influida por otros factores aparte de los ya mencionados. Las caídas de frecuencia perfectamente pueden seguir un comportamiento matemático más complejo que el que una regresión logit multinomial puede capturar, y por lo tanto no es posible mejorar los ajustes bajo este enfoque.

Las tablas con los estadísticos para las variables cuya significancia fue superior al 5% se encuentran en el Anexo D. Así mismo, las tablas con los estadísticos para los modelos completos se encuentran en la sección Anexo E. El análisis y el resumen de cada uno de ellos se encuentran a continuación.

4.2.3.1 Modelos Logit Multinomiales L1 PAM

Vía 1

La vía 1 en la mañana corresponde a la vía prioritaria para la operación, por lo tanto presenta caídas de oferta amortiguadas. En este escenario históricamente nunca ocurrieron eventos del tipo Cliente Puerta en Estaciones Terminales por Vía 2, ni Deslocalizaciones en Estaciones de Alta Afluencia por Vía 2, por lo que estos serán descartados. Tras realizar una limpieza del resto de las variables, sólo se incluyen en el modelo aquellas indicadas en las tablas 5 y 6:

Tabla 5: Variables de Vía 1 a utilizar en modelo L1 PAM V1

Vía 1	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
C. Puertas	x	x	x	x
C. Accidental		x	x	x
Bloqueo	x		x	x
Sist. Puertas	x		x	x
Deslocalización	x	x	x	x
Energía y Sistemas	x			x
Sist. Tracción / Frenado	x	x		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6: Variables de Vía 2 a utilizar en modelo L1 PAM V1

Vía 2	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
C. Puertas		x		x
C. Accidental				x
Bloqueo	x	x	x	x
Sist. Puertas				x
Deslocalización				x
Energía y Sistemas			x	x
Sist. Tracción / Frenado	x			x

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados arrojan que se aprecie inmediatamente una tendencia a solamente tomar en cuenta los eventos relacionados con clientes y los bloqueos. Al mismo tiempo, los incidentes accidentales en estaciones de alta afluencia aparecen como los principales responsables de caídas de frecuencia considerablemente altas.

Aparecen en gran parte eventos ocurridos por la vía contraria como responsables de caídas de frecuencia entre el 5% y el 10% por esta vía. La razón probablemente tenga que ver con que al tener eventos que disminuyen la frecuencia por vía 2, se tienen menos trenes disponibles para enviar hacia la vía 1.

Vía 2

Este fue uno de los escenarios que no necesitaron limpieza de variables, y cuyo modelo fue construido con todas las combinaciones de incidentes, estaciones y vías posibles.

Para este escenario no se encontraron variables significativas que explicaran caídas pequeñas de frecuencia. A diferencia de en la vía 1, esta vez pueden identificarse 3 factores principales que determinan las caídas de frecuencia más grandes, siendo estas los problemas de clientes con puertas en estaciones de combinación, los accidentes de clientes en estaciones cualquiera y los bloqueos en estaciones cualquiera. Se observa una dependencia cruzada entre las vías, teniendo lo que ocurre por vía 1 un impacto relevante en la vía 2. Al igual que en el primer modelo, las caídas de frecuencia son solo explicadas por los eventos relacionados con clientes o por bloqueos.

A modo resumen, las caídas de frecuencia superiores al 10% en línea 1 son por problemas de los clientes con las puertas en estaciones de combinación, por accidentes en estaciones normales y de alta afluencia, y por bloqueos en estaciones normales.

Se observa que los principales problemas en la línea 1 en la mañana radican en comportamiento de los clientes, ya sea por exceso de público o por otras situaciones. Las estaciones terminales no parecen tener mayor relevancia, pues son pocos los clientes que realizan sus viajes hacia ellas por la mañana. Dado que la línea 1 cuenta con vías de unión que permiten el traspaso de trenes de una dirección a otra, tampoco se producen atrasos relevantes si hay problemas en los terminales.

Al mismo tiempo, los eventos ocurridos en estaciones normales parecen pegar más fuerte en el atraso en línea. En un principio se había visto que en este horario, los eventos se concentraban en su mayoría en estaciones San Pablo, Los Héroes y Escuela Militar. De estas 3, solo Escuela Militar encaja en el perfil de tipo de estaciones que estarían influyendo en la caída de oferta, acumulando las estaciones terminales y de combinación eventos que no necesariamente traen caídas significativas en la oferta.

Con respecto a los bloqueos, existe una situación particular que los posiciona como factor explicativo de la caída de frecuencia, y que ya ha sido debidamente detectado. Desde Noviembre de 2009 se comenzaron a incorporar los nuevos trenes de la flota NS07 a la línea 1. Paulatinamente, se ha ido agregando más trenes de esta tecnología a la línea, con el fin de cerrar en 20 trenes a finales de 2010. La inserción de estos trenes en la línea tajo consigo un disparo en los bloqueos en la línea, desde Noviembre de 2009 hasta aproximadamente Marzo de 2010. Estos bloqueos tienen que ver tanto con el periodo de acostumbramiento de los conductores a esta nueva tecnología, como con el nuevo sistema de conducción RPS que usan estos trenes que no se adapta perfectamente al sistema de vías actual. Dado que esta es una situación particular que no tiene que ver directamente con medidas que puedan tomarse para su solución, los bloqueos serán marginados del análisis.

4.2.3.2 Modelos Logit Multinomiales L1 PPM

En la línea 1 por la tarde, históricamente en los datos en análisis nunca ocurrieron eventos de Energía y Sistemas en Estaciones de Combinación por Vía 2.

Vía 1

Este escenario fue el segundo que tampoco necesitó de una limpieza previa de variables, ya que el modelo completo arrojó un ajuste considerable.

La tendencia cambia con respecto a la mañana y aparecen otro tipo de eventos que explican caídas importantes de frecuencia. Si bien, se mantienen los bloqueos y los accidentes como causas relevantes, aparecen también averías en el sistema de puertas como eventos responsables.

Nuevamente, los eventos ocurridos por vía 2 también son relevantes en la operación de la vía 1. A pesar de que en este horario es la vía 2 la prioritaria, se puede analizar que al ocurrir eventos en la vía prioritaria, se sacan trenes de la vía 1 y por ende las caídas de frecuencia se desplazan de la vía 1 a la vía 2.

Vía 2

En este escenario las variables consideradas tras la limpieza de eventos son las indicadas en las tablas 7 y 8.

Tabla 7: Variables de Vía 1 a utilizar en modelo L1 PPM V2

Vía 1	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
C. Puertas	x	x	x	x
C. Accidental	x	x		
Bloqueo	x			x
Sist. Puertas	x			x
Deslocalización		x		
Energía y Sistemas			x	x
Sist. Tracción / Frenado	x			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8: Variables de Vía 2 a utilizar en modelo L1 PPM V2

Vía 2	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
C. Puertas		x	x	x
C. Accidental		x		x
Bloqueo			x	x
Sist. Puertas	x			x
Deslocalización				x
Energía y Sistemas	x		x	x
Sist. Tracción / Frenado		x		x

Fuente: Elaboración Propia

Esta vez, el comportamiento observado es completamente distinto que el visto en la mañana. Se ve que los eventos ocurridos en vía 2 son casi suficientes para explicar las caídas de oferta en la misma vía. El tipo de eventos también cambia, y en particular para caídas superiores al 10% serían los problemas en el sistema de puertas y las deslocalizaciones las responsables, ambas en estaciones normales.

Si bien, los problemas de tracción o frenado están repercutiendo desde la vía 1, esto se da en estaciones terminales, lo cual trae repercusiones a la vía 2 mucho más directas que en otros lugares.

Los problemas de la operación en línea 1 durante la tarde parecen ser mucho más diversos que en la mañana. En resumen, los eventos que explican las caídas de oferta superiores al 30% son averías en el sistema de puertas en estaciones normales, deslocalizaciones en estaciones normales, bloqueos en estaciones terminales y accidentes en estaciones de alta afluencia.

Si en la mañana se podía decir que la gran mayoría de las fallas venía de errores humanos y comportamiento de los clientes, aquí parece ser todo lo contrario, y son las fallas mecánicas las que disminuyen la frecuencia. Al mismo tiempo, es relevante analizar que las caídas de frecuencia en este horario están mayoritariamente explicadas por lo que ocurre en vía 2, es decir, en la vía prioritaria. Luego, los esfuerzos por solucionar estas situaciones deben ir en esa dirección.

Analizando en mayor detalle el comportamiento de las averías en este horario, y contrastando con los grandes hitos por los que ha pasado Metro este año es posible inmediatamente obtener respuestas frente a lo que se observa. En primer lugar, las deslocalizaciones en estaciones normales se manifestaron con frecuencias significativas durante el año 2009. Sin embargo, este fenómeno dejó de ocurrir en 2010, donde sólo se observan 5 casos. Más aún, ninguno de estos casos conllevó caídas superiores al 10% en la frecuencia. Luego, se considera que si bien las deslocalizaciones explican el comportamiento de las caídas de frecuencia, no lo hacen para los datos más recientes, y por ende es un problema que ya no debe ser solucionado. En segundo lugar, los bloqueos en estaciones terminales siguen el mismo comportamiento explicado para la punta mañana. La incorporación de los trenes NS07 a la línea 1 produjo un disparo en los bloqueos que distorsiona los datos. Luego, siendo este un problema explicado en gran parte por la incorporación de nuevas tecnologías, tampoco será considerado.

4.2.3.3 Modelos Logit Multinomiales L4 PAM

En la línea 4 por la mañana nunca ocurrieron en todos los datos:

- Deslocalización en Estaciones de Combinación por Vía 1
- Energía y Sistemas en Estaciones Terminales por Vía 1
- Sistema Tracción y Frenado en Estaciones de Combinación por Vía 1
- Sistema Tracción y Frenado en Estaciones de Alta Afluencia por Vía 1
- Deslocalización en Estaciones de Combinación por Vía 2
- Energía y Sistemas en Estaciones de Combinación por Vía 2
- Sistema Tracción y Frenado en Estaciones de Combinación por Vía 2
- Sistema Tracción y Frenado en Estaciones de Alta Afluencia por Vía 2

Luego, estas 8 variables son descartadas del análisis.

Vía 1

Tras la limpieza, las variables incorporadas en este modelo se muestran en las tablas 9 y 10.

Tabla 9: Variables de Vía 1 a utilizar en modelo L4 PAM V1

Vía 1	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
C. Puertas	x	X	x	x
C. Accidental				x
Bloqueo	x		x	x
Sist. Puertas				
Deslocalización	x			
Energía y Sistemas	x			x
Sist. Tracción / Frenado				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10: Variables de Vía 2 a utilizar en modelo L4 PAM V1

Vía 2	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
C. Puertas	x	X	x	x
C. Accidental	x	X	x	x
Bloqueo	x		x	x
Sist. Puertas			x	x
Deslocalización	x			
Energía y Sistemas	x			x
Sist. Tracción / Frenado				

Fuente: Elaboración Propia

La línea 4 presenta un comportamiento en relación a las vías mucho más sencillo que la línea 1. Las direcciones de viaje prioritarias están mucho más marcadas en afluencia de pasajeros, siendo la vía prioritaria por la mañana la vía 2, con viajes desde Plaza Puente Alto hacia Tobalaba (desde una comuna dormitorio hacia un centro laboral de Santiago). En ese sentido, es de esperar un comportamiento en el cual durante la mañana, todo lo ocurrido por la vía 2 repercute directamente en la operación de la línea entera.

Se observa que incidentes relacionados con clientes son los más importantes a la hora de explicar el porqué de las caídas de frecuencia por esta vía. A su vez, pasan a ser relevantes las estaciones de alta afluencia y las estaciones normales, por sobre las de combinación y las terminales.

Vía 2

Descartando las variables que nunca ocurrieron y además realizando la limpieza pertinente, se genera el modelo con las variables indicadas en las tablas 11 y 12.

Tabla 11: Variables de Vía 1 a utilizar en modelo L4 PAM V2

Vía 1	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
C. Puertas	X	X		x
C. Accidental			x	
Bloqueo	X			x
Sist. Puertas	X			x
Deslocalización				x
Energía y Sistemas	X			x
Sist. Tracción / Frenado	X			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12: Variables de Vía 2 a utilizar en modelo L4 PAM V2

Vía 2	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
Vía 2				
C. Puertas			x	x
C. Accidental			x	x
Bloqueo	X			x
Sist. Puertas	X		x	x
Deslocalización	X		x	x
Energía y Sistemas	X			x
Sist. Tracción / Frenado				x

Fuente: Elaboración Propia

Múltiples causas aparecen por esta vía para explicar las caídas de frecuencia más altas. Destaca el hecho de que todas ellas se concentran o en estaciones terminales o en estaciones normales. Recordando la alta incidencia de eventos en las estaciones terminales, observada en el análisis inicial de este estudio, es razonable determinar que estas estaciones son de vital relevancia.

Aparecen las deslocalizaciones, los bloqueos y accidentes como factores explicativos de las caídas de oferta superiores al 10%.

La operación matutina de la línea 4 presenta un abanico de eventos que ocasionan caídas de oferta relevantes, mucho más amplio que su equivalente en la línea 1. Aun así, no se observan problemas en estaciones de combinación a línea 4A o a línea 5. Sin embargo, se ve una marcada tendencia en que los eventos ocurridos por la vía prioritaria tienen total incidencia en lo que ocurre en la línea completa.

El hecho de que esta línea presente operación expresa también influye en el análisis. Dado que los trenes suelen pasar estación por medio, salvo en las estaciones de detención obligatoria, un evento en una estación obliga a los trenes a ir más lento, disminuyendo las ganancias en velocidad que se obtienen al viajar saltándose paradas. A la vez, trenes que por diversos motivos no paren en las estaciones que deben hacerlo, afectan de fuerte manera al servicio que entrega Metro a sus pasajeros.

Un caso especial constituyen las deslocalizaciones en estaciones terminales. Al igual que como ocurrió en línea 1, estas explican el comportamiento de caídas de frecuencia en el año 2009, pero durante 2010 sólo se observan 4 casos. Estos tampoco ocurrieron en días en que se observasen caídas de frecuencia superiores al 10%, por lo que serán marginadas del análisis.

Con los bloqueos en estaciones terminales sucede algo similar. Se observan solo 34 casos, los cuáles sólo están presentes en un 16% de las caídas de frecuencia por sobre el 10%. Los bloqueos son un caso difícil de analizar, ya que el abanico de causas que pueden generarlos es sumamente grande. Estas pueden ir desde un error cometido por el conductor del tren, pasando por averías en las vías, o en algún sistema específico del tren o incluso ocurrir sin una causa aparente. En ese sentido, generar políticas de mantenimiento frente a bloqueos es una tarea que en ocasiones anteriores

ha requerido de la generación de comisiones multidisciplinarias especiales, analizando caso a caso cada una de sus ocurrencias. Luego, dado que estos solo han estado presentes en un porcentaje menor de las caídas de frecuencia importantes y por la alta complejidad en su análisis no serán considerados como eventos urgentes por solucionar. Aun así, se reconoce su importancia explicativa en la caída de frecuencia y se recomienda estudiar las posibles causas de sus ocurrencias en trabajos futuros.

4.2.3.4 Modelos Logit Multinomiales L4 PPM

En la línea 4 por la tarde nunca ocurrieron:

- Energía y Sistemas en Estaciones Terminales por Vía 1
- Sistema Tracción y Frenado en Estaciones Terminales por Vía 1
- Deslocalización en Estaciones de Combinación por Vía 1
- Deslocalización en Estaciones de Alta Afluencia por Vía 1
- Energía y Sistemas en Estaciones de Combinación por Vía 2
- Sistema Tracción y Frenado en Estaciones de Alta Afluencia por Vía 2

Estas 6 variables fueron descartadas.

Vía 1

Las tablas 13 y 14 muestran las variables usadas en el modelo:

Tabla 13: Variables de Vía 1 a utilizar en modelo L4 PPM V1

Vía 1	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
C. Puertas		x	x	x
C. Accidental	x		x	x
Bloqueo			x	
Sist. Puertas			x	
Deslocalización				
Energía y Sistemas				
Sist. Tracción / Frenado				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14: Variables de Vía 2 a utilizar en modelo L4 PPM V1

Vía 2	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
C. Puertas			x	
C. Accidental		x		
Bloqueo	x			
Sist. Puertas	x			
Deslocalización				
Energía y Sistemas				
Sist. Tracción / Frenado				

Fuente: Elaboración Propia

Este corresponde al modelo con el ajuste más bajo, e incluso realizando una limpieza acuciosa de las variables, no es posible mejorarlo. Esta situación ya se observó en las regresiones lineales. Por ello, no es definitivo que los resultados aquí mostrados sean de alta confiabilidad, pero al menos permiten dar luces del comportamiento que podría estar teniendo la hora punta PM por vía 1.

Con este modelo, no es posible explicar con significancia estadística sobre el 5% cuales eventos causan caídas superiores al 10%. Para el rango inferior entre 5% y 10% serían los problemas con el sistema de puertas los causantes de las caídas.

Vía 2

Tomando en consideración los eventos que nunca ocurrieron y además haciendo una limpieza, las variables a utilizar en este modelo se muestran en las tablas 15 y 16.

Tabla 15: Variables de Vía 1 a utilizar en modelo L4 PPM V2

Vía 1	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
C. Puertas	x		x	
C. Accidental	x			
Bloqueo	x	X	x	
Sist. Puertas	x	X	x	x
Deslocalización		X	x	x
Energía y Sistemas	x	X	x	
Sist. Tracción / Frenado	x		x	x

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16: Variables de Vía 2 a utilizar en modelo L4 PPM V2

Vía 2	Terminal	Combinación	Alta Afl.	Otras
C. Puertas		X	x	x
C. Accidental		X	x	x
Bloqueo	x	X	x	x
Sist. Puertas	x		x	x
Deslocalización	x	X	x	
Energía y Sistemas	x	X	x	
Sist. Tracción / Frenado			x	x

Fuente: Elaboración Propia

Para este modelo no aparecen variables significativas que pudiesen explicar las caídas de frecuencia superiores al 10%. Si bien el modelo tiene un ajuste mucho más aceptable que su contraparte por vía 1, tampoco permite dar una respuesta acabada de que eventos conllevan caídas superiores al 10% en la oferta. Sí entrega señales de que los eventos relacionados con clientes, en especial los de las puertas en estaciones de combinación, explicarían las caídas de oferta entre el 5% y el 10%.

El comportamiento de la línea 4 durante la tarde no queda tan claro mediante un enfoque de modelos. Observando los datos en detalle, se puede ver que en este horario las caídas de frecuencia no superan en muchas ocasiones el 10%. Sólo un 5%

de los casos corresponde a caídas por sobre el 10%. Luego, tiene sentido que los modelos asociados no sean capaces de determinar patrones de ocurrencias para este rango.

En adelante, el análisis se centrará en resolver los eventos que están explicando caídas de frecuencia entre el 10% y el 30%. Este rango representa una caída de frecuencia que pasa a ser relevante en la operación de Metro, y que por lo tanto debe ser solucionado. La tabla 17 resume cuáles son estos eventos, dónde ocurren, y qué porcentaje de caída de oferta explican.

Tabla 17: Resumen de Eventos relevantes

Línea 1			Línea 4			
PAM		PPM		PAM		
Evento	Estación	Evento	Estación	Evento	Estación	
10% a 30%	Cliente Puerta	Combinación	Cliente Accidental	Alta Afluencia	Cliente Puerta	Alta Afluencia
	Cliente Accidental	Alta Afluencia	Sist Puertas	Otras	Cliente Puerta	Otras
	Cliente Accidental	Otras			Cliente Accidental	Alta Afluencia
					Cliente Accidental	Otras

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Dependencia de Incidentes sobre Eventos

Los análisis realizados a través de modelos logit multinomiales reflejan en gran medida el comportamiento de caída de frecuencia producto de la ocurrencia de eventos. Sin embargo, estos modelos se construyen bajo el supuesto de que cada evento es independiente del otro, lo cual no es completamente cierto.

Por un lado, se puede argumentar que dado que las averías ocurren en sistemas independientes del tren, estas siguen un comportamiento aleatorio y sus registros en GEOS no tienen relación importante unos con otros. Por otro lado, no es tan sencillo realizar ese tipo de afirmación para los incidentes, ya que estos conllevan conductas humanas difíciles de predecir.

A modo de ejemplo, se puede comentar el caso en que producto de una avería con el sistema de puertas, una de las puertas debe ser bloqueada, impidiendo su apertura y cierre. Un par de estaciones más adelante, un cliente puede querer bajar de ese tren, y al no abrir la puerta, hala el freno de emergencia. En este caso, la culpa del incidente no es del cliente, sino de la avería que ocurrió previamente. Otros casos más complejos pueden ocurrir en que la ocurrencia de un evento grande en términos de tiempo de atraso conlleve la ocurrencia de incidentes menores en estaciones aledañas.

A fin de no dejar este tema de lado, se realizó un análisis sobre los incidentes de clientes con las puertas y de incidentes accidentes de clientes, estos últimos manifestados en su gran parte a través de frenos de emergencia desde los vagones. Este análisis se realizó observando el comportamiento de las líneas en los meses de

Abril, Mayo y Junio de 2010. Estos meses se escogieron por lo reciente de sus datos, y porque Mayo y Junio presentan comportamientos representativos en la operación de Metro. Abril por otro lado es uno de los meses más cargados de pasajeros, por lo cual los incidentes con clientes se acentúan y corresponde al “peor caso” a analizar.

La idea básica del análisis fue realizar un seguimiento a eventos cuyo atraso fuese significativo, fijándose este criterio en eventos con atraso superior a los 2 minutos. Se observó la ocurrencia de eventos en estaciones cercanas a la estación donde ocurrió el evento mayor, y se observó que incidentes ocurrieron en el tren causante a medida que este viajó a lo largo de la línea.

A modo de ejemplo, si un evento importante ocurre en Los Héroes, se observará si durante la próxima hora aparecen incidentes en estaciones desde Universidad de Santiago hasta Baquedano, además de observar el trayecto que realiza el tren causante. Incidentes ocurridos en ese rango de estaciones se considerarán causados por el evento mayor. Las estaciones a observar dependerán del lugar donde ocurre el evento, ya que factores como la duración del evento causante o la afluencia de la estación donde ocurrieron generarán distintos impactos en la línea

Dado el carácter manual de este análisis basado solamente en la observación y el criterio del memorista, se recomienda realizar mayores estudios con respecto a la dependencia de incidentes unos con otros. A su vez, se recomienda observar una muestra mayor que incluya también meses de otras temporadas del año que agreguen valor a los resultados.

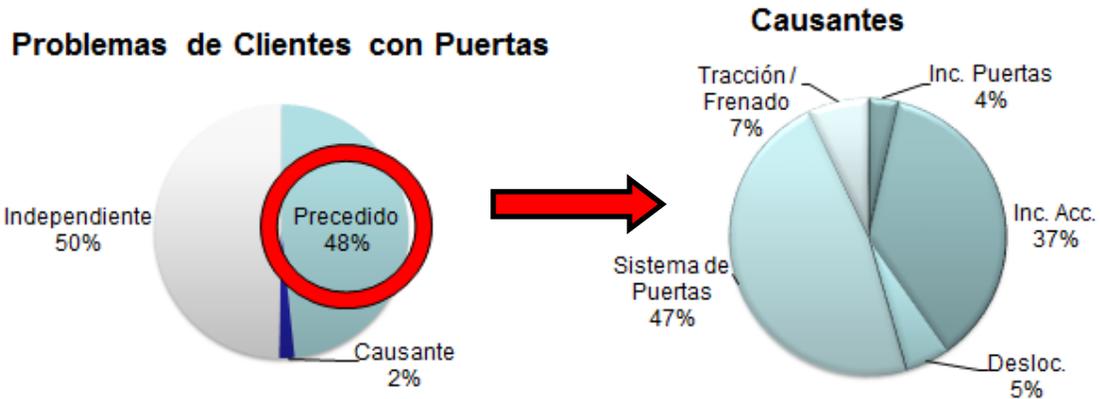
Para este análisis se dividieron los eventos en 3 grupos, a fin de entender su comportamiento. Estos grupos son:

- Eventos Causantes: Eventos cuya duración fue superior a los 2 minutos, y que al analizar su entorno se observa que fueron responsables de otros incidentes menores, ya sea en estaciones cercanas o en el mismo tren.
- Eventos Precedidos: Eventos más pequeños en términos de atraso, que fueron ocasionados por otro evento mayor más temprano en la línea.
- Eventos Independientes: Eventos aislados que bajo la observación no es posible concluir que fueron ocasionados por eventos mayores. Ocurren aleatoriamente y sin razón aparente. A su vez, estos eventos tampoco causan otros eventos menores en otras partes de la línea.

4.3.1 Dependencia de Incidentes en Línea 1

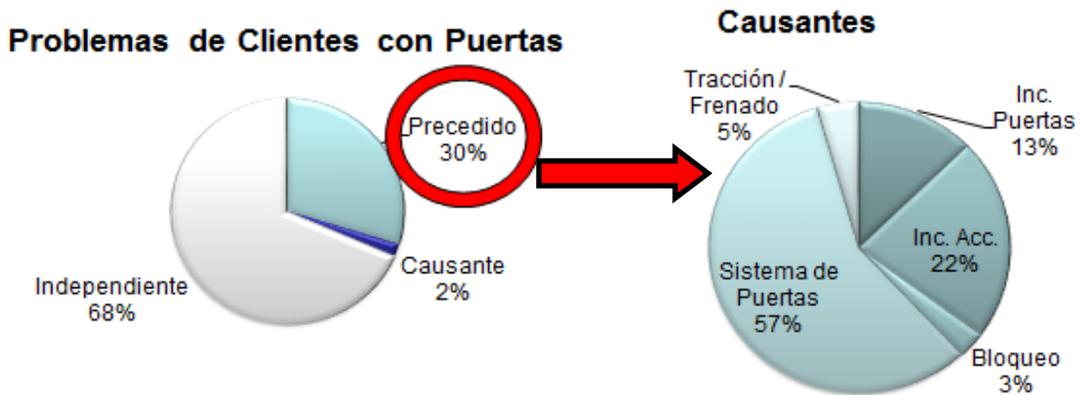
El análisis arrojó una fuerte dependencia en Línea 1, acentuada en la mañana principalmente. La figura 19 ilustra la distribución de eventos causantes, precedidos e independientes para problemas de clientes con puertas para la Punta AM. La figura 20 corresponde a la misma estadística para la Punta PM.

Figura 19: Dependencia de Problemas de Clientes con Puertas en Punta AM



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

Figura 20: Dependencia de Problemas de Clientes con Puertas en Punta PM



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

En la mañana en los 3 meses en estudio se observaron 300 incidentes de clientes con puertas, de los cuáles 145 se consideran fueron causados por otros eventos mayores. De esos 145, el 47% fueron causados por averías en el Sistema de Puertas de otro tren, y 37% por accidentes de algún tipo.

Por otro lado, en la tarde la dependencia disminuye. Sólo se puede atribuir dependencia a un 30% de los incidentes de clientes con puertas, correspondientes a 134 de los 451 incidentes registrados. Cabe mencionar que en estos 3 meses se observan mayores ocurrencias de eventos con puertas en la tarde que en la mañana, tendencia que se mantiene en toda la muestra. Los eventos causantes de esos 134 incidentes continúan siendo en gran parte las averías en el sistema de puertas con un 57%, y en un segundo lugar incidentes accidentales con un 22%.

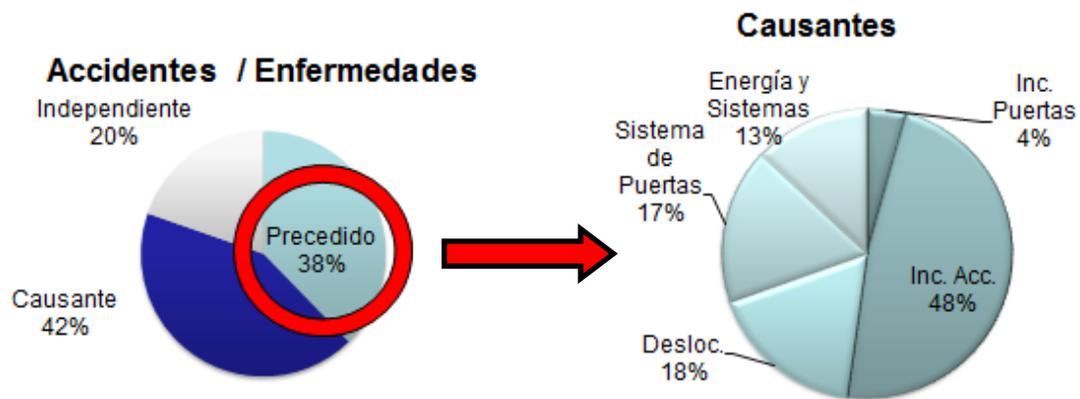
Los incidentes de clientes con puertas se caracterizan por ocurrir cuando grandes aglomeraciones de personas intentan entrar al vagón, y al no poder hacerlo son apretadas por las puertas. El análisis muestra que sobre todo en la mañana estas aglomeraciones son causadas por atrasos relacionados con averías en las mismas puertas, lo cual es comprensible. Si una puerta deja de funcionar o no funciona

correctamente, las vías de ingreso al tren para la gran cantidad de pasajeros se ven disminuidas, generando un atraso significativo no solo en esta estación sino en las contiguas.

Los incidentes accidentales, manifestados en su mayoría a través de frenos de emergencia, parecen mostrar un comportamiento similar, ya que su ocurrencia inevitablemente paraliza la línea por un momento y genera acumulación de pasajeros esperando en andenes. Si bien su tendencia a causar otros incidentes es menor, aún forma parte del 80/20 de eventos causantes de incidentes con puertas.

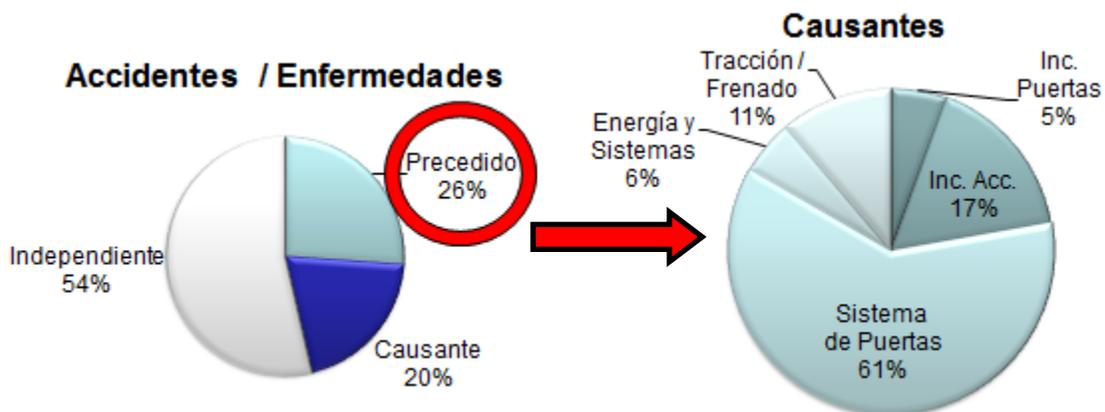
El comportamiento de los incidentes accidentales, en general asociados al accionamiento de un freno de emergencia, no es tan claro en relación a la dependencia con otros eventos. Las figuras 21 y 22 muestran los resultados del análisis para las Puntas AM y PM respectivamente.

Figura 21: Dependencia de Incidentes Accidentales de Clientes en Punta AM Línea 1



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

Figura 22: Dependencia de Incidentes Accidentales de Clientes en Punta PM Línea 1



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

De los 61 incidentes accidentales ocurridos en la mañana, sólo 23 pueden ser asociados a otro tipo de eventos mayores (38%). Más aún, 26 de estos incidentes pueden ser catalogados como causantes de incidentes más pequeños (42%). Los causantes mayoritarios de los incidentes accidentales parecen ser otros incidentes accidentales, apreciándose un comportamiento acumulativo. La interpretación detrás es que un primer incidente accidental puede manifestarse a través de un freno de emergencia que retrasa a la línea. Luego, dadas las detenciones aumenta el hacinamiento en los vagones, y las probabilidades de desmayos u otros problemas de salud aumentan en los pasajeros.

En la tarde el comportamiento es menos fuerte en términos de dependencia, al igual como ocurre con los incidentes con puertas. Sólo 18 de los 69 incidentes accidentales pueden ser explicados por eventos mayores (26%). Esta vez, el mayor responsable del pequeño porcentaje de incidentes accidentales que son causados por otro tipo de eventos son las averías en el Sistema de Puertas. Por otro lado, el comportamiento acumulativo en que un incidente accidental ocasiona otro incidente accidental observado en la mañana no se repite tan claramente en la tarde.

4.3.2 Dependencia de Incidentes en Línea 4

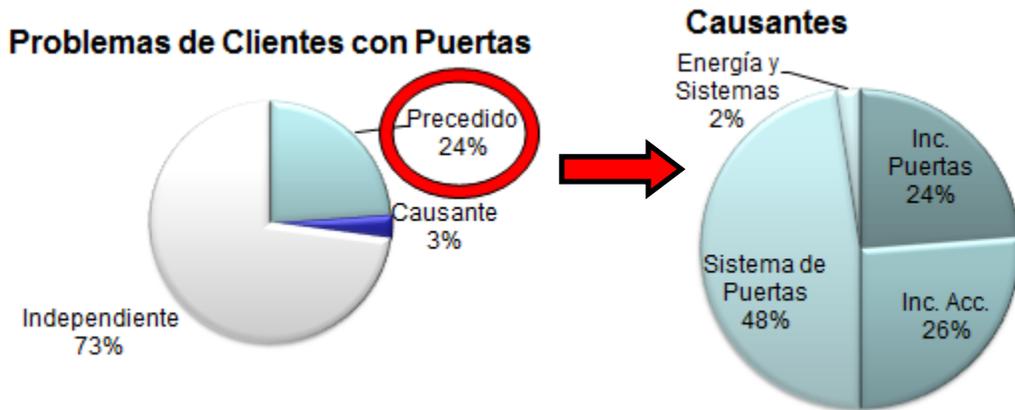
La línea 4 a diferencia de la línea 1 presenta comportamientos más aislados de eventos. No se aprecian dependencias tan fuertes como las que se pueden ver en línea 1, y los porcentajes de independencia aumentan.

