



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

ESCUELA DE POSTGRADO
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

**DISEÑO DE ARQUITECTURA DE MACROPROCESOS PARA
TRANSANTIAGO Y DESARROLLO DE PANEL DE ALERTAS PARA EL
CENTRO DE MONITOREO DE BUSES DE TRANSANTIAGO**

CRISTIAN LUDWIG VON CHRISMAR

MIEMBROS DE LA COMISIÓN EVALUADORA:

Sr. Óscar Barros Vera, Profesor Guía

Sr. Eduardo Contreras Villablanca

Sr. Ezequiel Muñoz Kruslovic

Sr. Claudio Salvatore Concha

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE NEGOCIOS
CON TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CHILE

AGOSTO 2010

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
INDUSTRIAL Y GRADO DE MAGÍSTER EN
INGENIERÍA DE NEGOCIOS CON
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
POR: CRISTIAN LUDWIG VON CHRISMAR
FECHA: 03/08/2010
PROF. GUIA: DR. OSCAR BARROS VERA

**DISEÑO DE ARQUITECTURA DE MACROPROCESOS PARA
TRANSANTIAGO Y DESARROLLO DE PANEL DE ALERTAS PARA EL
CENTRO DE MONITOREO DE BUSES DE TRANSANTIAGO**

El transporte público permite la movilidad de millones de personas diariamente, siendo fundamental en una ciudad densamente poblada y compleja como Santiago. Un diseño óptimo de un sistema de este tipo no es trivial, debido al alto número de factores que se deben considerar: tiempos de viaje objetivo, costos de operación, tecnologías de apoyo, ubicación de paraderos, entre muchos otros.

Esta tesis propone una arquitectura de procesos para un sistema de transporte, basándose en un análisis crítico de lo observado en Transantiago. Este diseño se basa en los patrones de procesos desarrollados por el Dr. Óscar Barros, y contempla además una propuesta concreta en una etapa vital en el desarrollo de un sistema de transporte público, correspondiente al diseño de la red de servicios y definición de frecuencias. Dicha propuesta se fundamenta en un procedimiento planteado para una ciudad con características similares a Santiago. Se realizan también proposiciones en los procesos de desarrollo de nuevas capacidades para el sistema y la cadena de valor tanto de la autoridad como de los operadores de buses.

De la profundización en los procesos de gestión en tiempo real de las flota de buses por parte de la autoridad de transporte, surge la necesidad de contar con una aplicación que permita, centralizadamente, percatarse de los problemas más graves que existan en la ciudad, tales como atrasos en el despacho de los buses o fallas en la regularidad. Se decide por lo tanto el desarrollo de un prototipo de esta aplicación, lo que permite a la autoridad centralizar sus esfuerzos de fiscalización donde realmente se requiere. Este prototipo, presentado por el Ministro Cortázar en noviembre de 2009, aún se encuentra en uso en el Centro de Monitoreo de Buses del Ministerio.

Finalmente, la arquitectura desarrollada corresponde a un correcto diseño de procesos, siendo útil como punto de partida no sólo a Transantiago, sino que para cualquier nuevo proyecto de transporte público en el mundo, al no existir actualmente literatura especializada en este tema.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS	4
2.1	OBJETIVO GENERAL	4
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3	SITUACIÓN ACTUAL Y CARACTERIZACIÓN TRANSANTIAGO	5
3.1	ACTORES TRANSANTIAGO.....	6
3.1.1	<i>AFT.....</i>	<i>6</i>
3.1.2	<i>Gobierno</i>	<i>7</i>
3.1.3	<i>Operadores</i>	<i>7</i>
3.2	PROBLEMAS	8
3.3	MEJORAS IMPLEMENTADAS.....	9
3.4	MEJORAS FUTURAS	10
4	ARQUITECTURA DE PROCESOS PROPUESTA PARA TRANSANTIAGO	12
4.1	DISEÑO ACTUAL.....	13
4.2	ARQUITECTURA PROPUESTA	13
4.3	ACTORES CONSIDERADOS.....	17
4.4	DETALLE ARQUITECTURA.....	18
4.4.1	<i>Estructura Procesos</i>	<i>19</i>
4.4.2	<i>Planificación Estratégica de Transporte (Ministerio)</i>	<i>22</i>
4.4.2.1	Diseño de Red de Transporte Público	26
4.4.2.1.1	Primer Paso: Diseño de la Red de Transporte.....	29
4.4.2.1.2	Segundo Paso: Especificación de las Frecuencias	33
4.4.2.1.3	Tercer Paso: Desarrollo de las Tablas de Horarios	37
4.4.2.1.4	Cuarto Paso: Establecimiento de Programa para los Buses.....	40
4.4.2.1.5	Quinto Paso: Establecimiento de Programa y Turnos para los Conductores	41
4.4.3	<i>Desarrollo de Nuevas Capacidades (Ministerio).....</i>	<i>57</i>
4.4.4	<i>Cadena de Valor (Operadores de Buses)</i>	<i>65</i>
4.4.5	<i>Cadena de Valor (Ministerio)</i>	<i>73</i>
4.4.6	<i>Recursos Habilitantes, SAEF y Sistema de Pago</i>	<i>82</i>
4.5	CONCLUSIONES DISEÑO ARQUITECTURA DE PROCESOS TRANSANTIAGO	82
5	PANEL DE ALERTAS PARA EL CENTRO DE MONITOREO DE BUSES	85
5.1	MOTIVACIÓN.....	85

5.2	OBJETIVOS PANEL DE ALERTAS	88
5.2.1	<i>Principal</i>	88
5.2.2	<i>Específicos</i>	88
5.3	ALCANCE DEL PILOTO DESARROLLADO	89
5.4	ESPECIFICACIONES E INTERFAZ.....	89
5.5	DISEÑO DEL PROTOTIPO	94
5.5.1	<i>Extracción de Datos On-Line</i>	94
5.5.2	<i>Comparación de Datos On-Line con Planes de Operación</i>	97
5.5.2.1	Procesos Panel de Alertas.....	98
5.5.2.2	Importación Archivo Base de Datos Access	100
5.5.2.3	Proceso: Cálculo Alertas de Despacho	100
5.5.2.4	Proceso: Cálculo Otros Indicadores Relevantes.....	107
5.5.2.5	Proceso: Despliegue Información vía Web	112
5.6	IMPLEMENTACIÓN	121
5.6.1	<i>Pruebas</i>	122
5.6.2	<i>Impacto</i>	124
5.6.3	<i>Problemas</i>	125
5.6.4	<i>Futuro del Sistema</i>	126
5.6.5	<i>Mejoras para el Desarrollo Definitivo del Panel de Alertas</i>	127
6	CONCLUSIONES GENERALES	129
7	BIBLIOGRAFÍA	131
8	GLOSARIO	134
9	ANEXOS	147
9.1	EJEMPLO ARCHIVO PLANO EXPORTADO DESDE SINÓPTICO DE AFT-SONDA	147
9.2	ENTREVISTA A JUAN OÑAT, JEFE DEL CMB TRANSANTIAGO	148

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Estructura Macroprocesos Transantiago</i>	16
<i>Figura 2: Estructura de Procesos Propuesta</i>	19
<i>Figura 3: Planificación Estratégica Transporte, Ministerio</i>	24
<i>Figura 4: Planificación Red de Transporte</i>	44
<i>Figura 5: Diseño Red de Recorridos y Frecuencias</i>	45
<i>Figura 6: Creación Red de Transporte</i>	48
<i>Figura 7: Rutas A</i>	49
<i>Figura 8: Rutas B</i>	50
<i>Figura 9: Esqueleto de la Red, Rutas B</i>	50
<i>Figura 10: Proceso de Asignación de Frecuencias a la Red de Transporte</i>	53
<i>Figura 11: Desarrollo de Nuevas Capacidades, Ministerio</i>	58
<i>Figura 12: Evaluación Necesidad Nueva Capacidad</i>	60
<i>Figura 13: Análisis de Mejora de Capacidades</i>	61
<i>Figura 14: Innovación de Capacidades</i>	63
<i>Figura 15: Cadena de Valor, Operadores de Buses</i>	66
<i>Figura 16: Gestión de Flota</i>	69
<i>Figura 17: Centro de Operación de Flota</i>	71
<i>Figura 18: Operación Buses</i>	72
<i>Figura 19: Cadena de Valor, Ministerio</i>	74
<i>Figura 20: Gestión en Tiempo Real</i>	76
<i>Figura 21: Centro de Monitoreo de Buses (CMB)</i>	77
<i>Figura 22: Monitoreo de Operación con Panel de Alertas Tempranas</i>	78
<i>Figura 23: Atrasos en el Despacho</i>	79
<i>Figura 24: Déficit Buses o Plazas</i>	79
<i>Figura 25: Baja Regularidad</i>	80
<i>Figura 26: Sinóptico Sonda</i>	87
<i>Figura 27: Proceso General Funcionamiento Panel de Alertas</i>	99
<i>Figura 28: Proceso Cálculo Alertas de Despacho</i>	101
<i>Figura 29: Detalle Cálculo Alertas de Despacho</i>	105
<i>Figura 30: Proceso Cálculo Otros Indicadores</i>	109
<i>Figura 31: Proceso Despliegue Web</i>	114
<i>Figura 32: Visión General Panel de Alertas, Página Jefe de Sala</i>	115
<i>Figura 33: Grilla de Datos</i>	116

<i>Figura 34: Gráfico Distribución Despachos Críticos y Malos</i>	117
<i>Figura 35: Gráfico Flotas Asignadas – Operativas</i>	118
<i>Figura 36: Gráfico Distribución de Despacho por Tipo de Criticidad</i>	118
<i>Figura 37: Tabla de Distribución de Servicios Malos y Críticos</i>	119
<i>Figura 38: Visión Filtrada por UN Panel de Alertas, Página Operador CMB</i>	120
<i>Figura 39: Gráfico Asignación de Buses por Tramos</i>	121
<i>Figura 40: Centro de Monitoreo de Buses Transantiago</i>	123
<i>Figura 41: Gráfico Número de Incidentes Detectados</i>	124
<i>Figura 42: Proceso Generación de PO</i>	137

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Proceso de Planificación de Transporte (Ceder y Wilson, 1986)</i>	28
<i>Tabla 2: Clasificación Según Intervalo Umbral</i>	106
<i>Tabla 3: Clasificación de las Alertas Según Grupo</i>	107
<i>Tabla 4: Ejemplo Plan de Operación: Definición Servicios y Horarios</i>	138
<i>Tabla 5: Ejemplo Plan de Operación: Definición Servicios y Horarios</i>	138
<i>Tabla 6: Ejemplo Plan de Operación: Definición Servicios y Horarios</i>	139
<i>Tabla 7: Ejemplo Plan de Operación: Definición Frecuencias y Capacidad</i>	140
<i>Tabla 8: Ejemplo Plan de Operación: Definición Paradas</i>	141
<i>Tabla 9: Ejemplo Plan de Operación: Detalle de PO Troncal</i>	142
<i>Tabla 10: Ejemplo Perfil de Operación, servicio C01 IDA</i>	144
<i>Tabla 11: Ejemplo Archivo de Texto Importado, Parte 1</i>	147
<i>Tabla 12: Ejemplo Archivo de Texto Importado, Parte 2</i>	147
<i>Tabla 13: Ejemplo Archivo de Texto Importado, Parte 3</i>	148

1 INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual, el desarrollo del transporte público corresponde a un tema de vital importancia. Enfrentados a congestión vehicular, problemas de estacionamiento y al incremento de la contaminación, conductores de automóviles estarían dispuestos a cambiarse al transporte público si tuvieran un sistema de calidad a un precio razonable a su disposición. El mayor reto de las instituciones encargadas de los sistemas de transporte de las grandes ciudades es proveer estas condiciones, ajustando los sistemas adecuadamente de tal forma de maximizar la calidad del servicio minimizando los costos.

Transantiago es un proyecto de mejora del sistema de transporte público en Santiago, la capital de Chile, que justamente busca los objetivos anteriormente mencionados. Su gestación comienza en los primeros años del gobierno del Presidente Ricardo Lagos, primero diseñando lo que sería el sistema (los actores involucrados, los sistemas de apoyo necesarios, la nueva red de transporte, entre otros) y posteriormente iniciando el cambio con la renovación de parte de la flota de buses. Pero la transición definitiva al nuevo sistema de transporte público se realiza el 10 de Febrero del año 2007, con la puesta en marcha total del sistema, incluyendo recorridos, infraestructura y buses, todo lo anterior en su mayoría totalmente nuevo.

El sistema sufre muchas dificultades durante los primeros días de su puesta en marcha, cuando muchos usuarios tanto por falta de información como

por un bajo número de buses en las calles ven sus tiempos de viaje aumentados considerablemente, formando un descontento general. Las críticas apuntan a que tanto los incentivos a las empresas operadoras, como las mallas de los recorridos y en general, todo el sistema, están mal diseñados.

En los meses siguientes, y luego de un cambio de Ministro de Transporte y Telecomunicaciones, el sistema comienza a funcionar mejor, permaneciendo sin embargo algunos problemas inherentes tanto en los recorridos como en la operación, lo cual implica que en promedio, para octubre de 2007, los pasajeros alarguen sus tiempos de viaje en once minutos comparado con el antiguo sistema de transporte (micros amarillas), duplicando además el número de transbordos (Instituto Libertad y Desarrollo, noviembre 2007).

Al sistema, sin embargo, también se le atribuyen aspectos positivos, tales como la calidad de los buses y el método de pago, el cual es más expedito, cómodo y seguro, tanto para los usuarios como para los choferes. Además, ya no existen incentivos económicos a los conductores proporcionales al número de pasajeros que transportan, como sucedía con las micros amarillas, por lo que disminuyen considerablemente los accidentes que involucran buses (Ministro René Cortázar, octubre 2009).

Considerando lo expuesto anteriormente, esta tesis intenta proponer una arquitectura de procesos para Transantiago, basada en un análisis crítico de su diseño e implementación inicial. El objetivo de esta propuesta es minimizar los

problemas ocurridos en Transantiago y servir de apoyo tanto para este sistema de transporte en la implementación de nuevas mejoras en el futuro, como para otros que se deseen concebir en el mundo.

Para lograr un diseño eficiente, es necesario profundizar en los procesos fundamentales de un sistema de transporte público. Entre ellos se encuentran los procesos relacionados con el diseño correcto de una red de servicios de buses y sus frecuencias, en el cual se ahonda a partir de una propuesta realizada en una ciudad con características similares a Santiago. Otros procesos importantes detallados en esta tesis son los relacionados con la gestión en tiempo real de la flota y mejora continua del sistema. El rediseño de todos estos procesos permite transformar a Transantiago en un modelo eficiente y de vanguardia a seguir.

Adicionalmente, en el marco de los procesos relacionados con la supervisión en tiempo real de la flota, se decide, en conjunto con el Ministerio, desarrollar e implementar un prototipo de aplicación dedicada a la detección temprana de problemas en la vía, brindando un apoyo real y concreto al sistema en su evolución para llegar a ser más eficiente, brindando un mejor servicio a las personas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

“Proponer una arquitectura de procesos que incorpore las mejores prácticas para un sistema de transporte público como Transantiago, como base para el desarrollo e implementación de un sistema de apoyo a la autoridad de transportes”.

2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar una arquitectura de procesos para un sistema de transportes tal como Transantiago.

Con respecto a este objetivo, se decidió detallar tres ámbitos:

- Profundización en los procesos de gestión de los buses, tanto por parte de los concesionarios de buses como de la autoridad.
 - Propuesta para el proceso de Planificación de Transporte, específicamente para el Diseño de la Red de Transporte, que incluye los recorridos y las frecuencias.
 - Propuesta de macroproceso para la mejora continua del sistema de transportes.
- Desarrollar un sistema de apoyo para el Ministerio en base a la arquitectura propuesta.

3 SITUACIÓN ACTUAL Y CARACTERIZACIÓN TRANSANTIAGO

Transantiago es un sistema de transporte público que entrega servicio a toda la ciudad de Santiago y se encuentra en funcionamiento desde febrero del 2007. Este sistema modifica completamente la filosofía que existía antiguamente en el sistema de transporte público de la ciudad, rediseñando totalmente recorridos, renovando buses e infraestructura, e introduciendo un nuevo método de pago.

Transantiago, visto como sistema, presenta actualmente una cantidad aproximada de 4,5 millones de viajes diarios, mientras que el Metro de Santiago recibe 2,5 millones de estos viajes.

Con respecto a su situación financiera, Transantiago, en sus primeros 29 meses de operación, acumuló un déficit de US\$1.400 millones, equivalentes a aproximadamente US\$49 millones mensuales. Luego de tener que ser financiado por medio de préstamos tanto del BID como de BancoEstado, y también por medio del uso del 2% constitucional por tratarse de un servicio básico para la población, fue finalmente aprobado un subsidio permanente de US\$210 millones anuales más uno transitorio por US\$1.400 millones hasta 2014 para la reducción del déficit.

3.1 Actores Transantiago

Se definió inicialmente en el proyecto un modelo de operación compuesto por tres actores principales: El Gobierno, a través del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, específicamente la **Oficina Coordinadora de Transantiago**, el **Administrador Financiero de Transantiago (AFT)** y los **Concesionarios de Transporte** (los dos últimos, correspondientes a empresas privadas).

3.1.1 AFT

El AFT, en el rol de Operador Tecnológico, es el encargado de entregar dos servicios básicos a los operadores del sistema:

1. El Sistema de Acceso Electrónico y Administración de los Recursos del Sistema de transporte público de Santiago, que es un conjunto de servicios, equipos, software y medios de acceso que permite la integración tarifaria, el registro de viajes, la recaudación, la distribución de los recursos entre los proveedores de transporte y permite a los usuarios del sistema acceder y pagar por la utilización de los servicios de transportes que utilicen. Este sistema funciona actualmente de forma aceptable y sin mayores inconvenientes (tanto el sistema de cobros a los pasajeros como el pago a los concesionarios de transporte).
2. El Sistema de Apoyo a la Explotación de Flota (SAEF), que debe permitir gestionar global e integralmente los servicios de transporte público de la ciudad. Este sistema actualmente tiene falencias importantes, las que gatillaron la necesidad de implantar un sistema completamente nuevo.

3.1.2 Gobierno

El Gobierno (a través de la Oficina Coordinadora de Transantiago) es el encargado de velar por el cumplimiento de las obligaciones contractuales por parte de los operadores, quienes tienen la concesión de las vías. Además, es el encargado de fiscalizar el cumplimiento de los servicios que el AFT entrega al sistema Transantiago. Por último, debe definir, en conjunto con los concesionarios, los planes operacionales (esto es, red de servicios y su respectiva frecuencia, ver punto 8 e del glosario para más detalle), a partir del estudio y monitoreo de la demanda.

3.1.3 Operadores

Los operadores son los encargados de operar y explotar los servicios concesionados. Existen actualmente 9 operadores, con un total de aproximadamente 6500 buses operando en el sistema.

El modelo de concesión incorpora dos tipos de vías: los troncales, que son corredores extensos y columnas vertebrales del servicio, cuya concesión es por 12 años, y los alimentadores, que son servicios locales de mucha menor extensión, que tal como su nombre lo indica, alimentan o trasladan a los usuarios a y desde los servicios troncales, cuya concesión es por 3 años.

Transantiago tiene como eje estructural del sistema al tren subterráneo o Metro de Santiago, el cual cuenta con 4 líneas. Esto implica la integración

tarifaria metro-bus, es decir, permite el uso y pago integrado de viajes utilizando el Metro y los servicios de buses.

El sistema cuenta con Infraestructura que incluye: estaciones intermodales, vías segregadas y exclusivas existentes y proyectadas, además de zonas pagas (paraderos donde el pago no es en el mismo bus, sino en el ingreso a la estación).

3.2 Problemas

Se ha observado que Transantiago, con respecto a la gestión de las flotas de buses, es ineficiente. Los buses se agrupan o separan demasiado durante el recorrido debido a los constantes tacos, la no mantención de una velocidad constante y mala sincronización de los semáforos en Santiago, generando largas esperas en los paraderos. Además, los Operadores no cuentan con los procesos ni la tecnología adecuada que les permita operar con una frecuencia razonable ni en las salidas de sus buses de los cabezales y terminales ni durante el recorrido.

Otros problemas existentes tienen que ver con las costumbres de los conductores. Muchas veces los buses no se detienen en paraderos sensibles en los cuales la detención es vital para brindar un servicio de calidad. Pero lamentablemente con la tecnología actual fiscalizar a todos los choferes se torna casi imposible.

Los buses se usan en forma ineficiente. Al no tener un correcto seguimiento de las máquinas, existen buses que pasan mucho tiempo funcionando, a pesar de haber requerido algún tipo de mantenimiento. Esto provoca un gran porcentaje de buses que se quedan en “panne” en medio de la operación, provocando gran molestia en los usuarios y costos adicionales a los operadores.

Todo lo expuesto en los párrafos anteriores se ve reflejado en un mal servicio a los usuarios del transporte público, y en pérdida de dinero por la baja optimización del uso de los buses para los operadores.

Los problemas expuestos pueden dividirse en dos grandes grupos: problemas de falta infraestructura vial adecuada, y problemas relacionados con no contar con la tecnología y los procesos adecuados. Esta tesis se centrará en intentar dar un apoyo a la solución del segundo grupo de problemas mencionado.

3.3 Mejoras Implementadas

Luego del fracaso del sistema de gestión de flota implementado por AFT para el inicio de Transantiago, se decidió comenzar el desarrollo de un conjunto de nuevas herramientas para tal efecto, entre las cuales destaca el “Sinóptico Básico”. Esta herramienta computacional permite visualizar los buses en cada servicio a través de una visión sinóptica (una representación gráfica de buses de ida y buses de regreso), lo que permite al menos tener un grado mínimo de

gestión sobre la flota, con el fin de lograr un mejor nivel en la regularidad y frecuencia en los recorridos. Esta solución corresponde a parte de la **solución transitoria** de Transantiago que quedó acordado implementar en la última modificación a los contratos de licitación, realizada en marzo de 2008.

Tres proveedores de este software fueron certificados por el Ministerio para ser elegidos por los operadores, siendo el sistema el que incurre en el costo mensual de mantención de su versión básica. Es vital el uso de un sistema como éste, pues para controlar el número de buses con que se trabaja en una ciudad como Santiago, es necesario un sistema automatizado que permita, al menos, visualizar en dónde están los buses, entregando herramientas básicas para ordenar y gestionar la flota. Finalmente, este programa entrega un gran apoyo para la operación y fiscalización de los buses, pero no soluciona todos los problemas de gestión.