Caso particular constituye la operación de la línea 4 en la tarde. En ella, sólo se observan 3 incidentes accidentales y 11 incidentes con puertas que podrían catalogarse como causados por otros eventos. La razón detrás está en el comportamiento aislado que poseen estos incidentes en la tarde. Se observa en repetidas ocasiones eventos solitarios por día, o en palabras más simples, uno o dos eventos por día. Luego, es difícil encontrar relaciones a simple vista si ocurre un evento cada día, más aún si ocurren en distintas estaciones y si son de diferente índole (averías de distinto tipo o problemas con clientes aislados unos de otros).

Una razón de porqué se observan muchos menos eventos en este horario tiene directa relación con la cantidad de pasajeros que utiliza el servicio. La carga promedio de pasajeros por la vía cargada transporta en promedio a casi 15.000 pasajeros menos que su contraparte en la mañana. Esto corresponde a casi un 20% menos de pasajeros. Luego, es razonable pensar que es menos probable tener incidentes con pasajeros si su número ha disminuido.

Para la operación en la mañana los resultados de incidentes de clientes con puertas se observan en la figura 23.

Figura 23: Dependencia de Problemas de Clientes con Puertas en Punta AM Línea 4



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

De los 261 incidentes de clientes con puertas, 60 fueron causados por eventos mayores (24%). Estos 60 incidentes con puertas pueden explicarse casi completamente a través de averías en el sistema de puertas, incidentes accidentales y de otros incidentes mayores con puertas que duraron más de lo normal.

La independencia de este tipo de incidentes en la línea 4 es mucho más marcada que en línea 1, principalmente por la menor cantidad de clientes en la línea. Otro factor a analizar es que los tiempos de viaje entre una estación y otra son menores en la línea 1 que en la línea 4, por lo que en esta última los eventos deben generar un impacto mayor para propagarse en más estaciones, pues los trenes tienen en promedio 10 o 20 segundos más para llegar de una estación a otra que en línea 1.

La figura 24 ilustra los resultados de dependencia en relación a los incidentes accidentales.

Figura 24: Dependencia de Incidentes Accidentales de Clientes en Punta AM Línea 4



Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

De los 84 incidentes accidentales de clientes, 21 fueron ocasionados por eventos mayores (25%). Nuevamente, los causantes de este 25% se distribuyen entre averías del Sistema de Puertas, incidentes accidentales u otros incidentes con puertas. En

términos de porcentajes se podría decir que los incidentes accidentales siguen un comportamiento similar al observado a la línea 1 en cuanto a incidentes precedidos. Sin embargo, estos no aparecen como causantes y se concentra una gran cantidad de incidentes accidentales como eventos independientes. Una posible explicación va en la misma línea de lo interpretado para los incidentes con puertas, siendo los factores de afluencia de público y tiempo de viaje entre estaciones posibles variables explicativas para el fenómeno.

El análisis de dependencia arroja resultados interesantes para los incidentes, que permiten enfocar medidas directamente a los eventos causantes en vez de a los eventos síntomas de la línea. En términos generales, las dependencias oscilan entre el 50% y el 25% aproximadamente para todo tipo de incidente. Esto indica que no es posible determinar eventos predominantes que causen la gran cantidad de incidentes, y que todavía existe un factor aleatorio de entre el 50% y el 75% que explica el resto de los problemas con clientes. Este factor viene dado principalmente por el comportamiento humano, por las aglomeraciones de personas y por otros factores como conciertos, partidos de fútbol, huelgas, etc.

4.4 Medición y Análisis de Costos

Existe una noción de cómo los eventos impactan a la programación de la oferta de manera negativa. Es intuitivo pensar que a mayor cantidad de eventos, cae la frecuencia programada, Metro deja de transportar un cierto número de pasajeros, y por consiguiente el resto de los pasajeros retrasa su viaje. En ese sentido, los eventos conllevan un costo tanto social como privado, los cuáles son relevantes de medir y cuantificar.

La medición de estos costos permitirá mejorar la noción de cuánto dinero pierde Metro producto de sus caídas de frecuencia, y por otro lado, qué costo conlleva para los pasajeros la ocurrencia de un evento.

4.4.1 Análisis de Costos Privados

La pregunta que motiva este análisis es ¿Cuánto le cuesta a Metro S.A. la pérdida de frecuencia ocasionada por eventos operacionales?

Este es un valor difícil de medir, puesto que la frecuencia perdida es una variable que no solo depende de la ocurrencia de eventos operacionales, como se discutió en la sección de modelamiento. Luego, si bien un valor calculado tomando en cuenta únicamente los trenes perdidos corresponde a una cota superior del costo real ocasionado por eventos, sigue siendo una medida aproximada de cuanto pierde Metro por estas contingencias.

Metro cuenta con una tarifa técnica que permite cuantificar cuánto cuesta un usuario en la red para la empresa. Dependiendo de la cantidad de usuarios en la red en el año, los pasajeros se dividen en 3 tramos, cada uno con un valor distinto. Estos tramos son:

- Los primeros 583 millones de pasajeros en el año, cuyo valor es de \$293,1 (CLP) cada uno.
- Desde los 583 a los 717 millones de pasajeros en el año, cuyo valor asciende a \$152,02 (CLP) cada uno.
- De 717 millones de pasajeros transportados en el año en adelante, equivalente a \$55,25 (CLP) cada uno.

La noción tras esta tarificación es dar mayor valor a los primeros pasajeros que aseguran la cobertura de la demanda base necesaria para la operación, y dar menos valor a los pasajeros extra transportados. Las caídas de frecuencia constituyen un fenómeno que si bien disminuye la cantidad posible de pasajeros transportados, no deteriora la demanda base, descartándose el primer tramo para este análisis. Por otro lado, los pasajeros que se dejan de transportar corresponden a las horas punta de operación, por lo que tampoco pueden catalogarse como pasajeros extra, y con ello se descarta el tercer tramo en este análisis. Dado lo anterior, la oferta perdida producto de eventos operacionales será considerada para pasajeros del segundo tramo.

Podría argumentarse que la caída de oferta no necesariamente es equivalente a la cantidad de pasajeros que dejan de ser transportados, pues el comportamiento de un usuario ante una caída de frecuencia será de todas maneras tomar el Metro y esperar más tiempo para subir a un vagón. Este razonamiento sería correcto si las caídas de frecuencia fuesen problemas aislados que ocurren una vez cada cierto tiempo. Sin embargo, al ser estos problemas diarios, el pasajero tiende a acostumbrarse a la frecuencia disminuida como algo normal, y eventualmente observa la frecuencia disminuida como si esta fuese la frecuencia programada. Esto tiene como repercusiones que al mediano o largo plazo, usuarios prefieran otros medios de transporte, adaptándose la demanda a la oferta de trenes que el usuario ve en el día a día.

Para el análisis se consideró la cantidad de trenes no disponibles día a día. Esto quiere decir que si un tren estaba averiado de antemano y no pudo salir a la línea, no fue considerado como caída de frecuencia, con el fin de capturar con mayor precisión el efecto ocasionado por los eventos operacionales.

Se midió el costo privado desde Enero hasta Julio 2010, y los resultados se muestran desglosados por horario en las tablas 18 para la línea 1 y 19 para la línea 4.

Tabla 18: Costo Privado por Caída de Frecuencia L1 (\$CLP)

Línea 1	Punta AM	Punta PM
Total Enero-Julio 2010	\$ 341.732.837,43	\$ 268.573.370,99
Promedio Diario	\$ 2.712.165,38	\$ 2.131.534,69

Fuente: Elaboración Propia en Base a Monitoreos Diarios de Variables Operacionales en Línea

Tabla 19: Costo Privado por Caída de Frecuencia L4 (\$CLP)

Línea 4	Punta AM	Punta PM
Total Enero-Julio 2010	\$ 147.614.291,49	\$ 50.916.463,99
Promedio Diario	\$ 1.171.542,00	\$ 404.098,92

Fuente: *Elaboración Propia en Base a Monitoreos Diarios de Variables Operacionales en Línea*

Se observa que en términos de caída de frecuencia, la línea 1 resulta más costosa que la línea 4. La operación matutina es la más crítica en ambas líneas, indicando que los esfuerzos de corrección deben ir dirigidos a ese horario por sobre la tarde.

La tabla 20 muestra el impacto en costo por perder un tren en línea 1 por horario.

Tabla 20: Capacidad promedio y costo por tren perdido L1

Línea 1	Punta AM	Punta PM
Capacidad Promedio Tren (pax/m2)	1371,95	1373,23
Costo por Tren Perdido (\$CLP)	\$ 208.564,41	\$ 208.758,58

Fuente: *Elaboración Propia en Base a Distribución de la Flota, Línea 1*

La capacidad promedio de los trenes en línea 1 es prácticamente la misma en ambos horarios, con un costo similar en torno a los \$208.600 pesos.

Dado que la línea 4 posee solo un tipo de tren y opera sólo con trenes de 6 coches en horarios punta, su capacidad promedio por tren es la misma e igual a 1590,22 pasajeros. El costo por tren perdido asciende a \$241.744,64 pesos.

Si bien perder un tren en línea 4 es más costoso que en línea 1, la cantidad de trenes promedio perdida en línea 1 es mayor que en línea 4, lo que dispara los costos de la primera. Las tablas 21 y 22 muestran el cumplimiento de frecuencia promedio por línea y horario para las vías prioritarias.

Tabla 21: Cumplimiento de Frecuencia Promedio L1

Línea 1	Punta AM	Punta PM
Cumplimiento de Frecuencia Programada Diaria Promedio Vía Prioritaria	89,64%	90,98%
Trenes Promedio Diario Perdidos	6,06	4,52

Fuente: *Elaboración Propia en Base a Monitoreos Diarios de Variables Operacionales en Línea*

Tabla 22: Cumplimiento de Frecuencia Promedio L4

Línea 4	Punta AM	Punta PM
Cumplimiento de Frecuencia Programada Diaria Promedio Vía Prioritaria	94,23%	97,83%
Trenes Promedio Diario Perdidos	2,20	0,37

Fuente: *Elaboración Propia en Base a Monitoreos Diarios de Variables Operacionales en Línea*

Claramente la línea 1 pierde una cantidad mayor de trenes diariamente, lo que explica los elevados costos que conlleva en relación a la línea 4. Al perder un tren de

frecuencia el impacto es para ambas vías, ya que es un tren menos que no alcanza a dar la vuelta en ambos sentidos.

4.4.2 Análisis de Costos Sociales

La pregunta que se busca responder en este análisis es ¿Cuánto costó a un pasajero el atraso ocasionado por eventos?

Medir este costo resulta más complejo que el costo privado, pues no es tan sencillo determinar cuántas personas fueron afectadas por cada evento, ni cuántas estaciones fueron golpeadas por el atraso.

Dependiendo de la duración del evento, se calculó su costo de dos maneras distintas. Para eventos cuya duración fuese menor al intervalo objetivo que Metro desea cumplir en esa vía, se calculó un costo sólo para los pasajeros presentes en esa estación. Para eventos cuya duración fuese mayor o igual al intervalo, se calculó un costo para los pasajeros en esa estación y en las estaciones anterior y siguiente. Por ejemplo, si el intervalo programado indica que los trenes deben pasar cada 100 segundos, y ocurre un evento en Baquedano en Vía 1 cuya duración es de 200 segundos, se mide un costo tanto en Baquedano como en Universidad Católica y en Salvador. La razón de esto es que estos eventos inevitablemente conllevan un impacto en la línea, ya que implican que otros trenes deban reducir su velocidad o incluso detenerse, y por lo tanto, afectan a al menos las estaciones adyacentes.

El análisis se realizó para el mes de Mayo 2010, por lo que existe un sesgo a la hora de su interpretación. Si bien, Mayo es un mes normal de operación, los costos pueden variar mes a mes dependiendo de si algún evento puntual ocurrió en cada mes.

Se utilizaron como referencia los intervalos en las vías prioritarias. Estos en cada línea para el mes de Mayo fueron:

- L1 PAM: 107 Segundos
- L1 PPM: 120 Segundos
- L4 PAM: 164 Segundos
- L4 PPM: 164 Segundos¹⁸

A fin de identificar el número de pasajeros afectados por cada evento se necesitan mediciones de cuántos pasajeros entran a cada estación, cuantos se encuentran a bordo de los trenes y cuantos realizan combinación. Todos estos datos además se necesitan en intervalos de tiempo pequeños para solo considerar a los pasajeros afectados. Para esto, se emplea un software a disposición de Metro llamado CALDAS.

CALDAS es un software de simulación capaz de determinar las subidas, bajadas, cargas en trenes y trasbordos que se realizan en cada estación de la red, en intervalos

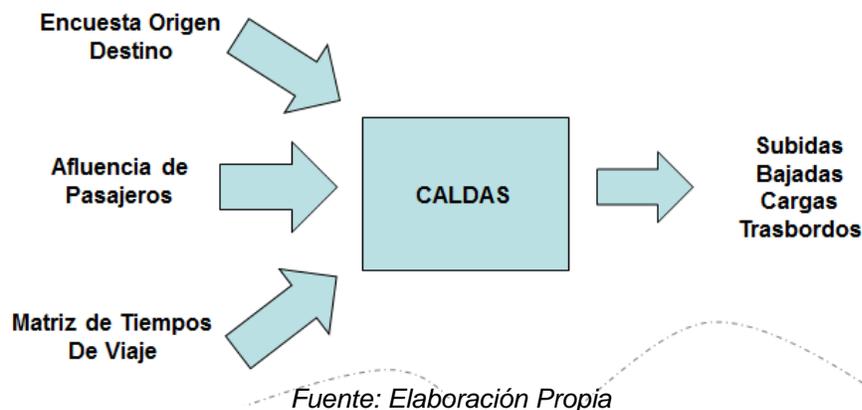
¹⁸ Fuente: Monitoreos Diarios de Variables Operacionales en Línea Mayo 2010

mínimos de 15 minutos. Para ello, recibe 3 inputs diferentes que le permiten generar la información deseada. Estos son:

- Encuesta Origen Destino: Corresponde a una encuesta que realiza Metro cada 1 o 2 años, que permite determinar en promedio cuantos pasajeros realizan un viaje desde una estación A a una estación B, y utilizando qué ruta. Así, se representa el porcentaje de pasajeros que desea ir a la estación B desde la estación A. A partir de esta encuesta se determinan todas las combinaciones de viaje de un punto de la red a otro, y se calcula el número de pasajeros cada 15 minutos que realiza ese viaje.
- Afluencia de Pasajeros: Corresponde al número de usuarios que pasa por torniquete en cada estación, cada 15 minutos. Este número por sí solo no permite saber cuántos pasajeros hay en cada vía, pero la suma de todas las afluencias de todas las estaciones refleja el número de clientes en toda la red.
- Matriz de Tiempos de Viaje: Matriz construida a partir de las marchas tipo de los trenes y las distancias entre estaciones, suponiendo tiempos de trasbordo.

El funcionamiento de CALDAS se resume en la figura 25.

Figura 25: Funcionamiento de software CALDAS



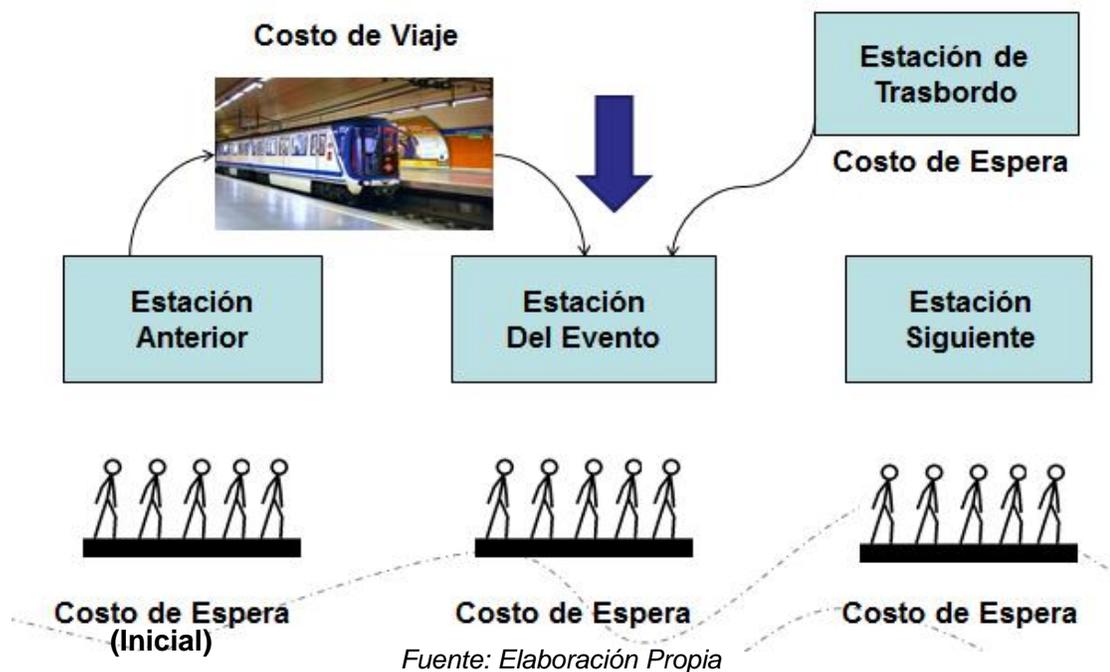
Es importante mencionar que dado que CALDAS calcula variables de demanda en base a una encuesta origen destino, existe un sesgo detrás. La encuesta sólo refleja el comportamiento de los usuarios el día que esta fue realizada, y si bien, la encuesta se realizó en un día previamente estudiado que fuese lo más representativo posible, siempre existe el sesgo de si el resto de los días se comporta de manera similar.

La metodología para medir el costo asume un tiempo de medición fijo e igual a 15 minutos, a fin de ajustarse a los valores de subidas y bajadas de pasajeros entregados por CALDAS. Es decir, dada la ocurrencia de un evento, se medirá su impacto durante los próximos 15 minutos. Para simplificar el análisis, y como se mencionó antes, sólo se consideró el impacto en las estaciones anterior y siguiente a la estación donde ocurrió el evento. Si bien, la propagación del atraso puede modelarse estocásticamente hacia más estaciones (Yuan, 2006), no se considerará este enfoque en el cálculo de costos dada la complejidad en su aplicación y dado el hecho de que gran parte del impacto del evento se siente en las estaciones inmediatamente

contiguas. Aun así, se recomienda para futuros estudios un análisis más acabado que aborde un costo amortiguado por estación y distancia a la estación del evento.

Se cobraron dos costos a los pasajeros; un costo de viaje a todos los pasajeros a bordo del tren del evento, y un costo de espera a los pasajeros esperando tren en los andenes de las estaciones anterior, del evento y siguiente. A su vez, eventos que ocurran en estaciones de combinación traerán también un costo de espera a pasajeros que se encuentren realizando trasbordo. Como el intervalo de medición es de 15 minutos, se cobrará un costo de viaje a todos los pasajeros que pasen por el nodo donde ocurrió el evento en ese tiempo. Al mismo tiempo, se cobrará costo de espera a los pasajeros que vayan llegando a los andenes de la estación del evento y de la estación siguiente. Todo esto se encuentra resumido en la figura 26.

Figura 26: Medición del Costo Social por Evento



Luego, el costo del evento estará dado por la expresión:

$$C_{evento} = C_{espera} * (P_{Traslado} + P_{Est.Evento} + P_{Est.Siguiente} + P_{Est.Anterior (Momento del Evento)}) + C_{viaje} * P_{Nodo Est.Anterior y del Evento}$$

Siendo C y P abreviaturas para Costo y Pasajeros respectivamente.

Cada cliente afectado en viaje percibirá un costo de \$1.006 CLP por hora perdida de viaje, como indica la SECTRA, lo que equivale a \$0,27 CLP por segundo de retraso. Análogamente, el costo por tiempo de espera equivale al triple del costo de viaje, por lo que cada pasajero en esa situación percibirá un costo de \$0,83 el segundo.

4.4.2.1 Costos Sociales para Línea 1 PAM

Se calcularon los costos totales ocasionados por todos los eventos en un mes, y el costo total ocasionado únicamente por los eventos críticos, cuya duración fue mayor

o igual al intervalo objetivo. Se calculó el número de pasajeros promedio diario afectados por cada evento, y el porcentaje que representa ese número de pasajeros respecto a la cantidad de clientes que circula por esa vía en esa línea en ese horario. Finalmente, se calculó el costo promedio que percibe cada pasajero afectado cada vez que ocurre un evento. Este último dato, denominado Costo Promedio por Pasajero Afectado (CPPA), permite tener una noción de cuánto pierde cada pasajero afectado cada vez que debe enfrentar un evento que provoque retraso.

Para la operación matutina, los resultados en costo social se muestran en la tabla 23 para vía 1 (prioritaria) y en la tabla 24 para vía 2.

Tabla 23: Costo Social L1 PAM V1

Línea 1 PAM Vía 1	Total Eventos	Eventos Críticos
Costo Total Mensual (\$CLP)	\$ 28.454.888,84	\$ 15.235.287,36
Promedio Diario Pasajeros Afectados	62.249	12.380
Porcentaje de Pasajeros Afectados Respecto al Total en PAM Vía 1	63,69%	12,67%
Costo Promedio por Pasajero Afectado (\$CLP)	\$ 24,06	\$ 64,77

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Tabla 24: Costo Social L1 PAM V2

Línea 1 PAM Vía 2	Total Eventos	Eventos Críticos
Costo Total Mensual (\$CLP)	\$ 5.214.029,54	\$ 3.210.777,54
Promedio Diario Pasajeros Afectados	10.718	2.857
Porcentaje de Pasajeros Afectados Respecto al Total en PAM Vía 2	18,48%	4,93%
Costo Promedio por Pasajero Afectado (\$CLP)	\$ 25,60	\$ 59,15

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Gran parte del costo está distribuido en la vía más cargada, afectando a casi un 64% de las personas que transitan diariamente en esa dirección. Los eventos críticos sólo afectan a un 12% de los clientes en promedio diariamente, lo que no deja de ser un costo menor dado el retraso que implican. La vía 2 por el contrario contribuye menos al costo, debido a la menor ocurrencia de eventos en esta. Cabe destacar que el CPPA es una medida de cuánto cuesta en promedio cada evento para ese pasajero. En el mes de Mayo ocurrieron en promedio 8,5 eventos por vía 1 diariamente, de los cuales 2,1 fueron críticos. Análogamente, 4,1 eventos ocurrieron por vía 2 diariamente, de los cuales 1,2 fueron críticos. Pasajeros cuyo viaje implique una larga estadía en la línea vivirán probablemente más de un evento, y por ende sus costos se multiplicarán.

Analizando los costos por tipo de evento, se observa la distribución que muestra la tabla 25.

Tabla 25: Costo Social por tipo de Evento L1 PAM

Tipo de Evento	Costo Total Mensual (\$CLP)
Cliente Puertas	\$ 5.355.742,80
Cliente Accidental	\$ 12.974.340,08
Bloqueo	\$ 1.129.014,24
Sistema de Puertas	\$ 8.106.500,30
Deslocalización	\$ 176.737,43
Energía y Sistemas	\$ 3.066.480,82
Sistema Tracción / Frenado	\$ 2.860.102,71

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Se observa una alta concentración de costo en este mes referente a incidentes accidentales, averías en el sistema de puertas y problemas de los clientes con puertas. La razón detrás está en que los dos primeros eventos mencionados suelen tener una duración superior al intervalo, y por ende generan un atraso en la línea. Los incidentes con puertas generan costo debido a su alta frecuencia de ocurrencia.

Los costos promedio por pasajero afectado no parecen ser muy altos a simple vista, por lo que vale la pena determinar que relevancia tienen para el pasajero. Para ello, se analizaron los viajes promedio que ocurren día a día desde una estación A cualquiera en la red a una estación B cualquiera en la red. A partir de esto, se determinó cuánto es el tiempo promedio que viaja una persona en línea 1 durante la mañana por cada vía, y cuánto cuesta ese tiempo de viaje en pesos chilenos. Luego, se comparó ese costo de viaje sin retraso con el costo promedio calculado previamente. Los resultados se muestran en la tabla 26.

Tabla 26: Tiempo de Viaje Promedio del Cliente Vs CPPA L1 PAM

Línea 1 PAM	Vía 1	Vía 2
Tiempo Promedio de Viaje (min)	13,94	7,38
Valor del Tiempo de Viaje (\$CLP)	\$ 233,78	\$ 123,78
CPPA (\$CLP)	\$ 24,06	\$ 25,60
Porcentaje Costo Atraso	10,29%	20,68%
CPPA Eventos Críticos (\$CLP)	\$ 64,77	\$ 59,15
Porcentaje Costo Atraso Eventos Críticos	27,71%	47,79%

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Un pasajero viaja por la vía 1 en promedio 13,94 minutos, lo que equivale a \$233,78 en valoración del tiempo. Luego, cada evento conlleva para él/ella un 10% más de costo en viaje. Si ese pasajero debe enfrentar un evento crítico, perderá un 27,71% más en tiempo de viaje. En la vía menos cargada estos porcentajes se incrementan, producto de que el tiempo de viaje promedio es menor.

4.4.2.2 Costos Sociales para Línea 1 PPM

Los costos obtenidos para la operación en la tarde de la línea 1 se detallan en la tabla 27 para vía 1 y en la tabla 28 para vía 2 (prioritaria).

Tabla 27: Costo Social L1 PPM V1

Línea 1 PPM Vía 1	Total Eventos	Eventos Críticos
Costo Total Mensual (\$CLP)	\$ 8.245.695,77	\$ 3.988.921,34
Promedio Diario Pasajeros Afectados	17.488	2.952
Porcentaje de Pasajeros Afectados Respecto al Total en PPM Vía 1	24,08%	4,06%
Costo Promedio por Pasajero Afectado (\$CLP)	\$ 23,58	\$ 67,56

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Tabla 28: Costo Social L1 PPM V2

Línea 1 PPM Vía 2	Total Eventos	Eventos Críticos
Costo Total Mensual (\$CLP)	\$ 30.045.942,68	\$ 14.020.839,97
Promedio Diario Pasajeros Afectados	60.587	8.134
Porcentaje de Pasajeros Afectados Respecto al Total en PPM Vía 2	62,14%	8,34%
Costo Promedio por Pasajero Afectado (\$CLP)	\$ 24,80	\$ 86,18

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Nuevamente, gran parte del costo se concentra en la vía prioritaria, al igual que el porcentaje de pasajeros afectados. La operación en la tarde presenta un costo para los usuarios superior a la mañana, dada la mayor ocurrencia de eventos. Se observan en promedio 10,3 eventos diarios en la vía cargada, de los cuales 1,6 fueron críticos. Para la vía 1, la proporción es de 4,6 eventos diarios promedio, y 1,2 eventos críticos. El aumento de costos en este horario está dado por mayor ocurrencia de eventos pequeños, ya que se observan menos eventos críticos en promedio que en la mañana. El porcentaje de pasajeros afectado por eventos críticos en la vía cargada es menor que en la mañana, sin embargo en este caso, estos pasajeros enfrentan atrasos mayores, y por ende perciben un CPPA mayor.

Desglosando por tipo de evento, se observan los costos de la tabla 29.

Tabla 29: Costo Social por tipo de Evento L1 PPM

Tipo de Evento	Costo Total Mensual (\$CLP)
Cliente Puertas	\$ 7.556.323,45
Cliente Accidental	\$ 8.359.312,38
Bloqueo	\$ 3.551.742,03
Sistema de Puertas	\$ 16.455.220,00
Deslocalización	\$ -
Energía y Sistemas	\$ -
Sistema Tracción / Frenado	\$ 2.959.721,86

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

La tendencia en cuánto a costos sociales es similar a la operación matutina, y se condice con lo arrojado por el modelo logit multinomial de este escenario. Gran parte del costo está asociado a averías en el sistema de puertas, a incidentes accidentales y a incidentes con puertas. De estos últimos, alrededor de un 30% tienen relación con averías de sistema de puertas, como se discutió en el capítulo de dependencias de incidentes sobre eventos.

Al igual que en la operación matutina, se realizó el ejercicio para determinar qué porcentaje del tiempo de viaje real de un pasajero representa el costo por atrasos. Los resultados se muestran en la tabla 30.

Tabla 30: Tiempo de Viaje Promedio del Cliente Vs CPPA L1 PPM

Línea 1 PPM	Vía 1	Vía 2
Tiempo Promedio de Viaje (min)	9,94	11,95
Valor del Tiempo de Viaje (\$CLP)	\$ 166,77	\$ 200,38
CPPA (\$CLP)	\$ 23,58	\$ 24,80
Porcentaje Costo Atraso	14,14%	12,38%
CPPA Eventos Críticos (\$CLP)	\$ 67,56	\$ 86,18
Porcentaje Costo Atraso Eventos Críticos	40,51%	43,01%

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Los viajes en la tarde son en promedio más cortos que en la mañana para la vía cargada. Esto significa que un atraso genera más costo en términos porcentuales. Se aprecia que un evento crítico genera un costo porcentual más alto que en la mañana, en la vía cargada. Esto es una suma de lo mencionado anteriormente, en que los eventos críticos observados en la tarde tienen mayor duración, y dado que el tiempo de viaje promedio es menor, el porcentaje en costo de atraso para eventos críticos aumenta.

4.4.2.3 Costos Sociales para Línea 4 PAM

El análisis en la línea 4 se hizo de manera análoga al de la línea 1, con la incorporación de la operación expresa al análisis. Para ello, se consideraron como

estaciones anterior y siguiente las estaciones que continúan la ruta del tren. Luego, si ocurre un evento en una estación de la ruta verde, las estaciones consideradas adyacentes serán aquellas que continúan la ruta verde de operación expresa.

Los costos obtenidos bajo este análisis se muestran en las tablas 31 para la vía 1, y 32 para la vía 2 (prioritaria).

Tabla 31: Costo Social L4 PAM V1

Línea 4 PAM Vía 1	Total Eventos	Eventos Críticos
Costo Total Mensual (\$CLP)	\$ 692.340,38	\$ 616.678,00
Promedio Diario Pasajeros Afectados	518	249
Porcentaje de Pasajeros Afectados Respecto al Total en PAM Vía 1	2,61%	1,26%
Costo Promedio por Pasajero Afectado (\$CLP)	\$ 60,75	\$ 112,51

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Tabla 32: Costo Social L4 PAM V2

Línea 4 PAM Vía 2	Total Eventos	Eventos Críticos
Costo Total Mensual (\$CLP)	\$ 16.143.492,98	\$ 5.770.763,91
Promedio Diario Pasajeros Afectados	38.786	3.678
Porcentaje de Pasajeros Afectados Respecto al Total en PAM Vía 2	52,11%	4,94%
Costo Promedio por Pasajero Afectado (\$CLP)	\$ 18,92	\$ 71,32

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Las tendencias con respecto al número de personas afectadas por cada vía se acentúan, siendo la vía 2 el principal aporte al costo social en línea 4 durante la mañana. En ella, un 52,11% de los pasajeros que transitan en esa dirección son afectados en promedio diariamente por eventos operacionales. El costo por eventos críticos golpea a un porcentaje muy reducido de los pasajeros, sin embargo cuando lo hace, se observan costos del triple o más que los observados para eventos normales. En este escenario, ocurrieron 6,9 eventos en promedio por la vía cargada en el mes de Mayo, de los cuales 0,8 eventos en promedio duraron más que el intervalo objetivo. Para la vía menos cargada los valores son drásticamente más bajos, registrándose 0,9 eventos diarios promedio, siendo 0,3 de estos críticos.

Se observa que aun incluyendo los efectos de la operación expresa al análisis, los costos en esta línea son mucho menores a los observados en la línea 1. La principal razón radica en el número de pasajeros transportados, que hace que menos gente sea afectada por un evento específico.

Los efectos en costo social desglosados por tipo de evento se observan en la tabla 33.

Tabla 33: Costo Social por tipo de Evento L4 PAM

Tipo de Evento	Costo Total Mensual (\$CLP)
Cliente Puertas	\$ 4.949.330,63
Cliente Accidental	\$ 6.265.145,19
Bloqueo	\$ -
Sistema de Puertas	\$ 4.673.169,01
Deslocalización	\$ -
Energía y Sistemas	\$ 247.006,53
Sistema Tracción / Frenado	\$ 701.182,00

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Se aprecia que averías en el sistema de puertas generan costos importantes también en términos de costo para el usuario, pero al mismo tiempo no son los principales responsables por las caídas de frecuencia. Al observar los datos, una conclusión que puede sacarse al respecto es que estos eventos generan atrasos de 2 minutos la mayoría de las veces, pero que este tiempo no es suficiente como para perder un tren de frecuencia, como sí ocurre en línea 1 en la tarde con las averías de sistema de puertas.

La tabla 34 muestra la comparación entre el tiempo de viaje promedio por pasajero y por vía, y el costo generado por eventos operacionales.

Tabla 34: Tiempo de Viaje Promedio del Cliente Vs CPPA L4 PAM

Línea 4 PAM	Vía 1	Vía 2
Tiempo Promedio de Viaje (min)	11,22	18,02
Valor del Tiempo de Viaje (\$CLP)	\$ 188,29	\$ 302,14
CPPA (\$CLP)	\$ 60,75	\$ 18,22
Porcentaje Costo Atraso	32,26%	6,03%
CPPA Eventos Críticos (\$CLP)	\$ 112,51	\$ 71,32
Porcentaje Costo Atraso Eventos Críticos	59,75%	23,61%

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

El CPPA en la vía cargada corresponde, para eventos normales, a un 18,02% del costo de viaje. Además, los viajes en promedio son más largos en esta línea que en la línea 1. La vía 1 por otro lado, además de tener una carga mucho menor de personas, presenta un tiempo de viaje promedio en sus pasajeros de 11,02 minutos, lo que genera que atrasos pequeños no sean tan relevantes comparativamente con el largo del viaje. Si bien los eventos críticos causan un costo considerable en ambas vías, sus promedios de ocurrencia son tan bajos que no representan una variable significativa.

4.4.2.4 Costos Sociales para Línea 4 PPM

Las tablas 35 y 36 muestran los costos sociales asociados a la operación en la tarde de la línea 4, para la vía 1 (prioritaria) y vía 2 respectivamente.

Tabla 35: Costo Social L4 PPM V1

Línea 4 PPM Vía 1	Total Eventos	Eventos Críticos
Costo Total Mensual (\$CLP)	\$ 4.025.609,60	\$ 1.348.308,27
Promedio Diario Pasajeros Afectados	11.231	1.456
Porcentaje de Pasajeros Afectados Respecto al Total en PPM Vía 1	18,74%	2,43%
Costo Promedio por Pasajero Afectado (\$CLP)	\$ 17,92	\$ 46,29

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Tabla 36: Costo Social L4 PPM V2

Línea 4 PPM Vía 2	Total Eventos	Eventos Críticos
Costo Total Mensual (\$CLP)	\$ 233.604,38	\$ 153.649,73
Promedio Diario Pasajeros Afectados	318	111
Porcentaje de Pasajeros Afectados Respecto al Total en PPM Vía 2	1,26%	0,44%
Costo Promedio por Pasajero Afectado (\$CLP)	\$ 36,69	\$ 69,40

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Como ya se había observado anteriormente, la línea 4 en la tarde tiene una operación más tranquila, reflejada ahora en sus costos. Sólo un 18% de los clientes de la vía cargada son afectados por algún tipo de evento, cifra que dista de los porcentajes cercanos al 50% observados en los demás escenarios. Sumando ambas vías el costo total no excede los 5 millones de pesos en un mes, lo que habla de una pérdida social diaria de alrededor de los 200 mil pesos. En ese sentido, esta hora en línea 4 pasa a ser la última prioridad a intervenir dentro de todos los escenarios analizados en este estudio. La ocurrencia promedio de eventos en Mayo corrobora lo anterior. En promedio, diariamente ocurrieron 3,2 eventos en la vía 1, de los cuáles 0,4 superaron el largo del intervalo. En la vía menos cargada ocurrieron 0,3 eventos diarios en promedio, de los cuales sólo 0,1 fueron críticos.

La tabla 37 muestra el desglose de los costos por tipo de evento.

Tabla 37: Costo Social por tipo de Evento L4 PPM

Tipo de Evento	Costo Total Mensual (\$CLP)
Cliente Puertas	\$ 233.822,34
Cliente Accidental	\$ 608.873,12
Bloqueo	\$ -
Sistema de Puertas	\$ -
Deslocalización	\$ -
Energía y Sistemas	\$ 4.035.141,45
Sistema Tracción / Frenado	\$ -

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Se observa que en este horario solo ocurrieron 3 tipos de eventos. El alza en costos por eventos de energía y sistemas se debe a que el 14 de Mayo ocurrió una avería particular de ese tipo que duró 16 minutos, en estación Hospital Sótero del Río. Esta situación distorsiona los costos promedio y da un mayor peso a este tipo de evento.

La tabla 38 muestra la comparación de los costos sociales con los tiempos de viaje promedio en la línea.

Tabla 38: Tiempo de Viaje Promedio del Cliente Vs CPPA L4 PPM

Línea 4 PPM	Vía 1	Vía 2
Tiempo Promedio de Viaje (min)	19,16	12,06
Valor del Tiempo de Viaje (\$CLP)	\$ 321,38	\$ 202,22
CPPA (\$CLP)	\$ 17,92	\$ 36,69
Porcentaje Costo Atraso	5,58%	18,14%
CPPA Eventos Críticos (\$CLP)	\$ 46,29	\$ 69,40
Porcentaje Costo Atraso Eventos Críticos	14,40%	34,32%

Fuente: Elaboración Propia en base a Simulación en CALDAS

Los tiempos de viaje son en promedio superiores a la operación en la mañana. Esto implica que el costo ocasionado por eventos genera en términos porcentuales menor impacto para el usuario. Los CPPA calculados se comportan de manera similar a los escenarios anteriores, sin embargo, en este horario el número de clientes afectado es mucho menor y por lo tanto el costo completo de la línea no es comparativamente significativo.

4.5 Medidas Preventivas ante Eventos Operacionales

El análisis ha arrojado los principales problemas que aquejan a cada una de las líneas en estudio, bajo sus distintos horarios punta de operación. En este capítulo se detallan medidas preventivas que pueden ser aplicadas para disminuir la frecuencia de los eventos operacionales considerados más relevantes, y recomendaciones a estudios futuros que se pueden realizar en torno a cada una de estas medidas.

Hasta ahora, se ha observado que en ambas líneas los principales problemas radican en incidentes con clientes relacionados con las puertas y accidentes, y averías en el sistema de puertas. La línea 1 presenta problemas concentrados principalmente en sus clientes durante la mañana, y en la tarde los problemas están concentrados en averías con las puertas. Ahora bien, averías en el sistema de puertas también conllevan incidentes futuros con los clientes, por lo que ambos problemas forman parte de un ciclo constante. En la línea 4, nuevamente son problemas con clientes los que afectan a la frecuencia durante la mañana, y durante la tarde no se ven eventos relevantes que generen caídas de frecuencia importantes. Es por ello que las medidas propuestas sólo atacan a las operaciones de línea 1 en punta AM y punta PM, y línea 4 en punta AM. Por un tema de prioridad en cuánto a la necesidad de solucionar problemas de eventos operacionales, las medidas se enfocan en gran parte a la línea 1, luego a la línea 4 y no consideran la punta PM de esta última.

La lista de medidas en adelante estudiadas atacan mayoritariamente a incidentes de clientes, dada su simpleza en su creación e implementación. Medidas ante averías son estudiadas también pero con menor intensidad. Los costos en adelante expresados son solo referenciales y no representan las cantidades exactas en cada uno de los proyectos. Las evaluaciones presentadas sólo son una primera aproximación de los beneficios y costos sociales asociados a cada proyecto y necesitan de un estudio posterior más acabado. Así mismo, es necesario evaluar los beneficios privados asociados a cada proyecto, considerando si es necesario el aporte de organismo como el Estado, requerimiento de préstamos u otras dimensiones de financiamiento que hagan el proyecto rentable para la empresa.

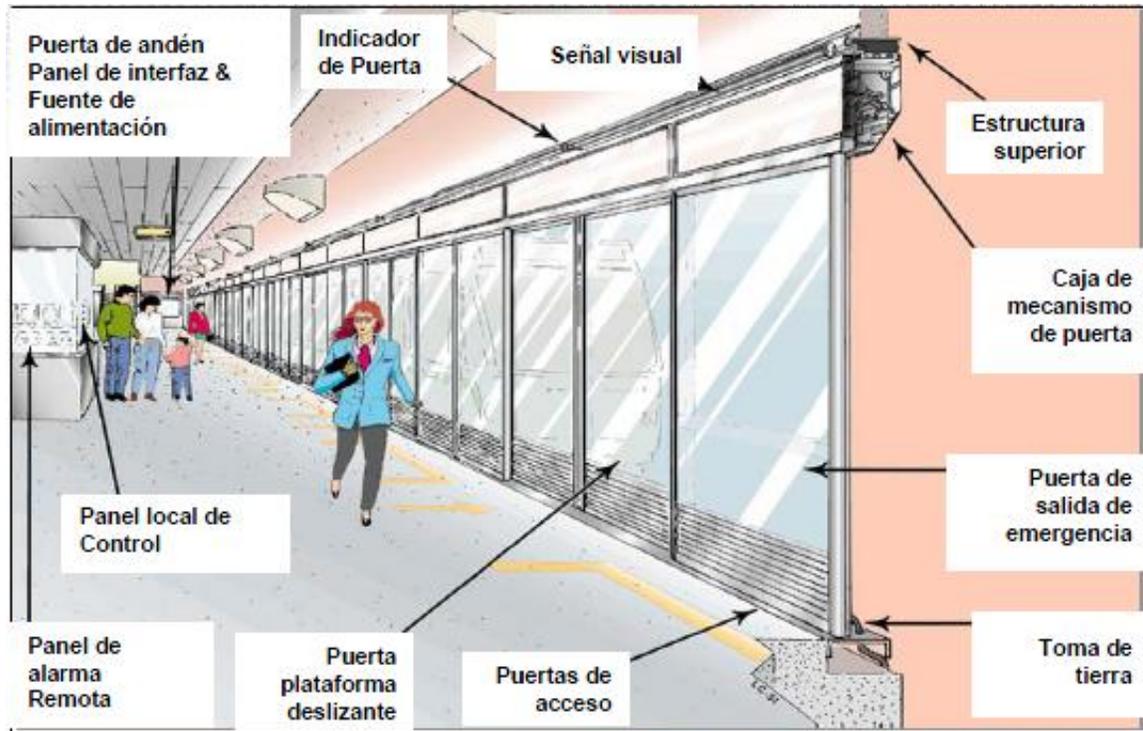
4.5.1 Medidas ante Incidentes

4.5.1.1 Puertas de Andén (*Platform Screen Doors*)

Las puertas de andén son un sistema que ha sido instalado exitosamente en servicios de transporte subterráneo a lo largo del mundo. Estas operan en Metros como los de Tokio, Kioto, Seúl, Hong Kong, Londres, Pekín, Shanghái, Singapur, Copenhague, París, San Petersburgo y Sevilla.

El sistema de puertas de andén consiste en una estructura tipo mampara con puertas extras instaladas en el andén, que están sincronizadas con las puertas de los trenes. En el momento en que el tren se detiene completamente en la estación y abre sus puertas, las puertas de andén se abren simultáneamente permitiendo el ingreso de pasajeros hacia los vagones. Estas pueden ser de altura completa o de mediana altura, dependiendo de los requerimientos de la estación. La figura 27 muestra un diagrama básico de como lucen estas puertas en la estación.

Figura 27: Diagrama Puertas de Andén



Fuente: Faiveley Transport

Este tipo de equipamientos trae una serie de beneficios en temas de seguridad. En primer lugar permiten aislar completa o parcialmente, dependiendo de la altura, la vía del andén. Esto repercute en reducir las probabilidades de suicidios o caídas accidentales a la vía por empujones. En segundo lugar, reducen la tensión de los conductores en la llegada al andén. El conductor tiene la seguridad de que estando las puertas de andén instaladas, el tren no impactará o atropellará a ningún pasajero que esté esperando en el andén. Además, las puertas de andén permiten mantener las vías más limpias, evitando la caída de basura u objetos a los rieles. Por último, las puertas de andén permiten la llegada de trenes a las estaciones a mayor velocidad, ya que no existe el riesgo de dañar pasajeros. Esto repercute en una mejora de la velocidad promedio y por ende a posibles aumentos en la frecuencia de trenes.

Un beneficio esencial que además traen las puertas de andén, y que permite disminuir los problemas de empujones y atrapamiento entre las puertas producto del exceso de gente es la ganancia en espacio de andén. La instalación de puertas de andén permite eliminar el espacio entre el andén y la línea de seguridad, o línea amarilla como es llamada en el Metro de Santiago. Si bien, las puertas tienen un ancho fijo, aún se gana un espacio importante a lo largo de todo el andén.

Las puertas de andén permiten ordenar de mejor manera el flujo de pasajeros. Producto de la ganancia en espacio es posible gestionar mejor los ingresos y salidas del vagón, y por ende disminuir la ocurrencia de atrapamiento de clientes en puertas y accidentes relacionados con el acceso a trenes.

Los modelos logit desarrollados anteriormente arrojaron que, al menos en la mañana para la línea 1, los incidentes que conllevaban caídas de frecuencia ocurrían principalmente en estaciones de combinación, es decir en Tobalaba, Los Héroes y Baquedano. Cabe recordar que si bien San Pablo también es una estación de combinación, para el análisis se consideró como estación Terminal y no entra en este grupo. En el último año, el porcentaje de incidentes de este tipo se concentra prácticamente en las dos últimas estaciones mencionadas, acumulando un 23,17% de todos los incidentes de clientes con puertas, lo cual a simple vista no parece ser un porcentaje mayor. Sin embargo, al considerar que hay 27 estaciones en la línea, el hecho de que sólo dos de ellas concentren más del 20% de los incidentes de este tipo es relevante. La estación Tobalaba por otro lado sólo concentra un 3,81% de estos incidentes. Es por ello que una primera evaluación apunta a instalar estos equipamientos en Baquedano y Los Héroes, ya que no sólo conllevan mejoras a la operación durante la mañana sino también en la tarde y en los horarios valle intermedios.

El espacio ganado es diferente en cada estación. En Los Héroes, el espacio entre las vías y la línea amarilla mide aproximadamente 85 cm. Dado un ancho de las puertas de andén de 10 cm, más una distancia entre puertas de andén y puertas del tren de 20 cm, la ganancia es de un largo de 55 cm. La estación tiene 135 m de largo, por lo que el espacio ganado equivale a 74,25 m². Esto corresponde a un 13,4% más de espacio de lo que ya mide en superficie el andén en una sola vía, considerando que el andén tiene un sector más angosto de un largo de 27,9 m. Ambas vías comparten las mismas dimensiones.

En Baquedano los resultados son similares. El espacio entre línea amarilla es un poco menor, cercano a 81 cm. El espacio ganado siguiendo el cálculo realizado en Los Héroes equivale a 68,25 m², lo que corresponde a un 15,4% del área actual del andén por una sola vía. Las dimensiones para ambas vías son iguales.

A la hora de instalar puertas de andén, se deben considerar los elevados costos que conllevan su instalación y mantenimiento. La instalación del set de puertas en una sola estación, por ambas vías está avaluada en \$2.000.000 USD. Sus costos de mantención se estiman como el 10% de la inversión anual. A esto se suma que la instalación de un equipo así provoca gran impacto en el usuario, por lo que debe ir acompañada de una campaña educativa sobre el uso de las puertas. Una campaña con duración de dos semanas con cobertura en todas las estaciones de línea 1 puede costar alrededor de \$41.000.000 CLP¹⁹, con monitores designados en cada estación de la línea y en cada vía, entrega de dípticos informativos y la impresión e instalación de señalización (adhesivos y letreros) de seguridad en las estaciones involucradas. Las cifras asociadas son sumamente altas y requieren de un horizonte de evaluación de 10 o más años para ser recuperadas con los costos que maneja la línea 1. Por ello, se descartará su evaluación en la línea 4, cuyos costos por incidentes son menores y la ocurrencia de incidentes está mucho más distribuida y menos concentrada en estaciones específicas.

¹⁹ Valor extrapolado de Campaña Operación Expresa para Línea 5

Los beneficios sociales asociados a la instalación de estos sistemas pueden ser medidos en 3 ítems. El primero es la disminución de incidentes relativos a las puertas por parte de los pasajeros. Se espera que la instalación de un sistema así no sólo traiga repercusiones a las estaciones Los Héroes y Baquedano, sino también influya positivamente en las 4 estaciones ubicadas entre las dos ya mencionadas (La Moneda, Universidad de Chile, Santa Lucía y Universidad Católica), y hasta por lo menos 2 estaciones en la dirección San Pablo (Unión Latinoamericana y República hacia el poniente, y Salvador y Manuel Montt hacia el oriente). La razón tras este supuesto es que las puertas ubicadas en estaciones neurálgicas como son las de combinación ayudan a disminuir los atrasos y caídas de frecuencia producto de la aglomeración de personas, y por lo tanto las estaciones cercanas reciben trenes a tiempo. El mismo criterio puede ser utilizado para los incidentes accidentales, reduciendo la congestión en los trenes debido al flujo de pasajeros. El tercer ítem corresponde al aumento en el tiempo de viaje para los pasajeros. Al poder ingresar a estas estaciones a mayores velocidades, y reduciendo el número de incidentes en estas estaciones, se esperaría recuperar frecuencia perdida o al menos ganar tiempo de viaje. Esta ganancia afecta a todos los pasajeros de la línea en ambos horarios.

Se realizó una sencilla evaluación comparando los costos previamente descritos con los beneficios sociales. Para ello, se utilizaron como referencia los costos calculados en el capítulo anterior. Se consideró el costo ocasionado por incidentes tanto con puertas como accidentales anualmente, el cual corresponde a toda la línea. Los incidentes con clientes ocurridos en ese tramo corresponden al 70% del total de incidentes, debido a que el tramo Unión Latinoamericana-Manuel Montt es el tramo más transitado. Se hizo el supuesto de que la instalación de las puertas debería disminuir los incidentes con puertas en un 30% en las estaciones beneficiadas, y en un 25% los incidentes accidentales. Estos porcentajes están sujetos a ser sensibilizados. Por otro lado, se consideró un incremento en el tiempo ahorrado en viaje promedio de 20 segundos, parámetro que también fue sensibilizado. Considerando la cantidad de clientes promedio que viaja en horas punta en línea 1, igual a 325.881 pasajeros diarios aproximadamente en días laborales, y el valor social del tiempo otorgado por la SECTRA, se calculó el beneficio asociado anual para todos los pasajeros.

El proyecto fue evaluado a 10 años, bajo una tasa social de descuento de 6% como lo indica la SECTRA. El detalle de los flujos se muestra en la tabla 47.

Tabla 39: Evaluación Social Instalación Puertas de Andén (\$CLP)

	Año 0	Año 1	Año 2 a Año 10
Beneficio por Disminución del Tiempo de Viaje Promedio (20 segundos)		\$ 435.293.735,30	\$ 435.293.735,30
Beneficio por Disminución (30%) de Incidentes Clientes Puerta		\$ 32.538.406,96	\$ 32.538.406,96
Beneficio por Disminución (25%) de Incidentes Cliente Accidental		\$ 44.800.670,16	\$ 44.800.670,16
Costo Campaña Educativa		-\$ 41.170.000,00	
Costo Mantenimiento Anual Puertas de Andén		-\$ 191.570.881,20	-\$ 191.570.881,20
Inversión Inicial	-\$ 1.915.708.812,00 ²⁰		
Total Anual	-\$ 1.915.708.812,00	\$ 279.891.931,22	\$ 321.061.931,22

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 40 muestra el VAN obtenido bajo una tasa de descuento al 6%.

Tabla 40: VAN Social al 6% (\$CLP) en Puertas de Andén

Tasa de Descuento	6%
VAN	-\$ 375.782.790,10

Fuente: Elaboración Propia

Los flujos desde el segundo año en adelante son iguales, pues no se consideran los efectos en la incorporación de nuevos clientes al servicio ni un eventual incremento en la afluencia de pasajeros por línea 1.

El proyecto evaluado a los 10 años no es rentable socialmente. La instalación de puertas de andén es sumamente costosa y es uno de los grandes contras que muchos metros en el mundo han enfrentado para su instalación.

El VAN previamente calculado es sensible a varios parámetros. Si se asume que las puertas disminuirían en un 50% los incidentes de clientes en vez de un 30%, el proyecto aún no es rentable. Si se pide una disminución del 55% ya se obtiene un VAN positivo de \$ 21.911.436,87 CLP. Aun así, reducir los incidentes del tramo U. Latinoamericana-Manuel Montt en más de un 50% sólo con la instalación de puertas en dos estaciones parece algo difícil de lograr.

Por otro lado, el VAN es sumamente sensible al beneficio obtenido por disminución en el tiempo promedio de viaje en la línea. Asumir que el tiempo de viaje mejora 25 segundos en vez de 20 segundos ya entrega un VAN positivo equivalente a \$ 203.397.213,33 CLP. No es tan fácil dimensionar si el tiempo de viaje promedio puede mejorar en 25 segundos gracias a esta medida, por lo que sería necesario realizar estudios paralelos que permitan corroborar estas suposiciones.

²⁰ Paridad Dólar/Peso Chileno consultada el 7 de Diciembre de 2010

Cabe recordar que los beneficios utilizados en la evaluación solamente consideran lo ahorrado en horas punta en días laborales. Si se aprecian ganancias en los demás horarios y fines de semana, la evaluación podría cambiar en favor de la instalación de las puertas. Además, existen otros beneficios que las puertas de andén aportan que no han sido cuantificados en este análisis, que podrían también cambiar la balanza a favor de su instalación. Las puertas conllevan beneficios energéticos y de ventilación, pues si se instalan hasta el techo, permiten aislar la temperatura de la vía y del andén. Con ello, los costos de energía por ventilación en el andén se reducen drásticamente, permitiendo comprar sistemas de aire acondicionado más pequeños dado el volumen menor que es necesario cubrir. A su vez, las puertas de andén reducen la entrada de humo y gas en caso de fuego en el túnel, por lo que cumplen un rol de seguridad importante en casos críticos.

Se recomiendan mayores estudios respecto a la factibilidad económica en la instalación de estos sistemas en línea 1, ya que sus beneficios son relevantes tanto para clientes como para Metro como empresa.

4.5.1.2 Botones de Emergencia en Coches

Una segunda medida a estudiar corresponde al uso de los frenos de emergencia. Los capítulos de regresión logit y de medición de costos arrojaron como importante responsable de las caídas de frecuencia y de los costos ocasionados por atraso en línea 1 a los incidentes accidentales.

De los 228 incidentes de carácter accidental (es decir, que el cliente no tuvo la culpa) que ocurrieron en línea 1 desde Enero hasta Julio del 2010, tanto en la punta AM como en la punta PM, 143 de ellos implicaron el accionamiento del freno de emergencia dentro del vagón (62,72% de los casos). Analizando las causas de este comportamiento se observa que 120 de estos 143 casos ocurrieron producto de clientes enfermos o con problemas de salud dentro del vagón, derivando muchos de estos casos en desmayos (83,91% de los frenos de emergencia).

Es necesario entender que el freno de emergencia representa el único canal de comunicación entre el cliente dentro del vagón y el conductor del tren. En ese sentido, la activación del freno de emergencia es la única forma de notificar no solo al conductor sino que a la empresa que algo anda mal en el tren.

El procedimiento que los conductores deben seguir en caso del accionamiento de un freno de emergencia dependerá del lugar donde este sea accionado. Si el freno es activado estando el tren detenido en la estación, el conductor debe descender de la cabina, ir al vagón del problema y rearmar el freno de emergencia una vez que la situación fue solucionada. Si el freno es accionado a la salida de la estación, y hay parte del tren dentro de la estación, el tren debe retroceder hasta estar completamente dentro de ella. El conductor debe informar al puesto de comando, y una vez que este sea autorizado, puede realizar la maniobra de retroceso a la estación. Una vez detenido, el conductor debe ir al vagón del incidente, verificar la situación y rearmar el freno de emergencia. Si el freno es accionado cuando el tren está completamente en la interestación, la instrucción que recibe el conductor es avanzar hasta la siguiente estación. Para ello, debe realizar una serie de pasos técnicos en el tren para autorizar

el movimiento, y una vez que el tren avanza a la siguiente estación, puede bajar a verificar la situación y rearmar el freno.

El principal problema de estos procedimientos es que el conductor siempre debe abandonar la cabina, ir al vagón del problema y rearmar el freno. Ante esta situación, el año 2009 se propuso e implementó un proyecto en línea 4 que consistió en la instalación de botones de emergencia conectados a un intercomunicador con el conductor, permitiendo la comunicación con este sin la necesidad de detener el tren. La comparación entre un sistema sin y con un botón de comunicación con el conductor se muestra en la figura 28. Bajo este sistema, el conductor puede tomar la decisión de donde detener el tren, y de solicitar ayuda para que los asistentes de andén acudan a solucionar el problema sin la necesidad de abandonar la cabina. Con ello, disminuye el tiempo de atraso.

Figura 28: Sistema sin Botón de Emergencia en tren NS04 (Izquierda), y con Botón de Emergencia en tren AS02 (Derecha)



Fuente: Elaboración Propia

Sumando todos los coches de todos los trenes destinados a la línea 1 para el año 2011 hay en total 366 coches. Considerando que cada coche tiene 6 frenos de emergencia (1 por cada puerta), hay en total 2.196 frenos de emergencia, los cuales tendrían que ser modificados para incorporar un sistema de comunicación independiente al accionamiento del freno. En línea 4, la instalación de 1.440 botones costó 3.603 UF, considerando tanto el valor de los materiales como su instalación. Extrapolando este costo, se estima un valor de alrededor de 5.950 UF para la línea 1. Este costo no considera posibles modificaciones mayores que deban hacerse a la estructura interna del tren, por lo que se torna relevante profundizar el estudio de factibilidad técnico en los 3 tipos de trenes disponibles en la línea 1.

Además, este mecanismo debe ir acompañado de una campaña educativa que instruya a los usuarios en el uso de este botón, evitando el abuso de este y su mal uso.

La campaña para línea 4 tuvo un costo de \$12.000.000 CLP, por lo que una campaña de este estilo, de duración dos semanas, consistente en la entrega de folletos, adhesivos explicativos y avisos dentro del tren en línea 1 costaría aproximadamente \$15.000.000 CLP.

Si esta medida disminuyese el porcentaje de frenos de emergencia en un 15%, se obtendrían los costos y beneficios resumidos en la tabla 49.

Tabla 41: Beneficios y Costos Asociados a la Instalación de Botones de Emergencia (CLP)

	Año 0	Año 1	Año 2-Año 5
Beneficio por Disminución (15%) de Incidentes Cliente Accidental		\$ 38.400.574,43	\$ 38.400.574,43
Costo Campaña Educativa		-\$ 14.086.956,52	
Inversión Inicial	-\$ 124.993.575,00		
Total	-\$ 124.993.575,00	\$ 24.313.617,90	\$ 38.400.574,43

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 42 muestra el VAN obtenido bajo una tasa de descuento al 6%.

Tabla 42: VAN Social al 6% (\$CLP) en Botones de Emergencia

Tasa de Descuento	6%
VAN	\$ 23.474.032,43

Fuente: Elaboración Propia

El proyecto es rentable tras 5 años de operación. Cabe mencionar que los trenes de línea 1 ya cuentan con un intercomunicador instalado asociado al freno de emergencia, por lo que utilizar ese mismo sistema como comunicación con el conductor a través de un botón extra reduciría aún más la inversión inicial.

La factibilidad económica de esta medida viene dada directamente por el porcentaje de disminución en la activación de frenos de emergencia. Para ello, la campaña debe ser diseñada de tal forma que recuerde al usuario dentro del tren que el freno sólo debe ser utilizado en casos críticos y que en otras situaciones el botón es el medio adecuado para solucionar conflictos menores. Cabe mencionar además que los beneficios cuantificados solo consideran días laborales y horarios punta, por lo que el proyecto podría ser rentable incluso antes de 5 años si es que se incluyen también estos beneficios.

Se recomienda un estudio más profundo de factibilidad técnica sobre la instalación de estos dispositivos como ya se mencionó antes, y la incorporación de otros costos y beneficios que no hayan sido considerados en este análisis.

4.5.1.3 Asignación de la Dotación de Asistentes de Andén

Dada la alta cantidad de usuarios que Metro debe transportar día a día, es necesaria la contratación de personal externo a la empresa para monitorear que no ocurran accidentes y que haya orden en el andén. Para ello, se creó el rol del asistente

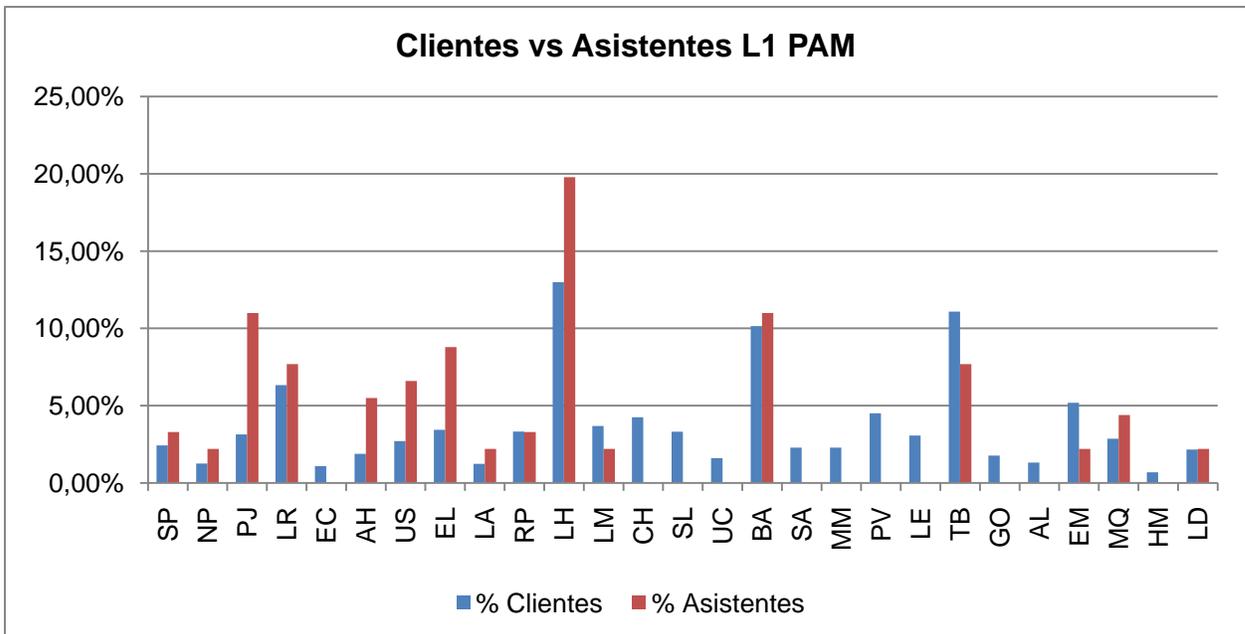
de andén, cuya misión es gestionar el flujo y el traspaso de pasajeros, procurando que la gente que asciende y desciende del tren lo haga de manera eficiente para la operación.

La dotación de los asistentes de andén se asigna según los criterios de la supervisión de tráfico que se hace en línea. Son dotaciones estables en el mediano plazo. La asignación de asistentes sin embargo sigue criterios más bien apreciativos, basados en el nivel de stress que siga cada estación. Si bien este es un criterio basado en la experiencia de la supervisión de tráfico, sería interesante observar que pasa cuándo se asigna a los asistentes basándose en otros criterios.

Metro dispone de 91 asistentes de andén para la operación matutina en línea 1, y de 111 para la tarde. En línea 4, se dispone de 53 y 37 asistentes respectivamente²¹. Los asistentes son proporcionados por las empresas externas Eulen y Seguricorp. El turno matutino dura desde las 07:00 AM hasta las 11:00 AM, y el de la tarde desde las 17:00 hasta las 21:00, extendiéndose la labor de los asistentes más allá de las dos horas que dura cada horario punta.

La figura 29 representa la distribución porcentual de asistentes en la línea 1 durante la operación matutina versus el porcentaje promedio de clientes que transitan por cada estación. Este porcentaje considera tanto el número de personas que entra como la que sale de la estación, además del número de personas que realiza combinación en ella si es que aplica (combinación en ambas direcciones), y corresponde al flujo de pasajeros promedio registrado en el mes de Mayo²².

Figura 29: Proporción de Clientes y de Asistentes por Estación L1 PAM



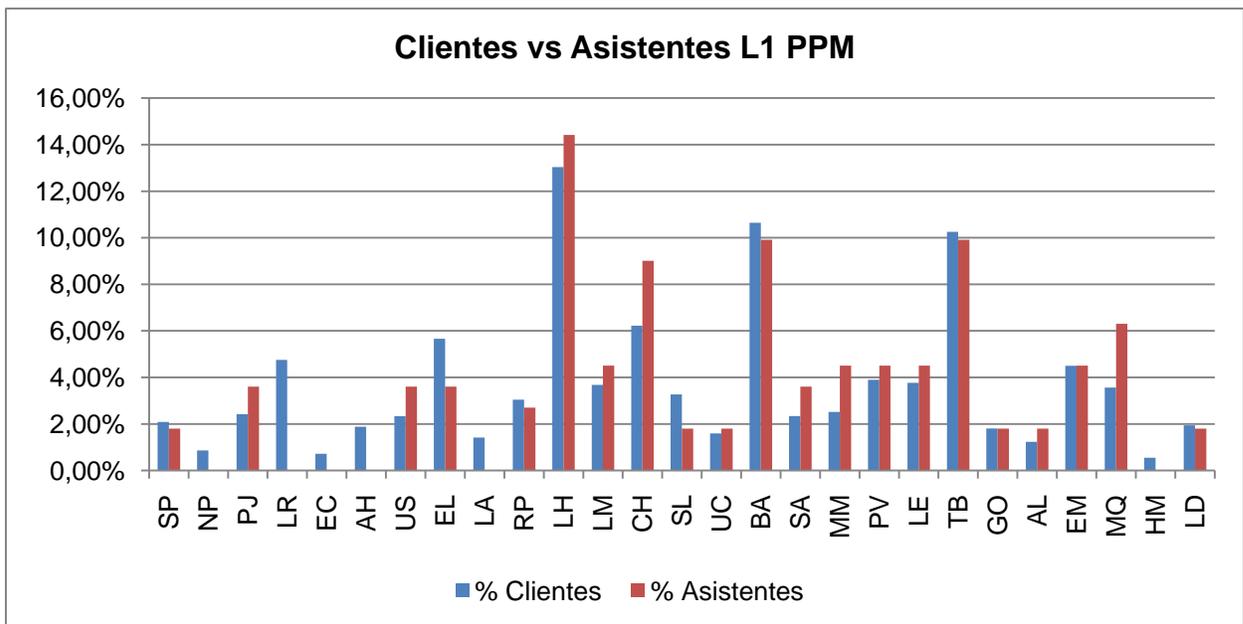
Fuente: Elaboración Propia en base a Distribución de Asistentes, Gerencia de Operaciones Metro S.A.

²¹ Asignación vigente desde el 22 de Noviembre de 2010.

²² Flujo promedio obtenido del software CALDAS

Se observa una asignación de asistentes concentrada en determinadas estaciones como Los Héroes, Baquedano y Pajaritos. Muchas estaciones sobre todo en el tramo entre Baquedano y Tobalaba no presentan asistentes de andén. Estaciones como Pajaritos o Manquehue son estaciones de bucle²³, por lo que requieren una dotación adicional de asistentes para la evacuación de pasajeros de los trenes que cambian de vía. Estaciones como Pedro de Valdivia o Universidad de Chile no presentan ningún asistente asignado mientras que estaciones con menor flujo de pasajeros como Universidad de Santiago. Esta última sin embargo presenta un poco más de asistentes al ser una estación intermodal. La figura 30 detalla el mismo análisis en la tarde en línea 1.