3.4 Mejoras Futuras

Por otro lado, quedó contemplado en los contratos el desarrollo de una **solución definitiva** para Transantiago. En este ámbito, AFT adjudicó a fines de 2009 la implementación de un Sistema de Ayuda a la Explotación de Flota, luego de la realización de procesos RFI y RFP, a una empresa de clase mundial en el rubro de las ITS (sistemas inteligentes de transporte, por sus siglas en inglés). Se espera que se pueda comenzar la implementación del sistema

elegido a mediados del 2010, para entre 2010 y 2011 contar ya con un sistema como el de las ciudades más modernas del mundo.

Algunas de las ventajas de un sistema de este tipo son:

- Localización en tiempo real de todos los buses con errores menores a 5 metros, y muchas posibilidades para su gestión y control.
- Sistemas de inteligencia en el bus, que permiten a éste mantener un itinerario incluso cuando hay fallas en la conexión entre los buses y la central.
- Sistemas avanzados de información a usuarios tanto en el bus como en el paraderos (próxima parada, tiempos de viaje, tiempos de llegada de los próximos buses, entre otros).
- Integración con sistemas de planificación que permiten a los concesionarios de transporte utilizar mejor sus recursos tanto de buses como humanos.
- Sincronización de los buses con semáforos para darles preferencia cuando sea posible.

Uno de los factores más importantes de contar con un sistema de clase mundial es que incorpora las mejores prácticas de los sistemas de transporte público más eficientes del mundo, pues cuenta con la experiencia de años de operación en varias ciudades. Esto permite centrar los esfuerzos de la autoridad en fiscalizar que todo esté funcionando correctamente, liberándola de otras tareas que hoy debe efectuar por no contar con las herramientas adecuadas.

4 ARQUITECTURA DE PROCESOS PROPUESTA PARA TRANSANTIAGO

El diseño de Transantiago, tal como fue propuesto desde su concepción, se puede considerar como una buena idea que falló en su diseño y/o implementación. Sin embargo, se acepta que a lo largo del tiempo el sistema de transporte ha logrado mejorar paulatinamente a través de aproximaciones sucesivas, gracias a todos los cambios de recorridos que se han realizado, mejoras en los concesionarios de buses, así como en los sistemas tecnológicos.

Concluir si los problemas iniciales del sistema fueron causa de un mal diseño realizado por el Gobierno, una restricción presupuestaria demasiado prohibitiva, una implementación deficiente, o fue culpa de las empresas a las que fueron licitados los servicios tecnológicos y áreas de concesión, no es propósito de esta tesis.

Este capítulo, por lo tanto, intentará proponer una arquitectura general de procesos que el autor considera correcta para un sistema como Transantiago, basándose en el funcionamiento actual del sistema pero proponiendo mejoras que permitan eliminar muchos de los problemas vistos en su inicio.

4.1 Diseño Actual

Las licitaciones para la entrega de todos los servicios requeridos por el sistema Transantiago comenzaron el año 2004, incluyendo sistemas de pago, de gestión de flota y las concesiones por zona para los operadores de buses. Desde las bases de estas licitaciones se puede extraer el modelo que se ideó para el sistema de transporte público de Santiago, el cual fue diseñado específicamente para esta ciudad y no se basó en otros sistemas de transporte público de otras ciudades del mundo.

Transantiago fue diseñado con una estructura que permitiese centralizar, en una sola empresa, tanto la gestión del pago electrónico como los sistemas de gestión de flota, aunque esta última opcionalmente. La empresa que se adjudicase la provisión de estos servicios debía ser un banco, para asegurar la solvencia económica y capacidad para poder prestarlos. La adjudicación final fue a la sociedad denominada “*Administrador Financiero de Transantiago*” (AFT) compuesta por varios bancos.

4.2 Arquitectura Propuesta

La arquitectura propuesta se basa en los macroprocesos propuestos por el Dr. Óscar Barros (Barros, 2009). Dichos macroprocesos corresponden a patrones de procesos observados en la mayoría de las empresas que presentan buenas prácticas en sus procedimientos, y por lo tanto son

extensibles a otras empresas u organizaciones, observándose que al ser implementados correctamente dichas empresas ganan en eficiencia y eficacia, tanto estratégica, táctica como operacionalmente.

En el caso de Transantiago es necesario considerar, dada la variedad de actores presentes en el sistema, que algunos macroprocesos se pueden repetir para los distintos actores pero cumpliendo funciones completamente distintas, por tratarse de empresas que realizan tareas diferentes.

Según la teoría, cada empresa u organización debe contar con cuatro macroprocesos principales:

1. *Macro 1 o Cadena de Valor*, que representa los procesos que ejecutan la producción de los bienes y/o servicios de la empresa, los cuales van desde que se interactúa con el cliente para generar requerimientos hasta que éstos han sido correctamente satisfechos.
2. *Macro 2 o Desarrollo de Nuevas Capacidades*, que corresponde al conjunto de procesos que desarrollan las nuevas capacidades que requiere la organización para ser competitiva y eficiente. Incluye desarrollo de productos, servicios, modelos de negocio, infraestructura, entre otros.
3. *Macro 3 o Planificación Estratégica*, que detalla los procesos necesarios para definir el curso futuro de la organización, materializados en planes y programas a implementar.
4. *Macro 4 o Recursos Habilitantes*, que incluye los procesos que entregan los recursos necesarios para que todas las demás macros puedan operar

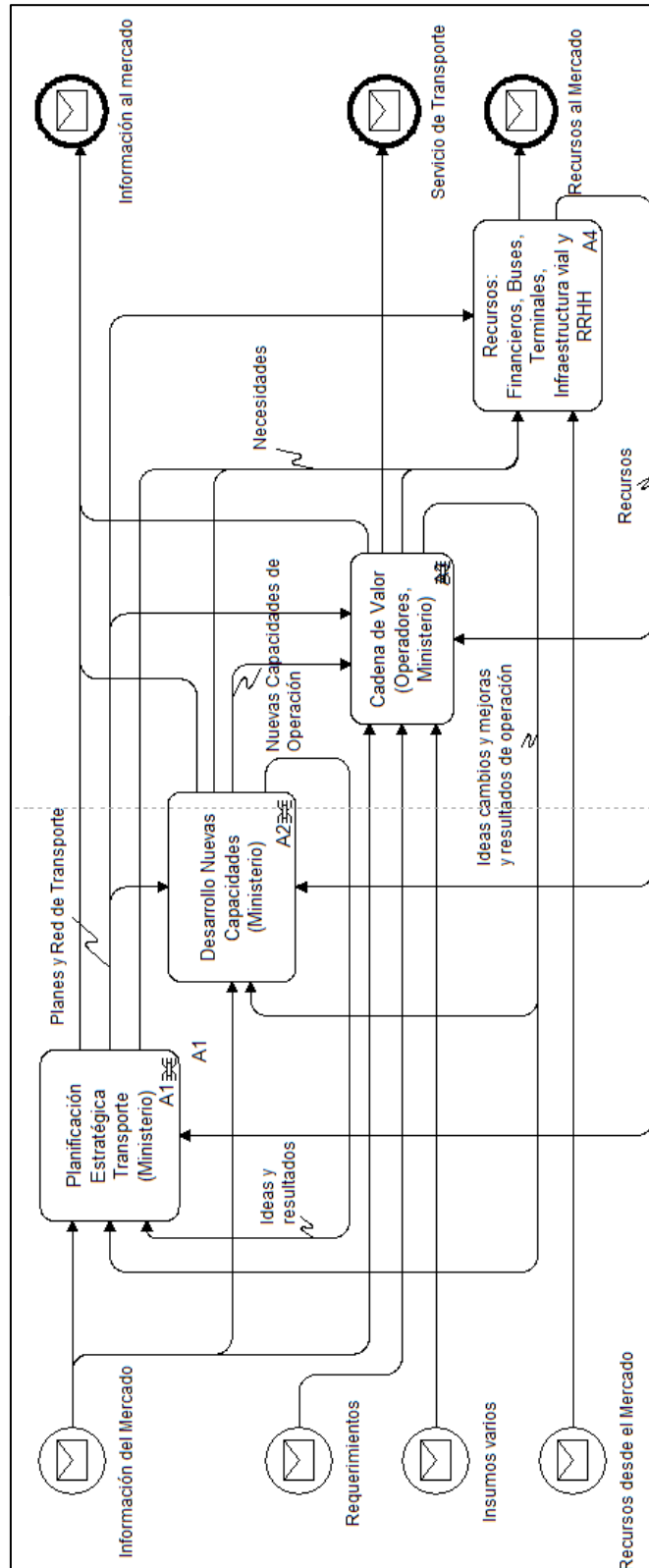
de forma eficiente. Incluye los recursos financieros, humanos, de infraestructura y materiales.

Es importante destacar que la propuesta de procesos de esta tesis se enfoca en una visión sistémica de Transantiago. Formalmente, cada empresa del sistema (concesionarios de transporte, empresa de servicios tecnológicos, empresa de sistema de pagos y autoridad) debe contar con los cuatro macroprocesos principales propuestos por el Dr. Barros. Sin embargo, la visión sistémica obvia algunos macroprocesos, los cuales deben ser modelados independientemente para cada una de las empresas del sistema; sólo se proponen los macroprocesos que son relevantes para el sistema de transportes como un todo.

Tomando en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior, y como se puede observar en la Figura 1, se modelarán para el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones tanto la Planificación Estratégica, el Desarrollo de Nuevas Capacidades, y su Cadena de Valor. Adicionalmente se modela la Cadena de Valor de los Operadores. Todas estas macros se modelarán con distintas profundidades y enfoques, según sea lo más relevante para el Sistema de Transporte Transantiago.

Antes de comenzar a explicar el detalle de las relaciones entre los macroprocesos y sus procesos internos, es necesario conocer a los actores que serán considerados en el modelamiento.

Figura 1: Estructura Macroprocesos Transantiago



4.3 Actores Considerados

Basándose en el diseño actual de Transantiago, y en general de cualquier sistema de transporte público de calidad, se deben considerar en un correcto diseño cinco grandes actores con sus respectivos roles:

1. **Gobierno (o autoridad)**, quien es el responsable de realizar la planificación estratégica del sistema de transporte público, definiendo qué se quiere para la ciudad actual y en el futuro, además de planificar la red de recorridos y servicios del sistema de transporte público y posteriormente supervisar a todos los demás actores del sistema en la correcta realización de sus tareas respectivas, así como también proponer mejoras constantemente.
2. **Concesión del Sistema de Pago y Acceso Electrónico**, quien es el responsable de brindar los servicios para el pago electrónico en los buses e integrarlo con otros sistemas de pago disponibles, además de proveer de lugares para realizar recargas de las tarjetas de pago y repartir eficientemente la recaudación entre las empresas concesionarias de transporte.
3. **Concesión del Sistema de Apoyo a la Explotación de Flota**, quien debe proveer todos los servicios tecnológicos que permiten una explotación eficiente de la flota por parte de los concesionarios de transporte, y que al mismo tiempo ayuden a entregar un servicio de calidad a los usuarios de transporte público. Parte del rol de este actor es también informar eficientemente a los usuarios sobre los servicios, los tiempos de llegada a los paraderos, entre otros.

- 4. Concesionarias de Transporte**, quienes deben brindar los servicios de transporte a los usuarios de buses de forma eficiente y según los estándares que se les piden, en su respectiva área de concesión.

En Transantiago los actores 2 y 3 fueron concesionados a la misma empresa (AFT), lo que no necesariamente es negativo, pero que en el caso de Transantiago no resultó satisfactorio, especialmente dada la nula experiencia de esta empresa en sistemas de apoyo a la explotación de flota.

4.4 Detalle Arquitectura

A continuación se expondrá el detalle de la arquitectura de negocios propuesta para el sistema de transporte público. Los diagramas son expuestos según las convenciones de IDEF0, lo que permite más que modelar procesos, modelar las relaciones entre éstos. Los últimos niveles son modelados con estilo BPMN por tratarse de procesos puros; se mencionará cuando esto sea así.

Resumiendo, la convención IDEF0 especifica que:

- Flechas que entran por la izquierda determinan una **entrada**.
- Flechas que salen por la derecha determinan una **salida**.
- (↓) Flechas que entran por arriba determinan un **control**.
- (↑) Flechas que entran por abajo determinan un **recurso** para el proceso.

4.4.1 Estructura Procesos

Lo primero que se expondrá es un diagrama que resume todos los macroprocesos y procesos que serán modelados, en distintos grados de detalle, en una estructura del tipo jerárquica. Esto permite visualizar de forma simple qué subproceso pertenece a cada proceso padre, sirviendo de mapa para ubicar correcta y rápidamente los procesos modelados. El diagrama en cuestión se expone en la Figura 2.

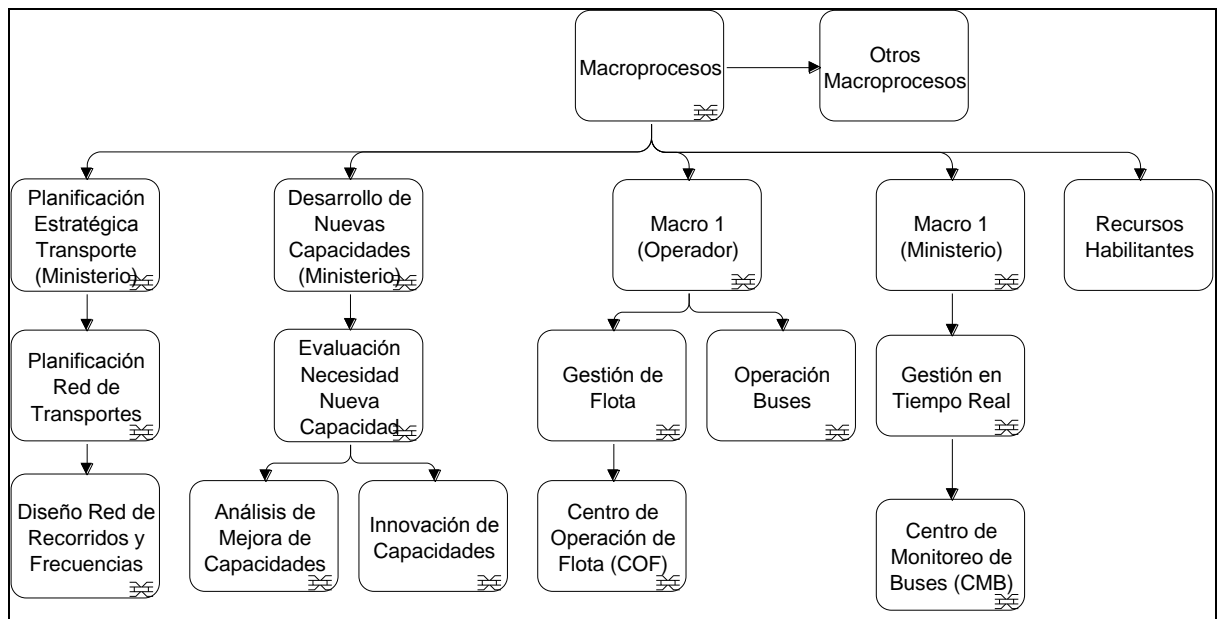


Figura 2: Estructura de Procesos Propuesta. Entre paréntesis se encuentra el actor al que pertenece cada macroproceso.

Como se puede observar, se proponen cuatro macroprocesos vitales para el sistema, dejando el resto de los macroprocesos como preocupación interna de cada empresa. Se puede advertir que no se consideran

macroprocesos de los actores 2 y 3, pues sistémicamente hablando, estos actores brindan recursos habilitantes para que el sistema de transporte funcione de forma eficiente, no realizando tareas que deban ser necesariamente modeladas desde el punto de vista del sistema, sin restarle peso a su importancia. Esto no descarta que pueda haber mensajes o uniones a procesos de estos actores.

Volviendo a la Figura 1, expuesta en la página 16, es posible comenzar a explicar el detalle de cada macroproceso y sus relaciones. En ese diagrama se pueden observar los siguientes macroprocesos:

- 1. Planificación Estratégica de Transporte**, definido para el Ministerio. En este macroproceso se conjugan los procesos que tienen que ver con la planificación estratégica de transporte para Santiago, con una mirada de largo plazo, incorporando la misión y visión para el sistema de transporte público. Adicionalmente, se incorpora el proceso de diseño de la red de transporte, en el cual se ahondará más adelante.

Para su funcionamiento, este macroproceso debe recibir ideas, resultados de operación y contar con constante información del mercado.

Su salida más importante es la de los planes estratégicos que controlan a los otros macroprocesos, y la red de transporte sobre la que operan los concesionarios de buses.

- 2. Desarrollo de Nuevas Capacidades**, definido también para el Ministerio. Aquí se idean y desarrollan las mejoras e innovaciones al sistema de transporte público, incluyendo nueva tecnología, infraestructura, mejoras e inclusión de nuevos procesos, entre otros.

Este macroproceso utiliza tanto información del mercado como ideas obtenidas de la cadena de valor, siendo controlado siempre, sin embargo, por los lineamientos estratégicos establecidos en la Macro 3 (Planificación Estratégica).

Las nuevas capacidades logradas son su salida más importante, así como los resultados e ideas que se obtienen en el desarrollo de éstas.

- 3. Cadena de Valor**, el cual incluye dos instancias, una para los operadores de buses y otra para el Ministerio.

Para el Ministerio la cadena de valor incluye principalmente los procesos que tienen que ver con la supervisión y el control sobre los demás actores del sistema. Como entradas tiene los requerimientos de movilización de la gente junto a la información de mercado.

Para los concesionarios de buses acá se realiza la operación de éstos, así como todas las gestiones necesarias para controlar la flota y relacionarse eficientemente con los otros actores del sistema. Las entradas corresponden a los requerimientos del Ministerio con respecto a la operación y los insumos que se requieren para operar los buses.

Como salida general de ambas cadenas de valor se tiene la prestación del Servicio de Transporte a la población.

- 4. Recursos Financieros, de Buses, Terminales, Infraestructura Vial y Humanos.** Este macroproceso reúne los macroprocesos habilitantes que no se consideran en este modelamiento pero que son necesarios por todos, tales como los servicios del SAEF y de pago electrónico en los buses.

Como se mencionó anteriormente, cada empresa con la concesión de cada uno de estos servicios debe desarrollar internamente sus 4 macroprocesos principales.

Un proceso que aparece recurrentemente en los diagramas que se expondrán es el de “**Mantenimiento de Estado**”. Éste representa los sistemas, en general computacionales, que apoyan la correcta ejecución de los procesos, al almacenar toda la información relevante de la situación de estos, retroalimentando cada vez que se requiera esta información. Este proceso representa además los sistemas informáticos dedicados requeridos por algunos procesos, como por ejemplo el Sinóptico (ver punto 8 h del glosario para más información). El proceso “**Mantenimiento de Estado**” será representado en los diagramas donde sea utilizado, pero no se explicará su función específica por ser directa en todos los casos.

A continuación se procederá a profundizar en la Planificación Estratégica de Transporte, el primer macroproceso a revisar.

4.4.2 Planificación Estratégica de Transporte (Ministerio)

El macroproceso Planificación Estratégica del sistema de transporte, se basará en lo propuesto en los patrones de procesos incorporando adicionalmente un proceso vital para los sistemas de transporte público: *la Planificación y el Diseño de la Red de Transporte*. Específicamente en ese tema se realizará una revisión más exhaustiva por ser un punto en el cual

Transantiago tuvo sus mayores problemas, al cambiar completamente de un día para otro la red de transporte, causando confusión y malestar en la población, además de comprobarse en el corto plazo que dicha red no era eficiente.

La planificación del sistema de transporte, tal como se expone en la Figura 3, incluye los siguientes procesos principales:

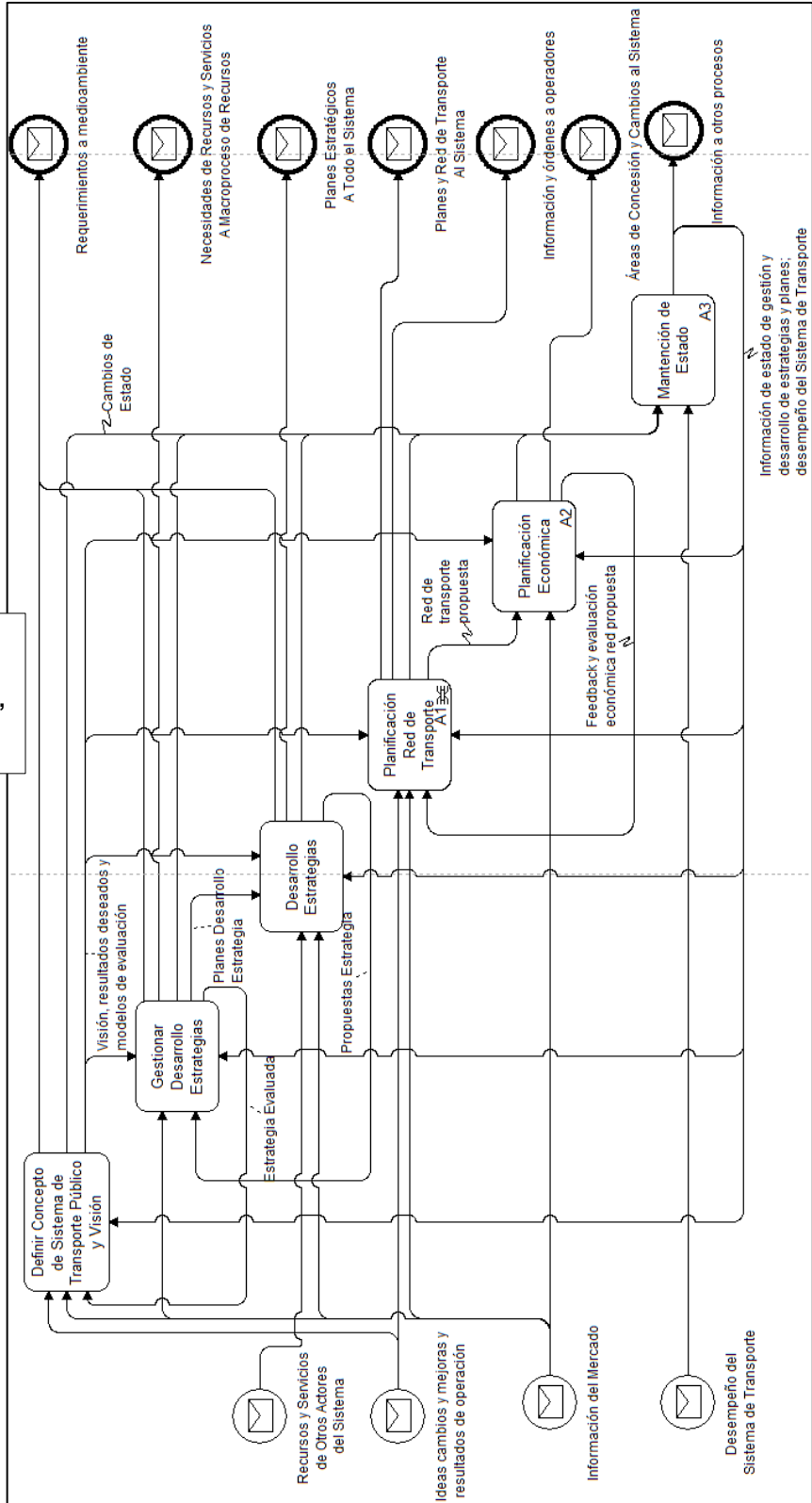
- 1. Definir Concepto de Sistema de Transporte Público y Visión,** proceso que basado en aspectos políticos, de tendencias económicas, desarrollos tecnológicos y factores de regulación explora las posibilidades de innovación y define de forma general el sistema de transporte público que se desea para la ciudad, proponiendo metas y objetivos, y definiendo además los modelos de evaluación en que los resultados deseados serán medidos.