Figura 30: Proporción de Clientes y de Asistentes por Estación L1 PPM



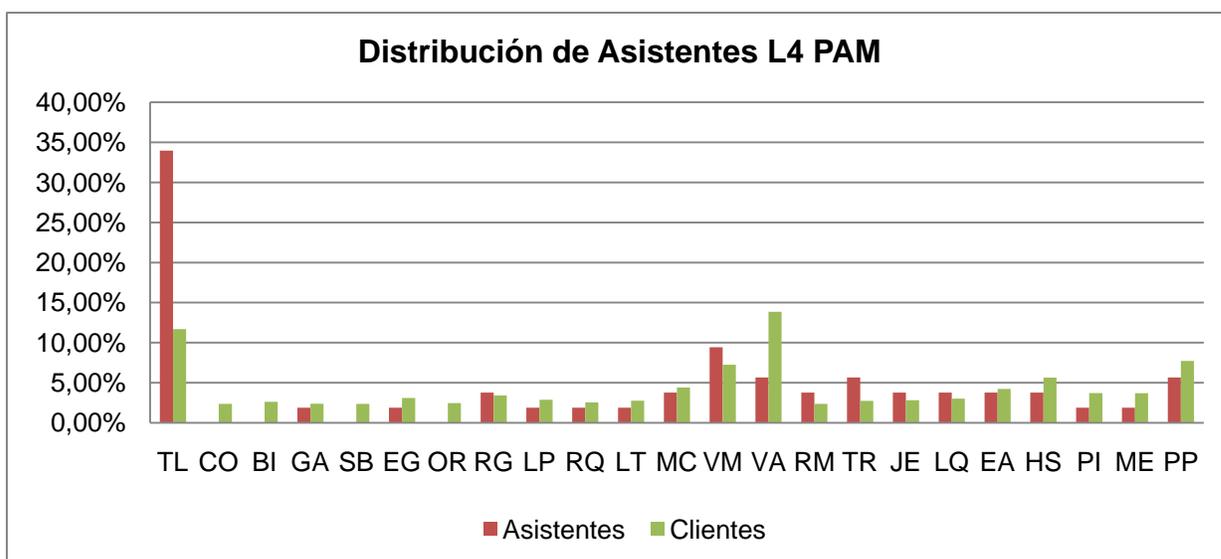
Fuente: Elaboración Propia en base a Distribución de Asistentes, Gerencia de Operaciones Metro S.A.

La distribución de asistentes en la tarde se condice mucho más con el flujo de clientes. En general, los porcentajes tanto de distribución de clientes como de asistentes son similares en todas las estaciones, salvo en estación Las Rejas que no presenta asistentes a pesar de la cantidad de personas que pasa por allí (principalmente porque son viajes que terminan en esa estación y son pocas las personas que abordan el tren en la tarde en ese lugar).

La figura 31 muestra el análisis de clientes y asistentes para la línea 4 en la mañana.

²³ Revisar Glosario en Anexo A

Figura 31: Proporción de Clientes y de Asistentes por Estación L4 PAM



Fuente: Elaboración Propia en base a Distribución de Asistentes, Gerencia de Operaciones Metro S.A.

Se observa una sobredotación de asistentes de andén en Tobalaba. Estos asistentes sólo son los necesarios para la operación por la línea 4, y no consideran los demás que están en línea 1. Por otro lado, se observa que la estación Vicente Valdés recibe un porcentaje de clientes mayor que el porcentaje asignado de asistentes allí.

Existen dos alternativas a la hora de abordar la prevención de incidentes a través de asistentes de andén. La primera es proponer una reasignación de asistentes intercambiándolos de una estación a otra, basado en la cantidad de pasajeros promedio que hay en la estación. Esta medida no traería costos directos ya que no se necesitaría contratar más personal. Siguiendo esa línea, se proponen los siguientes cambios:

- **Línea 1 PAM:** Quitar 2 asistentes de Los Héroes, 2 de Pajaritos, 2 de Estación Central y 2 de Universidad de Santiago y reubicar 2 asistentes a Pedro de Valdivia, 2 a Escuela Militar, 2 a Universidad de Chile, 1 a Santa Lucía y 1 a Los Leones.
- **Línea 1 PPM:** Remover 1 asistente de Manquehue y 1 de Manuel Montt y reasignarlos a los 2 en Las Rejas.
- **Línea 4 PAM:** Remover 7 asistentes de Tobalaba, asistente de Vicuña Mackenna para asignar 4 asistentes en Vicente Valdés, 1 en Colón, 1 en Bilbao, 1 en Los Orientales y 1 en Simón Bolívar.

Ahora bien, existe un riesgo al realizar reasignación de asistentes entre estaciones, ya que mayor cantidad de accidentes podrían comenzar a registrarse en las estaciones que perdieron personal. Esto eventualmente traería un costo inesperado que podría ser más que el beneficio logrado por el asistente en otra estación. Por ello, la mejor alternativa sería contratar nuevos asistentes en las estaciones que se justifique.

La tabla 43 muestra los porcentajes de ocurrencia de incidentes tanto con puertas como accidentales durante el año, a lo largo de la línea 1 en la punta mañana. Además, se detalla que costo mensual conllevan estos eventos en cada estación, basado en el costo total calculado en el capítulo anterior. Por último, se muestra el ahorro que se tendría si disminuyeran los incidentes en cada estación en un 10%.

Tabla 43: Costo Social de Incidentes por Estación L1 PAM

	% Ocurrencia Incidentes C. Puertas PAM	% Ocurrencia Incidentes C. Accidental PAM	Costo Mensual PAM (CLP)	Ahorro ante disminución de 10% en incidentes (CLP)
SAN PABLO	1,03%	2,03%	\$ 319.098,73	\$ 31.909,87
NEPTUNO	0,00%	0,17%	\$ 21.990,41	\$ 2.199,04
PAJARITOS	0,00%	0,34%	\$ 43.980,81	\$ 4.398,08
LAS REJAS	1,72%	1,02%	\$ 223.965,51	\$ 22.396,55
ECUADOR	0,00%	0,00%	\$ -	\$ -
SAN ALBERTO HURTADO	0,00%	0,34%	\$ 43.980,81	\$ 4.398,08
U. DE SANTIAGO	3,09%	1,02%	\$ 297.583,97	\$ 29.758,40
ESTACIÓN CENTRAL	2,75%	0,51%	\$ 213.208,14	\$ 21.320,81
U. LATINOAMERICANA	5,50%	1,69%	\$ 514.377,90	\$ 51.437,79
REPÚBLICA	5,50%	2,54%	\$ 624.329,93	\$ 62.432,99
LOS HÉROES	13,40%	6,10%	\$ 1.509.434,61	\$ 150.943,46
LA MONEDA	7,22%	6,44%	\$ 1.222.132,37	\$ 122.213,24
UNIVERSIDAD DE CHILE	8,59%	10,00%	\$ 1.757.549,37	\$ 175.754,94
SANTA LUCÍA	4,47%	8,31%	\$ 1.316.789,93	\$ 131.678,99
UNIVERSIDAD CATÓLICA	3,78%	4,75%	\$ 818.182,15	\$ 81.818,22
BAQUEDANO	9,62%	10,68%	\$ 1.900.724,84	\$ 190.072,48
SALVADOR	9,62%	10,17%	\$ 1.834.753,62	\$ 183.475,36
MANUEL MONTT	5,15%	7,29%	\$ 1.221.656,71	\$ 122.165,67
PEDRO DE VALDIVIA	8,59%	9,15%	\$ 1.647.597,33	\$ 164.759,73
LOS LEONES	3,78%	5,08%	\$ 862.162,97	\$ 86.216,30
TOBALABA	2,41%	4,75%	\$ 744.563,69	\$ 74.456,37
EL GOLF	1,37%	2,37%	\$ 381.484,15	\$ 38.148,42
ALCÁNTARA	1,03%	2,03%	\$ 319.098,73	\$ 31.909,87
ESCUELA MILITAR	0,69%	2,03%	\$ 300.694,11	\$ 30.069,41
MANQUEHUE	0,69%	0,68%	\$ 124.770,86	\$ 12.477,09
HERNANDO DE MAGALLANES	0,00%	0,17%	\$ 21.990,41	\$ 2.199,04
LOS DOMINICOS	0,00%	0,34%	\$ 43.980,81	\$ 4.398,08

Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

El costo de un asistente de andén es de aproximadamente \$110.000 CLP mensuales por un turno de 4 horas. Bajo el supuesto de que un asistente de andén extra disminuye en un 10% los incidentes con clientes en una estación, se podría contratar un asistente extra en todas las estaciones cuyo costo social exceda los \$110.000 CLP. En términos privados, el costo por pérdida de un tren mostrado en la tabla 20 en el capítulo de costos correspondía a \$208.564 CLP. Luego, si la contratación de un asistente extra disminuye la suficiente cantidad de incidentes, se recuperaría un tren perdido y su contratación pasaría a ser rentable también para la empresa. Luego, se podría contratar un asistente extra en las estaciones Los Héroes, La Moneda, U. de Chile, Santa Lucía, Baquedano, Salvador, Manuel Montt y Pedro de Valdivia.

La tabla 44 muestra los porcentajes y costos previamente detallados ahora para la línea 1 en la punta tarde.

Tabla 44: Costo Social de Incidentes por Estación L1 PPM

	% Ocurrencia Incidentes C. Puertas PPM	% Ocurrencia Incidentes Accidental PPM	Costo Mensual PPM (CLP)	Ahorro ante disminución de 10% en incidentes (CLP)
SAN PABLO	2,86%	3,25%	\$ 487.742,51	\$ 48.774,25
NEPTUNO	0,00%	1,63%	\$ 135.923,78	\$ 13.592,38
PAJARITOS	0,00%	2,44%	\$ 203.885,67	\$ 20.388,57
LAS REJAS	2,86%	2,44%	\$ 419.780,62	\$ 41.978,06
ECUADOR	1,90%	1,63%	\$ 279.853,75	\$ 27.985,37
SAN ALBERTO HURTADO	1,90%	3,25%	\$ 415.777,53	\$ 41.577,75
U. DE SANTIAGO	0,00%	2,44%	\$ 203.885,67	\$ 20.388,57
ESTACIÓN CENTRAL	3,81%	0,81%	\$ 355.821,83	\$ 35.582,18
U. LATINOAMERICANA	0,95%	1,63%	\$ 207.888,76	\$ 20.788,88
REPÚBLICA	9,52%	0,81%	\$ 787.611,74	\$ 78.761,17
LOS HÉROES	10,48%	4,07%	\$ 1.131.424,28	\$ 113.142,43
LA MONEDA	6,67%	8,94%	\$ 1.251.335,68	\$ 125.133,57
UNIVERSIDAD DE CHILE	3,81%	6,50%	\$ 831.555,05	\$ 83.155,51
SANTA LUCÍA	6,67%	4,07%	\$ 843.564,34	\$ 84.356,43
UNIVERSIDAD CATÓLICA	5,71%	4,07%	\$ 771.599,36	\$ 77.159,94
BAQUEDANO	8,57%	9,76%	\$ 1.463.227,54	\$ 146.322,75
SALVADOR	8,57%	8,94%	\$ 1.395.265,65	\$ 139.526,56
MANUEL MONTT	4,76%	8,13%	\$ 1.039.443,82	\$ 103.944,38
PEDRO DE VALDIVIA	2,86%	6,50%	\$ 759.590,07	\$ 75.959,01
LOS LEONES	4,76%	5,69%	\$ 835.558,15	\$ 83.555,82
TOBALABA	8,57%	6,50%	\$ 1.191.379,98	\$ 119.138,00
EL GOLF	0,95%	1,63%	\$ 207.888,76	\$ 20.788,88
ALCÁNTARA	2,86%	1,63%	\$ 351.818,73	\$ 35.181,87
ESCUELA MILITAR	0,00%	2,44%	\$ 203.885,67	\$ 20.388,57
MANQUEHUE	0,00%	0,81%	\$ 67.961,89	\$ 6.796,19

	% Ocurrencia Incidentes C. Puertas PPM	% Ocurrencia Incidentes Accidental PPM	Costo Mensual PPM (CLP)	Ahorro ante disminución de 10% en incidentes (CLP)
HERNANDO DE MAGALLANES	0,00%	0,00%	\$ -	\$ -
LOS DOMINICOS	0,95%	0,00%	\$ 71.964,99	\$ 7.196,50

Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

El costo por tren perdido en línea 1 en la tarde era bastante similar al de la mañana, cerrando en \$ 208.758 CLP. La misma lógica sobre rentabilidad privada explicada en la punta mañana aplica para este horario. Las estaciones dónde sería posible contratar un nuevo asistente de andén serían Los Héroes, La Moneda, Baquedano, Salvador y Tobaraba. Este horario tiene una distribución más uniforme en la ocurrencia de eventos a lo largo de las estaciones que la punta AM, por lo que menos estaciones son las que acumulan el costo necesario para contratar un asistente extra.

La tabla 45 muestra los costos y porcentajes de ocurrencia de incidente por estación para la línea 4 en la punta AM.

Tabla 45: Costo Social de Incidentes por Estación L4 PAM

	% Ocurrencia Incidentes C. Puertas PAM	% Ocurrencia Incidentes C. Accidental PAM	Costo Mensual PAM (CLP)	Ahorro ante disminución de 10% en incidentes (CLP)	Ahorro ante disminución de 15% en incidentes (CLP)
TOBALABA	3,36%	12,50%	\$ 949.399,73	\$ 94.939,97	\$ 142.409,96
COLÓN	5,94%	2,34%	\$ 440.985,61	\$ 44.098,56	\$ 66.147,84
BILBAO	5,68%	11,72%	\$ 1.015.554,00	\$ 101.555,40	\$ 152.333,10
PRÍNCIPE DE GALES	1,81%	3,91%	\$ 334.255,01	\$ 33.425,50	\$ 50.138,25
SIMÓN BOLÍVAR	6,46%	2,34%	\$ 466.563,54	\$ 46.656,35	\$ 69.984,53
PLAZA EGAÑA	3,36%	7,81%	\$ 655.721,05	\$ 65.572,11	\$ 98.358,16
LOS ORIENTALES	8,79%	7,03%	\$ 875.342,93	\$ 87.534,29	\$ 131.301,44
ROTONDA GRECIA	2,84%	2,34%	\$ 287.517,99	\$ 28.751,80	\$ 43.127,70
LOS PRESIDENTES	4,65%	3,13%	\$ 425.987,21	\$ 42.598,72	\$ 63.898,08
ROTONDA QUILÍN	2,84%	3,91%	\$ 385.410,88	\$ 38.541,09	\$ 57.811,63
LAS TORRES	9,04%	5,47%	\$ 790.239,01	\$ 79.023,90	\$ 118.535,85
MACUL	2,33%	3,13%	\$ 310.886,50	\$ 31.088,65	\$ 46.632,97
VICUÑA MACKENNA	2,84%	1,56%	\$ 238.571,54	\$ 23.857,15	\$ 35.785,73
VICENTE VALDÉS	2,33%	4,69%	\$ 408.779,39	\$ 40.877,94	\$ 61.316,91
ROJAS MAGALLANES	3,88%	3,13%	\$ 387.620,31	\$ 38.762,03	\$ 58.143,05
TRINIDAD	9,82%	10,94%	\$ 1.171.231,04	\$ 117.123,10	\$ 175.684,66

	% Ocurrencia Incidentes C. Puertas PAM	% Ocurrencia Incidentes C. Accidental PAM	Costo Mensual PAM (CLP)	Ahorro ante disminución de 10% en incidentes (CLP)	Ahorro ante disminución de 15% en incidentes (CLP)
SAN JOSE DE LA ESTRELLA	7,75%	3,13%	\$ 579.454,83	\$ 57.945,48	\$ 86.918,22
LOS QUILLAYES	9,04%	6,25%	\$ 839.185,46	\$ 83.918,55	\$ 125.877,82
ELISA CORREA	3,62%	3,91%	\$ 423.777,79	\$ 42.377,78	\$ 63.566,67
HOSP. SÓTERO DEL RÍO	1,81%	0,78%	\$ 138.469,22	\$ 13.846,92	\$ 20.770,38
PROTECTORA DE LA INFANCIA	0,26%	0,00%	\$ 12.788,97	\$ 1.278,90	\$ 1.918,35
LAS MERCEDES	0,78%	0,00%	\$ 38.366,90	\$ 3.836,69	\$ 5.755,04
PLAZA PUENTE ALTO	0,78%	0,00%	\$ 38.366,90	\$ 3.836,69	\$ 5.755,04

Fuente: Elaboración Propia en base a Registro GEOS

La pérdida por un tren de frecuencia para la línea 4 era igual a \$ 241.744,64. Luego, se justifica la contratación de asistentes de andén si es que estos aportan a mejorar la frecuencia de trenes.

En este escenario pidiendo una disminución de incidentes del 10% sólo se permite contratar un asistente de andén extra en estación Trinidad. Dados los costos menores para los usuarios en esta línea no tendría sentido contratar más asistentes. Desde esa perspectiva, el intercambio de asistentes entre estaciones parece ser una alternativa mejor. Sin embargo, si los asistentes disminuyeran los incidentes en cada estación en un 15%, se podrían contratar asistentes extras en las estaciones Tobalaba, Bilbao, Los Orientales, Las Torres, Trinidad y Los Quillayes.

Todo el análisis anteriormente descrito utiliza como parámetro de asignación de asistentes el número de clientes en la estación. Otros parámetros pueden ser utilizados como el número de accidentes en la estación, el número de reclamos de parte de los clientes en la estación, etc. Así mismo, es necesario evaluar hasta qué punto la incorporación de un asistente más en la estación genera valor. Cada estación tiene un óptimo de asistentes de andén asignados en base a la afluencia de pasajeros que recibe, por tanto llega un punto en que asignar un asistente extra deja de ser provechoso.

4.5.1.4 Otras Medidas ante Incidentes

Además de las medidas ya propuestas y evaluadas, otras iniciativas pueden ser exploradas con el fin de disminuir los incidentes con clientes. Las medidas aquí descritas no fueron evaluadas debido a la dificultad en cuánto a su implementación directa, requiriéndose estudios más profundos para determinar los costos y beneficios asociados. En esta sección se plantea su descripción y las dificultades encontradas a la hora de su diseño y posterior puesta en marcha.

Una primera medida tiene que ver con la administración eficiente del flujo de personas en el andén. Muchos de los incidentes con clientes ocurren debido al

desorden en la entrada y salida de pasajeros al tren, chocando muchas veces pasajeros que entran con pasajeros que salen del vagón. Esto puede repercutir en peleas entre pasajeros e incidentes mayores difíciles de controlar. Una solución adoptada en Metros como el de Sao Paulo corresponde justamente a forzar un flujo de pasajeros ordenado a la entrada y salida del tren, como lo muestran las imágenes en la figura 32.

Figura 32: Medidas para ordenar el flujo de pasajeros en Metro de Sao Paulo



Fuente: Nova Benchmarking Phase VI, Case Study: Passenger Incidents Management

La medida consiste en la instalación de una barrera física que permita ordenar el flujo de pasajeros hacia el tren, obligándolos a hacer una cola para ingresar al vagón. Si bien, el prototipo se explica por sí solo y da orden al andén de manera fácil y económica, el ancho de los andenes tanto en línea 1 como línea 4 dificulta su instalación. En las horas punta, la cantidad de pasajeros esperando el tren es tan grande que barreras como estas complicarían la caminata de los clientes desde la escalera hacia los extremos del andén. Más aun, se cree que por razones culturales las barreras no funcionarían por sí solas y ciertos pasajeros tenderían a saltarlas, por lo que sería necesaria la contratación o redistribución de personal para monitorear el correcto uso de estas.

Una segunda medida propuesta fue la de implantar un sistema de multas a aquellos clientes que provocaran incidentes ya sea mediante empujones o comportamientos potencialmente peligrosos para otros pasajeros. Experiencias parecidas se han visto en los metros de Montreal y Hong Kong. En el primero, se realizó una campaña recordando a los pasajeros los problemas que traen las retenciones de cierre de puertas, recalcando que una multa de \$150 CAD (\$70.731 CLP²⁴) se aplicaría a quienes fuesen atrapados por primera vez reteniendo puertas, y de \$500 CAD (\$235.770 CLP) para pasajeros reincidentes en la conducta. En el segundo caso, se implementó una multa de iguales condiciones que la implantada en Montreal, pero por un valor de \$500 HK²⁵ (\$30.601 CLP).

²⁴ Paridad Dólar Canadiense/Peso Chileno observada el 10 de Diciembre de 2010.

²⁵ Paridad Dólar de Hong Kong/Peso Chileno observada el 10 de Diciembre de 2010.

La principal dificultad a la hora de implantar una medida de este tipo recae primero en identificar al pasajero que está causando desorden, y segundo en fijar los límites de lo que significa una mala conducta. Los criterios para el cobro de esta multa radican en la subjetividad de quien la aplica, quién debe discernir si el cliente retiene las puertas de manera intencional o accidental por ejemplo. Esto implicaría también la contratación de personal asociado que monitorease el correcto comportamiento de los clientes en la línea, ya sea a través de cámaras de seguridad o transitando entre los pasajeros. Cabe destacar que la implementación de una medida como esta jugaría un papel contrario a la campaña lanzada por Metro el año 2008, denominada la “Campaña del Pasajero Incógnito”, en la cual, un funcionario de la empresa premiaba a los pasajeros que tuviesen buena conducta en los vagones. Este cambio de enfoque podría afectar negativamente en la percepción de los pasajeros sobre el servicio, y generar una mala imagen a nivel social y mediático.

Una tercera medida va de la mano de la instalación de “rellenos de espacio” entre el andén y los vagones. Estos corresponden a pequeñas piezas de goma que se ensamblan en el espacio que deja el tren junto al andén. Ejemplos de estos se muestran en la figura 33.

Figura 33: Ejemplos de bandas de goma rellenando el espacio entre andén y tren



Fuente: Nova Benchmarking Phase VI, Case Study: Passenger Incidents Management

Las bandas de goma de relleno han sido instaladas con éxito en varios metros del mundo. Sin embargo, también hay casos de fracaso en su utilización. Por ejemplo, el metro de Lisboa tuvo que retirarlas debido a que se transformaron en un factor importante en tropiezos de sus pasajeros al abordar y salir del tren. Para evaluar su implementación, sería necesario no sólo considerar sus costos y beneficios asociados a la disminución de incidentes, sino también otros factos como si generarían otros problemas, cómo se comportarían con el contacto de zapatos mojados en días de lluvia, cómo aguantarían el peso promedio de pasajeros transitando a la vez en las horas punta, etc.

Una cuarta medida va de la mano de mejorar la visibilidad de los conductores de trenes hacia el andén. El conductor es quien comanda el cierre de puertas desde la cabina, y para hacerlo sin atrapar a ningún cliente debe tener visibilidad completa de

todas las puertas del tren. Bajo esta premisa, se exige una alta capacidad de parte del conductor de observar lo que ocurre, con una gran capacidad de reacción si es que ocurre algo imprevisto. Para facilitar la labor y aumentar su visibilidad, sería relevante estudiar un sistema de cámaras que permita dar imágenes en la cabina al conductor de lo que pasa en el andén, específicamente de cómo luce el flujo de pasajeros en cada puerta. PCC ya tiene acceso a un circuito cerrado de imágenes transmitidas desde las estaciones, por lo que sería necesario evaluar la factibilidad técnica de instalar monitores en las cabinas de los trenes que den acceso a imágenes de la estación.

Muchas otras medidas pueden ser sugeridas dando espacio a la creatividad y a la imaginación. Por otro lado, observar lo que hacen el resto de los metros en el mundo también permite abrir panoramas que mejoren el comportamiento de los pasajeros. En ese sentido, Metro al formar parte del programa CoMET²⁶ tiene la ventaja de poder comparar sus procedimientos en materias de seguridad con otros metros de alto nivel en el mundo, compartiendo sus propias medidas y aprendiendo de experiencias en otros países.

4.5.2 Políticas de Mantenimiento

En esta sección se dará una breve contextualización de las políticas de mantenimiento y las medidas utilizadas frente a averías, específicamente frente a averías en los sistemas de puertas que se están tomando en línea 1. Línea 4 por otro lado no presenta urgencia por solucionar temas con averías ya que son mayoritariamente incidentes con clientes los que explican caídas de frecuencia en ese servicio. Aun así, los procedimientos aquí planteados son idénticamente aplicables a la línea 4, con la salvedad de que en esta línea sólo opera un solo tipo de tren (AS2002).

4.5.2.1 Descripción General de la Labor de Mantenimiento

Los trenes pueden ser sometidos a 3 tipos distintos de mantenimiento, los cuales tienen ocasiones de aplicación y objetivos diferentes. El primero y el más específico corresponde al mantenimiento correctivo. Este se realiza básicamente cuando se produce una falla y debe ser solucionada rápidamente. Para ello, los conductores son capacitados para operar cada tren y se les entrega un manual de tratamiento de averías básicas, que pueden solucionar directamente a través de los controles en la cabina. Si la avería es de seriedad intermedia, puede ser tratada en fosos de visita distribuidos a lo largo de la línea. Si la avería ya es mayor, esta será tratada una vez que el tren vuelva a talleres. Los talleres principales de la línea 1 se encuentran en estación Neptuno, y almacenan a toda la flota de trenes durante la noche. Es en este horario cuando se realizan la gran cantidad de operaciones de mantenimiento.

El segundo tipo de mantenimiento corresponde al preventivo. Para ello, existe un plan matriz asociado al manual del fabricante de cada uno de los trenes, el cual especifica una serie de revisiones y mantenciones que deben hacerse a cada tren según el kilometraje que lleve acumulado cada uno de sus coches. Así, se pueden realizar actividades por ejemplo cada 7.000, 12.000 y 15.000 Coche-Km²⁷. Cada una de

²⁶ Revisar Glosario en Anexo A

²⁷ Revisar Glosario en Anexo A

estas revisiones tiene actividades específicas definidas por su manual, las cuales deberían mantener controladas las fallas conocidas en cada tren. Metro añade a este plan matriz correcciones extra basado en su experiencia y en el conocimiento de su red.

Adicional al plan matriz, la Gerencia de Mantenimiento genera mes a mes una lista de inspecciones, catastros, modificaciones y proyectos que permitan mejorar el funcionamiento de un determinado tipo de tren. Esta lista puede ser dividida en dos categorías, una primera parte preventiva preparada en base a los criterios de mantenimiento, y una segunda parte reactiva basada en lo que se observa en la línea.

La parte preventiva de esta lista es elaborada en base a un enfoque RCM (Reliability Centred Maintenance), el cual consiste en fijar factores que evalúen qué tan relevante es cada parte del equipo del tren en términos de seguridad, operación, impacto ambiental, control de calidad, etc. Cada factor es calificado de acuerdo a una escala predefinida, donde valores mayores implican mayor relevancia. La meta de este método es enfocar las actividades de mantenimiento en los equipos que proveerán un mayor beneficio a la organización de acuerdo a las prioridades que quieran satisfacerse. A su vez, este enfoque reconoce que las consecuencias de las averías van más allá de sus características técnicas, asumiendo que el mantenimiento proactivo no busca disminuir las averías per se, sino reducir las consecuencias que estas conllevan.

La parte reactiva tiene mucho que ver con observación y acción. Esto quiere decir que en virtud de las averías que se observan históricamente en los últimos meses, se generan actividades para corregirlas. Una práctica que comenzó a hacerse en Agosto de 2010 es la de generar informes mensuales que realizan un seguimiento a las inspecciones, modificaciones y proyectos reactivos, con su porcentaje de avance a la fecha. A partir de esto, existe mayor claridad sobre cómo las medidas correctivas y preventivas han logrado o no mitigar las averías que tenían como objetivo.

Finalmente, un tercer tipo de mantenimiento es de carácter predictivo. Esta área no se desarrolla demasiado en línea 1, y su objetivo es realizar mediciones en base a modelos que permitan predecir qué averías se presentarán en cada tren. Este tipo de mantenimiento permite anticiparse a fallas debido a la antigüedad de los trenes o a su sobre uso, pero la determinación de modelos confiables que efectivamente lleven a un mantenimiento eficiente de los trenes es complicada. Si las predicciones están mal desarrolladas puede caerse en sobre mantenimiento de trenes (realizar demasiadas medidas aumentando costos) o en abuso de estos últimos (enviando trenes a la línea bajo averías prontas a ocurrir).

4.5.2.2 Caso Particular: Averías al Sistema de Puertas

Interesa específicamente observar cuál ha sido el comportamiento de las averías en el sistema de puertas, y cómo estas han sido tratadas mediante medidas correctivas. Las figuras 34, 35 y 36 muestran la evolución en averías de este tipo desde Enero hasta Noviembre de 2010, medidas por cantidad de averías mensuales y divididas según el tipo de tren en que fueron observadas.

Figura 34: N° de Averías al Sistema de Puertas Mensuales Trenes NS93



Fuente: Reporte Mensual Línea 1, Noviembre 2010, Gerencia de Mantenimiento Metro S.A.

Figura 35: N° de Averías al Sistema de Puertas Mensuales Trenes NS2004



Fuente: Reporte Mensual Línea 1, Noviembre 2010, Gerencia de Mantenimiento Metro S.A.

Figura 36: N° de Averías al Sistema de Puertas Mensuales Trenes NS2007



Fuente: Reporte Mensual Línea 1, Noviembre 2010, Gerencia de Mantenimiento Metro S.A.

En los trenes NS93 se aprecia una tendencia a la baja, disminuyendo el número de averías desde Enero hasta Noviembre. Ahora, es necesario considerar que esta disminución en averías de puertas se debe principalmente al paulatino retiro de estos trenes de la línea. A principio de 2010 se tenían 26, y con la llegada de los nuevos trenes NS2007 el número se redujo a sólo 13 trenes.

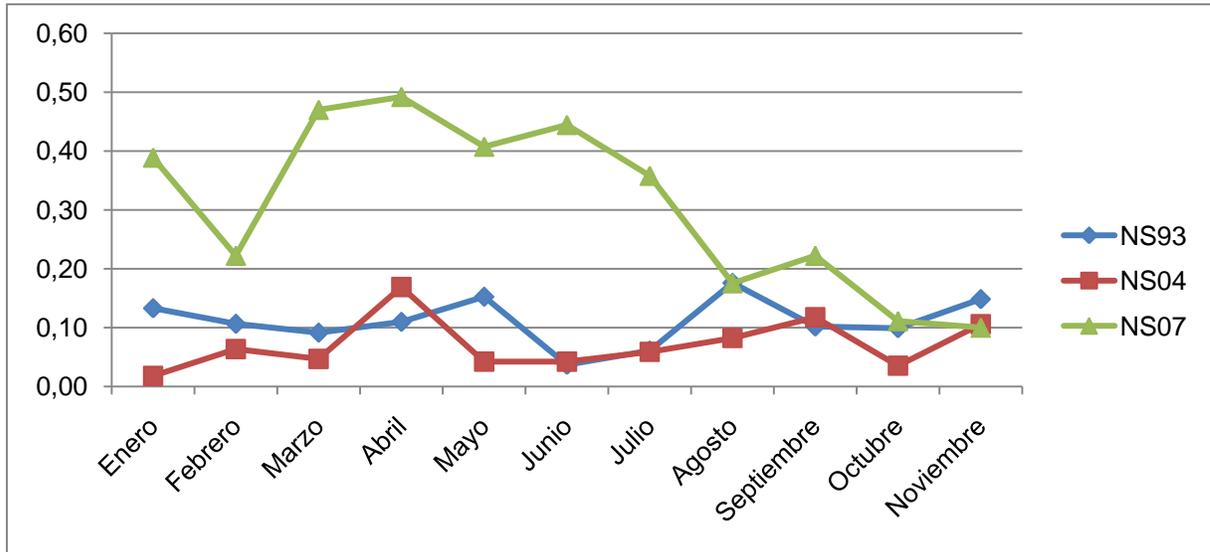
En los trenes NS2004 no se aprecian tantas averías, con un número oscilante mensual entre 2 y 12 averías. Esto tiene que ver con que el número de trenes de este tipo en línea 1 es menor que el de los otros dos tipos. Se aprecia una leve tendencia al alza en las averías, probablemente producto del aumento de estos en la línea. En Enero se tenían 7 trenes de esta tecnología, y a partir de Julio se incrementó el número a 11.

Los trenes NS2007 han ido aumentando su número en la línea, siendo los más nuevos de la flota. Partieron siendo 10 en Enero de este año y actualmente se opera con 20 en la línea 1. A diferencia de lo que se esperaría, el aumento de estos trenes en la línea no ha ido de la mano con un aumento de averías de puertas, sino todo lo contrario, estas han disminuido a lo largo del año. Específicamente, se ve una caída abrupta de estas entre Julio y Agosto.

Los análisis están distorsionados por el número de trenes, o más bien, por el número de vagones de cada tecnología de tren presente en la línea. Muchos de estos trenes poseen versiones de 6, 7, 8 o 9 vagones transitando por la línea, y obviamente un tren con más vagones tiene mayor probabilidad de presentar una avería de puertas (pues tiene más puertas que pueden fallar). Luego, es necesario estandarizar la

ocurrencia de averías por el número de vagones de cada tecnología presente en la línea. La figura 37 muestra las 3 tecnologías, cada una estandarizando el número de averías de puerta por el número de vagones en operación ese mes. Por ejemplo, si se observaron 60 averías de sistema de puerta en Abril para trenes NS07, y había 120 vagones de ese tipo en circulación, puede decirse que en promedio cada uno de esos vagones presentó 0,5 averías en el mes.

Figura 37: Averías en Sistema de Puertas estandarizadas por número de vagones, Línea 1



Fuente: Elaboración Propia en base a Registros GEOS

Se ve claramente hasta Agosto una tendencia por parte de los trenes NS07 a presentar una alta cantidad de averías en el sistema de puertas. Justamente, los modelos desarrollados en la sección de regresión logit multinomial utilizaron como input los datos hasta Julio 2010. Es comprensible que el resultado arrojado hayan sido averías en el sistema de puertas dada la alta frecuencia con la que estaban ocurriendo. Sin embargo, y como se había mencionado anteriormente, de Agosto en adelante las averías caen en este tipo de tren estabilizándose al nivel de las otras tecnologías. Los otros 2 trenes, salvo ciertos peaks en meses particulares, mantienen una tasa de averías de puertas por vagón relativamente constante.

De las 692 averías registradas en el sistema de puertas, 78,9% tuvieron que ser tratadas directamente en talleres. El tratamiento en general se realiza por medio de reparación a unidades de primer nivel. Esto quiere decir que si un sistema falla, este se extrae del tren y se reemplaza con otro operativo. Son unidades desmontables que permiten su rápido reemplazo con el fin de ganar tiempo. Estas sin embargo son reparaciones temporales y no deberían cambiar significativamente el comportamiento de las averías como lo observado en los trenes NS07 entre Julio y Agosto. Para ello, se torna relevante analizar los proyectos reactivos que mantenimiento ha documentado desde Agosto en adelante. La tabla 46 muestra todas las inspecciones, catastros, modificaciones a los trenes y proyectos que se han hecho en relación al sistema de puertas en línea 1.

Tabla 46: Seguimiento de Inspecciones, Catastros, Modificaciones y Proyectos en Sistemas de Puertas

Descripción de actividad controlada	Porcentaje de Avance	Categoría	Material Asociado	Mes
Pruebas de Puertas Dinámicas NS93	100,00%	Inspección	NS93	Agosto
Cambio de soft de DCU para detección de obstáculo	100,00%	Modificación	NS07	Agosto
Instalación de pletina en gancho fijo puerta de cabina	100,00%	Modificación	NS07	Agosto
Limpieza y engrase de looking hook	100,00%	Modificación	NS07	Agosto
Medición de lazo de puertas (con posible cambio de Limit Switch)	100,00%	Verificación	NS07	Agosto
Medición del lazo de seguridad cuarta vuelta	94,70%	Verificación	NS07	Agosto
Versión de cosmos 1.60 y DCU 4.00, HMI 2,00 para mejora de avería de puertas y ajuste limit switch a 2,5 mm	100,00%	Modificación	NS07	Agosto
Modificación de limit switch de puertas de viajeros	47,40%	Modificación	NS07	Agosto
Modificación de limit switch de puertas de viajeros	94,70%	Modificación	NS07	Septiembre
Modificación de limit switch de puertas de viajeros	100,00%	Modificación	NS07	Octubre
Control Platina puertas NS93	100,00%	Verificación	NS93	Noviembre

Fuente: Reportes Mensuales Línea 1, Agosto - Noviembre 2010, Gerencia de Mantenimiento Metro S.A.

Se observa que durante el mes de Agosto se realizó un tratamiento intensivo sobre el sistema de puertas, especializado en los trenes NS07. De aquí la evidente disminución en averías en estos trenes, y su posterior estabilización al nivel de los otros dos tipos de trenes. Se destacan modificaciones estructurales al funcionamiento de las puertas, que serían las responsables de la disminución de averías en este sistema.

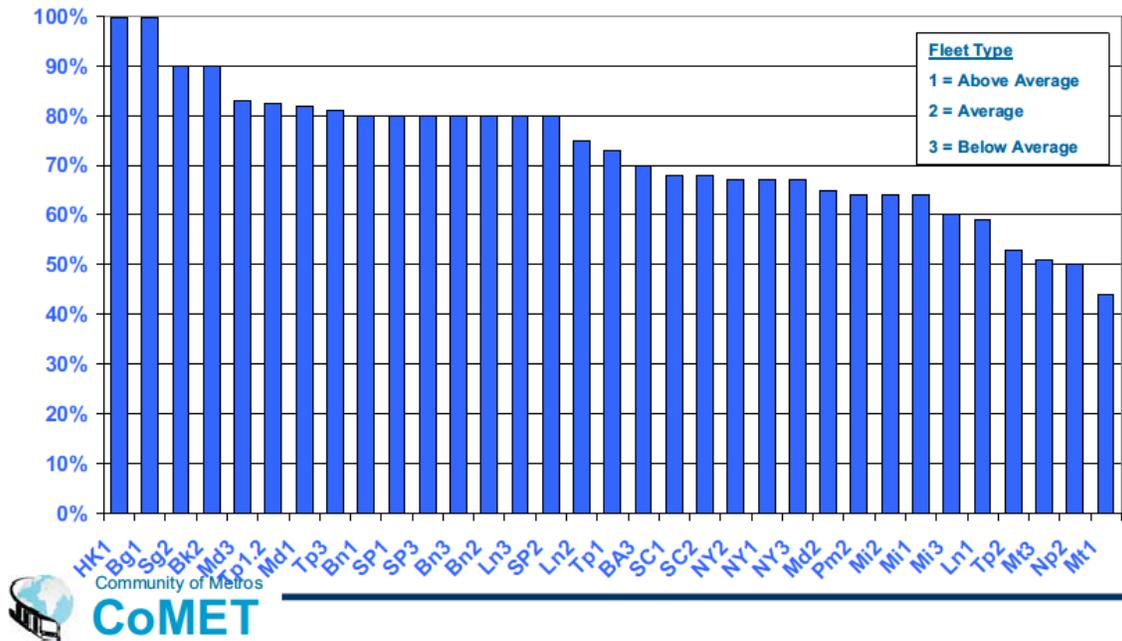
Por otro lado, ninguna intervención se ha hecho sobre los trenes NS04 que presentan el menor nivel de averías, y solo 2 intervenciones se han realizado en los trenes NS93. En ese sentido, la gestión de averías por parte de mantenimiento se enfoca en solucionar los problemas ya visibles en la vía, pero no se enfoca en predecir averías.

La generación de informes mensuales por parte de la Gerencia de Mantenimiento ha permitido identificar de manera más fácil las averías que se disparan de manera anómala, y realizar acciones para disminuirlas. Sin embargo, los tiempos de reacción pueden tomar meses como en el caso de las averías de puerta, conllevando costos grandes tanto sociales como privados. Si bien, el enfoque RCM permite reducir averías cuya ocurrencia traería grandes problemas a la operación, permite que otro tipo de averías se acumule y se agudice hasta que los datos lo hagan evidente, como es el caso de las averías con puertas.

4.5.2.3 Periodicidad en Acciones de Mantenimiento Preventivas

Surge la pregunta de si tiene sentido incrementar la periodicidad con la que se realizan inspecciones a cada sistema del tren, y si esto permitiría disminuir la tasa de averías. Un estudio realizado por CoMET en el año 2009 compara la intensidad en acciones de mantenimiento predictivo entre distintos metros del mundo, y la efectividad que estos han logrado. La figura 38 muestra un porcentaje comparativo en mantenimiento preventivo por flota para los metros estudiados, donde el Metro de Santiago figura bajo la sigla SC.

Figura 38: Porcentaje Comparativo de Mantenimiento Preventivo por Flota

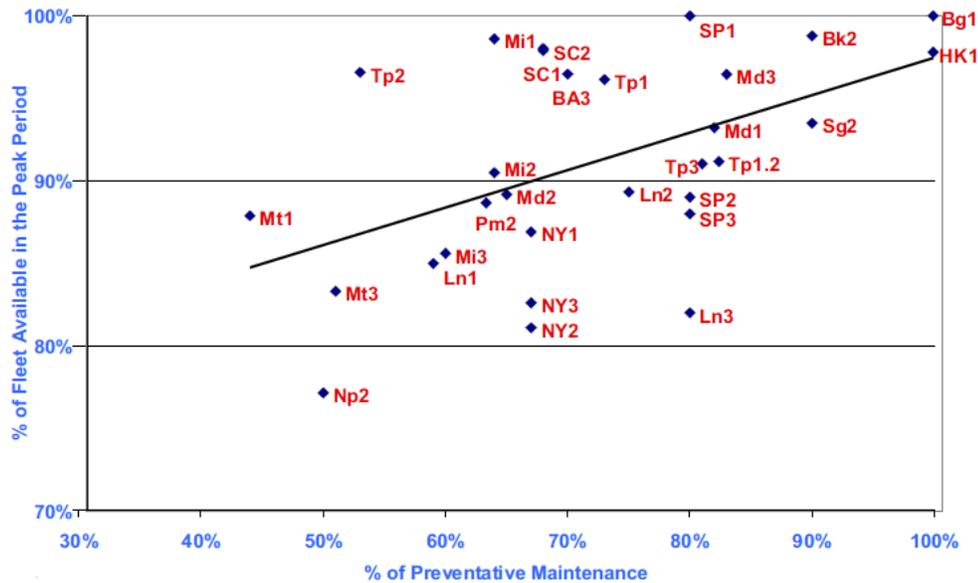


Fuente: CoMET Benchmarking 2009, Case Study: Practices to Increase Peak Fleet Utilization and Availability

SC1 corresponde a la flota mayoritaria en la fecha del estudio, correspondiente a los trenes NS74, que actualmente sólo operan por línea 2 y línea 5. SC2 representa la flota de trenes NS93, aún operantes en líneas 1, 2 y 5. Metro de Santiago genera comparativamente un 70% (aproximado) de acciones de mantenimiento preventivo que las que genera el Metro de Hong Kong, ubicándose en los lugares 19 y 20 en orden de porcentajes.

La figura 39 muestra que tan efectivas son estas acciones preventivas en relación al porcentaje de trenes disponibles en la flota en horas punta, y que por consiguiente, permiten cumplir el 100% de la oferta programada.

Figura 39: Efecto de estrategias de mantenimiento en horas punta



Fuente: CoMET Benchmarking 2009, Case Study: Practices to Increase Peak Fleet Utilization and Availability

Metro de Santiago se encuentra en alrededor de un 96% de flota disponible en horas punta, a pesar de sólo tener intervenciones preventivas de un 70% comparativo. Esto habla de la eficiencia en las acciones de mantenimiento realizadas en la empresa.

Bajo los resultados vistos en este estudio, no parece relevante incrementar la periodicidad ni intensidad de las acciones preventivas, puesto que el porcentaje de flota disponible para estas tecnologías es cercano al 100%. Aun así, sería relevante evaluar este tipo de análisis sobre las nuevas flotas de trenes incorporadas este año, a fin de corroborar que las antiguas prácticas han sido trasladadas a las nuevas tecnologías.

La opinión de los expertos en la Gerencia de Mantenimiento sugiere que no tendría sentido duplicar la periodicidad de ciertos análisis, ya que el costo involucrado en cuánto a horas hombre no equilibraría el beneficio de tener ciertos sistemas bajo un control mayor. Aun así, se recomienda un análisis de costos que permita balancear efectivamente si es o no relevante incorporar revisiones extra y a qué componentes se debería enfocar.

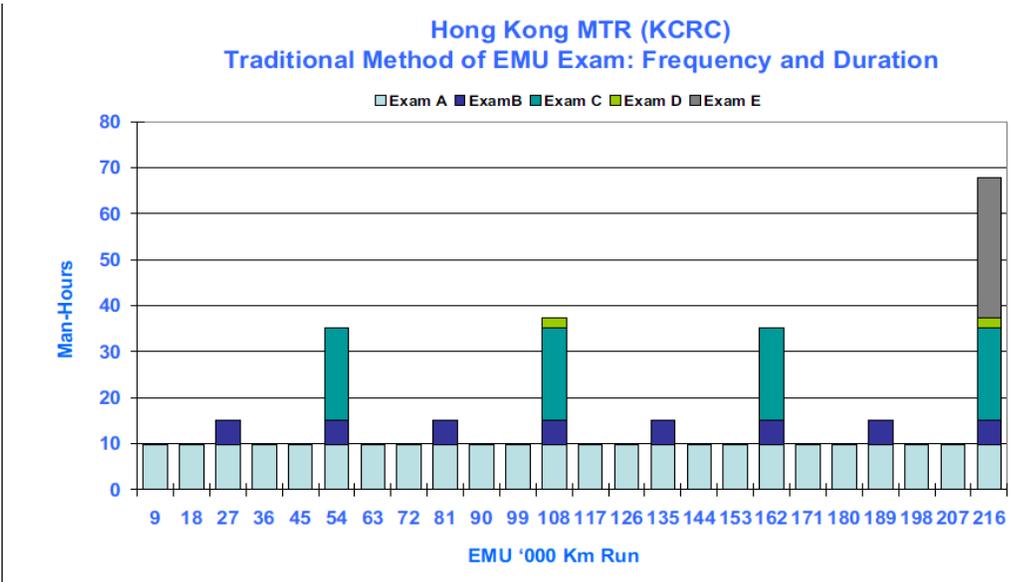
4.5.2.4 Inspecciones Balanceadas

Una de las razones de porqué Metro debe ser tan eficiente en sus mantenimientos es que su flota completa es utilizada durante las horas punta, situación que no enfrentan todos los metros del mundo. Esto no sólo inhabilita la elaboración de prácticas de mantenimiento sobre los trenes durante estos horarios, sino que también limita las posibilidades del tipo de acciones que puedan ser realizadas en el espacio horario entre las puntas (equivalente a 9 horas). Ante este tipo de problemas, metros como los de Hong Kong, Londres o Shanghái han implementado un sistema de inspecciones balanceadas en sus políticas de mantenimiento.

Los exámenes tradicionales de mantenimiento correspondientes al plan matriz son incrementales en cuanto a su duración. Esto implica que la revisión del tren en un primer número de Coche-Km recorridos toma sólo un día de inspección, pero revisiones siguientes a mayor cantidad de Coche-Km recorridos durarán dos o hasta tres días. Lo que buscan las inspecciones balanceadas es generar acciones de mantenimiento de igual duración, que permitan una mejor planificación del día a día y una utilización óptima del personal. A través de este sistema, las actividades de mantenimiento son reorganizadas de tal forma de que un set de actividades comunes sean divididas en diferentes inspecciones. El beneficio principal de este procedimiento corresponde a poder introducir inspecciones en el horario inter puntas, incrementando la disponibilidad de la flota y su utilización.

La figura 40 ilustra el caso del Metro de Hong Kong (Hong Kong MTR), mostrando la distribución de sus acciones de mantenimiento antes de incorporar un procedimiento de inspecciones balanceadas.

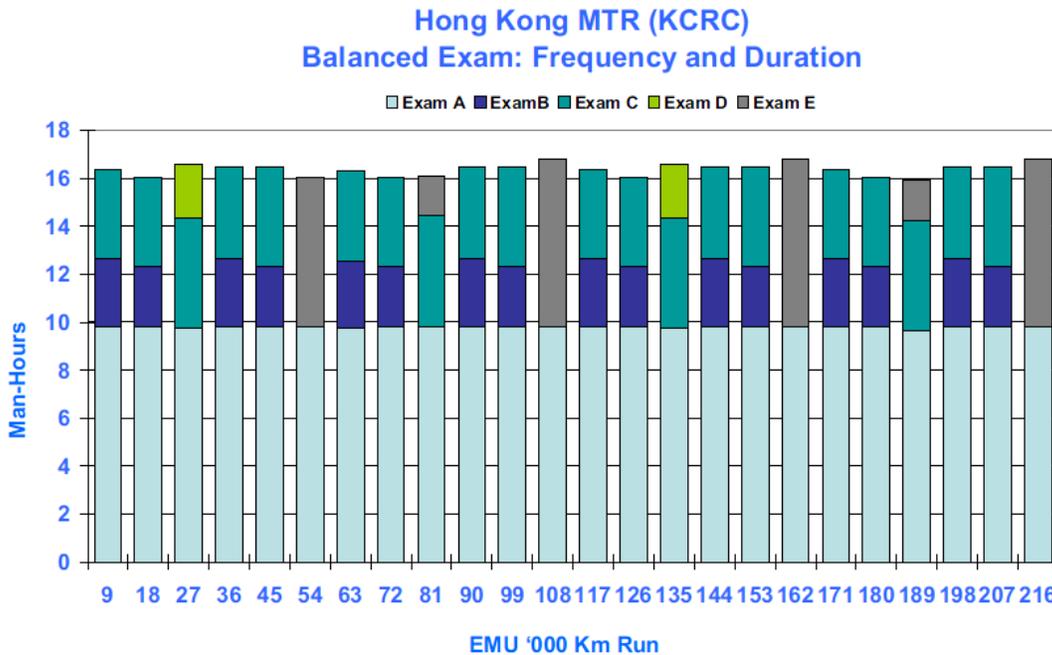
Figura 40: Método tradicional de inspecciones de mantenimiento, Hong Kong MTR



Fuente: CoMET Benchmarking 2009, Case Study: Practices to Increase Peak Fleet Utilization and Availability

Antiguamente, Hong Kong MTR contaba con 5 inspecciones distintas, los cuáles se realizaban cada cierta cantidad de Coche-Km recorridos por sus trenes. Esto conllevaba una sobrecarga de trabajo en fechas específicas, y la generación de tiempo ocioso en otras. Dada esta situación, las inspecciones fueron divididas en revisiones de duraciones parecidas, que pudiesen ser realizadas por equipos más pequeños. El resultado de esta división se muestra en la figura 41.

Figura 41: Método de inspecciones balanceadas de mantenimiento, Hong Kong MTR



Fuente: CoMET Benchmarking 2009, Case Study: Practices to Increase Peak Fleet Utilization and Availability

El resultado de esta medida fue una reducción en las horas totales de trabajo de más de un 4% para todo el personal, además de incrementar la cantidad de trenes disponibles en sus horas punta.

Sería interesante evaluar una medida de este tipo en Metro de Santiago, para lo que se requeriría la elaboración de un estudio por tecnología de tren, basado en el plan matriz de cada uno. Esto traería una disminución de costo en horas hombre, permitiendo movilizar actividades de mantenimiento desde la noche al horario inter puntas.

4.5.2.5 Tecnologías de Monitoreo de Sistemas en Trenes en Tiempo Real

Las tecnologías de monitoreo de sistemas en trenes son iniciativas poco exploradas en el transporte subterráneo. La idea principal es la de generar dispositivos instalados en cada tren que permitan llevar un registro en tiempo real de cómo se están comportando sus sistemas esenciales, y a través de esos datos predecir cuándo se presentarán posibles averías.

Ninguno de los metros que forman parte del grupo CoMET posee sistemas de este tipo, pero sí se registran experiencias en sistemas parecidos, como la de UK National Rail. La instalación de dispositivos de este tipo en sus trenes ha permitido incrementar la eficiencia en actividades de mantenimiento, reduciendo el tiempo en realizar tareas de rutina e incrementando la flexibilidad en los horarios de actividades correctivas, determinando si es necesario o no realizar inspecciones que estaban planificadas.

El Metro de Sao Paulo por su parte está investigando la posible implementación de tecnología predictiva en sus nuevos trenes, con fecha de implementación para el 2014.

Si bien estos sistemas están aún en desarrollo, representan una gran oportunidad en la mejora de la gestión de averías. Se recomienda poner atención al panorama internacional respecto a posibles sistemas a implementar en el Metro de Santiago, con sus respectivos costos y beneficios asociados.

5. CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones Generales

Metro es una empresa que busca un servicio excepcional para sus pasajeros, invirtiendo constantemente en infraestructura, proyectos y medidas que mejoren las condiciones del transporte ofrecido. En esa línea, el desarrollo de esta memoria ha permitido ahondar en una problemática fundamental en la operación de Metro, como lo es el control eficiente y la prevención de eventos que interrumpen la operación normal.

El objetivo general de esta memoria tenía que ver con medir el impacto en términos de atraso y variación de la oferta que ocasionaban eventos operacionales, para luego proponer medidas de mejora frente a los principales eventos causantes. Desde esa perspectiva, se considera que el objetivo se logró a grandes rasgos. Efectivamente fue posible identificar, con un cierto grado de error dado por los ajustes de los modelos, los eventos causantes de la caída de la oferta, a un nivel desagregado tanto por horario punta como por línea. A su vez, a partir de ese análisis fue posible proponer medidas concretas a estudiar a futuro que pudiesen reducir la ocurrencia de eventos operacionales.

Es importante mencionar que Metro se prepara para grandes cambios en su operación y en el comportamiento de sus pasajeros. Para finales de Diciembre o principios de Enero se proyecta la inauguración de la ampliación de Línea 5, y para el año 2014 se pronostica la posible operación de las Líneas 6 y 3, de acuerdo a anuncios gubernamentales. Ante estas situaciones, el flujo de pasajeros y por ende la distribución de eventos operacionales sufrirá grandes cambios, generando la motivación de realizar otro estudio de este tipo. En ese sentido, el valor de esta memoria no radica tanto en sus resultados que a partir de las nuevas modificaciones de las líneas de Metro pueden quedar obsoletos, sino más bien en la metodología planteada para medir el impacto ocasionado por distintas situaciones imprevistas.

5.2 Sobre los Modelos Utilizados

Este estudio permitió primero identificar dentro de la gama de eventos operacionales posibles, cuáles generaban un gran impacto en términos de minutos de atraso acumulado en la línea. Esto corresponde a una primera aproximación sobre que eventos deben ser controlados a fin de mejorar el servicio. Luego, a través de modelos se pudo también explorar sobre qué eventos generan caídas en la frecuencia

programada de los trenes, ocasionando un daño no sólo en términos de retraso sino también en pérdida de oferta de transporte.

Cabe recalcar que los modelos obtenidos no presentaron ajustes altamente significativos, y que sería conveniente aproximar el problema mediante otras formulaciones matemáticas. Tanto los modelos lineales como multinomiales fueron escogidos por la simpleza en su construcción e implementación, limitados por la duración del trabajo de esta memoria. Además, el objetivo en la generación de estos modelos fue el de explicar el comportamiento histórico observado, pero no el de predecir futuras caídas de frecuencia. En ese sentido, otras aproximaciones mediante redes neuronales o técnicas más avanzadas podrían no sólo mejorar los ajustes obtenidos, sino también transformarse en herramientas de apoyo a la toma de decisiones con respecto a qué tipo de eventos operacionales prestar atención.

Se apreció además que los ajustes obtenidos en las vías recargadas fueron menores que aquellos vistos en su contraparte con menor carga. Sería relevante trabajar en estos modelos de manera tal de aumentar el ajuste de las vías prioritarias, aun cuando esto fuese en desmedro de las otras vías. El análisis ha mostrado que la cantidad de pasajeros afectada por estas direcciones es mucho mayor, y por lo tanto en términos de beneficio social tener modelos más exactos para estas vías en particular generaría mayor valor.

5.3 Sobre los Resultados Arrojados por los Modelos

En líneas generales, Metro ha llegado a un punto en que la mayoría de los eventos relevantes que generan caídas de frecuencia de trenes tienen que ver con sus clientes. En ese sentido, la línea 1 se ve mucho más asfixiada y requiere de medidas para disminuir problemas derivados de altas aglomeraciones de personas. Esta situación se hace aún más relevante ante la próxima inauguración de la extensión de línea 5, que enlaza con línea 1 en San Pablo. Metro debe estar preparado para el incremento de usuarios en la red, pues muchos de ellos son nuevos en la habitualidad del servicio, y por lo tanto no tienen las conductas adquiridas por la experiencia que sí tienen pasajeros más antiguos. Estos pasajeros nuevos serán más propensos a sufrir accidentes, obstruir cierres de puertas, y seguir otros comportamientos que a lo largo de los años los demás pasajeros han ido dejando de lado. El enfoque de esta memoria es precisamente priorizar la solución de eventos humanos por sobre los técnicos, dadas las nuevas condiciones que enfrentará la red en los próximos meses.

Los resultados no sólo permitieron identificar los eventos culpables en caídas de frecuencia, sino también arrojaron nociones de las estaciones a las cuales enfocar esfuerzos y las vías de mayor relevancia. Si bien, era esperable que las vías más cargadas fuesen las responsables mayoritarias de las caídas de frecuencia, no deja de ser importante tener un estudio que avale la intuición. Varias de las medidas sugeridas tienen una implementación independiente de las estaciones, como es el caso de instalación de equipos especiales en los trenes o la prevención de averías mediante políticas de mantenimiento. Aun así, sigue siendo relevante saber cuáles son las estaciones en que la ocurrencia de un evento genera mayor impacto. Se sugiere en ese sentido un estudio de estaciones menos agregado que el aquí realizado, que permita identificar estaciones conflictivas de manera específica.

5.4 Sobre los Costos Obtenidos

Los costos privados obtenidos dan una noción de cómo es afectado Metro como empresa ante eventos operacionales. No se profundizó demasiado en este ámbito dando mayor énfasis en costos sociales.

La medición de costos sociales permitió dar una segunda dimensión al estudio, de no sólo que eventos repercuten más en términos operacionales, sino también cual es el impacto directo para el cliente y que porcentaje de ellos se ve afectado. Siendo Metro un servicio de carácter público para sus pasajeros, es sumamente importante considerar cómo estos se ven afectados frente a contingencias.

Es interesante como a simple vista un atraso de 2 minutos provocado por un evento operacional parece insignificante, pero al momento de calcular los costos asociados estos son significativos. Los cálculos arrojaron que en las vías cargadas en general, aproximadamente la mitad o más de los pasajeros vive todos los días un evento operacional en alguna parte de la línea (ya sea línea 1 o línea 4). Más aún, cada uno de esos pasajeros debe pagar en términos porcentuales un costo de viaje extra que representa entre un 6% y 12% de lo que usualmente gasta viajando. Ahora, cuando se analizan sólo los eventos de atraso superior al intervalo programado de paso de trenes, estos porcentajes oscilan entre un 23% y un 43%. En estos costos sólo se incluyeron las “molestias” producto de aumento en el tiempo de viaje, pero no se consideraron otros factores como el hacinamiento en los trenes que producen aún más daño en la percepción del cliente sobre el servicio.

La metodología empleada para calcular los costos sociales sólo consideró las estaciones adyacentes, pero queda planteado extender esta medición a otras estaciones cercanas. Con esto, los costos sociales aumentarían, observándose más pasajeros afectados en promedio por eventos. Aun así no es menor que sólo considerando las dos estaciones junto a la estación de un evento ya se pueden obtener valores suficientes para justificar la inversión en ciertos proyectos de mejora. En ese sentido, una medición más acabada de costos puede ampliar la gama de medidas a implementar en el futuro.

5.5 Sobre las Medidas Propuestas

Se trabajó en investigar medidas exitosas en otros metros del mundo, y en evaluar su posible implementación en la realidad santiaguina. Se observó que en general todos los metros del mundo presentan problemas de igual naturaleza, por lo que es mucho lo que se puede aprender analizando medidas exitosas propuestas en otros países. Esto no implica que una medida exitosa en otro lado vaya a serlo en Chile, pero sí permite sentar líneas de investigación sobre posibles proyectos a implementar en pos de mejorar la calidad del servicio.

Es importante destacar que los problemas actuales del servicio prestado por Metro no sólo radican en atrasos en el tiempo de viaje de sus pasajeros, sino que derivan también en factores como el hacinamiento y la sobrecarga del sistema. En ese sentido, hay que destacar que los principales beneficios asociados a las medidas asociadas no están tanto en el tiempo de viaje ganado, sino en la disminución de otro

tipo de molestias. Si bien, el tiempo de viaje ahorrado permite cuantificar en términos de costos y evaluar si una propuesta es o no rentable, la instalación de equipamiento en los andenes permite también mejorar la calidad de viaje de los pasajeros. Bajo esa línea, invertir en este tipo de medidas en vez de otro tipo de proyectos permite solucionar problemas paralelos a la reducción en tiempos de viaje y que son tan o más importantes que estos últimos. Más aún, en el contexto de la ampliación del servicio, se torna fundamental mejorar la calidad en las estaciones en funcionamiento.

Dado que Metro es una empresa de perfil tanto privado como público, busca posicionarse como una empresa que brinde un servicio de excelencia, y por lo tanto necesita invertir en proyectos que mejoren la experiencia del usuario. Lo que más importa en este caso es la imagen proyectada, por lo que iniciativas que mejoren la percepción del usuario sobre el servicio son potencialmente rentables. En esa línea, si bien medidas como la instalación de puertas de andén no son rentables a primera vista, podrían perfectamente llegar a serlo si se incorporan las consecuencias en cuanto a imagen para Metro. Si se ignoran los beneficios percibidos en términos de imagen, Metro aún puede percibir ganancias aumentando su oferta. En términos monetarios, por cada tren perdido de frecuencia se perciben pérdidas relevantes, las cuáles hacen rentable proyectos como la instalación de botones de emergencia, la contratación o redistribución de asistentes de andén u otras medidas a investigar. El impacto percibido por la empresa bajo este tipo de medidas es mixto, pues si bien genera beneficios tanto sociales como privados, la mejora social también conlleva una mejora privada, pues usuarios en mejores condiciones de viaje generan menos eventos y en consecuencia, menores disminuciones en oferta. Por otro lado, medidas enfocadas a averías traen beneficios privados mucho más directos en términos de ahorro de costos, que si bien han sido mencionados a lo largo de este estudio, necesitan ser cuantificados para medir su rentabilidad.

Las medidas propuestas en esta memoria requieren de mayor profundidad en cuánto a su evaluación y su posterior puesta en marcha. Estas sólo representan una solución aproximada y general a los problemas detectados, y se propone un segundo estudio con alto énfasis en las medidas a implantar. Así mismo, se recomienda un trabajo multidisciplinario que involucre profesionales del área de mantenimiento para generar propuestas con mayor profundidad técnica, en donde el memorista no tiene la experiencia y si requiere del asesoramiento de un experto técnico de la materia con un segundo trabajo.

Aun así, tras este estudio existe una oportunidad importante de seguir otras líneas que profundicen sobre las medidas a implementar. La invitación es no sólo a evaluar proyectos realizados con éxito en otros países, sino también a diseñar procedimientos propios que se adapten a la realidad de los pasajeros santiaguinos. De esta forma, Metro podrá generar valor no solo a sus pasajeros sino también dar el ejemplo para que otras compañías del rubro a lo largo del mundo puedan imitar sus ideas, posicionándose como una empresa de excelencia no solo en Chile sino también hacia el extranjero.

6. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Blei, D., Ng, A., Jordan, M., (2003) Latent Dirichlet Allocation, Journal of Machine Learning Research 3
2. Budet, D., Castro, M., Jaworski, J., Khait, Y., Marte, F., Washington, R., (2009) Data Mining Customer and Employee-Related Subway Incidents
3. CoMET Benchmarking 2009 Case Study: Practices to Increase Peak Fleet Utilization and Availability, May 2010
4. Compendio de Operaciones 2009 – Gerencia de Operaciones Metro S.A.
5. DLR Safety / Transport for London <http://www.tfl.gov.uk/gettingaround/4568.aspx> , Revisada el 12 de Julio 2010
6. Guisande, C. Et al., (2006) Tratamiento de datos. España, Díaz de Santos.
7. Manual de Circulación – Gerencia de Operaciones Metro S.A.
8. Manual de Procedimientos Operativos, Puesto de Comando Centralizado PCC – Gerencia de Operaciones Metro S.A.
9. Memoria Anual 2009 – Metro de Santiago
10. Nova Benchmarking Phase VI Case Study: Passenger Incidents Management, June 2004
11. Nova Benchmarking Phase VIII Case Study: Safe Movement of Passengers within Stations, July 2006
12. Ortúzar, J de D., Williamsen, L., (2008) Modelos de Transporte
13. Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos 2010 – Gobierno de Chile, Ministerio de Planificación
14. Ramirez, H., Cronin, P., Inamdar, R., Richard, S., Washington, R., Yeskey, L., (2008) Data Mining Customer-Related Subway Incidents
15. Romero, V., (2005) Modelos de Optimización del Tráfico de Trenes
16. Salton, G., Wong, A., Yang, C.S., (1975) A vector space model for automatic indexing, Communications of the ACM, v.18 n.11, p.613-620
17. Salvatierra, M.P., (2008) Programación De Los Horarios De Salida De Los Últimos Trenes De Las Estaciones Terminales Del Metro

18. Spärck K. (1972) A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval. Journal Documentation, Computer Laboratory, University of Cambridge, Cambridge, UK
19. Tokyo Metro / Safety and Disaster Prevention
<http://www.tokyometro.jp/global/en/about/safety.html> , Revisada el 12 de Julio 2010
20. Washington Metropolitan Area Transit Authority / Metrobus and Metrorail Safety & Security http://www.wmata.com/getting_around/safety_security/bus_rail.cfm , Revisada el 12 de Julio 2010
21. What are pseudo R-squareds?
http://www.ats.ucla.edu/stat/mult_pkg/faq/general/Psuedo_RSquareds.htm , Revisada el 12 de Octubre 2010
22. Yuan, J., (2006) Stochastic Modelling of Train Delays and Delay Propagation in Stations

ANEXOS

Anexo A: Glosario de Términos

Bucle: Sector de la Línea delimitado por desvíos para efectuar cambios de vía que permiten al tren realizar servicios parciales programados.

CALDAS: Software de simulación capaz de determinar las subidas, bajadas, cargas en trenes y trasbordos que se realizan en cada estación de la red, en intervalos mínimos de 15 minutos.

Coche Kilómetro (Coche Km): Corresponde a un kilómetro recorrido por un coche a lo largo de las vías que comprende el área de concesión, prestando servicio de transporte de pasajeros.

CoMET: Programa internacional de benchmark entre metros. Está conformado por sistemas de metro a lo largo de todo el mundo, e incluye a los servicios de Beijing, Berlín, Hong Kong, Londres, México D.F., Madrid, Moscú, Nueva York, París, Santiago, Shanghái y Sao Paulo.

CPPA: Costo Promedio por Pasajero Afectado. Corresponde a cuál es el costo promedio que paga un pasajero cada vez que ocurre un evento mientras él se encuentra en la red.

CVS: El Convertidor Estático de Voltaje (CVS) es el equipo encargado de la producción de Media y Baja Tensión, recibiendo Alta Tensión.

GEOS: Sistema de Gestión de Eventos Operacionales. En él se registran los eventos que causan retrasos en la operación de Metro. Corresponde a un módulo interno de OSIE II.

Material Rodante: Denominación técnica utilizada para referirse a los trenes en Metro S.A.

Mesanina: Corresponde al espacio físico donde se encuentran la boletería y la línea de torniquetes. Está en un nivel superior a los andenes.

Monocup: Es la señal sonora que indica al conductor que las puertas se han cerrado correctamente.

OSIE II: Sistema de consulta de variables operacionales de Metro.

PCC: Puesto de Comando centralizado. Unidad encargada del constante monitoreo de los trenes.

Puerta Enclavada: Aquella puerta cuyo cierre de seguridad interno ha enganchado correctamente.

Tren AS02: A: Acero; S: Santiago; 02 construidos desde el año 2002.

Tren NSXX: N: Neumático; S: Santiago; XX contruidos desde el año 19XX o 20XX según aplique.

RPS: El sistema de Repetición de Señales Puntuales (RPS) es un sistema de señalización en terreno disperso a través de balizas por toda la vía. Su función es controlar los itinerarios a recorrer del tren e intercambiar información entre el tren y las vías.