La Visión del sistema de transporte público también se desarrolla en este proceso.

- 2. Gestionar Desarrollo Estrategias,** el cual se encarga a grandes rasgos de realizar las gestiones y controles sobre los demás procesos de este macroproceso. Posee como subprocesos principales el “Producir los planes de desarrollo de la estrategia” y la “Evaluación de las propuestas de estrategia”.

El primer subproceso incluye la asignación de los recursos humanos, financieros y de otro tipo necesarios para el desarrollo de la estrategia de cómo se desea implementar y posteriormente evolucionar el sistema de transporte público.

Figura 3: Planificación Estratégica Transporte, Ministerio



La “Evaluación de las propuestas de estrategia” se encarga de asegurar que las “Propuestas Estrategias”, generadas en el próximo proceso “Desarrollo Estrategia”, se alineen con la Visión del sistema de transporte y se definan las métricas adecuadas para medir el desempeño de estas propuestas. Además debe medir constantemente el desempeño de las estrategias ya implementadas.

3. Desarrollo Estrategia, el cual entre otras tareas debe definir la Misión del sistema de transporte público, haciendo operativa la Visión ya definida. Debe además generar y evaluar las opciones estratégicas para el sistema de transporte público, definir la estructura organizacional para el Ministerio, analizar necesidades de procesos de negocio nuevos, o el rediseño de alguno, y la introducción de nueva tecnología; transformar estrategias y otros cursos de acción en planes detallados, incluyendo presupuestos, programas y métricas de desempeño a ser ejecutados por otros macroprocesos, y por último ajustar las estrategias bajo la dirección de “Gestión Desarrollo Estrategia”.

4. Planificación Red de Transporte, proceso que permite generar una red de recorridos y servicios eficiente para la ciudad. Este proceso se agrega al macroproceso de Planificación Estratégica del Sistema de Transporte Público por ser de alta importancia para el correcto funcionamiento de Transantiago, requiriendo por lo tanto de una supervisión, desde su concepción, desde el nivel organizacional más alto.

Una red de transporte de esta magnitud, además, no se cambia en general en poco tiempo (Yu et al., 2005), sino que su tiempo de vida es de muchos años, principalmente porque los cambios tienen un impacto importante tanto en los costos del sistema como directamente en los usuarios, especialmente en su percepción sobre la calidad del servicio de transporte. Debido a lo anterior, se requiere de una visión de largo plazo

para su correcto diseño, que sólo los administradores de más alto nivel poseen.

Debido a la importancia del proceso “Planificación de Transporte”, es necesario realizar a continuación un paréntesis en la exposición de los procesos, con el fin de efectuar una revisión profunda de lo vital a considerar para un correcto diseño de una red de transporte público, considerando su complejidad e importancia. Posteriormente, al momento de presentar el proceso de “Creación de Red de Transporte”, se propondrá un procedimiento detallado para el diseño de la red de Transantiago, a partir de una proposición del Doctor Ernesto Cipriani *et al.* (2010, bajo revisión para TRpC).

4.4.2.1 Diseño de Red de Transporte Público

El diseño de la red de transporte corresponde a un paso estratégico y táctico crucial en el proceso de planificación de transporte. Este paso no sólo tiene una influencia directa en el nivel del servicio entregado a los usuarios, a través del alcance y calidad de la red, sino que también influye en los costos operacionales y ganancias económicas que tendrán los operadores de buses. Dado lo anterior, el problema de planificación de transporte es de naturaleza multiobjetiva, donde los intereses de los operadores de buses y de los usuarios, representados en este caso por el Ministerio de Transportes, están en constante conflicto. Por eso se deben realizar *trade-offs* entre ambos, por lo que las técnicas de optimización que se utilicen son de vital importancia.

El proceso completo es enormemente complejo y difícil. Incluso subdividiéndolo en problemas individuales, éstos resultan, desde un punto de vista de complejidad computacional, NP-Difícil (Magnanti y Wong, 1984; Quak, 2003)

El proceso de planificación de transporte, visto de forma general, se basa en las siguientes entradas de datos:

- La demanda de transporte, en general caracterizada por una matriz origen-destino
- Un área con características topológicas claras
- Un conjunto de buses
- Un conjunto de conductores

Y por supuesto, la salida ideal esperada es obtener una red de servicios con sus respectivos horarios de salida, con sus buses y conductores específicos ya asignados.

Como lo expone la literatura especializada en transporte, el proceso de planificación se divide en una secuencia de 5 pasos principales. Ceder y Wilson (1986) presentaron la Tabla 1, que representa estos pasos de forma clara.

Idealmente, para encontrar el resultado óptimo, se deben tratar todos los pasos de manera simultánea. Pero debido a la complejidad de cada uno, es necesario abordarlos por separado; en la práctica, hacerlo actualmente todo en un paso es imposible. Lo anterior hace que se pierda la garantía de que se

encontrará el resultado óptimo; sin embargo, es el único acercamiento que se puede realizar.

Entradas Independientes	Paso de la Planificación de Transporte	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos de Demanda ▪ Datos de Suministro ▪ Indicadores de rendimiento de las rutas (topología) 	i. Diseño de la Red de Transporte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cambios en las rutas ▪ Nuevas rutas ▪ Estrategias de Operación
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Subsidios disponibles ▪ Buses disponibles ▪ Políticas del servicio ▪ Soporte Actual 	ii. Especificación de las Frecuencias	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frecuencias por Servicio
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demanda por tipo de día ▪ Horas para primer y último viaje ▪ Tiempos de funcionamiento 	iii. Desarrollo de las Tablas de Horarios	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiempos de inicio de viajes ▪ Tiempos de llegada de viajes
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiempos de salidas ▪ Tiempos de recuperación ▪ Restricciones del horario ▪ Estructura de costos 	iv. Establecimiento de Itinerario para los Buses	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Itinerario de los buses
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reglas de trabajo de conductores ▪ Estructura de costos de ejecución 	v. Establecimiento de Itinerario para los Conductores	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Itinerario de los conductores

Tabla 1: Proceso de Planificación de Transporte (Ceder y Wilson, 1986)

Con respecto al proceso “Planificación Red de Transporte”, correspondiente al Ministerio, la tarea de la autoridad debe centrarse en la realización de las primeras 3 etapas mostradas en la tabla anterior. Hasta esta etapa el proceso ya ha entregado la red de recorridos y servicios, las frecuencias de cada uno, e incluso las tablas de horarios de paso de los buses por cada uno de los paraderos de la red; éstos son los pasos estratégicos y

tácticos que competen al Ministerio. Los siguientes dos pasos importan sólo al operador; serán sólo sus beneficios los afectados en el caso de realizarlos de forma eficiente, y no es tarea del Ministerio inmiscuirse en el funcionamiento interno de estas empresas, sólo le interesa que éstas brinden el servicio correctamente a las personas.

Para lograr definir un proceso de “Planificación de Transporte” adecuado para la autoridad, es necesario ahondar aún más en conocimiento sobre las etapas descritas. A continuación se procederá a describir con mayor detalle cada uno de estos pasos, poniendo especial énfasis en los tres primeros. Las profundizaciones realizadas se basan en las expuestas por Valérie Guihaire y Jin-Kao Hao en “*Transit Network Design and Scheduling: a Global Review*”, del año 2008, quienes realizan una excelente definición de estas etapas, estableciendo de cada una su Propósito, sus Entradas y sus Restricciones y/o Objetivos, en base a la literatura de transporte más importante.

4.4.2.1.1 Primer Paso: Diseño de la Red de Transporte

i. Propósito

El propósito de esta etapa es definir un conjunto de rutas y servicios de buses en un área particular, siendo cada ruta y cada servicio determinados por una secuencia de paraderos. Esta parte del proceso es fundamental, debido a que los servicios sufren raramente modificaciones luego de implementarse. En el caso de Transantiago este no ha sido el caso; por la necesidad de lograr una

mejor distribución de los servicios de forma rápida debido al mal funcionamiento de la red inicial, se han realizado muchísimos cambios en poco tiempo.

ii. Entradas

Topología, definida por caminos y sus capacidades de flujo máximo y actual, posibles lugares para las paradas y zonas de transferencias entre buses o modales, y a veces también localizaciones de algunos terminales.

Matrices Origen-Destino (OD), la cual es necesaria para crear una red de rutas que satisfagan lo más posible la demanda de la comunidad. Una matriz OD se compone de una serie de puntos de parada como coordenadas, en donde las abscisas corresponden al origen y las ordenadas a los destinos de los usuarios. La matriz OD posee el número de pasajeros deseosos de viajar desde el origen al destino dado, en un periodo de tiempo determinado. Mientras más precisos los datos, mejor será la solución. Los puntos origen-destino de la matriz podrían corresponder a los puntos exactos de origen y destino de cada individuo. Sin embargo, esto es inviable, pues no es posible que los buses se detengan en cualquier lugar. Por eso, las matrices OD deben tener como coordenadas los paraderos (al menos los actuales y ojalá nuevos que tengan sentido) y los posibles lugares de trasbordo. Por último, la encuesta que dé origen a esta matriz debe efectuarse no solo a los usuarios actuales, sino que a toda la comunidad, con el fin de poder beneficiar a todos los potenciales consumidores.

iii. Principales Restricciones y Objetivos¹

Antecedentes Históricos, que son derivados de la red actual de transporte, en el sentido que por razones en general políticas, podría ser indeseable interrumpir algunos servicios ya existentes. En este punto está claro que Transantiago cometió un error, al cambiar prácticamente todas las líneas de un día para otro.

Cobertura del Servicio, que mide el porcentaje de demanda estimada que puede ser servida por el transporte público. Esta razón puede ser calculada de varias formas, pero usualmente depende de características como el largo de las rutas, la densidad, las paradas y el espaciamiento entre las rutas (Murray, 2003; Benn, 1995). La regla general es que las personas que se encuentran a menos de entre 400 y 500 metros de un paradero son parte de este porcentaje.

Derechura de las Rutas y Viajes. Existen límites impuestos a la distancia que un usuario puede cubrir en la red de transporte, dependiendo de la demanda de cada viaje en particular. Por regla general, mientras más demandado sea cierto viaje, más directo debe ser posible realizarlo. Desde el punto de vista del usuario, los viajes deberían ser lo más directos posibles

¹ Tal como lo aclaran los autores del paper desde donde se basa esta explicación, dependiendo de las políticas de las agencias de transporte, las restricciones y los objetivos podrían entremezclarse. Por esta razón se exponen indistintamente; no hay regla general para diferenciarlos.

desde el origen al destino, y las caminatas tanto para el paradero de partida como de llegada deben ser lo más cortas posible. Para medir la derechura existen distintas maneras: una de ellas consiste en que ésta depende de la desviación del camino lineal, considerando el kilometraje adicional realizado en bus comparado con el mismo viaje realizado en auto u otro medio de transporte. El número de transferencias también es un factor que se debe considerar en la medición de la derechura; mientras más trasbordos, el viaje, para el usuario, es menos directo, incluso si éste sigue un camino lineal. Es importante notar que para el cálculo de la derechura del viaje para cada usuario, es necesario realizar un proceso de asignación de viaje para cada pasajero; lo anterior consiste en asignar rutas y transferencias a pasajeros considerando ciertas prioridades tales como el camino más corto o el menor número de transferencias.

Satisfacción de la Demanda, el cual obviamente es un punto esencial. Cuando el origen o destino del usuario están demasiado distantes al paradero, o cuando el viaje no es suficientemente directo, la demanda se puede considerar insatisfecha. Notar que similarmente a la evaluación de la derechura de los viajes, para calcular la satisfacción de la demanda, se requiere un proceso de asignación de viajes. En general, si un viaje requiere más de dos trasbordos, se asume que el usuario utilizará otro medio de transporte. Esto, sin embargo, no siempre es así, y depende de la realidad de cada lugar; se debe

considerar el nivel socioeconómico de los usuarios para saber si son capaces de costear otro medio de transporte.

Número de Líneas o Largo Total de las Rutas. Un objetivo general de las autoridades de transporte es minimizar el largo de las rutas con el objetivo de reducir el número de vehículos y personal requeridos para sostener el sistema, y en consecuencia disminuir los costos. El número de líneas puede ser o no considerado como restricción. Por otra parte, las rutas no deben ser ni demasiado cortas ni demasiado largas por razones de rentabilidad para el concesionario de transporte.

Objetivos Específicos de las Autoridades de Transporte, como por ejemplo el querer dar a la red una forma específica: radial, rectangular, en cuadrícula, o triangular.

4.4.2.1.2 Segundo Paso: Especificación de las Frecuencias

i. Propósito

En esta etapa se especifican las frecuencias de salida de buses para cada servicio de la red de transporte, para cada periodo horario (por ejemplo los periodos: “punta mañana”, “punta medio día”, “Fuera de punta tarde”, etc.). Como consecuencia, durante esta fase se define el número aproximado de viajes por línea para cada periodo de tiempo del día. Para entender mejor esta etapa, es necesario conocer dos conceptos:

- **Viaje:** corresponde a la entrega de servicio de transporte por parte de un bus en una línea, en una hora determinada, desde el inicio hasta el final del recorrido.
- **Tiempo entre Buses:** El inverso de la frecuencia en un periodo de tiempo, corresponde al tiempo entre salidas de buses²; en otras palabras, corresponde al tiempo entre dos inicios consecutivos de viajes.

Existen procedimientos de algunos autores capaces de enfrentar los problemas de los pasos 1 y 2 de forma simultánea (Guihaire y Hao, 2008), lo que podría implicar en una solución mejor. Sin embargo, otros autores, tales como Yu et al. (2005), afirman que el diseño de las rutas y servicios y la definición de frecuencias se deben realizar por separado, pues el diseño de las rutas y servicios es un componente más estable del sistema de transporte; no sufre tantas modificaciones como las frecuencias.

ii. Entradas

Red de Rutas y Servicios de Transporte, que corresponde a la salida principal de la etapa anterior, es la entrada principal para el cálculo de las frecuencias.

Demanda Pública de Transporte. En esta etapa, se requiere de matrices de Origen-Destino muy detalladas, las que deben proveer de

² $\frac{60}{Frecuencia}$, por ejemplo, para sacar el tiempo entre buses en minutos si es que la frecuencia es buses por hora.

información de demanda en periodos de tiempo uniformes durante el día. Estos periodos pueden variar dependiendo de los siguientes criterios:

- Hora del día (hora punta, fuera de punta e intermedios)
- Día de la semana (Lunes-Viernes y Sábado/Domingo)
- Época del año (Estaciones, periodos de vacaciones, días especiales, entre otros)

Dado que la demanda de transporte es dependiente del tiempo y elástica, la encuesta debe realizarse en periodos extensos y ser actualizada regularmente. Un proceso exhaustivo como el expuesto es necesario para alcanzar un nivel de eficiencia de la red con un nivel de servicio satisfactorio. Sin embargo, representa una carga importante para la autoridad de transporte, pues el recolectar estos datos es bastante complejo y caro. Debido a lo anterior, estos datos normalmente no están expuestos libremente al público.

Cabe destacar que en este aspecto se encuentra otro punto débil en el diseño inicial de Transantiago, el que se basó en matrices de demanda desactualizadas y tal vez generadas con un nivel de profundidad no adecuado para lo que se esperaba implementar.

Flota de Buses. En la mayoría de los casos, las frecuencias son dependientes también del tamaño de la flota de buses y de la capacidad de cada uno. En este caso, se requiere una descripción de los vehículos que se usarán, especialmente si la flota es heterogénea, como es el caso de Transantiago. También es necesario proveer la información de tiempo de viajes

para cada ruta, para cada periodo de tiempo, que en el caso de Santiago es altamente variable debido a la congestión vehicular en determinados horarios; esto, sin embargo, se disminuye por el uso de vías exclusivas para los buses y eventualmente mediante el uso de otros mecanismos tecnológicos como preferencia a los buses en los semáforos.

iii. Principales Restricciones y Objetivos

Satisfacción de la Demanda. Las frecuencias deben coincidir la demanda de la mejor forma, evitando el exceso de pasajeros en los buses y los tiempos entre buses demasiado largos, y por lo tanto reduciendo los tiempos de espera y trasbordo.

Número de Viajes. Este número es un ejemplo de la naturaleza multiobjetiva del problema; mientras los pasajeros desean una cantidad alta de viajes, los operadores desean minimizar este número para minimizar los costos. En Transantiago, especialmente al inicio de éste, la baja capacidad de supervisión de la autoridad gatilló que los operadores no efectuaran la totalidad de los viajes necesarios, minimizando así sus gastos pero causando desconcierto en los usuarios. Por eso es vital un control eficiente por parte de la autoridad.

Límites en Tiempos entre Salidas. Es posible imponer valores mínimos y/o máximos para los tiempos entre salidas de los buses, en ciertas líneas o áreas de operación.

Antecedentes Históricos. Ciertos viajes entre lugares específicos pueden ser impuestos por razones históricas o políticas.

4.4.2.1.3 Tercer Paso: Desarrollo de las Tablas de Horarios

Luego de la realización del paso anterior, se puede decir que se tiene armada correctamente una red de transporte. De hecho, Transantiago se basa mayormente sólo en frecuencias para operar. Solamente los servicios troncales poseen datos de horarios de salida para los buses, pero sólo desde los cabezales de los servicios; no hay horarios para los paraderos intermedios.

i. Propósito

Este paso da como fruto una tabla de horarios que detalla los tiempos de pasada de los buses para todos los paraderos del sistema, para cada viaje de todas las rutas de la red de transporte. Visto desde otra forma, se detalla para cada viaje la hora de partida desde el terminal de inicio, la hora que se pasará por cada una de las paradas del servicio y la hora esperada de arribo al depósito final.

Es discutible si es necesario dar a conocer a los usuarios la tabla de horario para todos los servicios, en particular para aquellos que poseen una frecuencia alta, con un tiempo entre buses, por ejemplo, menor a 8 minutos; en estos casos, los usuarios tienden a llegar en cualquier momento al paradero y esperar el siguiente bus de su recorrido sin pensar en el horario. Para los

servicios con un alto tiempo entre buses la entrega de esta información a los usuarios es imperativa, con el fin de evitar grandes esperas y lograr que el usuario pueda optimizar de buena forma el uso de su tiempo. El cálculo de las tablas de horarios, no obstante, es importante incluso para el caso de alta frecuencia, pues este dato sirve para dar a conocer a los conductores cómo van de atrasados o adelantados en su viaje, generalmente a través de un Sistema de Apoyo a la Explotación de Flota, lo que no es importante sólo para mantener una buena regularidad entre los buses, sino que también para realizar transbordos eficientes con otras líneas que tal vez poseen una frecuencia baja.

Por otro lado, el caso de los trasbordos cobra vital importancia en los servicios con baja frecuencia; los servicios nocturnos son un ejemplo de ello. Los transbordos dependen enormemente de la regularidad de los servicios; estudios han concluido que vale la pena realizar coordinación de transbordos sólo cuando la desviación estándar de la hora de llegada del bus que llega es menor al 40% (Knoppers and Muller, 1995), y esto está muy ligado al nivel de congestión de la ciudad. En todo caso, la mayoría de los sistemas de transporte público utilizan coordinación de transbordos con los servicios de baja frecuencia.

ii. Entradas

Red de Rutas y Servicios de Transporte, el cual constituye la entrada principal para el cálculo de las tablas de horarios. En esta etapa es necesario

también conocer en detalle los tiempos de viaje de cada servicio, ojalá por tramos.

Demanda de Transporte. Las frecuencias determinadas en el paso de Especificación de Frecuencias permiten definir en cuánto tiempo se debe cubrir cada línea. Por otra parte, cada trasbordo posee un nivel de importancia determinado por matrices Origen-Destino detalladas y construidas por periodo. Este dato permite sincronizar de forma eficiente las transferencias en esta etapa, dando prioridad a las transferencias más importantes entre servicios.

iii. Principales Restricciones y Objetivos

Satisfacción de la Demanda. El desarrollo de las tablas de horarios permite calcular el tiempo de viaje de los pasajeros por primera vez en el proceso Planificación de Transporte. Estos valores deben minimizarse para aumentar la movilidad de los usuarios. Si son muy altos para algún viaje de algún usuario en particular, éste se puede considerar insatisfecho, aunque nuevamente hay que considerar factores como el nivel socio-económico, pues a algunos usuarios podría no quedarles alternativa que utilizar el transporte público.

Coordinación de Transbordos. La tabla de horarios global debe tomar en cuenta cada zona de transbordo y los servicios asociados de modo de permitir transferencias eficientes entre las líneas, en tiempo y espacio.

Transbordos entre líneas pueden ser favorecidos de acuerdo a diferentes criterios, tales como número de pasajeros involucrados en éste.

Tamaño de la Flota. Este dato puede ser necesario para armar correctamente las tablas de horario; se debe respetar el tamaño de la flota.

Antecedentes Históricos. Tal como en los casos anteriores, es posible imponer tablas de horarios para ciertos viajes y/o servicios.

4.4.2.1.4 Cuarto Paso: Establecimiento de Programa para los Buses

El paso anterior corresponde hasta donde debería preocuparse la autoridad de transporte, en este caso el Ministerio de Transportes a través de la oficina de Coordinación de Transantiago, en el proceso de Planificación de Transporte. Los dos pasos siguientes, el Establecimiento de Programa para los Buses y Conductores, son de relevancia sólo para los operadores de buses, y por lo tanto no importan a la autoridad de transporte, siempre y cuando los niveles de servicio, exigidos ya mediante las tablas de horarios para todas las líneas, sean cumplidos.

En otras palabras, en estos dos pasos es donde el operador de buses puede optimizar su operación, y por lo tanto se les deja a ellos la tarea y libertad de hacerlo.