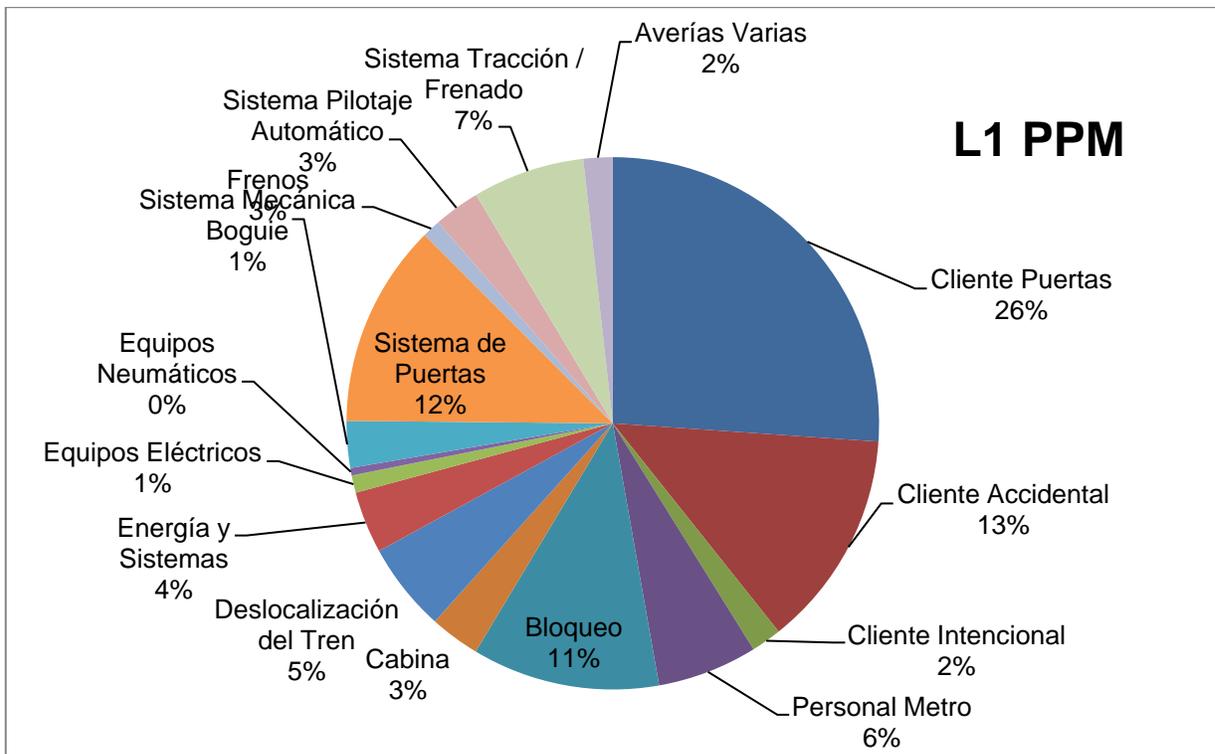
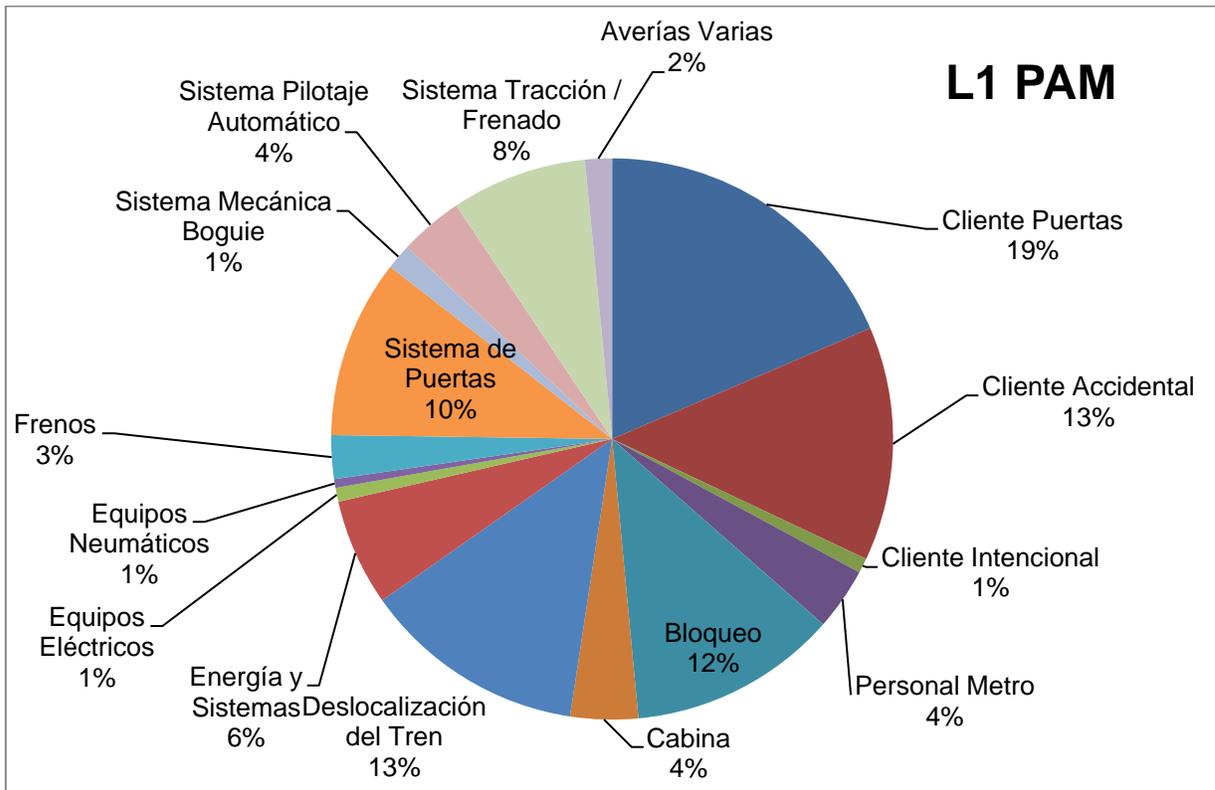
SACEM: El SACEM (Sistema de Asistencia de la Conducción, Explotación y Mantenimiento), permite y controla que los trenes cumplan con las velocidades definidas por la marcha tipo que está siendo aplicada en ese instante y respeten la señalización.

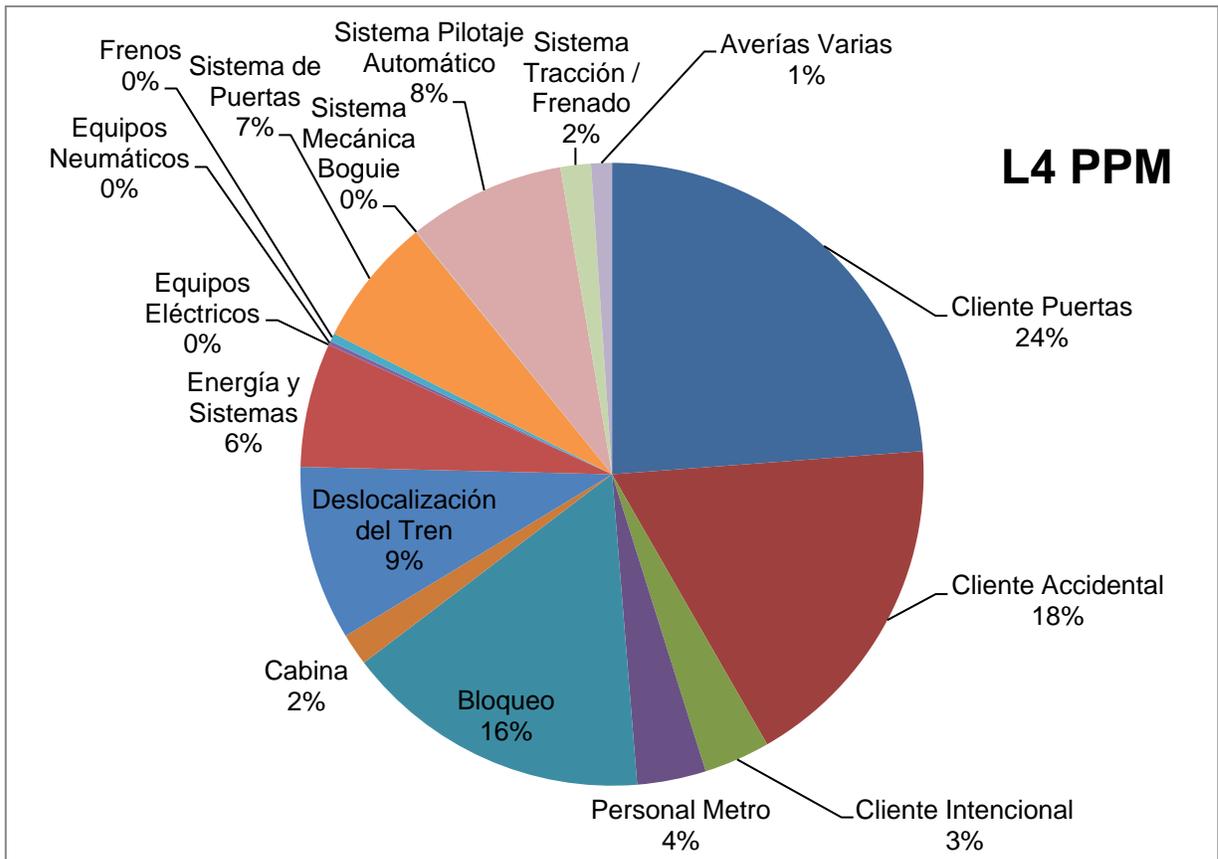
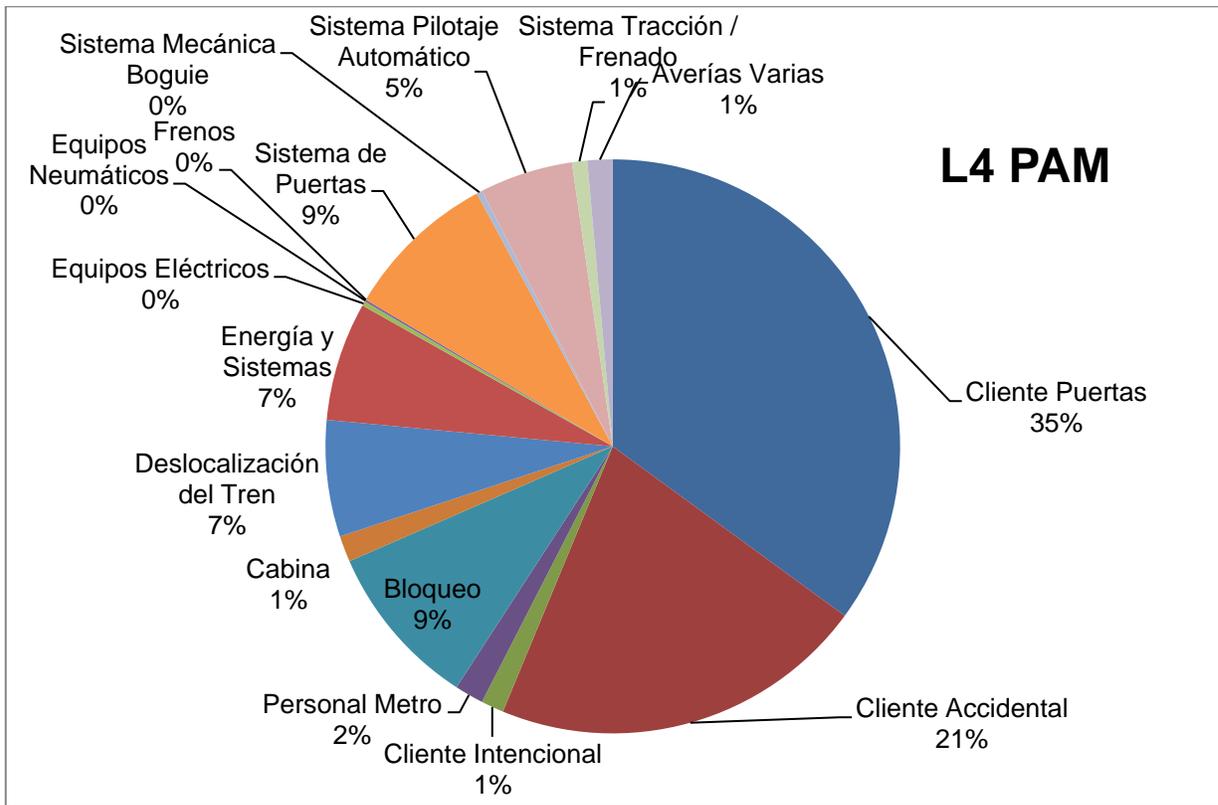
SISMET: Sistema de información que registra la afluencia de la red.

TCO: Tablero de Control Óptico. Sistema de tableros electrónicos que permiten determinar la ubicación de cada tren en la red.

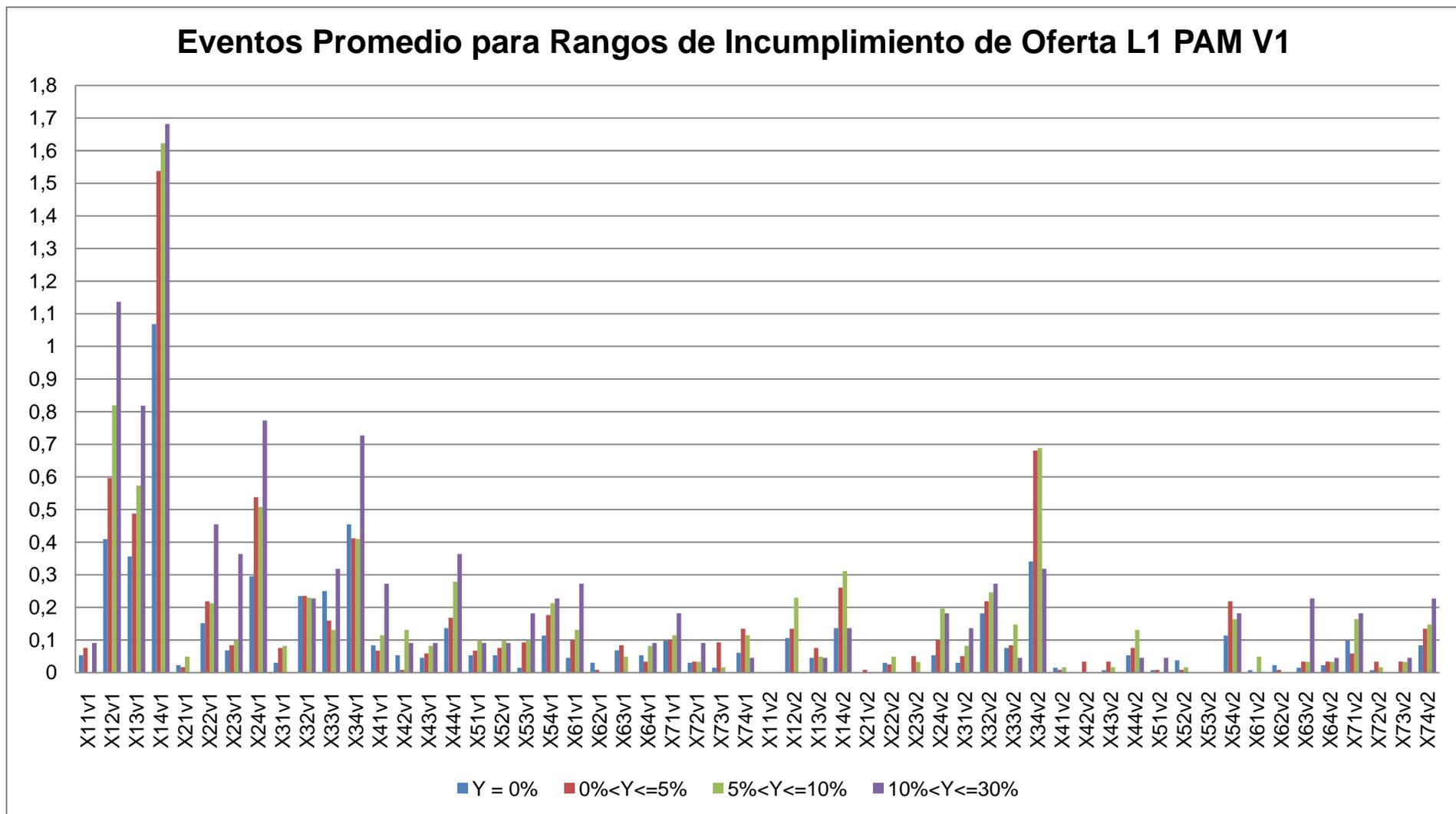
Vía: Dirección de viaje. De un modo general, las dos vías principales de cada línea se denominan, vía 1 y vía 2. En línea 1, la vía 1 corresponde a la dirección San Pablo a Los Domínicos. En línea 4, la vía 1 corresponde a la dirección Tobalaba a Plaza Puente Alto.

Anexo B: Porcentajes en Tiempos de Atraso por Línea y Horario

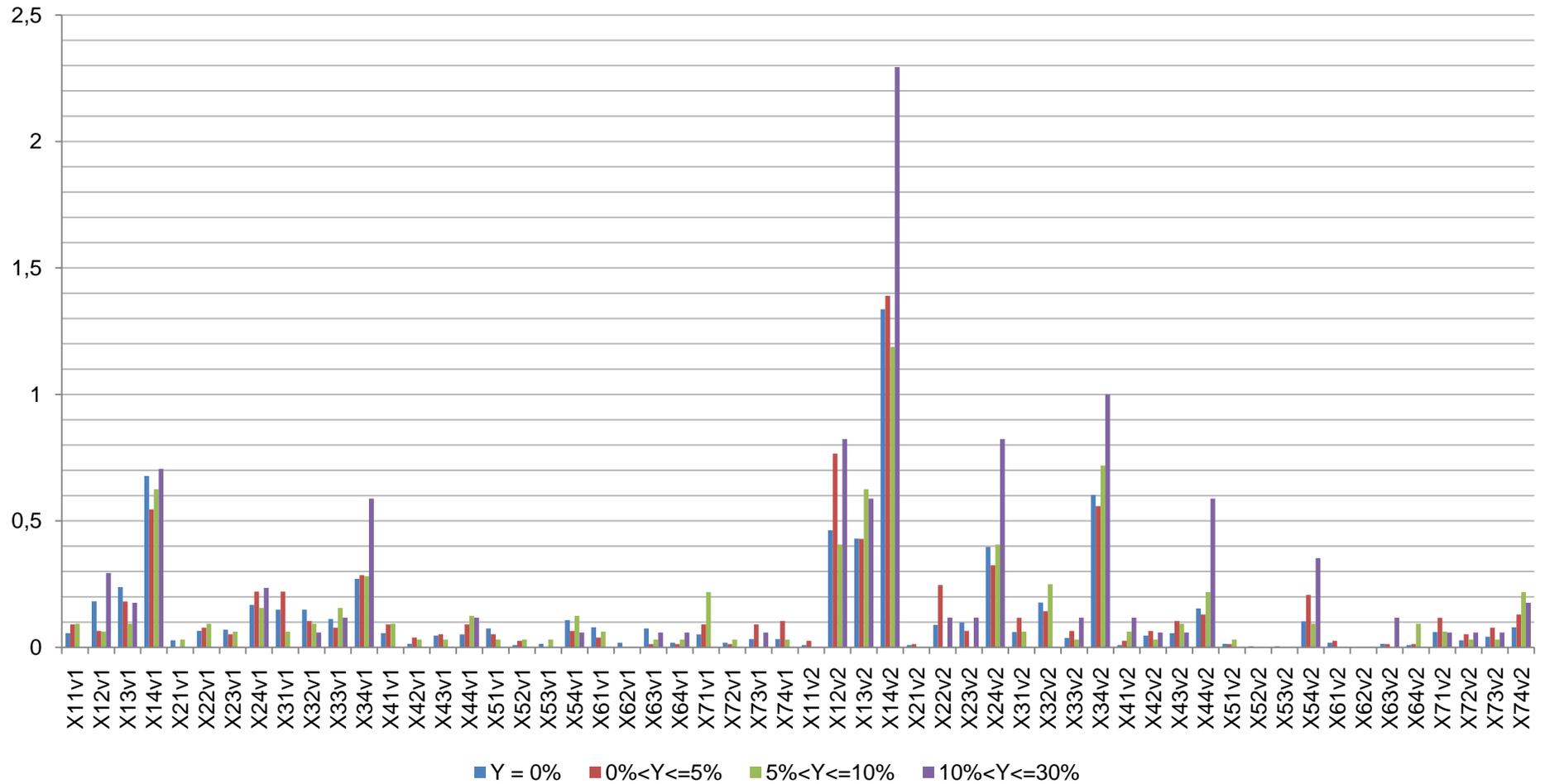




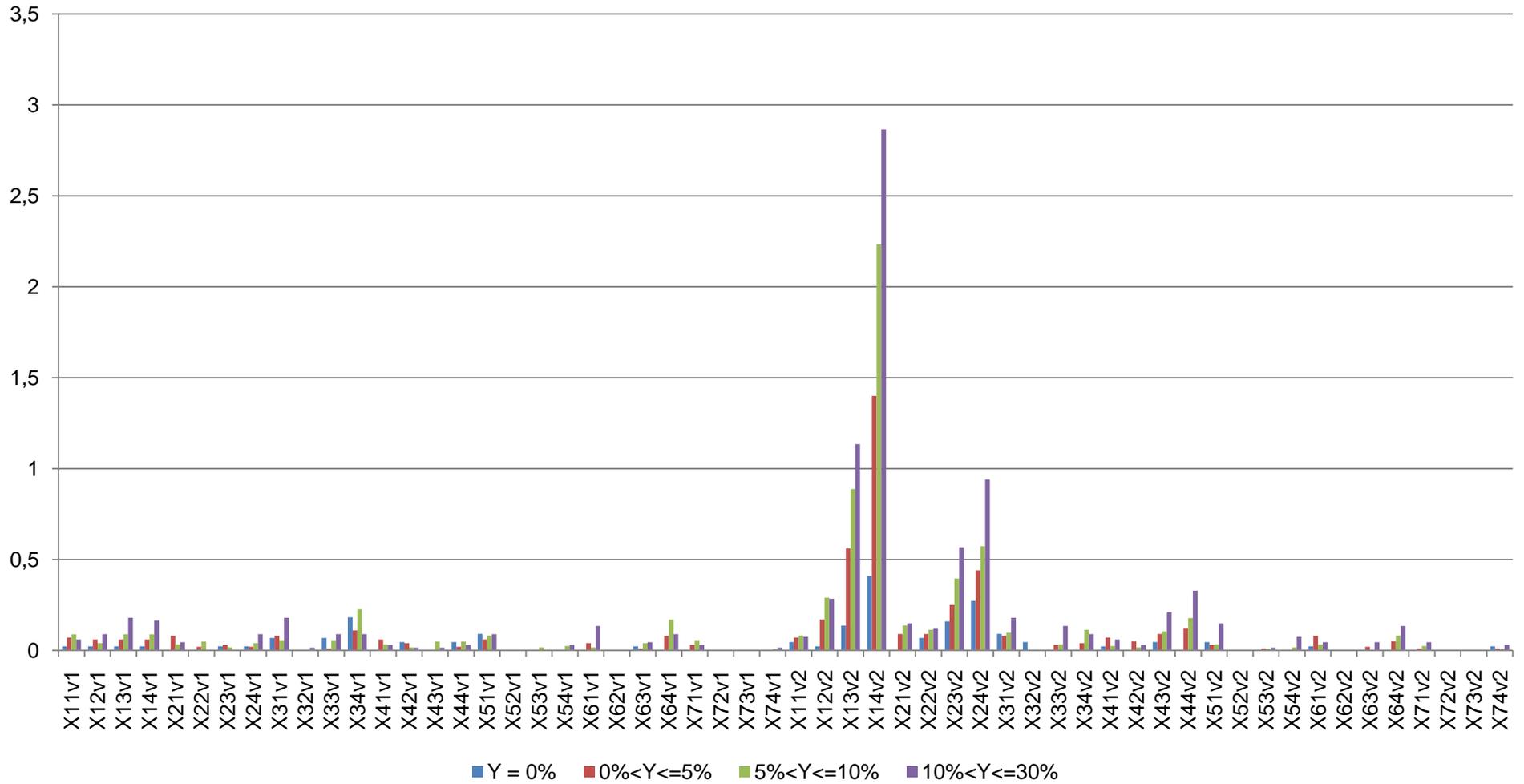
Anexo C: Gráficos de Ocurrencias de Eventos Promedio por Rangos de Incumplimiento



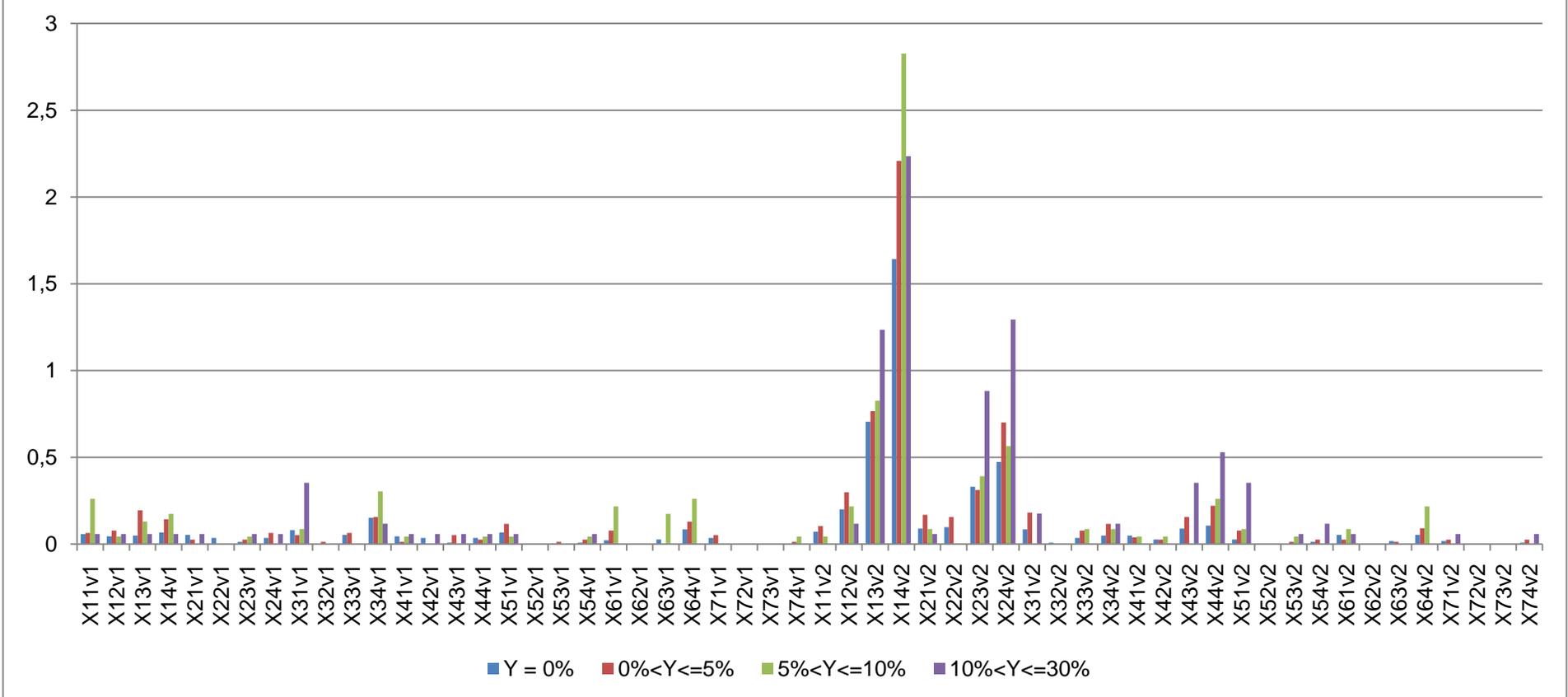
Eventos Promedio para Rangos de Incumplimiento de Oferta L1 PPM V2



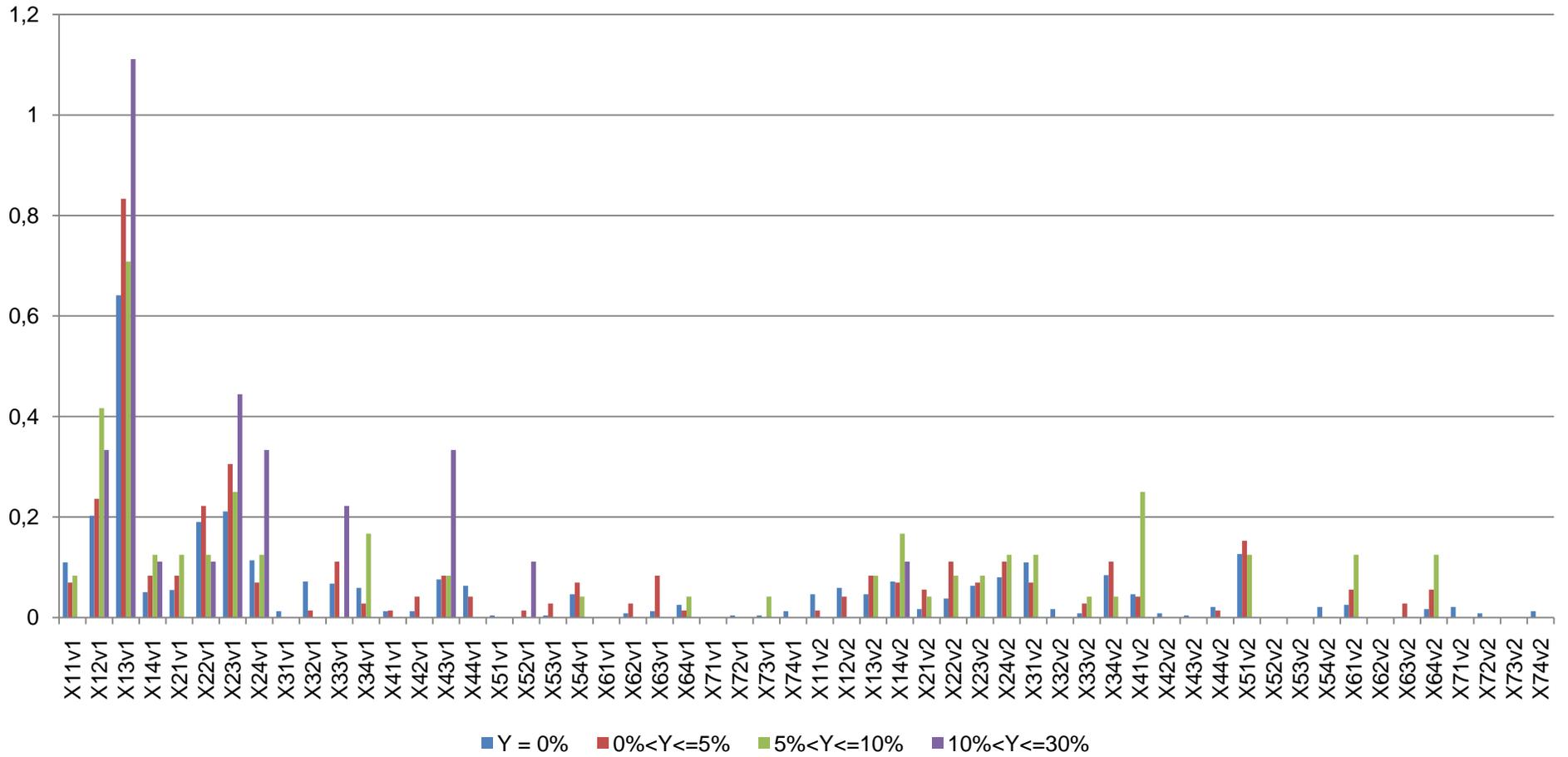
Eventos Promedio para Rangos de Incumplimiento de Oferta L4 PAM V1



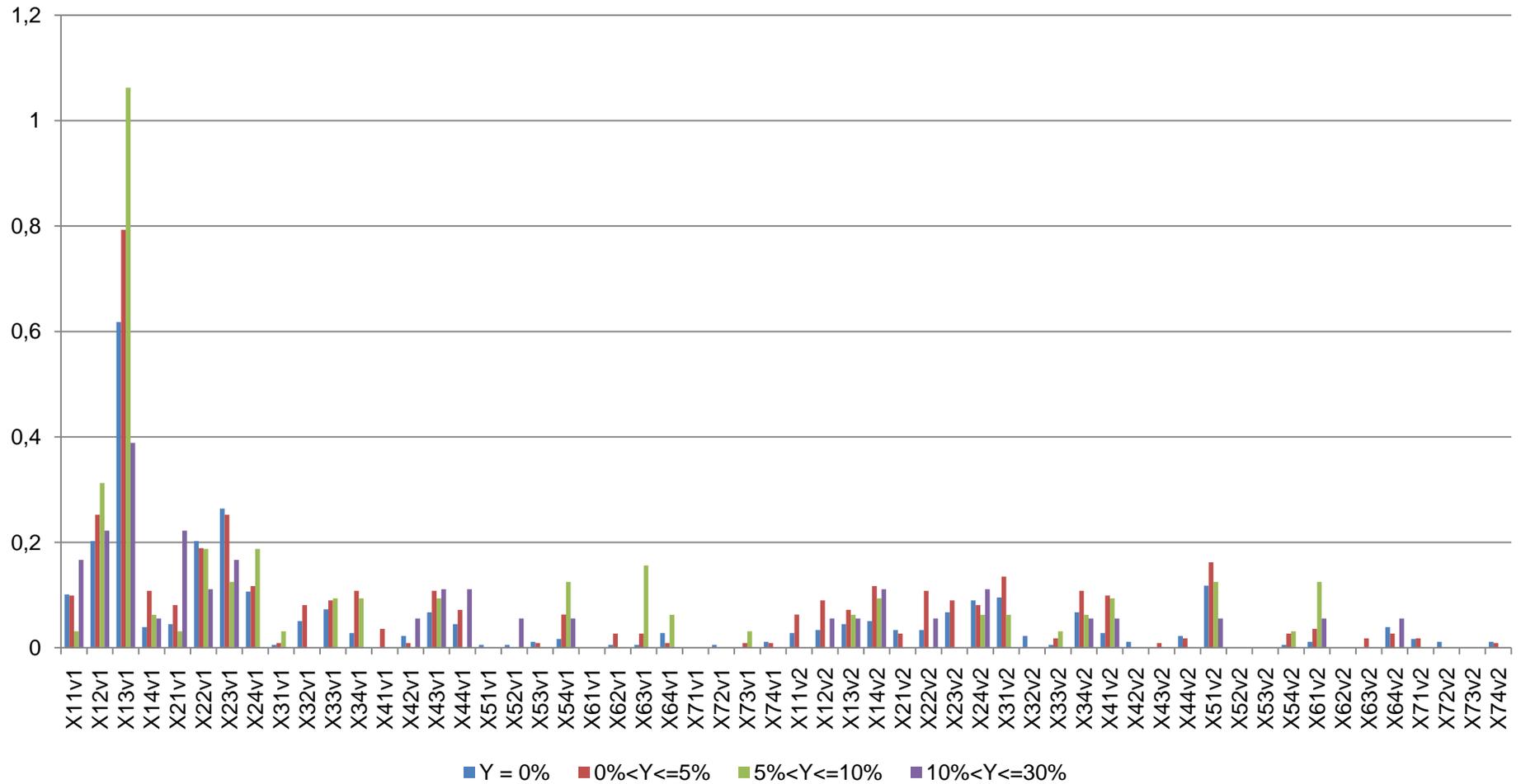
Eventos Promedio para Rangos de Incumplimiento de Oferta L4 PAM V2



Eventos Promedio para Rangos de Incumplimiento de Oferta L4 PPM V1



Eventos Promedio para Rangos de Incumplimiento de Oferta L4 PPM V2



Anexo D: Variables Significativas en Modelos Logit Multinomiales

Variables significativas en modelo L1 PAM V1

Vía 1		B	Sig.	Exp(B)
0%<Y<=5%	X24v1	,501	,032	1,650
	X34v2	,426	,031	1,532
5%<Y<=10%	X24v1	,746	,022	2,109
	X14v2	1,495	,005	4,458
	X24v2	1,600	,017	4,951
	X31v2	2,207	,018	9,085
	X33v2	1,550	,015	4,713
	X34v2	,524	,031	1,688
10%<Y<=30%	X23v1	4,575	,012	97,049

Fuente: Elaboración Propia por medio de Software SPSS

Variables significativas en modelo L1 PAM V2

Vía 2		B	Sig.	Exp(B)
5%<Y<=10%	X24v1	1,635	,013	5,129
	X14v2	1,786	,029	5,968
10%<Y<=30%	X12v1	,726	,046	2,068
	X24v1	1,507	,019	4,513
	X34v2	1,288	,008	3,626

Fuente: Elaboración Propia por medio de Software SPSS

Variables significativas en modelo L1 PPM V1

Vía 1		B	Sig.	Exp(B)
0%<Y<=5%	X22v2	2,277	,012	9,749
5%<Y<=10%	X14v1	1,342	,012	3,827
	X22v1	4,473	,005	87,655
	X74v2	4,214	,002	67,637
10%<Y<=30%	X44v1	2,741	,036	15,505
	X23v2	2,991	,033	19,904
	X31v2	4,116	,011	61,342

Fuente: Elaboración Propia por medio de Software SPSS

Variables significativas en modelo L1 PPM V2

Vía 2		B	Sig.	Exp(B)
0%<Y<=5%	X12v2	,656	,004	1,927
	X33v2	1,449	,029	4,257
	X72v2	2,203	,029	9,051
	X74v2	1,452	,014	4,270
5%<Y<=10%	X71v1	2,365	,011	10,647
10%<Y<=30%	X44v2	2,573	,007	13,110
	X54v2	1,643	,027	5,168

Fuente: Elaboración Propia por medio de Software SPSS

Variables significativas en modelo L4 PAM V1

Vía 1		B	Sig.	Exp(B)
0%<Y<=5%	X14v2	,955	,010	2,600
	X23v2	1,945	,022	6,996
5%<Y<=10%	X14v2	1,132	,002	3,103
	X23v2	1,988	,018	7,302
10%<Y<=30%	X13v2	1,403	,038	4,066
	X14v2	1,310	,001	3,705
	X23v2	2,321	,008	10,181

Fuente: Elaboración Propia por medio de Software SPSS

Variables significativas en modelo L4 PAM V2

Vía 2		B	Sig.	Exp(B)
0%<Y<=5%	X31v2	1,361	,011	3,900
5%<Y<=10%	X61v1	2,467	,031	11,785
	X11v1	1,882	,034	6,564
10%<Y<=30%	X24v2	1,045	,012	2,844
	X31v2	3,525	,003	33,965
	X51v2	5,599	,000	270,024

Fuente: Elaboración Propia por medio de Software SPSS

Variables significativas en modelo L4 PPM V1

Vía 1		B	Sig.	Exp(B)
5%<Y<=10%	X41v2	2,111	,017	8,256

Fuente: Elaboración Propia por medio de Software SPSS

Variables significativas en modelo L4 PPM V2

Vía 2		B	Sig.	Exp(B)
0%<Y<=5%	X13v1	,403	,045	1,497
	X21v1	1,678	,026	5,353
	X32v1	1,448	,041	4,253
	X22v2	2,043	,015	7,717
5%<Y<=10%	X13v1	,924	,001	2,519
	X13v2	2,883	,011	17,867

Fuente: Elaboración Propia por medio de Software SPSS

Anexo E: Salidas de SPSS Modelos Logit Multinomiales

E.1 Modelo Logit Multinomial L1 PAM V1

Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	593,581			
Final	419,982	173,598	136	,016

Estimaciones de los parámetros

YRango ^a		B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
								Límite inferior	Límite superior
0%<Y<=5%	Intersección	-1,086	,359	9,150	1	,002			
	X11v1	,203	,645	,099	1	,753	1,225	,346	4,338
	X12v1	-,011	,225	,003	1	,959	,989	,637	1,535
	X13v1	-,260	,272	,911	1	,340	,771	,452	1,315
	X14v1	,217	,124	3,094	1	,079	1,243	,975	1,583
	X22v1	,498	,387	1,656	1	,198	1,645	,771	3,510
	X23v1	-,431	,623	,479	1	,489	,650	,192	2,202
	X24v1	,501	,234	4,583	1	,032	1,650	1,043	2,610
	X31v1	,404	,674	,359	1	,549	1,497	,400	5,612
	X33v1	,031	,346	,008	1	,928	1,032	,524	2,032
	X34v1	-,178	,225	,628	1	,428	,837	,538	1,301

X41v1		-,404	,490	,681	1	,409	,668	,256	1,743
X43v1		-,267	,755	,125	1	,724	,766	,175	3,361
X44v1		,431	,428	1,014	1	,314	1,538	,665	3,558
X51v1		,445	,598	,554	1	,457	1,561	,483	5,041
X52v1		,361	,763	,224	1	,636	1,435	,322	6,399
X53v1		,841	,884	,906	1	,341	2,319	,410	13,109
X54v1		,036	,404	,008	1	,930	1,036	,469	2,288
X61v1		,162	,758	,045	1	,831	1,175	,266	5,195
X64v1		-,737	,925	,635	1	,425	,478	,078	2,931
X71v1		-,220	,635	,120	1	,729	,802	,231	2,785
X72v1		,137	,714	,037	1	,848	1,147	,283	4,651
X12v2		,208	,530	,154	1	,695	1,231	,435	3,482
X14v2		,760	,418	3,313	1	,069	2,138	,943	4,848
X24v2		,231	,615	,142	1	,707	1,260	,378	4,205
X31v2		,851	,837	1,034	1	,309	2,341	,454	12,071
X32v2		,197	,355	,308	1	,579	1,218	,607	2,444
X33v2		-,262	,612	,183	1	,668	,770	,232	2,553
X34v2		,426	,197	4,676	1	,031	1,532	1,041	2,254
X44v2		,354	,548	,417	1	,518	1,425	,486	4,176
X54v2		,228	,391	,339	1	,560	1,256	,583	2,705
X63v2		,996	1,138	,766	1	,382	2,706	,291	25,168
X64v2		-,001	,917	,000	1	,999	,999	,165	6,032
X71v2		-1,337	,756	3,127	1	,077	,263	,060	1,156
X74v2		,760	,469	2,634	1	,105	2,139	,854	5,359
10%<Y<=30%	Intersección	-7,751	2,315	11,207	1	,001			
X11v1		2,025	1,351	2,247	1	,134	7,573	,537	106,895
X12v1		,455	,575	,626	1	,429	1,576	,511	4,866
X13v1		,973	,948	1,051	1	,305	2,645	,412	16,970
X14v1		,262	,489	,286	1	,593	1,299	,498	3,387
X22v1		1,862	1,736	1,149	1	,284	6,434	,214	193,388
X23v1		4,575	1,814	6,359	1	,012	97,049	2,771	3399,158
X24v1		,813	,747	1,185	1	,276	2,254	,522	9,743
X31v1		-18,824	8154,558	,000	1	,998	,000	,000	
X33v1		1,120	1,052	1,133	1	,287	3,064	,390	24,090
X34v1		,424	,915	,215	1	,643	1,529	,255	9,179
X41v1		-,041	1,952	,000	1	,983	,959	,021	44,019
X43v1		2,349	3,062	,589	1	,443	10,479	,026	4230,052
X44v1		,793	1,078	,541	1	,462	2,210	,267	18,266
X51v1		-,302	1,629	,034	1	,853	,739	,030	18,024
X52v1		,279	2,386	,014	1	,907	1,321	,012	141,870
X53v1		2,012	1,126	3,193	1	,074	7,481	,823	68,018
X54v1		1,305	1,449	,811	1	,368	3,689	,215	63,200

X61v1	3,032	1,560	3,777	1	,052	20,749	,974	441,788
X64v1	-,001	4,923	,000	1	1,000	,999	,000	15502,242
X71v1	2,544	1,568	2,630	1	,105	12,726	,588	275,193
X72v1	1,107	1,790	,382	1	,537	3,024	,091	101,019
X12v2	-16,417	3884,356	,000	1	,997	,000	,000	
X14v2	-,288	1,518	,036	1	,849	,749	,038	14,698
X24v2	-4,708	2,886	2,662	1	,103	,009	,000	2,580
X31v2	4,024	2,229	3,260	1	,071	55,925	,709	4412,613
X32v2	-,286	1,180	,059	1	,808	,751	,074	7,587
X33v2	-20,980	4730,046	,000	1	,996	,000	,000	
X34v2	-1,117	1,044	1,145	1	,285	,327	,042	2,531
X44v2	-14,192	5815,459	,000	1	,998	,000	,000	
X54v2	-28,820	3015,660	,000	1	,992	,000	,000	
X63v2	1,916	1,915	1,002	1	,317	6,795	,159	289,777
X64v2	3,813	2,514	2,300	1	,129	45,301	,328	6254,519
X71v2	-,248	2,206	,013	1	,911	,781	,010	58,962
X74v2	1,636	1,871	,764	1	,382	5,132	,131	200,832
5%<Y<=10% Intersección	-3,444	,608	32,118	1	,000			
X11v1	-18,803	5185,039	,000	1	,997	,000	,000	
X12v1	,478	,259	3,391	1	,066	1,612	,970	2,681
X13v1	,047	,352	,018	1	,894	1,048	,526	2,088
X14v1	-,072	,178	,166	1	,684	,930	,657	1,318
X22v1	,244	,601	,164	1	,685	1,276	,393	4,143
X23v1	-,447	,740	,365	1	,546	,640	,150	2,726
X24v1	,746	,326	5,248	1	,022	2,109	1,114	3,994
X31v1	,583	,883	,435	1	,509	1,791	,317	10,117
X33v1	-,723	,705	1,051	1	,305	,485	,122	1,933
X34v1	,126	,343	,135	1	,714	1,134	,579	2,223
X41v1	,208	,657	,100	1	,752	1,231	,340	4,460
X43v1	1,023	,922	1,233	1	,267	2,782	,457	16,941
X44v1	,830	,495	2,813	1	,094	2,294	,869	6,051
X51v1	,301	,701	,184	1	,668	1,351	,342	5,333
X52v1	1,061	,833	1,623	1	,203	2,890	,565	14,788
X53v1	-20,270	4487,982	,000	1	,996	,000	,000	
X54v1	,063	,522	,015	1	,903	1,065	,383	2,964
X61v1	,891	,850	1,098	1	,295	2,438	,461	12,903
X64v1	1,178	,845	1,945	1	,163	3,249	,620	17,027
X71v1	,384	,890	,186	1	,666	1,467	,257	8,395
X72v1	,818	1,157	,499	1	,480	2,265	,234	21,890
X12v2	,500	,689	,528	1	,467	1,649	,428	6,359
X14v2	1,495	,535	7,803	1	,005	4,458	1,562	12,722
X24v2	1,600	,671	5,675	1	,017	4,951	1,328	18,458

X31v2	2,207	,933	5,594	1	,018	9,085	1,459	56,551
X32v2	,226	,422	,287	1	,592	1,254	,548	2,867
X33v2	1,550	,638	5,904	1	,015	4,713	1,350	16,460
X34v2	,524	,243	4,633	1	,031	1,688	1,048	2,720
X44v2	,759	,709	1,145	1	,285	2,137	,532	8,583
X54v2	-,251	,598	,176	1	,675	,778	,241	2,513
X63v2	-,256	1,724	,022	1	,882	,774	,026	22,727
X64v2	,399	1,278	,097	1	,755	1,490	,122	18,221
X71v2	,384	,823	,218	1	,641	1,468	,293	7,369
X74v2	,812	,695	1,365	1	,243	2,252	,577	8,790

a. La categoría de referencia es: Y = 0%.

E.2 Modelo Logit Multinomial L1 PAM V2

Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
		-2 log verosimilitud	Chi-cuadrado	gl
Sólo la intersección	636,356			
Final	368,755	267,601	216	,010

Estimación de los Parámetros

YRango ^a		B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
								Límite inferior	Límite superior
0%<Y<=5%	Intersección	-,414	,649	,407	1	,523			
	X11v1	13,883	395,419	,001	1	,972		,000	
	X12v1	,421	,379	1,233	1	,267	1,523	,725	3,200
	X13v1	,264	,397	,443	1	,505	1,303	,598	2,837
	X14v1	,201	,230	,769	1	,381	1,223	,780	1,919
	X21v1	1,495	2,156	,481	1	,488	4,460	,065	304,901
	X22v1	-,434	,652	,442	1	,506	,648	,180	2,329
	X23v1	-1,003	1,130	,788	1	,375	,367	,040	3,362
	X24v1	1,230	,640	3,689	1	,055	3,420	,975	11,993
	X31v1	,931	1,043	,796	1	,372	2,537	,328	19,606
	X32v1	-,819	,672	1,485	1	,223	,441	,118	1,645

X33v1	-1,222	,672	3,310	1	,069	,295	,079	1,099
X34v1	,155	,417	,139	1	,710	1,168	,516	2,644
X41v1	-2,212	2,173	1,036	1	,309	,109	,002	7,745
X42v1	-3,768	1,641	5,273	1	,022	,023	,001	,576
X43v1	,092	1,549	,003	1	,953	1,096	,053	22,838
X44v1	,169	,822	,042	1	,837	1,184	,236	5,931
X51v1	-2,328	1,216	3,667	1	,056	,097	,009	1,056
X52v1	1,118	1,381	,655	1	,418	3,058	,204	45,840
X53v1	,341	,946	,130	1	,718	1,407	,220	8,992
X54v1	-,394	,728	,292	1	,589	,675	,162	2,811
X61v1	,755	1,166	,420	1	,517	2,128	,217	20,899
X62v1	4,035	2,842	2,016	1	,156	56,516	,215	14825,771
X63v1	-22,410	1536,592	,000	1	,988	,000	,000	
X64v1	13,493	549,494	,001	1	,980		,000	
X71v1	-,253	1,229	,042	1	,837	,777	,070	8,639
X72v1	1,623	1,553	1,091	1	,296	5,066	,241	106,404
X73v1	-,811	1,480	,300	1	,584	,444	,024	8,085
X74v1	1,639	1,478	1,230	1	,267	5,152	,284	93,421
X12v2	-,443	,609	,529	1	,467	,642	,195	2,118
X13v2	1,988	1,255	2,512	1	,113	7,304	,625	85,388
X14v2	1,441	,795	3,290	1	,070	4,226	,890	20,059
X21v2	128,186	8728,131	,000	1	,988		,000	
X22v2	-3,036	2,341	1,682	1	,195	,048	,000	4,720
X23v2	14,150	1163,375	,000	1	,990		,000	
X24v2	-2,364	1,014	5,438	1	,020	,094	,013	,686
X31v2	-,027	1,513	,000	1	,986	,974	,050	18,906
X32v2	-,095	,748	,016	1	,899	,910	,210	3,942
X33v2	2,688	2,080	1,670	1	,196	14,701	,249	866,347
X34v2	,614	,490	1,570	1	,210	1,847	,707	4,823
X41v2	,413	1989,220	,000	1	1,000	1,512	,000	
X42v2	-15,181	1388,814	,000	1	,991	,000	,000	
X43v2	10,890	899,055	,000	1	,990	53622,801	,000	
X44v2	14,432	439,048	,001	1	,974		,000	
X51v2	-13,760	3114,800	,000	1	,996	,000	,000	
X52v2	-1,965	2,154	,832	1	,362	,140	,002	9,545
X54v2	-1,121	1,003	1,248	1	,264	,326	,046	2,330
X61v2	-8,071	3300,906	,000	1	,998	,000	,000	
X62v2	-,563	2,422	,054	1	,816	,570	,005	65,614
X63v2	,784	1056,385	,000	1	,999	2,189	,000	
X64v2	8,856	533,548	,000	1	,987	7016,977	,000	
X71v2	,628	1,195	,276	1	,599	1,875	,180	19,504
X72v2	14,159	973,803	,000	1	,988		,000	

	X73v2	5,164	547,551	,000	1	,992	174,942	,000	
	X74v2	-,125	1,024	,015	1	,903	,883	,119	6,563
10%<Y<=30%	Intersección	-,904	,669	1,824	1	,177			
	X11v1	12,820	395,418	,001	1	,974		,000	
	X12v1	,726	,363	3,996	1	,046	2,068	1,014	4,214
	X13v1	-,068	,425	,025	1	,873	,934	,406	2,151
	X14v1	,055	,247	,050	1	,824	1,056	,652	1,713
	X21v1	2,152	2,125	1,026	1	,311	8,604	,134	553,980
	X22v1	-,429	,648	,438	1	,508	,651	,183	2,318
	X23v1	-,318	1,047	,092	1	,761	,728	,094	5,661
	X24v1	1,507	,640	5,545	1	,019	4,513	1,287	15,818
	X31v1	-,737	1,271	,336	1	,562	,479	,040	5,785
	X32v1	-,112	,576	,038	1	,845	,894	,289	2,766
	X33v1	-,453	,596	,578	1	,447	,636	,198	2,043
	X34v1	,025	,385	,004	1	,949	1,025	,482	2,181
	X41v1	,731	1,479	,244	1	,621	2,077	,115	37,676
	X42v1	-5,651	2,346	5,803	1	,016	,004	,000	,349
	X43v1	-,546	1,412	,149	1	,699	,579	,036	9,217
	X44v1	1,294	,758	2,916	1	,088	3,648	,826	16,110
	X51v1	-1,973	1,166	2,862	1	,091	,139	,014	1,367
	X52v1	1,694	1,305	1,685	1	,194	5,439	,422	70,175
	X53v1	-,440	1,029	,183	1	,669	,644	,086	4,838
	X54v1	-,818	,821	,994	1	,319	,441	,088	2,204
	X61v1	1,060	1,200	,781	1	,377	2,886	,275	30,302
	X62v1	3,186	3,280	,943	1	,331	24,192	,039	14986,292
	X63v1	15,936	1304,183	,000	1	,990		,000	
	X64v1	15,326	549,494	,001	1	,978		,000	
	X71v1	,564	1,100	,263	1	,608	1,758	,204	15,173
	X72v1	,521	1,637	,101	1	,750	1,683	,068	41,670
	X73v1	-1,862	1,734	1,153	1	,283	,155	,005	4,648
	X74v1	2,411	1,420	2,884	1	,089	11,144	,690	180,097
	X12v2	-,652	,607	1,153	1	,283	,521	,159	1,712
	X13v2	,060	1,463	,002	1	,967	1,062	,060	18,680
	X14v2	,680	,813	,699	1	,403	1,974	,401	9,722
	X21v2	-80,204	8218,823	,000	1	,992	,000	,000	
	X22v2	-5,301	4,266	1,544	1	,214	,005	,000	21,324
	X23v2	26,548	995,017	,001	1	,979		,000	
	X24v2	-2,004	,965	4,312	1	,038	,135	,020	,894
	X31v2	-,904	1,503	,361	1	,548	,405	,021	7,707
	X32v2	,408	,681	,358	1	,549	1,504	,396	5,714
	X33v2	3,411	2,064	2,730	1	,098	30,301	,530	1732,468
	X34v2	1,288	,487	7,001	1	,008	3,626	1,396	9,416

X41v2	15,106	1280,329	,000	1	,991		,000	
X42v2	-13,374	706,089	,000	1	,985	,000	,000	
X43v2	4,407	899,062	,000	1	,996	82,000	,000	
X44v2	14,106	439,048	,001	1	,974		,000	
X51v2	-26,103	2460,869	,000	1	,992	,000	,000	
X52v2	-1,396	1,958	,508	1	,476	,248	,005	11,502
X54v2	-,179	,880	,041	1	,839	,836	,149	4,694
X61v2	2,279	2530,816	,000	1	,999	9,768	,000	
X62v2	-49,328	918,725	,003	1	,957	,000	,000	
X63v2	14,444	727,922	,000	1	,984		,000	
X64v2	22,909	912,216	,001	1	,980		,000	
X71v2	,703	1,162	,366	1	,545	2,019	,207	19,672
X72v2	10,199	973,806	,000	1	,992	26866,393	,000	
X73v2	15,878	547,537	,001	1	,977		,000	
X74v2	,196	,952	,042	1	,837	1,217	,188	7,861
5%<Y<=10%	Intersección	-,824	,710	1,347	1	,246		
X11v1	-6,586	525,466	,000	1	,990	,001	,000	
X12v1	,344	,427	,649	1	,420	1,411	,611	3,257
X13v1	,178	,448	,158	1	,691	1,195	,497	2,873
X14v1	,341	,260	1,714	1	,190	1,406	,844	2,343
X21v1	-12,038	655,099	,000	1	,985	,000	,000	
X22v1	-,227	,681	,111	1	,739	,797	,210	3,025
X23v1	-1,252	1,253	,998	1	,318	,286	,025	3,332
X24v1	1,635	,659	6,152	1	,013	5,129	1,409	18,670
X31v1	1,714	1,045	2,690	1	,101	5,553	,716	43,063
X32v1	-1,276	,815	2,451	1	,117	,279	,057	1,379
X33v1	-1,985	,877	5,124	1	,024	,137	,025	,766
X34v1	,262	,391	,448	1	,503	1,299	,604	2,797
X41v1	,161	1,537	,011	1	,917	1,174	,058	23,904
X42v1	-3,142	1,965	2,558	1	,110	,043	,001	2,031
X43v1	,401	1,676	,057	1	,811	1,493	,056	39,867
X44v1	,722	,824	,767	1	,381	2,058	,409	10,353
X51v1	-2,135	1,274	2,810	1	,094	,118	,010	1,435
X52v1	,298	1,444	,042	1	,837	1,347	,079	22,834
X53v1	-4,776	3,309	2,083	1	,149	,008	,000	5,528
X54v1	-,640	,790	,655	1	,418	,527	,112	2,482
X61v1	,289	1,293	,050	1	,823	1,335	,106	16,822
X62v1	-4,159	270,914	,000	1	,988	,016	,000	
X63v1	17,598	1304,181	,000	1	,989		,000	
X64v1	16,012	549,495	,001	1	,977		,000	
X71v1	-,020	1,287	,000	1	,987	,980	,079	12,207
X72v1	1,994	1,743	1,309	1	,253	7,347	,241	223,847

X73v1	-,547	1,413	,150	1	,699	,579	,036	9,225
X74v1	1,378	1,520	,823	1	,364	3,968	,202	77,995
X12v2	-1,698	,928	3,348	1	,067	,183	,030	1,129
X13v2	,901	1,393	,418	1	,518	2,462	,161	37,727
X14v2	1,786	,819	4,753	1	,029	5,968	1,198	29,742
X21v2	-87,224	8616,120	,000	1	,992	,000	,000	
X22v2	-17,611	752,102	,001	1	,981	,000	,000	
X23v2	34,877	995,025	,001	1	,972		,000	
X24v2	-1,993	1,032	3,727	1	,054	,136	,018	1,031
X31v2	-,325	1,538	,045	1	,833	,723	,035	14,729
X32v2	-,176	,815	,047	1	,829	,838	,170	4,145
X33v2	2,353	2,316	1,032	1	,310	10,519	,112	984,795
X34v2	-,145	,608	,057	1	,812	,865	,263	2,851
X41v2	-,024	2034,776	,000	1	1,000	,976	,000	
X42v2	-35,886	1140,255	,001	1	,975	,000	,000	
X43v2	9,572	899,057	,000	1	,992	14355,520	,000	
X44v2	13,862	439,049	,001	1	,975		,000	
X51v2	-22,200	3299,923	,000	1	,995	,000	,000	
X52v2	-10,855	735,455	,000	1	,988	,000	,000	
X54v2	1,483	,825	3,233	1	,072	4,408	,875	22,206
X61v2	-14,475	3402,849	,000	1	,997	,000	,000	
X62v2	-10,877	390,538	,001	1	,978	,000	,000	
X63v2	1,727	807,782	,000	1	,998	5,622	,000	
X64v2	6,821	780,050	,000	1	,993	917,199	,000	
X71v2	,537	1,297	,172	1	,679	1,711	,135	21,736
X72v2	-,488	1208,670	,000	1	1,000	,614	,000	
X73v2	8,996	547,543	,000	1	,987	8069,338	,000	
X74v2	1,285	1,053	1,488	1	,222	3,615	,459	28,483

a. La categoría de referencia es: Y = 0%.

E.3 Modelo Logit Multinomial L1 PPM V1

Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	629,914			
Final	321,010	308,904	220	,000

Estimaciones de los parámetros

YRango ^a		B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
								Límite inferior	Límite superior
0%<Y<=5%	Intersección	-,495	,445	1,236	1	,266			
	X11v1	,977	1,599	,373	1	,541	2,656	,116	61,039
	X12v1	-1,459	,814	3,213	1	,073	,232	,047	1,146
	X13v1	-,954	,735	1,686	1	,194	,385	,091	1,626
	X14v1	,562	,352	2,545	1	,111	1,754	,879	3,496
	X21v1	1,405	2,214	,403	1	,526	4,077	,053	312,652
	X22v1	,869	1,387	,392	1	,531	2,384	,157	36,128
	X23v1	-,633	1,154	,301	1	,583	,531	,055	5,094
	X24v1	,142	,590	,058	1	,809	1,153	,363	3,662
	X31v1	,126	,491	,066	1	,798	1,134	,433	2,971
	X32v1	,744	,645	1,329	1	,249	2,104	,594	7,456
	X33v1	,693	,710	,954	1	,329	2,001	,497	8,047
	X34v1	,209	,464	,203	1	,653	1,233	,496	3,062
	X41v1	-,668	1,353	,243	1	,622	,513	,036	7,279
	X42v1	2,659	1,469	3,275	1	,070	14,278	,802	254,164
	X43v1	1,466	1,287	1,298	1	,255	4,331	,348	53,923
	X44v1	1,095	1,109	,976	1	,323	2,990	,340	26,262
	X51v1	-2,745	1,139	5,811	1	,016	,064	,007	,599
	X52v1	-1,208	1,205	1,006	1	,316	,299	,028	3,166
	X53v1	-3,300	3741,253	,000	1	,999	,037	,000	
	X54v1	-,830	,973	,727	1	,394	,436	,065	2,939
	X61v1	-2,752	1,654	2,770	1	,096	,064	,002	1,630
	X62v1	-,404	1,755	,053	1	,818	,668	,021	20,813
	X63v1	-,256	,602	,181	1	,670	,774	,238	2,517
	X64v1	12,316	271,197	,002	1	,964		,000	
	X71v1	-1,550	1,369	1,283	1	,257	,212	,015	3,103
	X72v1	13,263	350,548	,001	1	,970		,000	
	X73v1	11,981	260,404	,002	1	,963		,000	
	X74v1	,262	1,303	,041	1	,840	1,300	,101	16,713
	X11v2	-13,064	467,661	,001	1	,978	,000	,000	
	X12v2	,153	,317	,233	1	,629	1,165	,626	2,168
	X13v2	-,010	,444	,000	1	,982	,990	,415	2,363
	X14v2	-,059	,218	,073	1	,787	,943	,615	1,446
	X21v2	14,232	412,385	,001	1	,972		,000	
	X22v2	2,277	,908	6,296	1	,012	9,749	1,646	57,736
	X23v2	1,460	1,039	1,975	1	,160	4,308	,562	33,025

	X24v2	,159	,429	,137	1	,711	1,172	,506	2,719
	X31v2	,458	1,444	,100	1	,751	1,580	,093	26,787
	X32v2	,244	,724	,114	1	,736	1,277	,309	5,280
	X33v2	11,224	350,791	,001	1	,974	74913,491	,000	
	X34v2	,291	,320	,831	1	,362	1,338	,715	2,503
	X41v2	-24,109	842,145	,001	1	,977	,000	,000	
	X42v2	-16,198	116,648	,019	1	,890	,000	,000	
	X43v2	-,894	1,009	,786	1	,375	,409	,057	2,953
	X44v2	,582	,990	,345	1	,557	1,789	,257	12,450
	X51v2	16,550	3264,149	,000	1	,996		,000	
	X52v2	-13,754	1105,399	,000	1	,990	,000	,000	
	X53v2	11,357	852,559	,000	1	,989	85598,994	,000	
	X54v2	,215	,541	,157	1	,692	1,240	,429	3,582
	X61v2	13,000	347,556	,001	1	,970		,000	
	X63v2	9,283	87,977	,011	1	,916	10752,172	,000	
	X64v2	7,199	87,497	,007	1	,934	1338,130	,000	
	X71v2	1,861	1,673	1,238	1	,266	6,433	,242	170,792
	X72v2	-1,345	1,843	,532	1	,466	,261	,007	9,652
	X73v2	1,509	1,033	2,134	1	,144	4,524	,597	34,279
	X74v2	1,883	1,022	3,397	1	,065	6,571	,887	48,665
10%<Y<=30%	Intersección	-1,635	,594	7,568	1	,006			
	X11v1	3,038	1,717	3,132	1	,077	20,870	,721	603,865
	X12v1	1,098	,882	1,549	1	,213	2,997	,532	16,877
	X13v1	-,747	,851	,770	1	,380	,474	,089	2,513
	X14v1	,197	,503	,153	1	,696	1,218	,454	3,265
	X21v1	-11,263	386,801	,001	1	,977	,000	,000	
	X22v1	1,339	1,546	,750	1	,386	3,815	,184	78,948
	X23v1	,723	1,366	,280	1	,596	2,061	,142	29,983
	X24v1	,162	,855	,036	1	,850	1,176	,220	6,281
	X31v1	-2,276	1,525	2,227	1	,136	,103	,005	2,041
	X32v1	-1,040	1,176	,783	1	,376	,353	,035	3,542
	X33v1	-5,328	2,584	4,252	1	,039	,005	,000	,768
	X34v1	,508	,534	,907	1	,341	1,663	,584	4,733
	X41v1	-,139	1,957	,005	1	,943	,870	,019	40,289
	X42v1	-8,808	339,141	,001	1	,979	,000	,000	
	X43v1	-3,361	2,963	1,287	1	,257	,035	,000	11,533
	X44v1	2,741	1,308	4,393	1	,036	15,505	1,195	201,215
	X51v1	-16,066	152,816	,011	1	,916	,000	,000	
	X52v1	-6,188	198,199	,001	1	,975	,002	,000	
	X53v1	,338	4568,303	,000	1	1,000	1,402	,000	
	X54v1	-5,249	2,165	5,876	1	,015	,005	,000	,366
	X61v1	,400	1,451	,076	1	,783	1,492	,087	25,645

X62v1	-9,495	309,794	,001	1	,976	,000	,000	
X63v1	-,872	,844	1,067	1	,302	,418	,080	2,188
X64v1	14,756	271,205	,003	1	,957		,000	
X71v1	-4,450	2,905	2,346	1	,126	,012	,000	3,469
X72v1	12,318	350,559	,001	1	,972		,000	
X73v1	13,145	260,405	,003	1	,960		,000	
X74v1	-4,020	3,651	1,212	1	,271	,018	,000	23,024
X11v2	-2,512	2,105	1,424	1	,233	,081	,001	5,021
X12v2	-,050	,463	,012	1	,914	,951	,384	2,356
X13v2	-,172	,576	,089	1	,765	,842	,272	2,605
X14v2	,462	,324	2,036	1	,154	1,588	,841	2,997
X21v2	9,147	670,379	,000	1	,989	9388,489	,000	
X22v2	-,847	1,434	,349	1	,555	,429	,026	7,121
X23v2	2,991	1,406	4,523	1	,033	19,904	1,265	313,290
X24v2	-,621	,592	1,099	1	,295	,538	,168	1,716
X31v2	4,116	1,617	6,481	1	,011	61,342	2,579	1459,325
X32v2	,479	,917	,273	1	,601	1,615	,268	9,742
X33v2	-1,818	588,074	,000	1	,998	,162	,000	
X34v2	,287	,467	,379	1	,538	1,333	,534	3,329
X41v2	2,328	2,645	,775	1	,379	10,260	,057	1831,021
X42v2	4,474	2,789	2,574	1	,109	87,707	,371	20732,480
X43v2	-1,389	1,436	,936	1	,333	,249	,015	4,161
X44v2	1,670	1,124	2,209	1	,137	5,312	,587	48,048
X51v2	20,987	3264,151	,000	1	,995		,000	
X52v2	-13,939	1655,850	,000	1	,993	,000	,000	
X53v2	18,590	1367,207	,000	1	,989		,000	
X54v2	-,603	1,160	,270	1	,603	,547	,056	5,319
X61v2	12,749	347,559	,001	1	,971		,000	
X63v2	8,286	87,995	,009	1	,925	3969,844	,000	
X64v2	9,381	87,590	,011	1	,915	11856,763	,000	
X71v2	3,137	2,493	1,583	1	,208	23,024	,174	3050,219
X72v2	-,275	2,112	,017	1	,896	,759	,012	47,670
X73v2	1,114	1,271	,767	1	,381	3,046	,252	36,810
X74v2	-,497	1,683	,087	1	,768	,608	,022	16,480
5%<Y<=10%	Intersección	-4,068	,938	18,794	1	,000		
X11v1	-,455	2,426	,035	1	,851	,635	,005	73,767
X12v1	-,779	1,089	,512	1	,474	,459	,054	3,875
X13v1	-2,247	1,197	3,525	1	,060	,106	,010	1,104
X14v1	1,342	,532	6,367	1	,012	3,827	1,349	10,852
X21v1	4,078	2,407	2,869	1	,090	59,011	,527	6607,801
X22v1	4,473	1,607	7,749	1	,005	87,655	3,758	2044,657
X23v1	,123	1,702	,005	1	,942	1,131	,040	31,746

X24v1	-,330	,990	,111	1	,739	,719	,103	5,005
X31v1	,480	,655	,537	1	,464	1,616	,448	5,832
X32v1	,475	1,129	,177	1	,674	1,608	,176	14,694
X33v1	,922	,783	1,387	1	,239	2,515	,542	11,669
X34v1	,766	,612	1,569	1	,210	2,152	,649	7,136
X41v1	2,407	2,130	1,277	1	,258	11,097	,171	721,240
X42v1	-5,693	371,430	,000	1	,988	,003	,000	
X43v1	-10,338	185,815	,003	1	,956	,000	,000	
X44v1	1,931	1,608	1,441	1	,230	6,895	,295	161,260
X51v1	-6,495	2,586	6,306	1	,012	,002	,000	,240
X52v1	-21,556	344,072	,004	1	,950	,000	,000	
X53v1	14,092	2910,689	,000	1	,996		,000	
X54v1	-,714	1,476	,234	1	,629	,490	,027	8,832
X61v1	-1,511	1,828	,683	1	,409	,221	,006	7,947
X62v1	-7,357	287,673	,001	1	,980	,001	,000	
X63v1	-,186	,620	,090	1	,764	,830	,246	2,801
X64v1	16,172	271,199	,004	1	,952		,000	
X71v1	,157	1,442	,012	1	,913	1,171	,069	19,752
X72v1	,720	475,270	,000	1	,999	2,055	,000	
X73v1	1,226	405,618	,000	1	,998	3,409	,000	
X74v1	2,940	1,574	3,488	1	,062	18,916	,865	413,830
X11v2	-10,230	751,703	,000	1	,989	,000	,000	
X12v2	,687	,422	2,648	1	,104	1,987	,869	4,542
X13v2	,818	,515	2,524	1	,112	2,265	,826	6,213
X14v2	-,878	,366	5,755	1	,016	,416	,203	,852
X21v2	19,188	412,394	,002	1	,963		,000	
X22v2	-,405	1,431	,080	1	,777	,667	,040	11,033
X23v2	,579	1,582	,134	1	,714	1,784	,080	39,586
X24v2	1,134	,588	3,718	1	,054	3,108	,981	9,844
X31v2	2,223	1,725	1,660	1	,198	9,231	,314	271,382
X32v2	,802	,903	,788	1	,375	2,229	,380	13,077
X33v2	9,789	350,793	,001	1	,978	17842,987	,000	
X34v2	,771	,393	3,841	1	,050	2,162	1,000	4,673
X41v2	-4,460	4,091	1,189	1	,276	,012	,000	35,071
X42v2	3,918	2,662	2,167	1	,141	50,309	,273	9273,813
X43v2	,099	1,419	,005	1	,944	1,104	,068	17,810
X44v2	1,786	1,263	2,000	1	,157	5,968	,502	70,936
X51v2	-2,978	3942,891	,000	1	,999	,051	,000	
X52v2	-10,726	1719,971	,000	1	,995	,000	,000	
X53v2	-5,929	1340,896	,000	1	,996	,003	,000	
X54v2	-1,078	1,103	,956	1	,328	,340	,039	2,954

X61v2	16,614	347,556	,002	1	,962		,000	
X63v2	-2,993	327,744	,000	1	,993	,050	,000	
X64v2	3,363	87,514	,001	1	,969	28,890	,000	
X71v2	2,289	1,820	1,582	1	,209	9,865	,279	349,439
X72v2	-1,081	2,370	,208	1	,648	,339	,003	35,311
X73v2	2,495	1,463	2,906	1	,088	12,117	,688	213,303
X74v2	4,214	1,353	9,701	1	,002	67,637	4,770	959,051

a. La categoría de referencia es: Y = 0%.