En este paso, el propósito principal es el de obtener una secuencia de viajes para cada bus, denominado programa del bus, y por lo tanto determinando también cuántos buses se requieren para cada periodo del día.

4.4.2.1.5 Quinto Paso: Establecimiento de Programa y Turnos para los Conductores

Al igual que en el paso anterior, lo único que puede afectarse mediante los cambios acá son los costos de la empresa operadora. El objetivo es, utilizando los datos del paso anterior, asignar los conductores a los programas de cada bus, o a partes de estos programas (pues un programa de un bus puede ser demasiado largo para un conductor, requiriendo de relevos).

Cada conductor recibe un programa de trabajo para determinado periodo. Los programas pueden variar día a día. Sin embargo los turnos son de planificación más estable, ya que consideran variables como número de días de trabajo consecutivos, vacaciones, días feriados, entre otros.

Para la realización de estos dos últimos pasos de la Planificación de Transporte existen software comerciales que permiten a los operadores de buses obtener fácilmente programas óptimos tanto para los buses como para los conductores. Estos softwares requieren como entrada las tablas de horarios, la red de transporte que debe servir el operador y la localización de los terminales de éste, así como obviamente las características de la flota

disponible y los conductores y sus respectivas restricciones de operación. Ejemplos de estos software son IVU.vehicle, IVU.crew, Hastus de GIRO y GOAL.

Es importante destacar en este sentido que no existen aplicaciones comerciales especializadas, capaces de enfrentar las primeras etapas del proceso de Planificación de Transporte (creación de la red de recorridos y definición de frecuencias) que conciernen a la autoridad. Sólo existen implementaciones específicas de algoritmos, dedicadas a problemas y ciudades particulares. Esto se debe a que la mayoría de los algoritmos dedicados a resolver estos problemas lo hacen a modo de prueba y/o para redes demasiado pequeñas, o por medio de investigaciones en universidades para ciudades y problemas concretos, y no pretenden solucionar el problema general de transporte, labor que sería además demasiado compleja. Sin embargo, posiblemente muchas de estas implementaciones pueden ser utilizadas en otras ciudades similares con algunas modificaciones.

No obstante lo anterior, sí existe software que permite simular la red de transporte actual, y a partir de la demanda (matriz OD), es posible realizar cambios en la red y visualizar si hay mejoras a través de simulaciones. Sin embargo, esto no corresponde a un método de optimización, sino que de mera prueba y error. Aunque algunos de estos softwares pueden tener algoritmos de

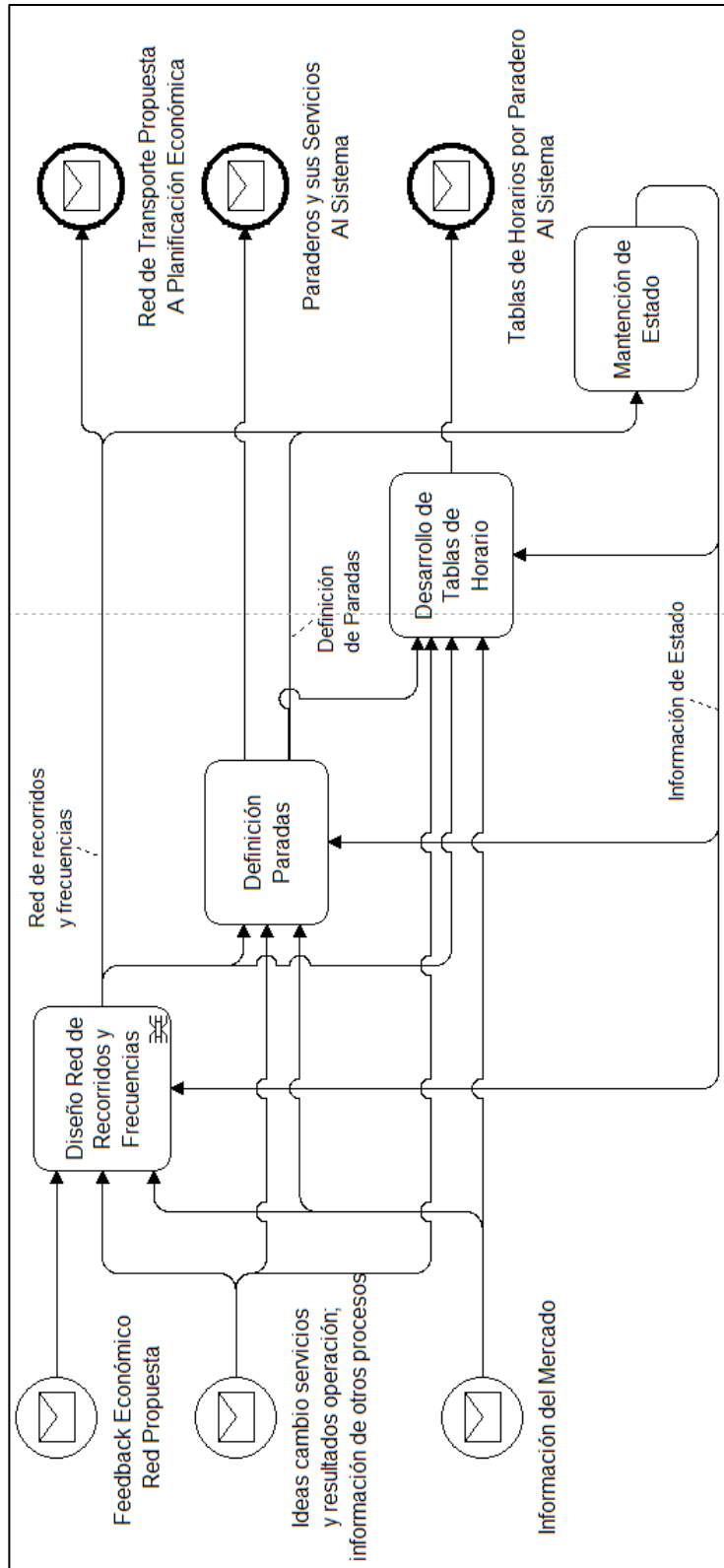
apoyo bastante útiles permitiendo algún grado de mejora en la red, no enfrentan el problema de planificación de transporte de la manera adecuada.

Luego de haber contextualizado el problema de planificación de transporte, se detallará el proceso propuesto al respecto para el Ministerio. Abriendo la caja “Planificación Red de Transporte”, se obtiene lo observado en la Figura 4. Este proceso, como se puede observar, presenta las tres etapas del diseño de la red de transporte que importan directamente a la autoridad de transporte: diseño de la red de servicios, determinación de las frecuencias y definición de las tablas de horarios. Con todo, se profundizará en sólo las dos primeras etapas; se deja abierta la forma en que se desarrollan las tablas de horarios, etapa para la cual existen varios algoritmos conocidos y probados.

- 1. Diseño Red de Recorridos y Frecuencias.** Este proceso posee las etapas necesarias para el correcto diseño de una nueva red de transporte. Es necesario resaltar que la red en general no se modifica completamente siempre, sino que en general sufre modificaciones paulatinas a lo largo del tiempo. Es por eso que se incluye un subproceso que guía estos cambios; comúnmente, la invocación del procedimiento para crear una nueva red de transporte sirve para divisar posibles mejoras a la red actual dados cambios en las variables de entrada.

Una red de transporte completamente nueva se crea e implementa cuando se cambian íntegramente las reglas con que se rige el proceso de creación de red: nuevas restricciones, nueva información topológica,

Figura 4: Planificación Red de Transporte



cambios importantes en la demanda, o incluso razones políticas, entre otras. Esto es lo que ocurrió, por ejemplo, cuando se implementó Transantiago. Sin embargo, tal como se explicó anteriormente, se deben considerar los antecedentes históricos cuando estos juegan un rol importante.

A continuación se procederá a abrir este proceso, el que se expone en la Figura 5.

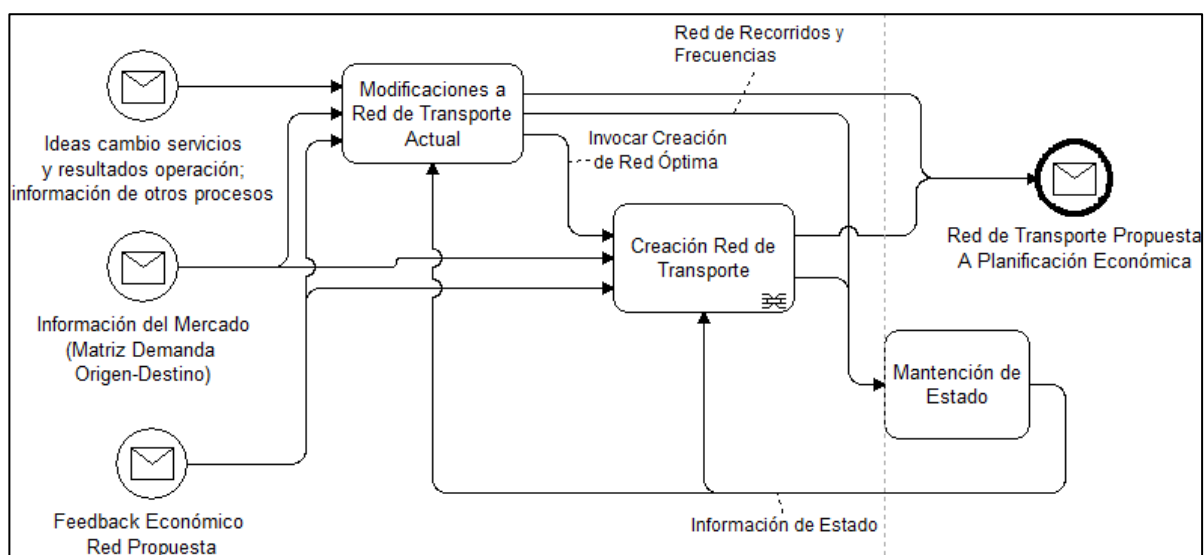


Figura 5: Diseño Red de Recorridos y Frecuencias

1. **Modificaciones a Red de Transporte Actual**, proceso que se encarga de realizar modificaciones importantes a la red actual de transporte; un periodo razonable en el que se pueden realizar estas modificaciones es cada 3 meses, tal como se hace actualmente en Transantiago con las modificaciones a los Planes de Operación (ver glosario 8 e). Las modificaciones se realizan en base a ideas provenientes de otros procesos, resultados de operación, cambios puntuales en la demanda, u otras razones que la autoridad estime pertinentes. Este proceso puede invocar el procedimiento de creación de la red óptima de transporte, la

cual permitirá realizar modificaciones globales y optimizadas a la red actual.

- 2. Creación Red de Transporte.** Este proceso es invocado cuando se requiere crear una nueva red óptima de transporte. La decisión para invocar a este proceso no debe realizarse a la ligera, debido a que su ejecución es considerablemente costosa. Debe entonces efectuarse cuando existen cambios significativos en las variables de entrada necesarios para el cálculo, o cuando se quiere probar el resultado de la red con distintos parámetros, como por ejemplo aumentando el número máximo de servicios, aumentando la cobertura, haciendo cambios en los niveles de calidad de servicio, entre otros.

Para ilustrar este proceso de forma más concreta, se utilizará la proposición del Doctor Ernesto Cipriani *et al.* en “Transit Network Design: a procedure and an application to a large urban area” (Paper bajo aprobación para “*Transport Research part C*”), quien junto a su equipo desarrolló un procedimiento para la creación de una red de transporte desde cero, a partir de la topología de la ciudad y las matrices de demanda Origen-Destino. Este procedimiento, desarrollado para la ciudad de Roma, es perfectamente extrapolable a una ciudad como Santiago, ya que ambas se caracterizan por una topología compleja en su red de calles, un sistema multimodal (buses y metro en el caso de Santiago) y demanda de transporte de muchos lugares a muchos lugares.

El procedimiento consiste de dos pasos principales, que incluyen:

- Un algoritmo heurístico creador de rutas que crea todas las rutas posibles a ser utilizadas, basado en los flujos de pasajeros, aplicando distintos criterios y reglas prácticas.

- Un algoritmo genético paralelo para encontrar el conjunto de rutas óptimo, con sus respectivas frecuencias de operación.

Cabe destacar que para poder aplicar este algoritmo es necesario el desarrollo de una aplicación que lo soporte para Santiago, cosa que no debería ser compleja contando ya con las especificaciones necesarias.

El diseño de la red de transporte se formula como un problema de optimización consistente en la minimización de todos los recursos y costos relacionados con el transporte público dada una demanda. La función objetivo a minimizar incluye tres términos principales, representando cada uno:

- Costos del usuario de transporte público, que incluye tiempo de viaje, tiempo de acceso, tiempo de espera y una penalización por transferencia realizada.
- Costos del operador de buses, que se representan a través de la distancia recorrida total y tiempo de tránsito total.
- Costo por demanda insatisfecha, que se incluye para evitar que la solución de mínimo costo “sin servicio y sin usuarios” sea elegida por el algoritmo.

A continuación se procederá a explicar cada paso del procedimiento, expuesto en la Figura 6.

- i. Antes del comienzo del algoritmo, se deben tener disponibles tanto la demanda de transporte como la red de calles, y su respectiva topología detallada.

- ii. Posteriormente, se inicia el algoritmo generando el conjunto de rutas posibles a través de tres subalgoritmos heurísticos que permiten crear rutas racionales y realistas. Cada uno de estos subalgoritmos crea las rutas según criterios diferentes, asegurando la existencia de rutas que son buenas tanto desde el punto de vista de los operadores como de los usuarios de transporte público.
- o **Rutas A:** El primer algoritmo crea las rutas A, correspondientes a las mejores rutas desde el punto de vista del usuario. Las rutas A unen los puntos de alta demanda de la red y que no son servidos por Metro en una distancia razonable. Se eliminan las rutas demasiado cortas para evitar demasiada superposición de rutas. Este subalgoritmo se detalla en la Figura 7.

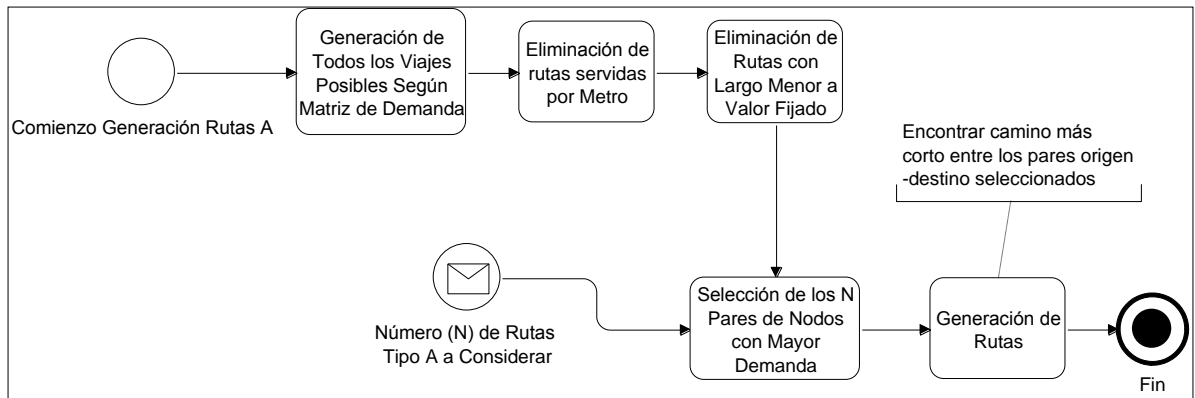


Figura 7: Rutas A

- o **Rutas B:** El segundo algoritmo se enfoca en la creación de rutas que ayuden en la creación de una red eficiente y que sea coordinada con otros modos de transporte, como Metro. La estrategia de diseño busca minimizar la capacidad de transporte subutilizada y entregar buenos puntos de transbordo. Estas rutas corresponden a las mejores desde el punto de vista del operador de buses.

El subalgoritmo crea primero un esqueleto de la red de transporte y posteriormente establece las rutas sobre este esqueleto.



Figura 8: Rutas B

La definición del esqueleto de la red, mostrado en la Figura 9, consiste en un procedimiento iterativo de asignación de demanda del tipo todo o nada. En esta parte, no se utilizan rutas completas sino arcos (segmentos de rutas). En cada iteración se modifica la velocidad del flujo de desplazamiento de los pasajeros en los arcos de la red, de acuerdo al nivel de volumen de usuarios en esa unión, promoviendo de esta forma la agregación de la demanda en ciertos arcos. Así se logra explotar la particularidad del transporte público, en donde se mejora el nivel de servicio cuando la demanda aumenta, pues se requiere un menor tiempo entre buses para satisfacer la mayor cantidad de pasajeros.

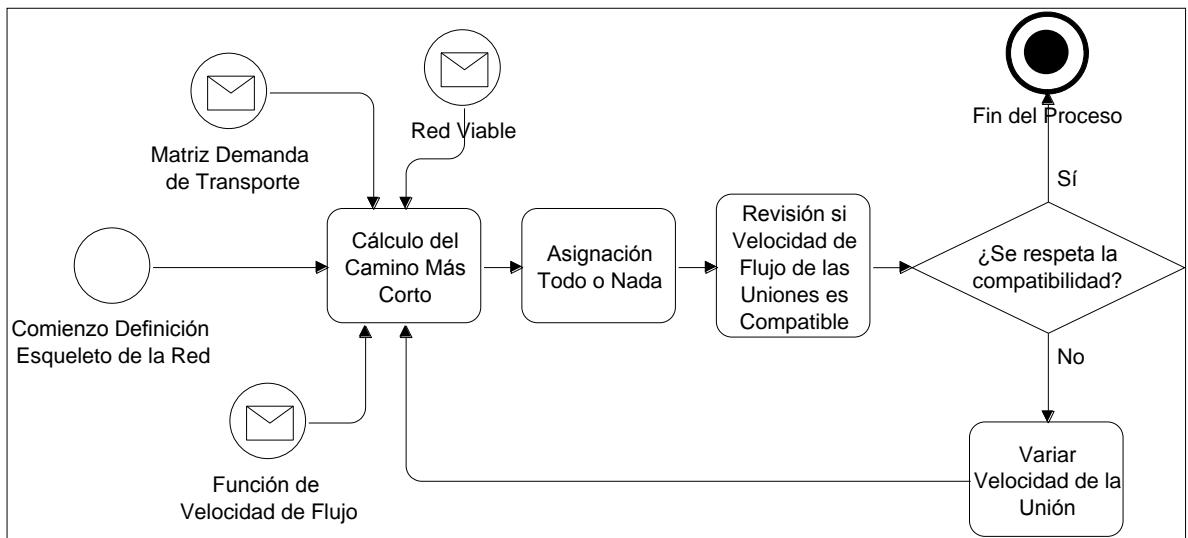


Figura 9: Esqueleto de la Red, Rutas B

El todo o nada implica la asignación completa, en un paso, de todo el volumen de demanda, sin requerir de iteraciones adicionales para ajustar los volúmenes en los arcos, a menos que no se respete la compatibilidad de velocidad de flujo (esto es, que el arco en cuestión realmente pueda soportar tal flujo según la topología).

Luego de la generación del esqueleto, las rutas se crean utilizando una estrategia de elección e inserción basada en los volúmenes de pasajeros en cada arco.

Los puntos de partida de las rutas B pueden ser identificadas directamente de acuerdo a las características de la red actual, como por ejemplo centros importantes de tránsito de pasajeros, puntos de partida actuales que se desee conservar o estaciones principales de la red de Metro, o también pueden ser identificadas automáticamente como los arcos con los mayores volúmenes de pasajeros.

La construcción de las rutas comienza, para cada punto de partida seleccionado, seleccionando el arco adyacente con el mayor volumen de pasajeros. Luego se añade el siguiente arco con mayor volumen desde el nodo al que llegó la ruta, y así sucesivamente, siguiendo ciertas restricciones (el siguiente nodo debe estar más cerca del terminal de destino y el volumen del arco debe ser mayor a cierto volumen mínimo). Cada volumen de pasajeros servido por una ruta se elimina para que no sea repetido por otra posteriormente.

Luego de que se generó una ruta, desde el nodo final de ésta y/o desde los nodos intermedios, si es que existen arcos adyacentes que cumplen con las reglas de inserción, se realiza la generación de una nueva ruta a partir de ese nodo.

- **Rutas C:** Las últimas rutas utilizadas como posibles para la red de transporte nueva son las actuales. Esto permite rescatar las mejores rutas de la red vigente, además de que si la red de transporte tiene un tiempo de vida alto, su red puede ya poseer un grado de optimización importante dadas las mejores sucesivas que puede haber sufrido, conocimiento que es importante que el algoritmo considere.
- iii. Posterior al cálculo de las rutas posibles, éstas se unen en un repositorio único y pasan por una fase de limpieza, eliminando rutas que se parecen demasiado o que no poseen un largo adecuado para una red de transporte.
- iv. En la siguiente fase se da comienzo al Algoritmo Genético Paralelo (AGP). Los algoritmos genéticos son algoritmos de optimización

estocástica basadas en la aplicación de conceptos de selección natural y genética sobre una población. En los últimos años, han sido usados recurrentemente para resolver problemas de optimización; para el problema en particular de diseño de redes transporte, ya en 1993 Xiong y Schneider mostraron que los algoritmos genéticos podrían resolver eficientemente este problema, y en 2003 Chakroborty analizó y demostró la efectividad de estos algoritmos para resolverlos. Muchas otras aplicaciones han encontrado los algoritmos genéticos en la resolución de varios problemas de planificación de transporte.

Luego de la definición de algunos parámetros del algoritmo genético, como lo son las probabilidades de ocurrencia de los operadores genéticos (que no deberían cambiar después de encontrarse los mejores) o el número de cromosomas por individuo (es decir, el número de líneas por red de transporte, el cual varía para probar redes con distinto número de líneas de buses), se comienza con la inicialización de la población, que selecciona un conjunto de “m” individuos (redes de transporte), donde sus cromosomas (las rutas) son seleccionados al azar entre las rutas factibles ya definidas.

- v. Continuando con el AGP, se obtienen las frecuencias para cada línea de todas las redes de transporte generadas. El procedimiento de asignación de frecuencias, propuesto por Baaj y Mahmassani en 1992 y mostrado en la Figura 10: Proceso de Asignación de Frecuencias a la Red de Transporte, consiste en un proceso iterativo

que comienza con una asignación de frecuencia tentativa para cada ruta y posteriormente, a partir de estas frecuencias, genera *Hyperpaths*³ utilizando la demanda de transporte.