E.4 Modelo Logit Multinomial L1 PPM V2

Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	447,232			
Final	306,392	140,840	84	,000

Estimaciones de los parámetros

YRango ^a		B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
								Límite inferior	Límite superior
0%<Y<=5%	Intersección	-1,270	,334	14,471	1	,000			
	X11v1	-,037	,809	,002	1	,964	,964	,198	4,703
	X12v1	-2,033	,658	9,536	1	,002	,131	,036	,476
	X14v1	-,481	,270	3,188	1	,074	,618	,364	1,048
	X22v1	,051	,661	,006	1	,938	1,053	,288	3,847
	X34v1	,261	,294	,790	1	,374	1,298	,730	2,310
	X41v1	,862	,722	1,427	1	,232	2,368	,576	9,743
	X44v1	,585	,615	,903	1	,342	1,794	,537	5,991
	X52v1	,527	1,110	,226	1	,635	1,694	,193	14,913
	X63v1	-,368	,712	,267	1	,605	,692	,171	2,793
	X64v1	1,292	1,394	,859	1	,354	3,639	,237	55,897
	X71v1	1,355	,832	2,654	1	,103	3,876	,760	19,784
	X12v2	,656	,227	8,382	1	,004	1,927	1,236	3,004

X13v2		-,077	,292	,070	1	,791	,926	,522	1,642
X14v2		,142	,159	,796	1	,372	1,153	,844	1,575
X22v2		,218	,594	,134	1	,714	1,243	,388	3,980
X24v2		-,812	,394	4,248	1	,039	,444	,205	,961
X33v2		1,449	,662	4,789	1	,029	4,257	1,163	15,580
X34v2		-,107	,197	,294	1	,587	,899	,611	1,322
X44v2		-,229	,518	,195	1	,659	,796	,288	2,196
X54v2		,712	,436	2,673	1	,102	2,038	,868	4,786
X63v2		-18,297	,000	.	1	.	,000	,000	,000
X72v2		2,203	1,008	4,780	1	,029	9,051	1,256	65,203
X74v2		1,452	,591	6,029	1	,014	4,270	1,340	13,602
X13v1		-,529	,418	1,604	1	,205	,589	,260	1,336
X21v1		-11,496	171,133	,005	1	,946	,000	,000	
X31v1		,325	,328	,980	1	,322	1,384	,727	2,633
X61v2		,777	1,273	,373	1	,541	2,175	,180	26,359
X64v2		,701	1,605	,191	1	,662	2,016	,087	46,869
10%<Y<=30%	Intersección	-3,806	,802	22,498	1	,000			
X11v1		-8,078	139,610	,003	1	,954	,000	,000	
X12v1		-,215	1,127	,036	1	,849	,807	,089	7,339
X14v1		-,402	,582	,477	1	,490	,669	,214	2,094
X22v1		-11,291	83,079	,018	1	,892	,000	,000	
X34v1		,779	,436	3,187	1	,074	2,179	,927	5,124
X41v1		-6,856	117,216	,003	1	,953	,001	,000	
X44v1		,481	1,266	,144	1	,704	1,617	,135	19,324
X52v1		-5,290	290,601	,000	1	,985	,005	,000	
X63v1		-,990	2,448	,163	1	,686	,372	,003	45,034
X64v1		2,448	2,016	1,475	1	,225	11,569	,222	601,659
X71v1		-10,586	169,592	,004	1	,950	,000	,000	
X12v2		,036	,625	,003	1	,954	1,037	,304	3,531
X13v2		,026	,818	,001	1	,975	1,026	,206	5,101
X14v2		,285	,389	,539	1	,463	1,330	,621	2,849
X22v2		-,576	1,701	,115	1	,735	,562	,020	15,760
X24v2		-,505	,910	,308	1	,579	,604	,101	3,592
X33v2		,076	1,776	,002	1	,966	1,079	,033	35,023
X34v2		-,234	,582	,161	1	,688	,791	,253	2,478
X44v2		2,573	,953	7,298	1	,007	13,110	2,027	84,808
X54v2		1,643	,745	4,863	1	,027	5,168	1,200	22,251
X63v2		2,035	1,600	1,619	1	,203	7,656	,333	175,990
X72v2		-10,760	163,448	,004	1	,948	,000	,000	
X74v2		1,572	1,165	1,820	1	,177	4,815	,491	47,233
X13v1		-,557	1,140	,238	1	,625	,573	,061	5,353
X21v1		-8,660	239,990	,001	1	,971	,000	,000	

	X31v1	-8,825	68,725	,016	1	,898	,000	,000	
	X61v2	-8,608	210,507	,002	1	,967	,000	,000	
	X64v2	-8,940	911,891	,000	1	,992	,000	,000	
5%<Y<=10%	Intersección	-2,145	,484	19,659	1	,000			
	X11v1	-,250	1,277	,038	1	,845	,779	,064	9,510
	X12v1	-2,494	1,169	4,554	1	,033	,083	,008	,816
	X14v1	-,585	,431	1,845	1	,174	,557	,240	1,296
	X22v1	-,878	1,393	,397	1	,529	,415	,027	6,378
	X34v1	-,144	,505	,081	1	,775	,866	,322	2,329
	X41v1	,279	1,250	,050	1	,824	1,321	,114	15,323
	X44v1	1,241	,845	2,155	1	,142	3,458	,660	18,118
	X52v1	-9,826	206,642	,002	1	,962	,000	,000	
	X63v1	-7,127	131,052	,003	1	,957	,001	,000	
	X64v1	-8,417	213,048	,002	1	,968	,000	,000	
	X71v1	2,365	,932	6,444	1	,011	10,647	1,714	66,121
	X12v2	,848	,439	3,738	1	,053	2,335	,988	5,515
	X13v2	,636	,424	2,246	1	,134	1,889	,822	4,338
	X14v2	-,329	,278	1,404	1	,236	,720	,418	1,240
	X22v2	-25,069	80,662	,097	1	,756	,000	,000	
	X24v2	,414	,537	,595	1	,441	1,514	,528	4,340
	X33v2	,145	1,417	,010	1	,919	1,156	,072	18,595
	X34v2	,289	,286	1,022	1	,312	1,336	,762	2,341
	X44v2	,925	,713	1,684	1	,194	2,522	,624	10,204
	X54v2	-1,080	1,353	,638	1	,425	,340	,024	4,814
	X63v2	-18,238	,000	.	1	.	,000	,000	,000
	X72v2	-10,067	173,574	,003	1	,954	,000	,000	
	X74v2	1,317	,823	2,562	1	,109	3,734	,744	18,739
	X13v1	-9,404	34,277	,075	1	,784	,000	,000	
	X21v1	,889	1,468	,367	1	,545	2,433	,137	43,221
	X31v1	-,940	1,275	,544	1	,461	,391	,032	4,750
	X61v2	-26,662	133,044	,040	1	,841	,000	,000	
	X64v2	20,026	56,335	,126	1	,722		,000	

a. La categoría de referencia es: Y = 0%.

E.5 Modelo Logit Multinomial L4 PAM V1

Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	584,713			
Final	391,145	193,568	108	,000

Estimaciones de los parámetros

YRango ^a		B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
								Límite inferior	Límite superior
0%<Y<=5%	Intersección	-,267	,418	,408	1	,523			
	X11v1	6,889	408,705	,000	1	,987	981,095	,000	
	X12v1	-,108	1,949	,003	1	,956	,898	,020	40,939
	X13v1	-,921	1,414	,424	1	,515	,398	,025	6,358
	X14v1	-1,261	1,788	,498	1	,481	,283	,009	9,423
	X24v1	-9,387	4,256	4,863	1	,027	,000	,000	,352
	X31v1	17,648	379,714	,002	1	,963		,000	
	X33v1	-16,450	504,031	,001	1	,974	,000	,000	
	X34v1	-,832	,703	1,402	1	,236	,435	,110	1,726
	X51v1	-3,212	1,788	3,227	1	,072	,040	,001	1,340
	X61v1	11,820	698,839	,000	1	,987		,000	
	X64v1	13,372	414,678	,001	1	,974		,000	
	X11v2	,577	,978	,348	1	,555	1,781	,262	12,107
	X12v2	4,521	3,430	1,737	1	,188	91,931	,111	76471,463
	X13v2	1,108	,656	2,853	1	,091	3,027	,837	10,944
	X14v2	,955	,371	6,636	1	,010	2,600	1,257	5,377
	X21v2	15,324	295,356	,003	1	,959		,000	
	X22v2	-2,198	1,231	3,188	1	,074	,111	,010	1,240
	X23v2	1,945	,848	5,262	1	,022	6,996	1,327	36,873
	X24v2	-,816	,520	2,460	1	,117	,442	,160	1,226
	X31v2	-,588	,894	,433	1	,510	,555	,096	3,203
	X33v2	19,937	449,787	,002	1	,965		,000	
	X34v2	21,368	346,336	,004	1	,951		,000	

	X43v2	12,671	277,717	,002	1	,964		,000	
	X44v2	14,258	155,060	,008	1	,927		,000	
	X51v2	-,603	1,203	,251	1	,616	,547	,052	5,782
	X61v2	13,585	885,593	,000	1	,988		,000	
	X64v2	11,850	346,274	,001	1	,973		,000	
10%<Y<=30%	Intersección	-3,106	,610	25,913	1	,000			
	X11v1	5,797	408,705	,000	1	,989	329,154	,000	
	X12v1	,699	1,962	,127	1	,722	2,011	,043	94,002
	X13v1	-,286	1,449	,039	1	,844	,751	,044	12,852
	X14v1	-1,446	1,844	,615	1	,433	,235	,006	8,743
	X24v1	-7,240	3,907	3,434	1	,064	,001	,000	1,518
	X31v1	17,880	379,714	,002	1	,962		,000	
	X33v1	-1,780	1,823	,953	1	,329	,169	,005	6,009
	X34v1	-1,834	1,021	3,224	1	,073	,160	,022	1,183
	X51v1	-3,454	1,845	3,507	1	,061	,032	,001	1,175
	X61v1	13,519	698,839	,000	1	,985		,000	
	X64v1	13,806	414,678	,001	1	,973		,000	
	X11v2	,916	1,078	,721	1	,396	2,498	,302	20,676
	X12v2	4,960	3,441	2,078	1	,149	142,626	,168	
	X13v2	1,403	,675	4,321	1	,038	4,066	1,083	15,257
	X14v2	1,310	,381	11,844	1	,001	3,705	1,757	7,812
	X21v2	15,048	295,355	,003	1	,959		,000	
	X22v2	-2,091	1,269	2,713	1	,100	,124	,010	1,487
	X23v2	2,321	,872	7,077	1	,008	10,181	1,842	56,273
	X24v2	-,563	,539	1,091	1	,296	,569	,198	1,638
	X31v2	,573	1,011	,321	1	,571	1,774	,244	12,873
	X33v2	22,019	449,786	,002	1	,961		,000	
	X34v2	21,940	346,336	,004	1	,949		,000	
	X43v2	13,562	277,717	,002	1	,961		,000	
	X44v2	14,261	155,059	,008	1	,927		,000	
	X51v2	1,900	1,068	3,164	1	,075	6,689	,824	54,291
	X61v2	11,988	885,595	,000	1	,989		,000	
	X64v2	12,738	346,274	,001	1	,971		,000	
5%<Y<=10%	Intersección	-,674	,434	2,412	1	,120			
	X11v1	5,885	408,705	,000	1	,989	359,762	,000	
	X12v1	,550	1,882	,085	1	,770	1,733	,043	69,228
	X13v1	,030	1,348	,000	1	,982	1,031	,073	14,475
	X14v1	-1,567	1,809	,750	1	,386	,209	,006	7,231
	X24v1	-7,148	3,874	3,404	1	,065	,001	,000	1,561
	X31v1	17,356	379,714	,002	1	,964		,000	
	X33v1	-2,248	1,706	1,736	1	,188	,106	,004	2,991

X34v1	-,864	,730	1,402	1	,236	,421	,101	1,762
X51v1	-2,830	1,769	2,560	1	,110	,059	,002	1,890
X61v1	11,020	698,839	,000	1	,987	61100,279	,000	
X64v1	14,489	414,678	,001	1	,972		,000	
X11v2	,971	,960	1,022	1	,312	2,641	,402	17,346
X12v2	4,789	3,425	1,955	1	,162	120,138	,146	98886,894
X13v2	,972	,656	2,193	1	,139	2,642	,730	9,560
X14v2	1,132	,370	9,380	1	,002	3,103	1,503	6,404
X21v2	15,582	295,355	,003	1	,958		,000	
X22v2	-1,969	1,215	2,629	1	,105	,140	,013	1,509
X23v2	1,988	,844	5,555	1	,018	7,302	1,398	38,147
X24v2	-,933	,524	3,163	1	,075	,393	,141	1,100
X31v2	-,444	,902	,243	1	,622	,641	,109	3,760
X33v2	20,782	449,786	,002	1	,963		,000	
X34v2	21,858	346,336	,004	1	,950		,000	
X43v2	13,277	277,717	,002	1	,962		,000	
X44v2	14,148	155,059	,008	1	,927		,000	
X51v2	-,236	1,111	,045	1	,832	,790	,089	6,973
X61v2	11,622	885,594	,000	1	,990		,000	
X64v2	11,516	346,274	,001	1	,973		,000	

a. La categoría de referencia es: Y = 0%.

E.6 Modelo Logit Multinomial L4 PAM V2

Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	427,099			
Final	284,308	142,791	108	,014

Estimaciones de los parámetros

YRango ^a		B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
								Límite inferior	Límite superior
0%<Y<=5%	Intersección	-1,887	,319	34,910	1	,000			
	X23v1	2,313	1,883	1,509	1	,219	10,104	,252	404,685

X31v1	-436	,631	,477	1	,490	,647	,188	2,228
X54v1	-13,546	1089,563	,000	1	,990	,000	,000	
X13v2	-,043	,224	,036	1	,849	,958	,617	1,488
X14v2	,107	,107	,996	1	,318	1,113	,902	1,374
X23v2	-,322	,324	,989	1	,320	,724	,384	1,367
X24v2	,247	,202	1,500	1	,221	1,280	,862	1,900
X31v2	1,361	,533	6,517	1	,011	3,900	1,372	11,089
X34v2	,547	,453	1,458	1	,227	1,727	,711	4,194
X43v2	,341	,524	,424	1	,515	1,407	,504	3,930
X44v2	,503	,397	1,607	1	,205	1,654	,760	3,601
X51v2	-,345	1,058	,107	1	,744	,708	,089	5,633
X53v2	15,184	1211,189	,000	1	,990		,000	
X54v2	,942	,958	,967	1	,325	2,565	,392	16,757
X61v2	-1,725	1,374	1,574	1	,210	,178	,012	2,636
X64v2	,058	,481	,015	1	,904	1,060	,412	2,723
X61v1	1,584	,991	2,556	1	,110	4,873	,699	33,956
X64v1	,392	,581	,456	1	,500	1,480	,474	4,623
X11v1	,199	,708	,079	1	,779	1,220	,305	4,885
X12v1	,148	,880	,028	1	,866	1,160	,207	6,503
X14v1	,623	,575	1,174	1	,279	1,864	,604	5,748
X34v1	-,084	,445	,036	1	,850	,919	,384	2,198
X41v1	-11,846	581,882	,000	1	,984	,000	,000	
X44v1	-14,491	369,959	,002	1	,969	,000	,000	
X71v1	,740	,763	,941	1	,332	2,096	,470	9,348
X41v2	-1,629	1,453	1,257	1	,262	,196	,011	3,382
X74v2	,738	1,172	,397	1	,529	2,092	,210	20,796
10%<Y<=30% Intersección	-6,184	1,411	19,220	1	,000			
X23v1	-2,433	2,783	,764	1	,382	,088	,000	20,521
X31v1	-,125	,620	,040	1	,841	,883	,262	2,979
X54v1	2,043	2,335	,766	1	,381	7,717	,079	749,612
X13v2	-,374	,663	,318	1	,573	,688	,188	2,522
X14v2	,078	,278	,079	1	,778	1,081	,627	1,865
X23v2	,430	,578	,553	1	,457	1,537	,495	4,773
X24v2	1,045	,417	6,276	1	,012	2,844	1,255	6,444
X31v2	3,525	1,207	8,536	1	,003	33,965	3,191	361,501
X34v2	,905	1,298	,486	1	,486	2,472	,194	31,468
X43v2	-,081	,996	,007	1	,936	,923	,131	6,495
X44v2	,359	,681	,277	1	,599	1,431	,377	5,439
X51v2	5,599	1,364	16,838	1	,000	270,024	18,623	3915,168
X53v2	14,543	4613,705	,000	1	,997		,000	
X54v2	,706	,837	,656	1	,562	3,701	,437	9,847
X61v2	,319	,600	,521	1	,419	1,757	,596	5,932

	X64v2	-12,449	375,174	,001	1	,974	,000	,000	
	X61v1	-13,097	723,190	,000	1	,986	,000	,000	
	X64v1	-9,947	364,927	,001	1	,978	,000	,000	
	X11v1	-11,817	516,815	,001	1	,982	,000	,000	
	X12v1	-19,234	641,389	,001	1	,976	,000	,000	
	X14v1	-,206	2,162	,009	1	,924	,814	,012	56,365
	X34v1	,485	1,118	,188	1	,664	1,625	,181	14,547
	X41v1	3,489	2,493	1,959	1	,162	32,767	,247	4339,792
	X44v1	-,050	2,323	,000	1	,983	,951	,010	90,256
	X71v1	-10,787	761,969	,000	1	,989	,000	,000	
	X41v2	-11,962	703,547	,000	1	,986	,000	,000	
	X74v2	3,734	2,123	3,095	1	,079	41,866	,653	2684,571
5%<Y<=10%	Intersección	-3,791	,732	26,824	1	,000			
	X23v1	-,141	2,695	,003	1	,958	,869	,004	170,862
	X31v1	-10,235	478,940	,000	1	,983	,000	,000	
	X54v1	-14,808	2062,788	,000	1	,994	,000	,000	
	X13v2	-,103	,428	,058	1	,810	,902	,390	2,088
	X14v2	,298	,214	1,932	1	,164	1,347	,885	2,050
	X23v2	,174	,529	,108	1	,742	1,190	,422	3,359
	X24v2	-,736	,640	1,323	1	,250	,479	,137	1,679
	X31v2	-12,703	508,759	,001	1	,980	,000	,000	
	X34v2	,462	,933	,245	1	,620	1,588	,255	9,885
	X43v2	-16,923	356,629	,002	1	,962	,000	,000	
	X44v2	,494	,973	,257	1	,612	1,638	,243	11,032
	X51v2	-12,715	1131,780	,000	1	,991	,000	,000	
	X53v2	26,568	4762,635	,000	1	,996		,000	
	X54v2	-11,222	975,492	,000	1	,991	,630	,000	
	X61v2	-,682	1,416	,232	1	,630	,506	,032	8,114
	X64v2	-,036	,989	,001	1	,971	,965	,139	6,708
	X61v1	2,467	1,141	4,673	1	,031	11,785	1,259	110,327
	X64v1	,425	,995	,182	1	,670	1,529	,218	10,749
	X11v1	1,882	,890	4,471	1	,034	6,564	1,147	37,550
	X12v1	-11,824	725,859	,000	1	,987	,000	,000	
	X14v1	,783	1,168	,450	1	,502	2,189	,222	21,609
	X34v1	,710	,598	1,408	1	,235	2,034	,630	6,574
	X41v1	3,025	2,101	2,073	1	,150	20,592	,335	1265,208
	X44v1	-,427	1,871	,052	1	,820	,652	,017	25,551
	X71v1	-11,840	634,712	,000	1	,985	,000	,000	
	X41v2	1,272	2,022	,396	1	,529	3,569	,068	187,696
	X74v2	-13,368	1369,291	,000	1	,992	,000	,000	

a. La categoría de referencia es: Y = 0%.

E.7 Modelo Logit Multinomial L4 PPM V1

Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	425,628			
Final	351,185	74,442	56	,050

Estimaciones de los parámetros

YRango ^a		B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
								Límite inferior	Límite superior
0%<Y<=5%	Intersección	-21,280	7,896	7,263	1	,007			
	X12v1	-,043	,337	,017	1	,897	,958	,495	1,853
	X13v1	-,028	,174	,025	1	,873	,973	,691	1,368
	X14v1	1,106	,662	2,793	1	,095	3,022	,826	11,056
	X21v1	,652	,533	1,499	1	,221	1,919	,676	5,450
	X23v1	-,140	,379	,136	1	,713	,870	,414	1,829
	X24v1	-,375	,592	,402	1	,526	,687	,215	2,194
	X33v1	1,196	,677	3,121	1	,077	3,306	,877	12,460
	X43v1	,307	,507	,365	1	,546	1,359	,503	3,674
	X13v2	,989	,620	2,541	1	,111	2,688	,797	9,068
	X22v2	,983	,628	2,452	1	,117	2,673	,781	9,156
	X31v2	-,801	,677	1,399	1	,237	,449	,119	1,693
X41v2	,364	,784	,216	1	,642	1,439	,310	6,692	
10%<Y<=30%	Intersección	-12,193	17,129	,507	1	,477			
	X12v1	-,982	1,045	,884	1	,347	,374	,048	2,902
	X13v1	,539	,307	3,085	1	,079	1,715	,939	3,129
	X14v1	,247	1,669	,022	1	,883	1,280	,049	33,701
	X21v1	-14,463	1322,387	,000	1	,991	,000	,000	
	X23v1	1,450	,862	2,827	1	,093	4,263	,786	23,116
	X24v1	-14,804	1437,743	,000	1	,992	,000	,000	
	X33v1	2,130	1,430	2,219	1	,136	8,414	,510	138,742
	X43v1	,965	,760	1,609	1	,205	2,624	,591	11,648
	X13v2	-14,433	1851,264	,000	1	,994	,000	,000	

	X22v2	-14,866	1638,594	,000	1	,993	,000	,000	
	X31v2	-15,221	1108,906	,000	1	,989	,000	,000	
	X41v2	-14,684	1848,570	,000	1	,994	,000	,000	
5%<Y<=10%	Intersección	-18,446	10,727	2,957	1	,086			
	X12v1	,130	,448	,084	1	,772	1,138	,473	2,737
	X13v1	,174	,274	,405	1	,524	1,191	,696	2,037
	X14v1	1,935	,990	3,821	1	,051	6,923	,995	48,181
	X21v1	,979	,783	1,563	1	,211	2,663	,573	12,364
	X23v1	-1,242	,810	2,349	1	,125	,289	,059	1,414
	X24v1	-15,067	1001,913	,000	1	,988	,000	,000	
	X33v1	-14,378	1479,608	,000	1	,992	,000	,000	
	X43v1	,750	,797	,886	1	,346	2,117	,444	10,085
	X13v2	,966	,913	1,119	1	,290	2,627	,439	15,727
	X22v2	1,728	1,008	2,936	1	,087	5,629	,780	40,632
	X31v2	,006	,783	,000	1	,994	1,006	,217	4,670
	X41v2	2,111	,885	5,691	1	,017	8,256	1,457	46,776

a. La categoría de referencia es: Y = 0%.

E.8 Modelo Logit Multinomial L4 PPM V2

Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	-2 log verosimilitud			
Final		350,365	124	,044

Estimaciones de los parámetros

YRango ^a		B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
								Límite inferior	Límite superior
0%<Y<=5%	Intersección	-1,396	,271	26,496	1	,000			
	X11v1	-,479	,585	,669	1	,413	,620	,197	1,951
	X13v1	,403	,201	4,009	1	,045	1,497	1,009	2,222
	X21v1	1,678	,753	4,960	1	,026	5,353	1,223	23,434
	X31v1	14,902	88,319	,028	1	,866		,000	
	X32v1	1,448	,708	4,183	1	,041	4,253	1,062	17,031

X33v1	-1,908	,964	3,916	1	,048	,148	,022	,982
X41v1	12,559	39,950	,099	1	,753		,000	
X42v1	-5,042	30,287	,028	1	,868	,006	,000	
X43v1	-1,198	,919	1,698	1	,193	,302	,050	1,829
X44v1	,771	,594	1,685	1	,194	2,162	,675	6,922
X52v1	-17,058	92,832	,034	1	,854	,000	,000	
X53v1	13,791	88,304	,024	1	,876		,000	
X54v1	1,122	1,057	1,128	1	,288	3,072	,387	24,378
X62v1	9,644	43,715	,049	1	,825	15432,301	,000	
X63v1	14,104	471,855	,001	1	,976		,000	
X73v1	17,392	1662,158	,000	1	,992		,000	
X74v1	10,357	88,290	,014	1	,907	31484,883	,000	
X12v2	,833	,650	1,643	1	,200	2,301	,644	8,227
X13v2	1,641	,854	3,694	1	,055	5,160	,968	27,505
X14v2	-1,135	,710	2,555	1	,110	,321	,080	1,293
X22v2	2,043	,840	5,912	1	,015	7,717	1,486	40,070
X23v2	-2,700	1,230	4,821	1	,028	,067	,006	,748
X24v2	-,241	,517	,218	1	,641	,786	,285	2,163
X31v2	,521	,496	1,107	1	,293	1,685	,638	4,451
X32v2	-9,087	45,283	,040	1	,841	,000	,000	
X34v2	1,120	,698	2,574	1	,109	3,064	,780	12,035
X41v2	,701	,707	,983	1	,321	2,015	,504	8,050
X44v2	,631	1,232	,262	1	,609	1,879	,168	21,035
X51v2	,472	,470	1,010	1	,315	1,603	,638	4,028
X61v2	1,272	1,305	,951	1	,330	3,568	,277	46,019
X63v2	10,805	49,316	,048	1	,827	49280,467	,000	
10%<Y<=30% Intersección	-2,294	,461	24,731	1	,000			
X11v1	,649	,933	,483	1	,487	1,913	,307	11,910
X13v1	-,872	,709	1,513	1	,219	,418	,104	1,678
X21v1	1,433	1,684	,724	1	,395	4,190	,154	113,710
X31v1	5,461	304,658	,000	1	,986	235,298	,000	
X32v1	-7,017	31,060	,051	1	,821	,001	,000	
X33v1	-7,832	61,886	,016	1	,899	,000	,000	
X41v1	-7,414	78,379	,009	1	,925	,001	,000	
X42v1	8,603	23,079	,139	1	,709	5448,767	,000	
X43v1	1,348	1,094	1,518	1	,218	3,848	,451	32,836
X44v1	-5,447	33,840	,026	1	,872	,004	,000	
X52v1	-8,785	239,831	,001	1	,971	,000	,000	
X53v1	8,027	304,655	,001	1	,979	3062,727	,000	
X54v1	3,783	1,961	3,722	1	,054	43,968	,942	2053,086
X62v1	,410	120,368	,000	1	,997	1,506	,000	
X63v1	,026	2327,635	,000	1	1,000	1,027	,000	

	X73v1	9,550	4470,585	,000	1	,998	14041,673	,000	
	X74v1	-,049	298,300	,000	1	1,000	,952	,000	
	X12v2	,124	1,723	,005	1	,943	1,132	,039	33,166
	X13v2	1,153	1,782	,419	1	,518	3,167	,096	104,111
	X14v2	,152	1,357	,013	1	,911	1,165	,082	16,629
	X22v2	2,477	1,369	3,277	1	,070	11,910	,815	174,115
	X23v2	-8,315	40,278	,043	1	,836	,000	,000	
	X24v2	-,373	1,393	,072	1	,789	,689	,045	10,549
	X31v2	-7,236	36,083	,040	1	,841	,001	,000	
	X32v2	-6,586	83,542	,006	1	,937	,001	,000	
	X34v2	,342	1,434	,057	1	,811	1,408	,085	23,413
	X41v2	,243	1,640	,022	1	,882	1,276	,051	31,722
	X44v2	-16,453	84,581	,038	1	,846	,000	,000	
	X51v2	-2,000	1,802	1,233	1	,267	,135	,004	4,621
	X61v2	-9,308	72,413	,017	1	,898	,000	,000	
	X63v2	,120	109,655	,000	1	,999	1,128	,000	
5%<Y<=10%	Intersección	-2,756	,492	31,365	1	,000			
	X11v1	-1,159	1,147	1,022	1	,312	,314	,033	2,968
	X13v1	,924	,271	11,659	1	,001	2,519	1,482	4,281
	X21v1	1,589	1,307	1,478	1	,224	4,898	,378	63,464
	X31v1	19,834	244,887	,007	1	,935		,000	
	X32v1	-5,155	28,636	,032	1	,857	,006	,000	
	X33v1	-8,998	17,798	,256	1	,613	,000	,000	
	X41v1	5,662	43,687	,017	1	,897	287,806	,000	
	X42v1	-6,695	114,769	,003	1	,953	,001	,000	
	X43v1	-,357	,928	,148	1	,701	,700	,114	4,312
	X44v1	-5,028	30,838	,027	1	,870	,007	,000	
	X52v1	-8,244	201,719	,002	1	,967	,000	,000	
	X53v1	7,455	238,382	,001	1	,975	1729,068	,000	
	X54v1	1,766	1,746	1,023	1	,312	5,845	,191	178,964
	X62v1	,842	121,950	,000	1	,994	2,321	,000	
	X63v1	15,002	471,856	,001	1	,975		,000	
	X73v1	31,848	1662,368	,000	1	,985		,000	
	X74v1	,924	237,713	,000	1	,997	2,519	,000	
	X12v2	-10,697	21,105	,257	1	,612	,000	,000	
	X13v2	2,883	1,136	6,435	1	,011	17,867	1,926	165,737
	X14v2	,976	1,108	,776	1	,378	2,653	,303	23,259
	X22v2	-6,345	21,824	,085	1	,771	,002	,000	
	X23v2	-14,440	64,503	,050	1	,823	,000	,000	
	X24v2	-9,199	55,903	,027	1	,869	,000	,000	
	X31v2	-,081	,939	,007	1	,932	,922	,146	5,810
	X32v2	-8,786	50,001	,031	1	,861	,000	,000	

X34v2	1,076	1,049	1,051	1	,305	2,932	,375	22,937
X41v2	1,290	1,008	1,637	1	,201	3,633	,503	26,223
X44v2	-6,344	66,136	,009	1	,924	,002	,000	
X51v2	-,307	,917	,112	1	,737	,735	,122	4,433
X61v2	1,548	1,659	,871	1	,351	4,701	,182	121,325
X63v2	,903	145,170	,000	1	,995	2,466	,000	