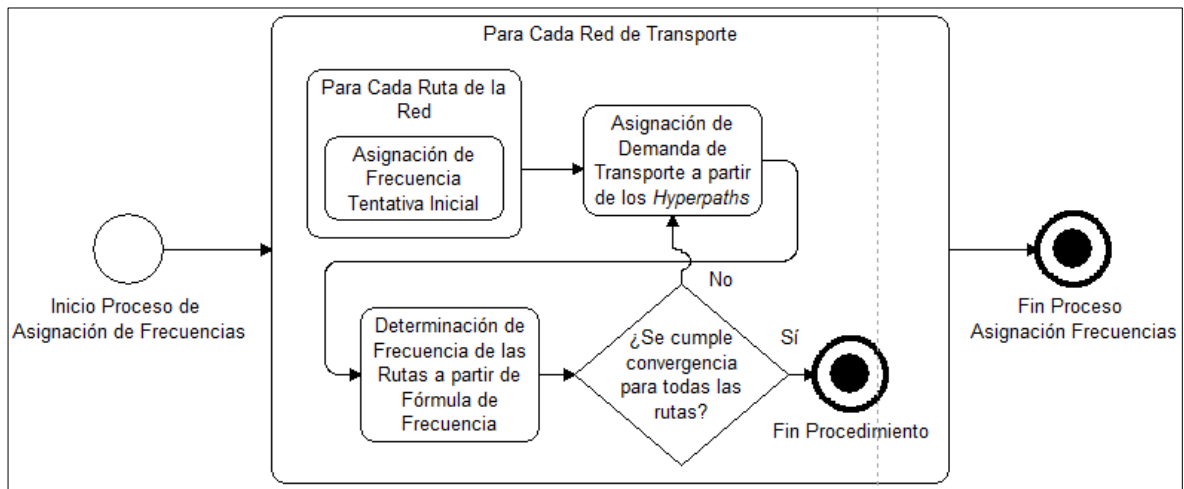


Figura 10: Proceso de Asignación de Frecuencias a la Red de Transporte

Posteriormente, y utilizando la ecuación de definición de frecuencia presentada a continuación, se determina la frecuencia para cada ruta.

$$\text{Frecuencia por Hora}_{\text{Ruta } i} = \frac{\text{N}^\circ \text{ Pasajeros por Hora Segmento } h_{k_{\text{Ruta } i}}}{\text{Factor de Carga Máxima} * \text{Capacidad Bus}}$$

El *Factor de Carga Máxima* permite definir qué tan cercana a la demanda real es la oferta. Su valor debe ser definido por el

³ En algunos problemas de asignación de caminos en redes, en particular en las redes de transporte público, el concepto clásico de camino posee el problema de no tomar en cuenta factores únicos tales como elección de itinerario de los usuarios, entre otros. Los *Hyperpaths* corresponden a un conjunto de caminos para un usuario, donde cada camino posee una probabilidad finita de ser tomado. Esto permite tomar en cuenta las distintas opciones de transporte de los usuarios y presentar una solución más realista.

diseñador y no puede ser mayor a uno, pues no se estaría satisfaciendo la demanda. Para ilustrarlo mejor, para que un valor de uno de este parámetro satisfaga la demanda, se debe suponer que los buses irán al 100% de su capacidad constantemente y que los usuarios los toman de forma uniformemente perfecta.

El procedimiento se repite calculando nuevamente los *Hyperpaths* con las nuevas frecuencias definidas, hasta que éstas convergen. A pesar de que la convergencia no está asegurada por el algoritmo, pruebas han mostrado la convergencia en un bajo número de iteraciones.

- vi. Posteriormente se evalúa la función objetivo para las redes, para lo cual se debe simular cada una, en donde se utiliza, por ejemplo en el caso de Roma, el lenguaje de scripting del software Emme, de INRO.
- vii. Se selecciona el 10% de mejores individuos (individuos con mejor valor en su FO), quienes pasarán sin cambios a la siguiente iteración (o generación). Este paso corresponde a la selección natural de los mejores individuos.
- viii. En este paso se divide el 90% restante de la población para ser ejecutado el Algoritmo Genético Paralelo en dos procesadores. Los operadores genéticos realizados durante un número definido de iteraciones son:
 - **Cruzamiento:** Se toma un par de individuos (redes) y se generan dos individuos nuevos (hijos) combinando sus cromosomas (rutas).
 - **Mutación:** Modifica al azar, con un grado de probabilidad, parte de los cromosomas de los individuos. Esto permite crear cromosomas (rutas) que no habían sido creadas anteriormente en el espacio de rutas factibles.

- **Elitismo:** Permite salvar los mejores cromosomas para la siguiente iteración.
- ix. Luego de unir ambas poblaciones e incluir el 10% mejor que pasó directamente a esta etapa, se procede a asignar frecuencias y calcular las funciones objetivo. En este caso, se selecciona el 50% de los mejores individuos que pasan a la siguiente iteración. Esta vez y en adelante en las iteraciones, ambos procesos paralelos trabajan con la misma población inicial.

Una vez que se detecta que la función objetivo en un individuo no ha sido superada o se ha alcanzado el número máximo de iteraciones, se guardan los resultados y si se desea se puede volver a realizar el proceso de algoritmo genético paralelo; el parámetro de número de líneas por red puede variar bastante los resultados de la función objetivo por lo que vale la pena recalcular con diferentes valores.

- x. Finalmente, se define la red óptima calculada (la que posee el menor valor de función objetivo). Cabe destacar que es posible que una red con un valor un poco más alto en su función objetivo podría ser elegible también por tener otras características deseables, tales como menores costos para los operadores o mejor calidad de servicio.

La aplicación de este algoritmo en la ciudad de Roma, arrojó a sus diseñadores una red en la que garantizando un nivel de servicio y cobertura equivalente al servicio actual, se disminuyó en un 30% el tiempo de espera de los pasajeros, en un 50% el número de líneas y se redujeron en un 20% los costos de operación.

El detalle de las fórmulas del problema de optimización, u otro punto expuesto, puede ser visto en el paper citado.

Luego de haber revisado a fondo el proceso de Diseño Red de Recorridos y Frecuencias, es posible seguir detallando los subprocesos de Planificación Red de Transporte (Figura 4: Planificación Red de Transporte).

2. Definición de Paradas. La definición de las paradas es un paso importante en la Planificación de Transporte, pues influye tanto en la accesibilidad, el rendimiento y el nivel de servicio. Si están muy juntas entre sí, se asegura una buena accesibilidad, pero al mismo tiempo se disminuye la velocidad promedio de viaje de los buses. Para definir las paradas de buses existen numerosos algoritmos, aunque en general las razones de costumbre de la población con las paradas actuales poseen un peso importante. La resolución de este problema se dejará abierta. Murray (2003) es un autor a revisar.

3. Desarrollo de Tablas de Horario. Tal como se aclaró anteriormente en la explicación de los pasos de la Planificación de Transporte, el desarrollo de las tablas de horario posee muchas ventajas. Existen, además, numerosos algoritmos que permiten solucionar este problema, a partir de la red de transporte y las frecuencias. Incluso existen softwares comerciales, tales como Hastus, de GIRO. Es por eso que se deja abierta también la resolución de este problema.

Completado el desarrollo del proceso de Planificación Red de Transporte, se puede volver al macroproceso de Planificación Estratégica y su siguiente proceso a explicar.

4. Planificación Económica. Este proceso es el encargado de entregar toda la retroalimentación desde un punto de vista económico a las redes de transporte propuestas. Al recibir propuestas de cambios en la red, la

Planificación Económica debe ver la factibilidad económica de realizarlos, a través de la revisión de los costos y ganancias extras o disminuciones de éstos que incurrirán los concesionarios y/o el sistema.

Otra tarea importante de la planificación económica es la definición de las áreas de concesión a partir de la red de transporte, subdividiéndola en zonas y en servicios troncales, y realizar cambios en éstos cuando sea necesario.

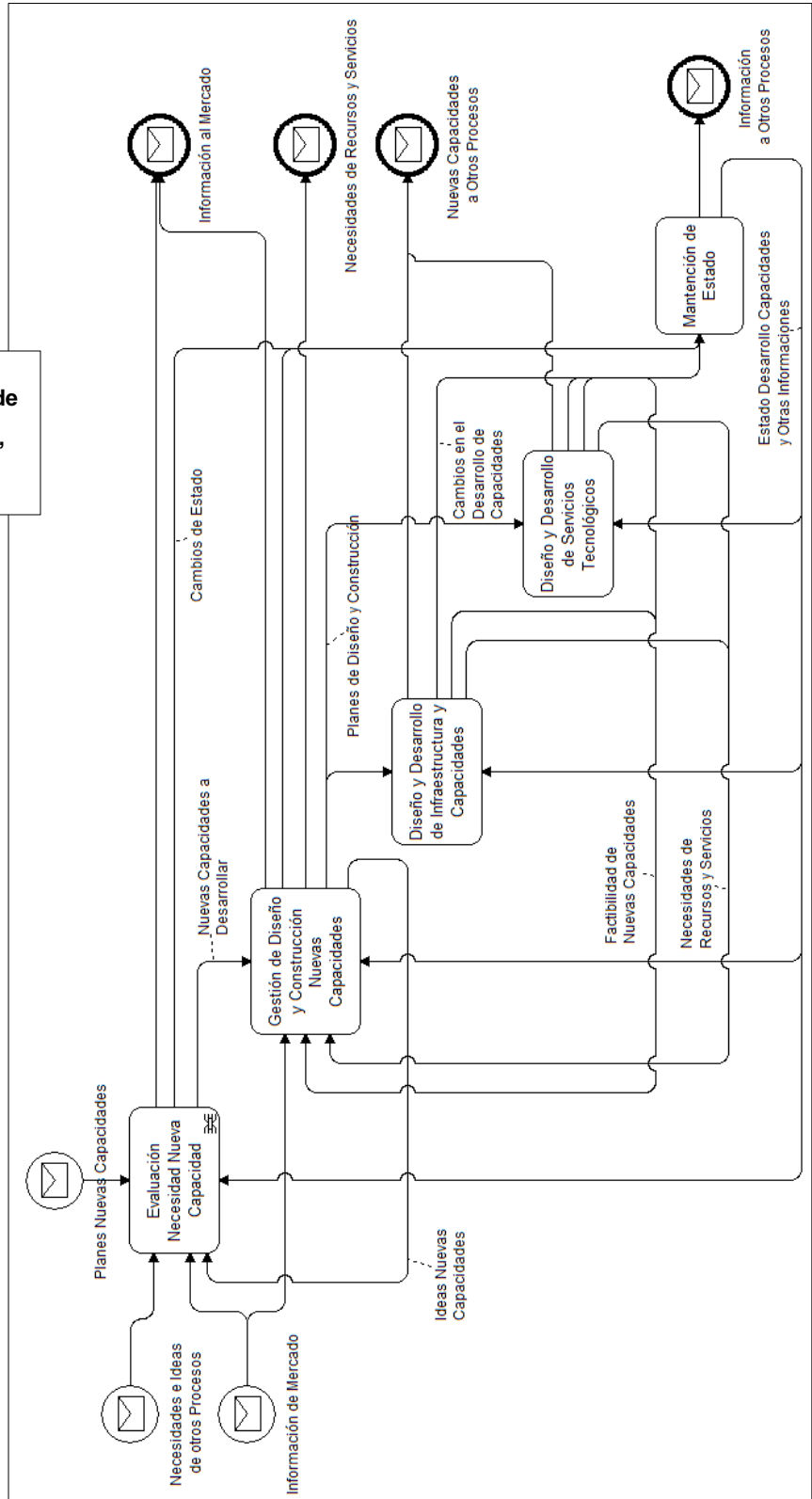
Como se ha visto, el macroproceso de Planificación Estratégica incluye todos los procesos necesarios para diseñar desde lo que se desea para el sistema de transporte público con una visión de largo plazo, hasta la definición misma de la red de transporte, la cual por ser la base de cualquier sistema de transporte requiere de una mirada estratégica.

4.4.3 Desarrollo de Nuevas Capacidades (Ministerio)

El macroproceso de Desarrollo de Nuevas Capacidades, expuesto en la Figura 11, pretende ser el motor de los cambios tecnológicos y de mantención que permitan al sistema permanecer en el “*state of the art*” del transporte público, convirtiendo a Transantiago en un modelo mundial a seguir.

Dentro de las labores de este macroproceso, se encuentran, entre otros, la capacidad de innovación en elementos materiales que pueden mejorar el sistema, tales como nuevas formas de entregar información, implementación de infraestructura de vanguardia y de nuevos sistemas tecnológicos, mejorando también constantemente lo que ya existe.

Figura 11: Desarrollo de Nuevas Capacidades, Ministerio



Adicionalmente, es necesario considerar en este macroproceso la innovación en otras áreas, tales como mejoras en los procesos, creación de nuevos, cambios en la estructura organizacional, e incluso cambios en los otros macroprocesos ya existentes.

En el caso presentado, se realiza una separación entre lo que es el desarrollo de nueva infraestructura y capacidades, y el desarrollo de nuevos servicios tecnológicos tanto para los usuarios como de apoyo al sistema. Esto se debe a que ambas áreas requieren de competencias distintas y poseen una importancia demasiado elevada ya independientemente como para entremezclarse. De esta forma se asegura una mejora continua más eficaz, el cual corresponde al objetivo final de este macroproceso.

Cabe destacar que todos los cambios importantes que se incuben en el Desarrollo de Nuevas Capacidades deben pasar también por la Macro 3, quien al ser el macroproceso encargado de establecer los lineamientos estratégicos, debe tomar la decisión final sobre la implementación de estos nuevos proyectos.

La estructura de este macroproceso sigue un patrón tal que existe un proceso de gestión que controla el diseño y desarrollo. A continuación se procederá a explicar cada uno de los procesos.

- 1. Evaluación Necesidad Nueva Capacidad**, el cual realiza los análisis necesarios de la información que motiva y valida los proyectos, y

posteriormente realiza la evaluación económica formal necesaria. En general, como este proceso pertenece al Ministerio, las evaluaciones de los proyectos se deben realizar desde un punto de vista social, aunque evaluaciones privadas pueden ser necesarias en el caso de requerir la contratación, en ciertos proyectos, de servicios de empresas no pertenecientes al sector público, como al implementar un nuevo Sistema de Apoyo a la Explotación de Flota, y de esta forma conocer mejor el costo incurrido.

Entrando en este proceso, podemos encontrar las siguientes actividades, expuestas en la Figura 12.

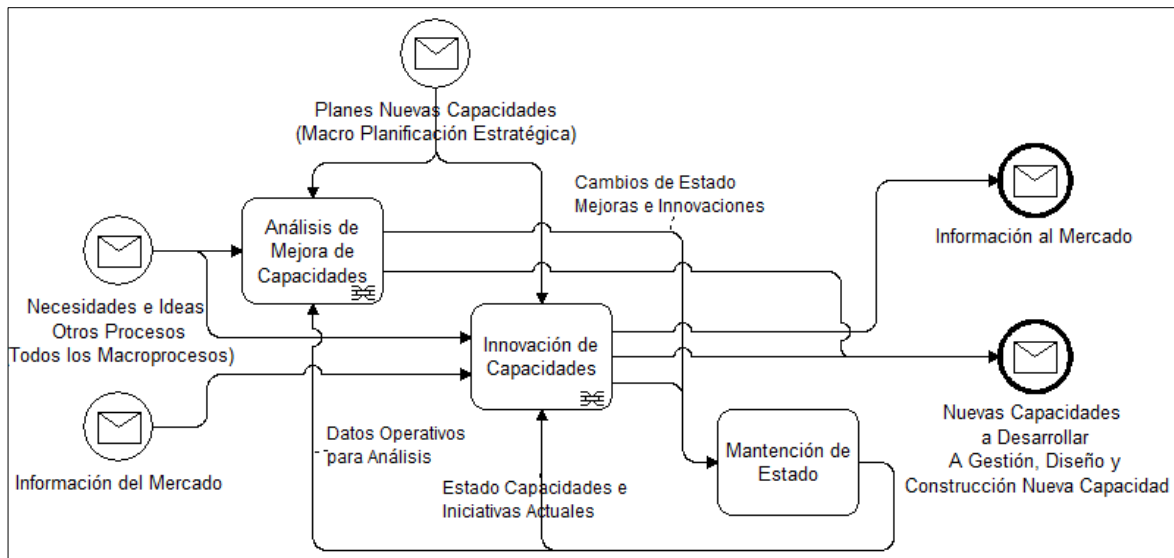


Figura 12: Evaluación Necesidad Nueva Capacidad

- 1. Análisis de Mejora de Capacidades**, proceso que aprovechando toda la información operativa de la cadena de valor (Macro 1) y recursos habilitadores (Macro 4), y a las ideas provenientes de éstos, genera proyectos de mejora de lo actual. Por ejemplo, una de las entradas podrían ser los reclamos de los usuarios por poca información de las

frecuencias de los buses, lo que podría gatillar un proyecto de entrega de información mediante paneles de información.

Detallando aún más este proceso, tal como se expone en la Figura 13, podemos encontrar los siguientes subprocesos que se desarrollan en forma continua.

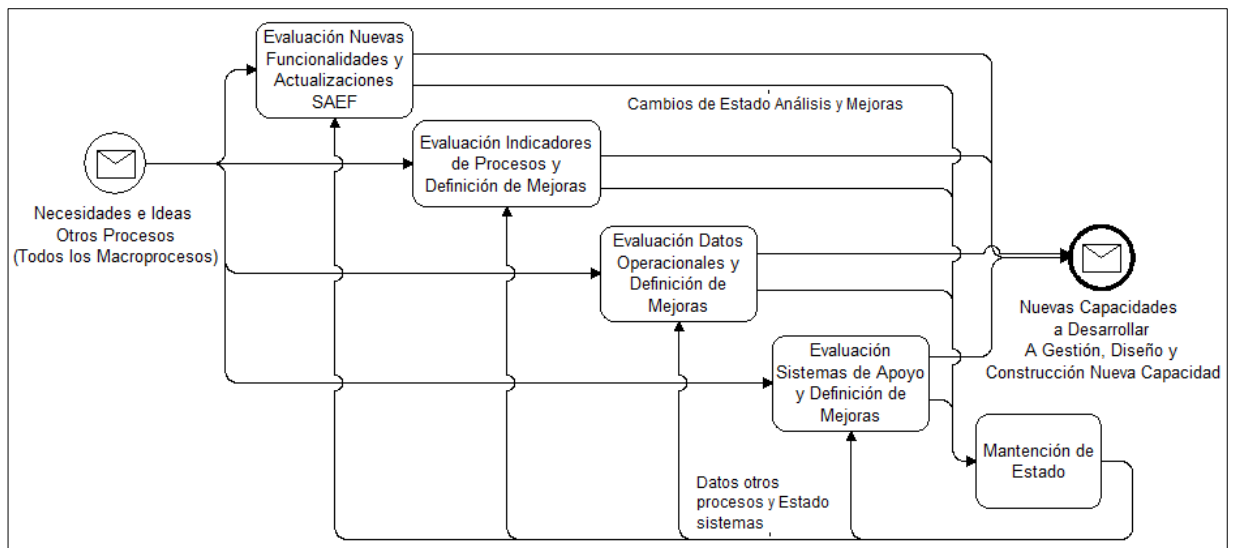


Figura 13: Análisis de Mejora de Capacidades

- **Evaluación de Nuevas Funcionalidades y Actualizaciones SAEF:** Se ocupa de mantenerse al día con respecto a todo lo nuevo que puede existir con respecto a funcionalidades y actualizaciones del Sistema de Apoyo a la Explotación de Flota, y de evaluar la implementación de estas mejoras en el sistema.
- **Evaluación Indicadores de Procesos y Definición de Mejoras:** A partir de los datos obtenidos de otros procesos, sobre tiempos de ejecución y reclamos, por ejemplo, se pueden definir mejoras concretas a éstos. Tales como mejores tiempos de ejecución a través de eliminación de actividades que no aportan, o la implementación de nuevos indicadores que permitan medir mejor la eficacia de cada proceso.

- **Evaluación Datos Operacionales y Definición de Mejoras:** En este proceso se revisan constantemente los resultados operacionales de los operadores de buses, de los servicios de apoyo a la explotación y de información a usuarios, con el objetivo de encontrar puntos de mejoras en especial para los usuarios finales. Un ejemplo podría ser el encontrar que el servicio de información a usuarios vía internet sufre colapsos en ciertas horas, lo que implicaría exigir a la empresa proveedora la implementación de servidores adicionales para soportar el número de visitas sin problemas.
- **Evaluación Sistemas de Apoyo y Definición de Mejoras:** Además de la revisión de los datos operacionales, es posible examinar otros indicadores de los sistemas de apoyo de Transantiago que podrían gatillar la necesidad de mejoras. Algunos de ellos son la disponibilidad de los servicios, su cobertura, sus tiempos de respuesta, entre otros. Cabe destacar que en los sistemas de apoyo se incluyen los sistemas que pueden ser internos del Ministerio en su rol de diseñador y supervisor, tales como *workflows*, intranet, sistema de correo, etc.

2. Innovación de Capacidades. El enfoque de este proceso es el de generar en forma sistemática nuevas capacidades en todos los ámbitos posibles, desde nuevos servicios, pasando por tecnología, nuevos procesos, entre otros. Todo lo anterior requiere el mantenerse en la vanguardia de lo que es el transporte público en el mundo, para lo que se necesita de investigación constante. En la Figura 14 se detallan las actividades de este proceso, explicadas a continuación.

- **Evaluación Nuevas Tecnologías Mundiales ITS:** Las ITS, Sistemas de Transporte Inteligente (por sus siglas en inglés), agrupan a las tecnologías de apoyo para la explotación de flota, tecnologías de pago electrónico, de información a los usuarios e infraestructura de vanguardia; en otras palabras, son todas las tecnologías que permiten una gestión y operación eficiente de los sistemas de transporte público. El objetivo de este proceso es permanecer al tanto de las últimas y mejores ITS que se desarrollen en el mundo, con el fin de estudiar su implementación en Transantiago.

- **Monitoreo Constante del “State of the Art”:** Este proceso se enfoca, más que en el estudio de la tecnología como lo hace el proceso anterior, en la investigación y monitoreo de los métodos, procesos y algoritmos del *state of the art* en transporte público en el mundo. Para lo anterior, se pueden estudiar las publicaciones en el mundo sobre transporte público, asistir constantemente a ferias y seminarios de transporte y por último contratar asesorías de expertos en el tema cada cierto tiempo.

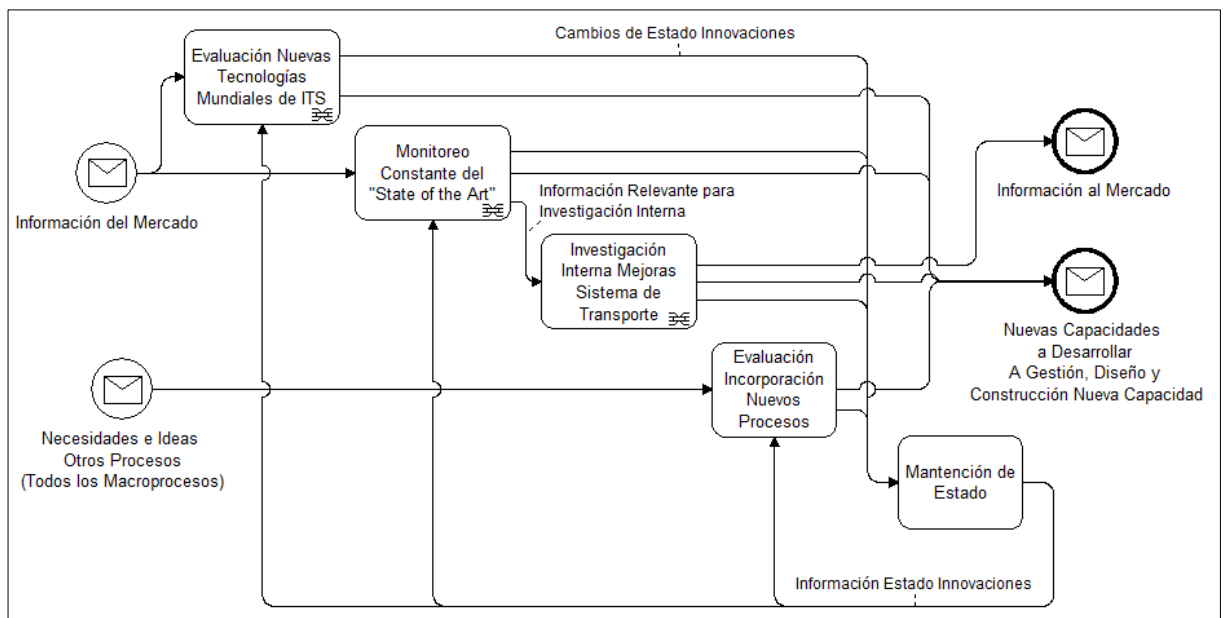


Figura 14: Innovación de Capacidades

- **Investigación Interna Mejoras Sistema de Transporte:** En este proceso se realiza investigación dirigida a temas de sistemas de transporte público. Para esto se requiere contar con un equipo de expertos permanente, contratados de forma directa o a través de asesorías, que permita el desarrollo de nuevo conocimiento en el tema. Algunas de las áreas de investigación a considerar son modelos de transporte público, diseño de redes de transporte y optimización en el uso de recursos (buses, paraderos, personas e infraestructura principalmente). Este proceso puede considerar también alianzas con universidades para la realización de investigación conjunta.

El objetivo de este proceso, además de mejorar el sistema en sí, es generar conocimiento en temas de transporte público que transforme a Transantiago en generador de conocimientos extrapolables a nivel mundial.

- **Evaluación Incorporación Nuevos Procesos:** A partir de las necesidades e ideas provenientes de procesos establecidos, se estudia la incorporación de otros nuevos. Se pueden generar procesos de cualquier tipo y en cualquier macroproceso; no hay restricciones. Un ejemplo de la necesidad de incorporación de un nuevo proceso es cuando se implementa un nuevo servicio de información a los usuarios y se requiere de que el Ministerio tenga un rol activo sobre éste; este proceso tendrá que asignar personas que se ocupen de esta labor.

Retornando el macroproceso de Desarrollo de Nuevas Capacidades, es posible continuar detallando los siguientes procesos.

- 3. Gestión de Diseño y Construcción Nuevas Capacidades,** proceso que ejecuta los subprocesos y actividades necesarias para determinar los recursos requeridos por cada proyecto: obtiene y asigna estos recursos y genera un plan de trabajo. Algunas de las decisiones que debe realizar para cada proyecto son la necesidad de construcción de un prototipo, la asignación de personal competente y el desarrollo de un plan de acción.
- 4. Diseño y Desarrollo de Infraestructura y Capacidades** es un proceso de ejecución de los proyectos de infraestructura y las nuevas capacidades que no tienen que ver con servicios tecnológicos. Dirigido por el proceso anterior, ejecuta los planes de acción, las asignaciones de personal y realiza las actividades necesarias del proyecto.
- 5. Diseño y Desarrollo de Servicios Tecnológicos** es equivalente al proceso anterior, pero su enfoque es total en los servicios tecnológicos

de Transantiago. La razón de separar en dos ámbitos estos dos procesos es que se requiere la existencia de áreas especializadas en el Ministerio que permitan ejecutar estos proyectos sin problemas; esto no implica que no puedan utilizarse competencias cruzadas de ser requerido.

Como se ha observado, los proyectos ejecutados por el macroproceso de Desarrollo de Nuevas Capacidades del Ministerio, no sólo se enfocan en el mejoramiento interno de esta entidad, sino también de todos los actores del sistema, y en particular de los sistemas de apoyo tecnológico, que son vitales para un correcto funcionamiento del transporte público moderno. Por último, permiten al Transantiago permanecer como polo mundial de avances en transporte público.

4.4.4 Cadena de Valor (Operadores de Buses)

Este macroproceso posee una mirada distinta a la de los macroprocesos vistos hasta ahora, debido a que el operador de buses corresponde a un ente privado. Es acá, además, donde se brinda directamente el servicio de transporte, y depende directamente de cada empresa concesionaria la realización eficiente de esta tarea.

El detalle de este macroproceso se expone en la Figura 15.

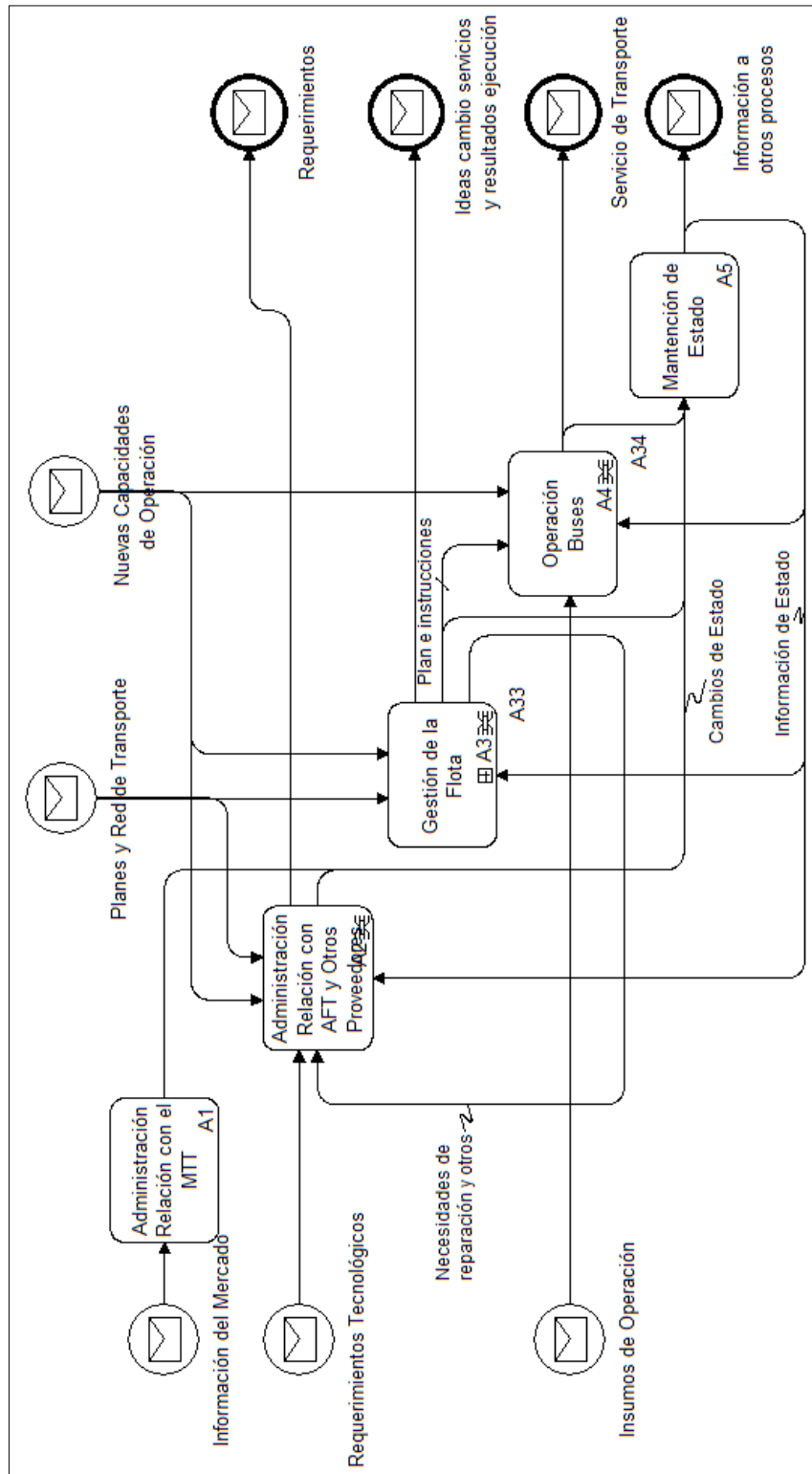


Figura 15: Cadena de Valor, Operadores de Buses

La razón de proponer un macroproceso de un ente exterior al Ministerio, se basa en la necesidad de realizar una exigencia mínima de procesos que deben ejecutar las empresas operadoras de buses con el fin de que puedan cumplir con su labor de manera correcta. Por ejemplo, se requiere la existencia de comunicaciones constantes, en tiempo real, entre el Centro de Monitoreo de Buses, perteneciente al Ministerio, y el Centro de Operación de Flota de cada concesionario, para exigir mejoramientos o realizar coordinaciones en la operación en caso de haber problemas. Por lo tanto deben existir procesos especiales que puedan manejar estas comunicaciones. Además, es probable que existan pedidos especiales de parte del Ministerio debido a la ocurrencia de situaciones fortuitas, que los operadores deben ser capaces de absorber.

No obstante, los operadores tienen la libertad de realizar el detalle exhaustivo de estos procesos dada su forma interna de operar; estos procesos no pretenden ser versiones finales. A continuación se explica cada uno con mayor detalle.

- 1. Administración Relación con Ministerio.** Proceso encargado de realizar todas las comunicaciones necesarias con el Ministerio, con respecto a la gestión de contratos, definición de pagos, definición de objetivos de operación, cambios en los servicios prestados, entre otros. Este proceso, sin embargo, no se encarga de solucionar cuestiones operacionales que deben ser solucionados en el mismo día de su aparición.

2. Administración Relación con AFT y Otros Proveedores. AFT, que en este caso se refiere a los servicios de SAEF y de pago electrónico, corresponde formalmente a un proveedor de servicios para los operadores, por lo que debe ser considerado como tal.

Este proceso se encarga de realizar todos los requerimientos necesarios a los proveedores tanto de insumos para la operación como de servicios de apoyo a ella. Debe escoger a los mejores proveedores, planificar y programar las entregas y gestionar los inventarios, además de controlar que todo sea correctamente realizado.

Algunos ejemplos de requerimientos a proveedores son repuestos, buses nuevos, combustible.

Ejemplos de requerimientos a AFT son órdenes de servicio por problemas en el equipamiento tecnológico a bordo, problemas con equipos en el Centro de Operación de Flota, problemas en validadores de tarjetas de pago en los buses, todos los cuales deben ser gestionados y seguidos para supervisar su resolución por parte de la empresa responsable.

3. Gestión de Flota, proceso que se encarga de planificar y controlar el funcionamiento de la flota, incluyendo las necesidades de cambios en ésta (compras de más buses y requerimientos de servicios, por ejemplo), así como del control de ésta en tiempo real.

En este proceso el operador de buses debe realizar los pasos 4 y 5 de la Planificación de Transporte, correspondientes a establecer los programas de los buses y de los conductores, además de los turnos de los últimos. Para aquello, puede utilizar como apoyo los softwares ya expuestos (punto 4.4.2.1.5). Al realizar estas planificaciones, este

proceso posee la información necesaria para establecer las necesidades y controlar la flota de buses sin problemas.

Profundizando en este proceso, se tiene lo expuesto en la Figura 16. A continuación se procede a explicar cada subproceso.

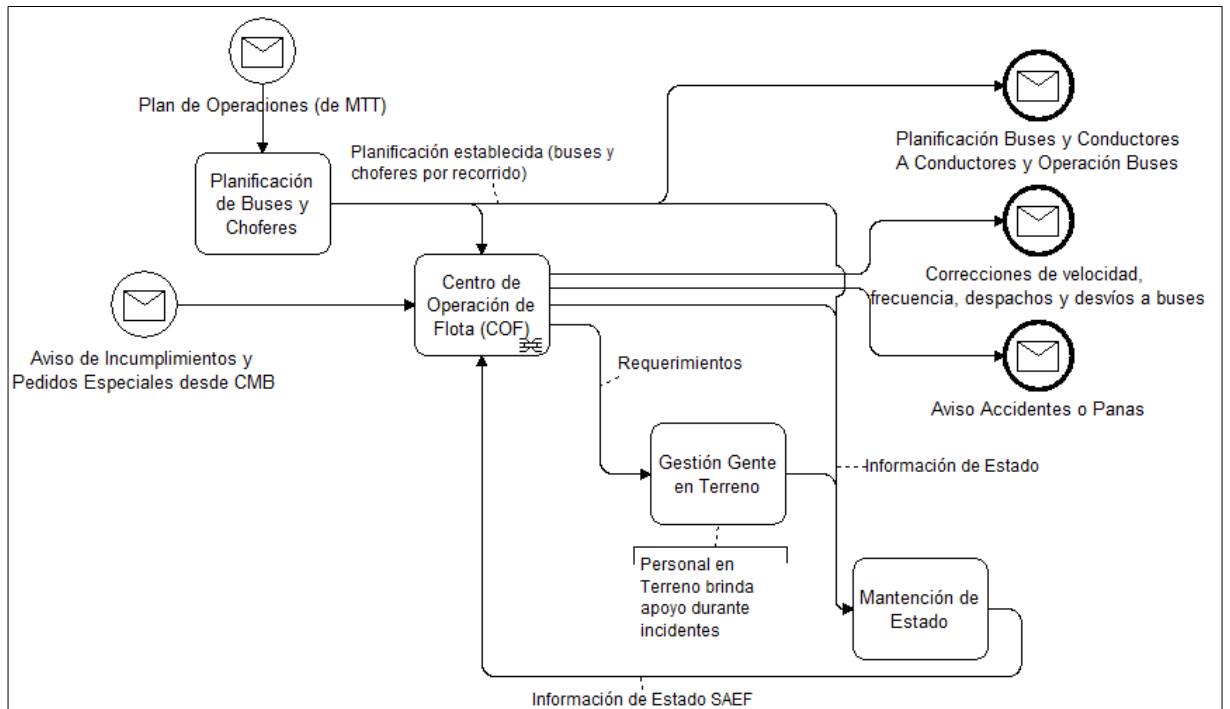


Figura 16: Gestión de Flota

1. Planificación de Buses y de Choferes, proceso que a partir de la información entregada por el Ministerio (red de transporte, frecuencias, tablas de horarios y áreas de concesión), ejecuta la programación para los buses y establece los horarios y turnos de los conductores.

Esta información sirve como base tanto para la operación de los buses, que debe cumplir lo mejor posible este plan, como para el próximo subproceso a explicar, el que se encarga de monitorear la correcta ejecución de esta programación.

2. Centro de Operación de Flota (COF). Esta entidad agrupa varios procesos relacionados con el control y la supervisión de la flota, en especial de gestión en tiempo real sobre ella. La razón de dar el nombre de una entidad a un conjunto de procesos se debe a que estos procesos están físicamente relacionados con lo que es el COF; todos se deben ejecutar desde este lugar, ya que es el único con las herramientas tecnológicas adecuadas para realizarlos de forma eficiente.

Detallando este proceso (Figura 17), podemos encontrar los siguientes subprocesos:

- **Supervisión de Cumplimiento Itinerarios y Regularidad**, es el que debe utilizar constantemente las herramientas tecnológicas disponibles para monitorear que la flota esté cumpliendo con la programación. Además, debe alertar la aparición de incidentes apenas estos ocurran. En este proceso ocurren también las comunicaciones vía mensajes o llamadas a los conductores cuando existen eventos que el SAEF no puede manejar automáticamente y se requiere la intervención humana, tales como en la necesidad de desviar buses por choques, acelerar despachos de buses, gestionar no cumplimientos avisados desde el Centro de Monitoreo de Buses del Ministerio, entre otros.
- **Gestión de Incidentes**, proceso especializado en el manejo de incidentes que pueden afectar a los buses, en donde se incluyen accidentes, averías y asaltos. La necesidad de tener un proceso especializado en esta área se debe a la importancia que tiene actuar con rapidez en el momento de un incidente grave. Además, la cantidad de incidentes diarios, especialmente en concesionarios grandes, justifica doblemente la existencia de este proceso.

Este proceso debe dar aviso a los organismos necesarios (carabineros, bomberos, ambulancia) y mantener una constante comunicación con los buses en el transcurso del incidente, hasta su resolución.

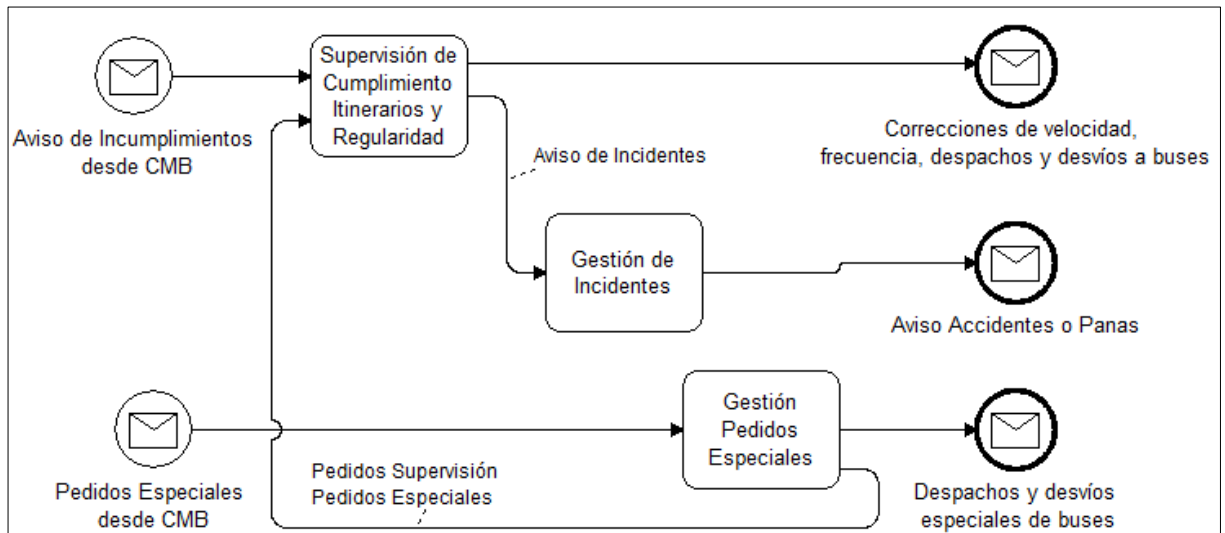


Figura 17: Centro de Operación de Flota

- **Gestión Pedidos Especiales**, el cual debe recibir y gestionar las solicitudes especiales provenientes del Centro de Monitoreo de Buses del Ministerio. Entre los pedidos que pueden llegar se encuentra la necesidad de inyectar buses, el apoyo a algún concesionario con problemas (paros de personal, por ejemplo), realizar recorridos especiales por eventos únicos, entre otros.

3. Gestión de Gente en Terreno. Este proceso se encarga de manejar al personal en terreno que posee la empresa. Este personal es el responsable de ordenar el despacho de los buses en los cabezales, apoyar en terreno en caso de incidentes, realizar supervisión a los conductores, como también realizar capacitación a los conductores nuevos, entre otros. Los requerimientos al personal en terreno debido a incidentes en la ruta, provienen desde el COF. Si no hay requerimientos desde esta entidad, el personal en terreno debe encargarse de las otras tareas ya mencionadas.

Regresando a la vista general de la macro 1 de los operadores, se tiene el proceso de Operación Buses.

4. Operación Buses. Este proceso es el encargado de ejecutar correcta y eficientemente la planificación de los buses y de los conductores.

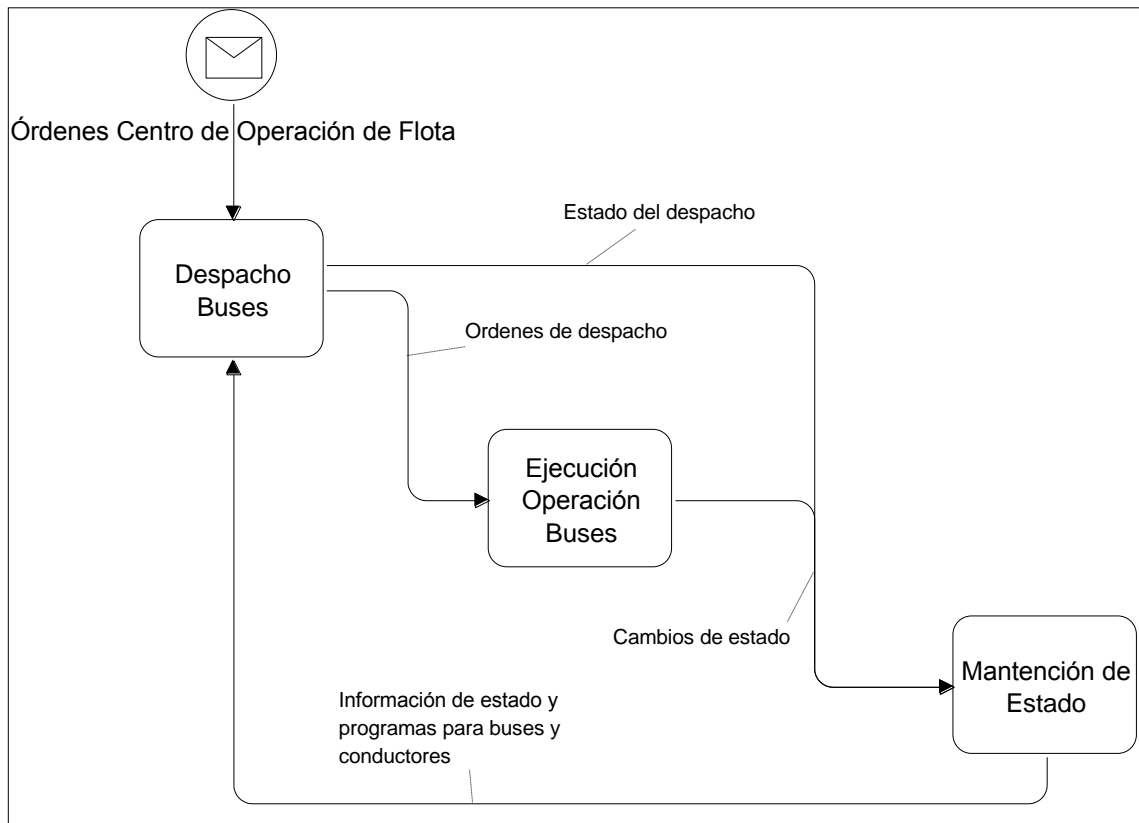


Figura 18: Operación Buses

Para realizar esta tarea, y tal como se muestra en la Figura 18, el proceso de Despacho de Buses debe garantizar que los buses salgan a la hora programada, y en el servicio que les corresponde, desde todos los cabezales. La ejecución física de la operación de los buses, finalmente, depende de los conductores, quienes son los brindadores directos del servicio de transporte a los usuarios.

La información requerida para la operación se representa a través de la información de estado que incluye los programas (o itinerarios) tanto de los buses como de los conductores.

Las empresas pueden tener distintas formas de ordenar el despacho de sus buses. Lo que importa finalmente al Ministerio y a los usuarios es la eficacia con que lo hacen.

4.4.5 Cadena de Valor (Ministerio)

La cadena de valor del Ministerio, la cual evidentemente no posee procesos relacionados con la operación, debe enfocarse en la supervisión completa del funcionamiento correcto del sistema de transporte público.

Entre algunas de sus tareas, se encuentra el relacionarse y coordinarse con los usuarios, con las empresas concesionarias y con las empresas proveedoras de los servicios de apoyo. Su rol principal, sin embargo, es visualizar que el servicio de transporte de buses se esté brindando tal y como lo estableció el proceso de Planificación Estratégica.

A continuación se procede a detallar cada proceso de este macroproceso, expuesto en la Figura 19.

- 1. Administración Relación con Usuarios de Buses**, debe procesar todos los reclamos provenientes de los usuarios y establecer si corresponde aplicar sanciones, dando aviso a Gestión de Contratos. Debe informar a los usuarios sobre las acciones realizadas. Si el reclamo es sobre un problema vigente, debe ser comunicado a Gestión en Tiempo Real para su revisión inmediata.

- 2. Administración Relación con Operadores,** Se encarga de mantener comunicación constante con los operadores de buses, definir los pagos que se les debe realizar, canalizar oficios o multas, y avisar a Gestión en Tiempo Real cuando un operador sufre un problema de gran calibre, como lo podría ser una huelga de los conductores, gestionando además su solución lo antes posible con la empresa afectada.
- 3. Administración Relación con AFT.** Este proceso, similar al anterior, debe mantener un canal de comunicación con los proveedores de servicios tecnológicos y canalizar oficios, multas, definir los pagos y descuentos por no cumplimientos en el servicio, entre otros. Los sistemas tecnológicos pueden llegar a ser de tal importancia que la falla de alguno, en especial de los de pago, puede provocar problemas peores a la huelga de alguna empresa operadora de buses.
- 4. Gestión Contratos AFT y Operadores.** Corresponde a las decisiones básicas con respecto a si los servicios tecnológicos y los operadores están cumpliendo con lo que deben, a partir de los contratos firmados, tanto con el Ministerio, como entre ellos. Los oficios, multas y descuentos son decididos en este proceso y se canalizan a través de los procesos de Administración Relación respectivos. Además, en este proceso se generan las principales ideas de cambios presentadas a la Planificación Estratégica.
- 5. Gestión en Tiempo Real.** Como su nombre lo indica, éste debe cerciorarse de que en cada momento la operación de buses se esté cumpliendo de la forma esperada. Debe estar en constante comunicación con los Centros de Operaciones de Flota de los operadores para notificar incumplimientos y que estos puedan ser corregidos a la brevedad. Además debe dar aviso de estos incumplimientos a Gestión Contratos, para definir multas si corresponde.

Detallando este proceso, se tiene lo mostrado en la Figura 20.

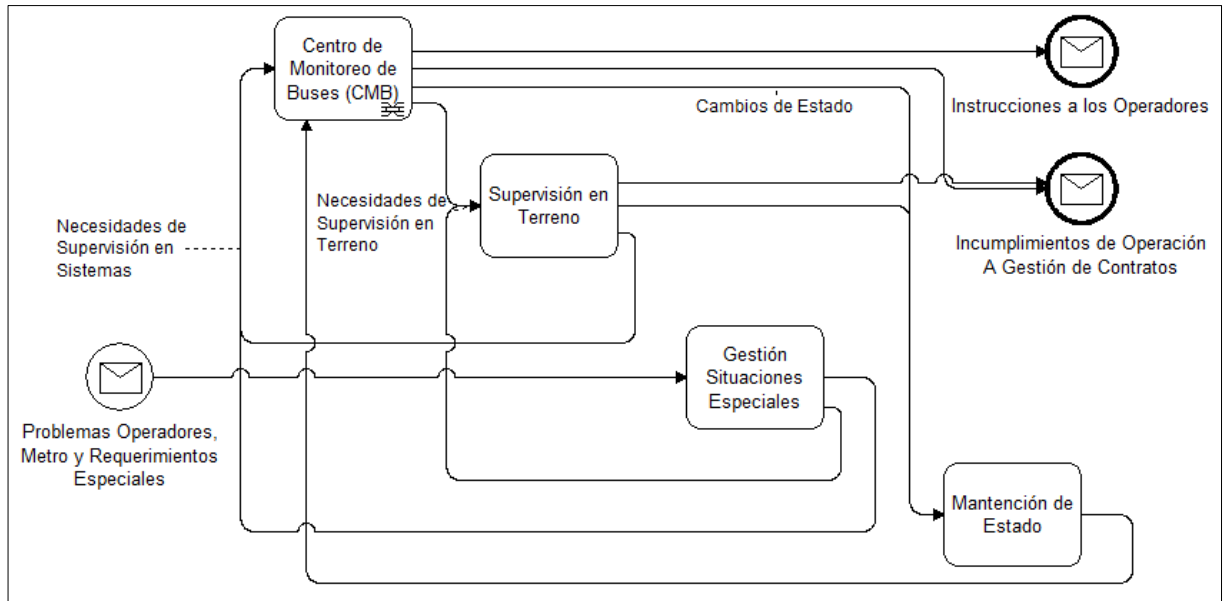


Figura 20: Gestión en Tiempo Real

1. **Centro de Monitoreo de Buses.** Al igual que en el caso del COF, en este proceso se agrupan todas las actividades relacionadas con la supervisión de la flota a través de las herramientas tecnológicas adecuadas. Desde este proceso se entregan instrucciones de corrección de operación a los concesionarios, y se define la notificación de faltas en la entrega de servicios a Gestión de Contratos (en particular por incumplimientos injustificados de las tablas de horarios). El CMB puede también invocar la supervisión de algún servicio en terreno.

Detallando un poco más el CMB, tenemos lo expuesto en la Figura 21.

- **Monitoreo Operación con Panel de Alertas Tempranas:** El Panel de Alertas Tempranas (PAT) corresponde a una aplicación que debe permitir al personal del CMB centrar sus esfuerzos únicamente en las líneas de buses que están teniendo problemas. Debe poder generar, al menos, alertas del tipo: atrasos en el despacho, déficit de buses o plazas, y de regularidad baja en el servicio.

Lo anterior permite que los operarios del CMB puedan dedicarse en un 100% en solucionar los problemas de la operación, no perdiendo el tiempo en ubicarlos.

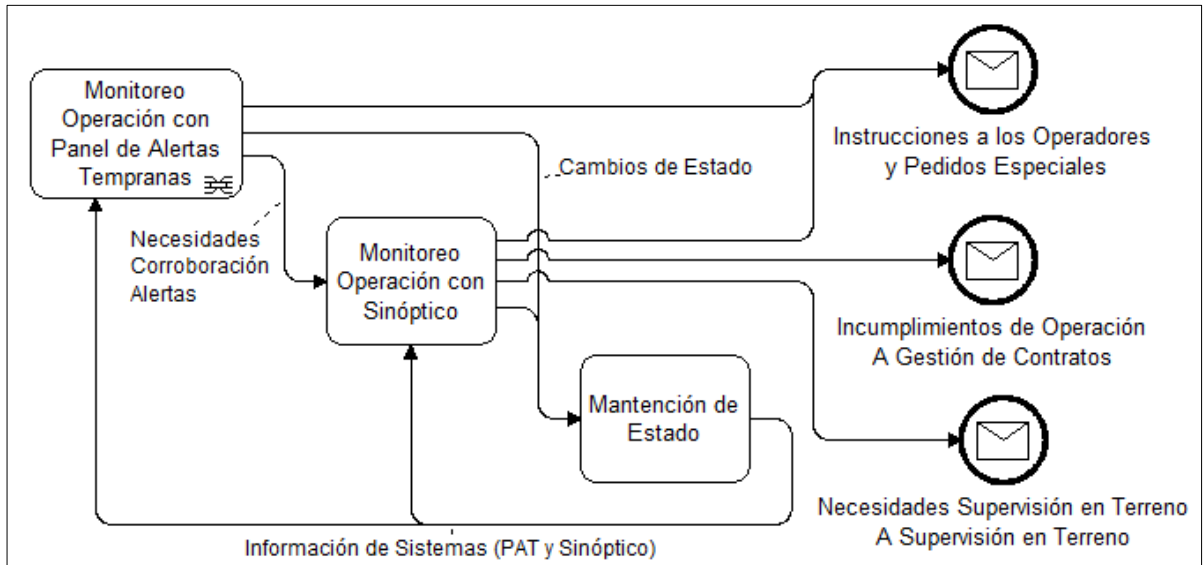
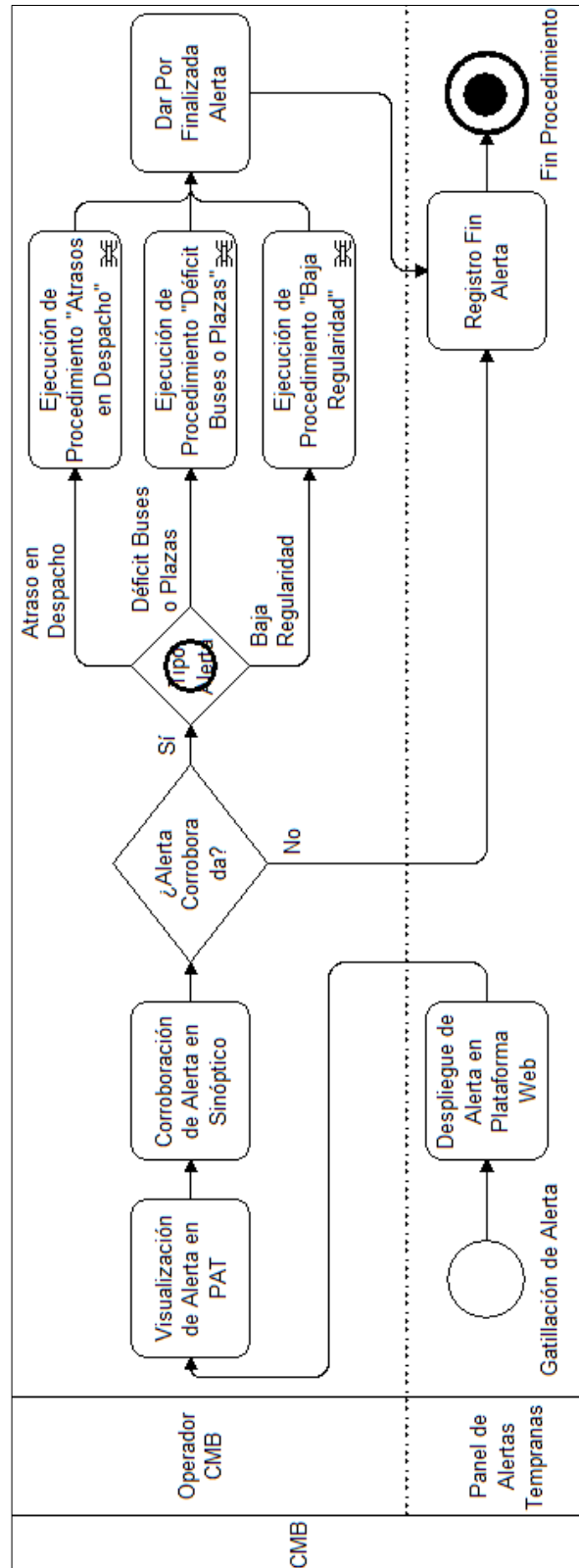


Figura 21: Centro de Monitoreo de Buses (CMB)

Para un correcto uso del PAT se requiere la existencia de procesos eficientes que permitan una rápida acción; cada minuto que pasa afecta directamente a los usuarios. En la Figura 22 se puede observar una propuesta de procedimiento que se debe seguir al detectarse cada alerta.

El procedimiento incluye la acción de corroborar la alerta generada en el sistema Sinóptico, con el fin de evitar actuar en problemas que fueron solucionados rápidamente por el operador de buses. Cada problema detectado tiene un procedimiento distinto a realizar, en donde el común denominador es mantener un seguimiento y comunicación constante con el COF hasta su resolución. En caso de que el servicio afectado no se normalice, es necesario un escalamiento al supervisor.

Figura 22: Monitoreo de Operación con Panel de Alertas Tempranas



- **Atrasos en Despacho:** Este procedimiento, expuesto en la Figura 23, se centra en la resolución del problema de atrasos a través de la inyección de un bus, si el problema es crítico, o en el restablecimiento de los despachos si el problema no es tan grave.

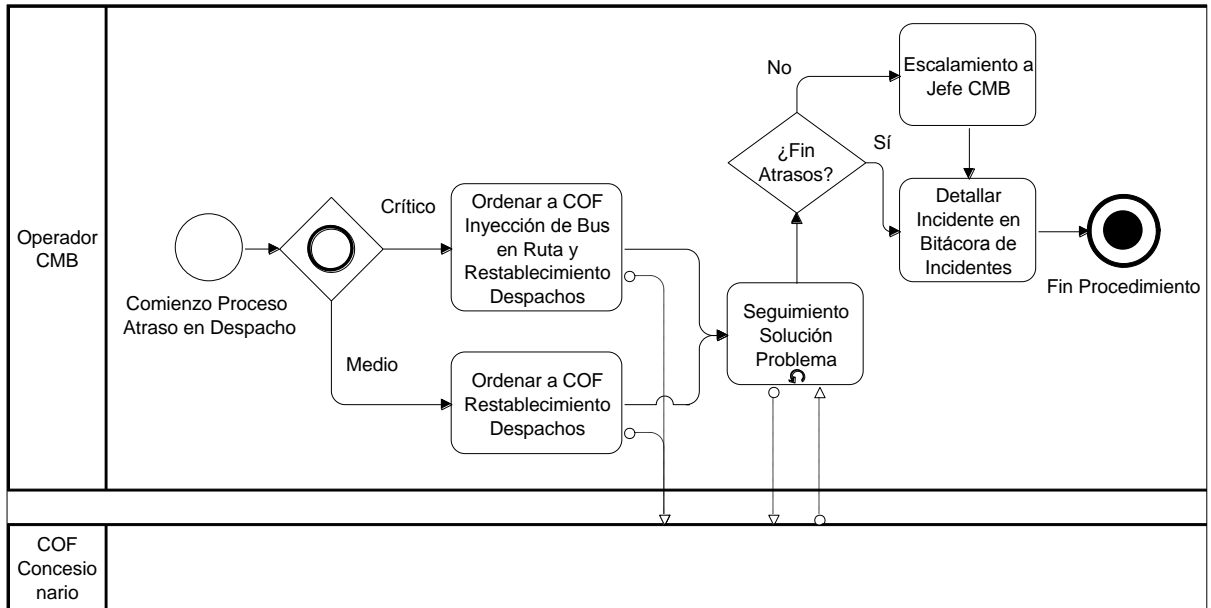


Figura 23: Atrasos en el Despacho

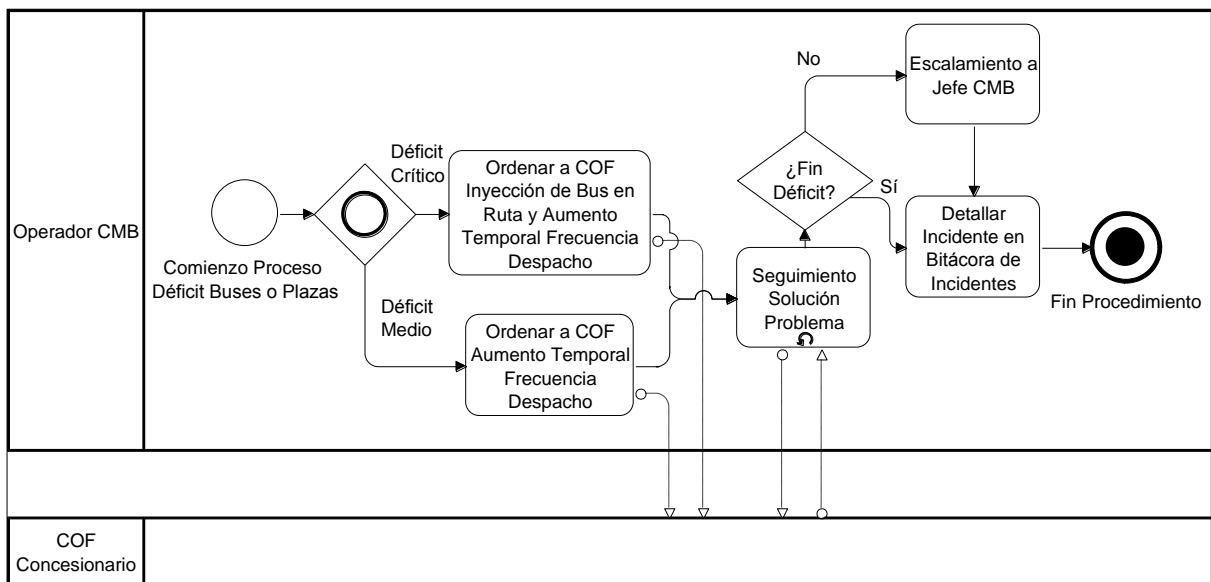


Figura 24: Déficit Buses o Plazas

- **Déficit Buses o Plazas:** Este procedimiento (Figura 24), similar al anterior, requiere también de la inyección de un bus y/o un aumento en la frecuencia temporalmente, dependiendo de la gravedad. Ambas alertas pueden ir ligadas, pues en general cuando no hay despacho oportuno, puede haber también un déficit en los buses o plazas.
- **Baja Regularidad:** Si aparece una alerta de baja regularidad (Figura 25) y no hay otras alertas, quiere decir que los buses en algún punto de la ruta se están aglomerando. Si es debido a razones de fuerza mayor, solucionar este problema puede ser complicado. Pero si se trata por problemas en el operador, se puede solucionar por medio de inyección de buses y ajustes en la velocidad media.

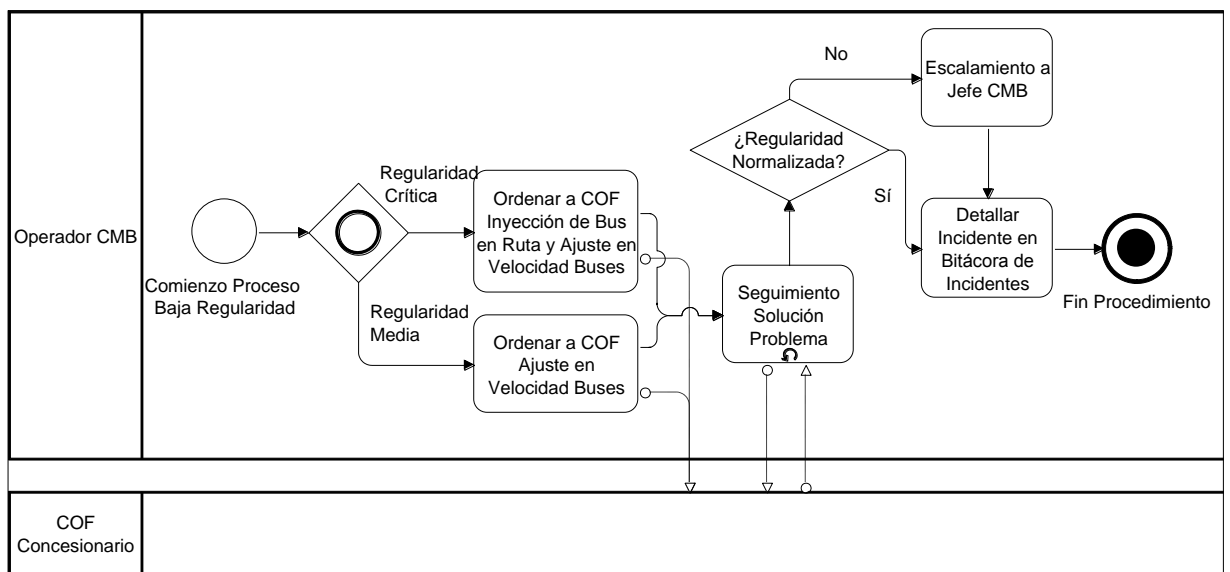


Figura 25: Baja Regularidad

- **Monitoreo Operación con Sinóptico:** Continuando con la revisión del último proceso del CMB, en este proceso se supervisa la flota a través de la herramienta de Sinóptico, la cual permite ver en tiempo real la posición de los buses sobre las rutas. Esta forma de

supervisión es bastante ineficiente comparada con la realizada a través del PAT; habría que tener cientos de servicios visualizados al mismo tiempo para observar todo Santiago. Debido a lo anterior, en general el Sinóptico se debe utilizar en ocasiones puntuales, como por ejemplo en la corroboración de las alertas entregadas por el PAT.

- 2. Supervisión en Terreno.** El Ministerio, aparte de contar con personal utilizando las herramientas tecnológicas supervisando constantemente la operación, debe además ser capaz de realizar fiscalización en terreno. El personal en terreno puede brindar apoyo en el caso de situaciones fortuitas (accidentes de buses, requerimientos de desvíos, entre otras), realizar fiscalización de la operación en el caso de fallas tecnológicas y realizar fiscalizaciones de otro tipo, como comportamiento de conductores, paradas en lugares señalados, adelantamiento de buses del mismo servicio, entre otros.
- 3. Gestión en Situaciones Especiales.** Existen problemas mayores que pueden ocurrir en el transporte público que requieren de un protocolo de acción rápido y eficiente. Algunos de estos problemas pueden ser paros en un concesionario, fallas en el Metro o eventos únicos en la ciudad. Luego de tomar las decisiones con respecto a lo que hacer en cada situación, es necesaria la comunicación directa con los concesionarios para que presten el apoyo necesario, a través del CMB.

Ya habiendo detallado los procesos correspondientes a la cadena de valor del Ministerio, es preciso destacar la necesidad de la existencia de un sistema de Panel de Alertas, que permita una supervisión más eficiente de la flota de buses del sistema de transporte público. Las herramientas tecnológicas clásicas, como el Sinóptico, para esta labor no son suficientes.

4.4.6 Recursos Habilitantes, SAEF y Sistema de Pago

Desde el punto de vista de sistema de transporte público, se pueden considerar como recursos habilitantes a los actores encargados del Sistema de Apoyo a la Explotación de Flota y del Sistema de Pago Electrónico. Ambos, a pesar de jugar un rol vital, no realizan procesos directos en la entrega del servicio de transporte, sólo permiten que éste se preste con eficacia, eficiencia y seguridad. No obstante, estos actores internamente deben poseer su propia estructura de procesos completa.

Cabe destacar que existen otros recursos habilitantes en el sistema, tales como la infraestructura de transporte, oficinas, recursos humanos, insumos, recursos financieros, entre otros. Estos recursos son manejados a través de procesos de obtención de recursos, decisión de manejo, decisión de transferencia y por último ejecución de ingreso, manejo y transferencia de recurso. Es importante saber que en este macroproceso no se deben incluir los insumos necesarios directamente en la operación, tales como buses, repuestos de los buses, combustible, entre otros, pues éstos son manejados directamente en la cadena de valor de cada empresa concesionaria de transporte.

4.5 Conclusiones Diseño Arquitectura de Procesos Transantiago

Se ha presentado una propuesta de arquitectura de procesos para el sistema de transporte público de Santiago, detallando además los procesos

críticos de un sistema de este tipo, tales como el diseño de la red de transporte y la supervisión, por parte de la autoridad, de los operadores de buses. Muchas mejoras y precisiones aún se pueden realizar, pero ya dependen de dónde, cómo y en qué profundidad se quieran implementar estos procesos.

Transantiago puede verse beneficiado sólo implementando algunos de los procesos más importantes propuestos, tales como el de diseño de la red de transporte. Actualmente, el diseño de la red se basa en correcciones propuestas por los operadores de buses, a través de la modificación de los Planes de Operación cada 3 meses (ver punto 8 e del glosario), y por observaciones y reclamos de los usuarios, lo que provoca un acercamiento a la red óptima a través de aproximaciones sucesivas, lo que puede tardar muchos años. El procedimiento de diseño propuesto, sin embargo, corresponde a uno entre muchos disponibles. Éste fue elegido por haberse aplicado en Roma, una ciudad con características complejas y similares a Santiago en su red de transporte, pero puede haber otros que también sean adecuados. No se encuentran disponibles aplicaciones computacionales comerciales dedicadas a resolver el problema de diseño de red de transporte; sólo se hallan programas de apoyo para esta tarea.

Los procesos propuestos asumen la existencia de herramientas de clase mundial en el Sistema de Apoyo a la Explotación de Flota. Sin un instrumento de este tipo no es posible realizar hoy en día una gestión óptima de los buses.

Una aplicación crítica, que ha sido propuesta en la cadena de valor del Ministerio y no es ofrecida por el SAEF actual de transición, es la de un Panel de Alertas Tempranas que permita centralizadamente, y de forma rápida, conocer los problemas más graves de los servicios de buses. Debido a ello, se decidió en conjunto con el Ministerio el desarrollo e implementación de un prototipo de esta aplicación en el Centro de Monitoreo de Buses, lo que permite brindar un apoyo real a la supervisión de la operación de buses en Santiago. La siguiente parte de esta tesis se enfoca en el desarrollo de esta aplicación de apoyo al Ministerio.

5 PANEL DE ALERTAS PARA EL CENTRO DE MONITOREO DE BUSES

El Panel de Alertas pretende ser una herramienta que permita a los operadores del Centro de Monitoreo de Buses de Transantiago enfocar sus esfuerzos de gestión y fiscalización sobre los servicios que tengan los problemas reales, a través de la generación de alertas de distintas situaciones que se presentan habitualmente en la vía, priorizadas según su severidad.

5.1 Motivación

La Coordinación General de Transportes de Santiago (CGTS) es la organización, parte del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que vela por todo el transporte público de buses de la ciudad, definiendo desde los sistemas tecnológicos que lo apoyan hasta las frecuencias y rutas que deben cumplir los buses. El Centro de Monitoreo de Buses (CMB) es una unidad ubicada dentro de la CGTS, dependiente a su vez del Área de Vías de esta entidad.

El CMB cumple dos roles principales en Transantiago. El primero es el de monitorear y supervisar, en tiempo real, la operación de buses de Santiago, cerciorándose que los concesionarios estén cumpliendo con sus obligaciones con respecto a prestar el servicio de transporte. En caso de no hacerlo, se contactan para que lo hagan y se lleva un registro de estos incidentes. En otras

palabras, son los ojos fiscalizadores que tiene la CGTS para determinar si faltan buses en algún servicio o no. El CMB no realiza sanciones directamente, pero aporta la información necesaria para que otros actores de la CGTS puedan sancionar a los operadores.

El segundo rol del CMB es el de coordinar a los distintos actores del sistema (buses y Metro, principalmente) en caso de haber algún problema en una unidad de negocio o el Metro. Los manejos de estas crisis se realizan directamente desde el CMB.

El CMB cuenta actualmente con 14 estaciones de trabajo, operativas de 6:00 a 22:00 de lunes a domingo. Cada estación de trabajo está encargada de la supervisión de una Unidad de Negocio (UN) completa (existen 14 UN actualmente en Santiago, pudiendo tener, una empresa de transportes, la concesión de una o más Unidades de Negocio).

Dado lo anterior, el CMB ve limitada su capacidad de gestión debido a que cada operador se encarga de supervisar una Unidad de Negocio completa, lo que implica observar más de 18 servicios simultáneamente (la UN con menos servicios cuenta con 18 de ellos, mientras que la con mayor cantidad cuenta con alrededor de 40). Los servicios se monitorean utilizando directamente el Sinóptico de Sonda, la única herramienta con que se dispone para ver lo que está sucediendo en la calle (aparte de cámaras y fiscalizadores, pero para

efectos de una operación tan grande como lo es Transantiago, éstas no son de gran utilidad más que para asuntos puntuales).

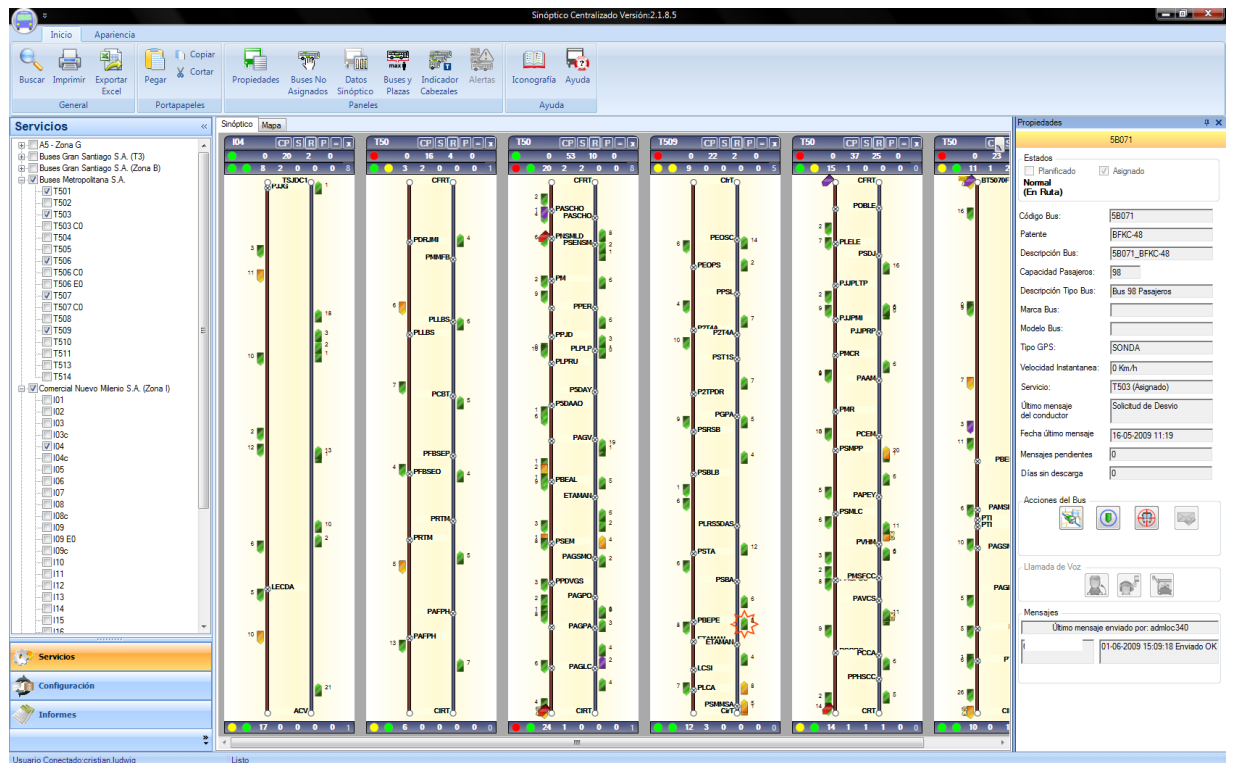


Figura 26: Sinóptico Sonda. Se puede apreciar que monitorear 6 servicios ya se vuelve arduo para el operador, si no cuenta con las herramientas adecuadas.

El estar prestando atención a esa cantidad de líneas de buses resulta engorroso para los operadores, siendo difícil poder detectar problemas, en particular de regularidad y frecuencia, pues éstos son difíciles de ver a simple vista, especialmente en rutas con alto número de buses.

De aquí que haya nacido la necesidad de contar con una herramienta especializada en lidiar con estos problemas de gestión de forma más rápida y eficiente.

5.2 Objetivos Panel de Alertas

5.2.1 Principal

“Mejorar el servicio entregado a los usuarios del sistema de transporte público de Santiago, a través de la detección y resolución ágil y eficiente de los problemas más comunes ocurridos en la vía”.

5.2.2 Específicos

- Contar con una herramienta que permita visualizar, desde un solo lugar, al menos los problemas del tipo:
 - Regularidad
 - Frecuencia
 - Buses detenidosEn una segunda etapa, informar también sobre problemas del tipo:
 - Accidentes
 - Problemas de Congestión Vehicular
 - Otros (manifestaciones, etc.)
- Agilizar la respuesta frente a incidentes en la vía.
- Disminuir el estrés de los operadores CMB al ser capaces de realizar las funciones realmente importantes, sin tener que estar buscando los problemas.
- Fiscalizar de forma más eficiente a los concesionarios de transporte de Transantiago.

5.3 Alcance del Piloto Desarrollado

Dada la urgencia con que la CGTS requería un sistema como el descrito, es que se decidió realizar un desarrollo lo más rápido posible con el fin de estudiar el impacto que podría tener éste en la agilidad de detección de incidentes en la ruta, y en consecuencia, en la operación de Transantiago. Para esto, se aprovecharon aplicaciones existentes en la CGTS, desarrolladas en la plataforma Microsoft Access, que permitirían tener un prototipo en menos tiempo. Adicionalmente, se consideró sólo la alerta más básica e importante que es clave tener en un sistema de transporte público, que corresponde a la calidad en el despacho de los buses por parte de los concesionarios desde los cabezales (en otras palabras, que los buses estén saliendo a la calle en el tiempo adecuado).

Posteriormente, en base a los resultados obtenidos, se licitaría o contrataría el desarrollo del Panel de Alertas en una plataforma más estable (tal como J2EE o equivalente), que permitiera realizar todo lo desarrollado en el prototipo y más, al agregar nuevas alertas, actualización del sistema en tiempo real, entre otras mejoras.

5.4 Especificaciones e Interfaz

Las especificaciones para este prototipo son bastante precisas, considerando además que se trabajó en base a sistemas ya existentes, por lo

que se conocían de antemano las limitaciones y alcances de lo que se podría obtener. Éstas se exponen en los siguientes puntos:

- Se requiere una interfaz web que permita visualizar en una tabla, en forma priorizada (lo más crítico primero), los servicios-sentido que posean atrasos en el despacho de los buses.
- La tabla debe ser posible visualizarla filtrada por Unidad de Negocio.
- Los servicios-sentido se deben agrupar en:
 - Críticos: Color Rojo.
 - Malos: Color Naranja.
 - Observación: Color Amarillo.
 - Normales: Color Verde.

En el punto 5.5.2.3 se detalla la regla de negocio definida para la agrupación.

- La información a desplegar por servicio-sentido debe incluir:
 - **Prioridad:** Número que prioriza la alerta (mientras menor, es mayor la prioridad), y la tabla debe estar ordenada según este número.
 - **Servicio:** Servicio al que se hace referencia.
 - **Sentido:** Sentido al que se hace referencia.
 - **Tiempo de Atraso:** Se calcula desde el momento en que el siguiente bus debería haber salido. En otras palabras, es “Hora Actual” - (“Hora Última Salida” + “Intervalo según Plan de Operación”).
 - **Intervalo según Plan de Operación:** Cada cuánto tiempo debería salir un bus, según el Plan de Operación, para este servicio-sentido en este tramo horario. El intervalo se calcula como $60/\text{frecuencia definida}$.

- **Atraso Histórico:** Promedio de retraso para este tramo horario tomando en cuenta las últimas dos semanas y diferenciando si se trata día laboral, sábado o domingo (festivo).
- **Actuar:** Definir si es necesario que actúe o no el Operador CMB sobre el servicio afectado, escribiendo “SI”, “NO” o “ALERTA”, en base a reglas definidas:
 - Un operador CMB debe tener un “SI” en actuar sobre 4 servicios simultáneamente como máximo. Si según las reglas siguientes hay más servicios sobre los que se debe actuar, se deben definir como “ALERTA”.
 - Si el servicio es “Observación” y el retraso histórico es mayor al actual, el operador debe actuar siempre y cuando el atraso sea mayor a 10 minutos. Esto se debe a que si el servicio presenta siempre atrasos, este problema debe ser escalado más que seguir tratándolo como un problema operacional.
 - Se define “SI” siempre en los servicios “Malos” y “Críticos”.
- **Prioridad Sala:** Si se encuentra en el modo filtrado por Unidad de Negocio, presenta la prioridad en general para todos los servicios de Transantiago.
- **Hora Última Salida:** Presenta la hora a la que salió el último bus en el respectivo servicio-sentido.
- **Porcentaje Flota Operativa:** Corresponde al porcentaje de flota operativa actualmente en el servicio-sentido. Este dato se calcula como:

$$Flota = \frac{Cantidad\ de\ Buses\ en\ Estado\ Normal\ y\ Detenido}{Cantidad\ de\ Buses\ Programados\ según\ Perfil} * 100$$

Donde los estados Normal y Detenido son según el punto “Estado del Bus” explicado en la sección 5.5.1.

En este caso, y en particular para el cálculo de los indicadores de “Flota Operativa” y “Flota Asignada”, ambos valores utilizados también en algunos gráficos, no es posible comparar directamente con el Plan de Operación de esa Unidad de Negocio. Esto se debe a

que el Plan de Operación tiene datos de frecuencia de los servicios-sentido que cambian según el tramo horario en el que se esté, pero no tiene datos de comparación para la flota que debe estar en cada momento operativa en el servicio-sentido (que es la que deben utilizar estos indicadores). La flota que debe estar operativa en cada momento, depende tanto de la frecuencia de buses del tramo horario actual, además del remanente de buses del tramo horario inmediatamente anterior. Para mayor detalle al respecto favor dirigirse al punto 8 f del glosario.

- **Buses No Despachados:** Número de buses que no han sido despachados según el atraso actual y el Intervalo al que deben salir.
- **Patente:** Placa patente única del último bus despachado, con el fin de que sea fácilmente ubicable en el Sinóptico.
- Se requiere además la existencia de los siguientes gráficos que permitan caracterizar la operación de cada Unidad de Negocio:
 - **Gráfico “Asignación Buses por Tramos”:** Indica cuántos buses están asignados en total a cada servicio-sentido en cada Unidad de Negocio (los buses deben asignarse, para ser detectados, en el sistema Sinóptico a cada servicio). Esta información debe estar por tramos de la siguiente manera:
 - 0% a 25% de buses asignados
 - 25% a 75% de buses asignados
 - Entre 75% y más buses asignados
 - **Gráfico Flota Asignada – Operativa:** Indica, en función de la flota comprometida según el Perfil de Operación, el porcentaje de flota operativa y flota asignada, y lo mismo para el dato histórico en el mismo gráfico, considerando el mismo criterio aplicado en el retraso histórico (dos semanas de datos).
 - **Gráfico Distribución Despacho por Tipo de Criticidad:** Gráfico que permita ver la distribución de los servicio-sentido según el grupo en el que está cada uno. Este gráfico debe ser del tipo “torta” para visualizar correctamente los porcentajes.

- **Gráfico de Porcentaje de Distribución de Despachos Críticos y Malos por Unidad de Negocio (con respecto al total):** Muestra tanto la distribución actual de lo mencionado dentro de la Unidad de Negocio, como lo histórico (datos de las últimas 2 semanas).
- Se requiere la existencia de una tabla que resuma el porcentaje de servicios-sentido “Malos” y “Críticos” (la suma de ambos) en una Unidad de Negocio con respecto al total, que además refleje mediante colores el estado de la Unidad:
 - **Verde:** Si críticos + malos = 0%
 - **Amarillo:** Si $0\% < \text{críticos} + \text{malos} < 8\%$
 - **Rojo:** Si críticos + malos $\geq 8\%$
- Se requiere que se pueda visualizar en todo momento:
 - **Hora de medición:** Hora a la que se realizó la medición expuesta.
 - **Hora Servidor:** Corresponde a la hora actual del servidor.
 - **Diferencia:** Corresponde a la diferencia entre la hora de medición y la hora del servidor, con lo que el operador puede ver hace cuánto tiempo se hizo la última medición.
 - **Enlaces:** En el caso de encontrarse en la visualización filtrada por Unidad de Negocio, debe existir un vínculo de regreso a la visualización global. En caso de encontrarse en la visualización global, debe existir un link para filtrar a cada Unidad de Negocio.

La totalidad de requerimientos anteriormente expuestos fueron acordados con Transantiago para el desarrollo del prototipo. Éstos fueron sufriendo modificaciones a lo largo del desarrollo; se expone la versión final de éstos y son los cuales se cumplen en el Panel de Alertas actual (además de algunas mejoras adicionales).

5.5 Diseño del Prototipo

El diseño del Panel de Alertas considera 3 partes:

1. Extracción de datos on-line de estado de los servicios de buses.
2. Comparación de datos on-line con los Planes de Operación y/o Perfiles.
3. Presentación de los datos en una plataforma Web ordenados por prioridad según los requerimientos.

El prototipo del Panel de Alertas cuenta con una estructura de 2 capas, dado que el procesamiento neto de los datos se realiza en la base de datos Access del sistema. Posteriormente son escritos en una base de datos MySQL que se utiliza para la visualización tipo Web.

5.5.1 Extracción de Datos On-Line

Para obtener datos on-line, es necesario utilizar las herramientas de gestión de flota ya disponibles, tal como el Sinóptico de Sonda (más detalle en sección 8 h), la cual cuenta con datos de posicionamiento de buses de la totalidad de los buses de Transantiago, así como su respectiva asignación al servicio que está prestando. Para lo anterior, a través de la CGTS, se realizó un requerimiento a AFT (Sonda) con el fin de contar con un consolidado de los datos relevantes que permitieran hacer las comparaciones entre lo que está sucediendo en la calle con respecto a lo que debería estar sucediendo.

El requerimiento específico hecho a Sonda fue la generación de un archivo plano que contenga los siguientes campos por bus, el cual debía estar disponible al menos cada 10 minutos (con información on-line):

- **Patente Bus (PPU):** Placa patente única. Sirve como identificador único de los buses.
- **Código Bus:** Código único asignado por el concesionario. Si no se ocupa es equivalente al PPU.
- **Ubicación del Bus:** Este campo entrega en forma de código distintos estados de la posible ubicación del bus, tales como:
 - En ruta
 - Fuera de ruta
 - En terminal
 - Bus no operativo

Para captar el significado de cada código se requiere una tabla con dicha información.

- **Posición en servicio:** Kilómetro del bus en el servicio, considerando el sentido (en cabezal, iniciando el servicio, es km 0). Este dato se entrega con una precisión de 100 metros.
- **Servicio:** Servicio al que está asignado el bus en el Sinóptico.
- **Sentido:** Sentido del bus en el servicio (ida o regreso) según Sinóptico.
- **Estado Bus:** Normal, Detenido, Detenido más de 5 minutos, Fuera de Ruta, etc. (Nota: En los cálculos de los indicadores, se utilizan los buses tanto en estado "Normal" como "Detenido", pues este "Detenido" indica solamente

que el bus ha estado sin movimiento por más de 3 minutos pero menos de 5, lo que no necesariamente indica que no esté en operación.)

- **Nombre Último Punto de Control por el que pasó el Bus:** El sinóptico considera la configuración de puntos de control en la ruta por parte del concesionario, que corresponden a cruces de importancia en el recorrido.
- **Tiempo Bus Sucesor:** Tiempo que demorará el siguiente bus en pasar por el punto en donde se encuentra el bus actualmente.
- **Tiempo Bus Antecesor:** Tiempo que demorará el bus en pasar por el punto que está el bus siguiente en la ruta.
- **Velocidad (instantánea según GPS):** Velocidad a la que se está desplazando el bus en el momento de la consulta.
- **Modelo del Bus:** Corresponde al modelo del bus. Este dato no está siempre disponible pues debe ser configurado por el concesionario en el Sinóptico.
- **Capacidad Bus (Plazas):** Número de pasajeros que puede transportar.
- **Fecha y Hora GPS:** Fecha y hora de la última medición del GPS del bus.
- **Velocidad Tramo:** Velocidad comercial promedio del tramo en que se encuentra el bus. Esta velocidad es la ingresada por el concesionario, y por lo tanto puede reflejar la realidad o no.
- **Estado GPS Bus:** Boolean que permite saber si el bus tiene o no GPS activo.
- **Tiempo Detención:** Tiempo, en minutos, que ha estado detenido el bus.
- **Tiempo al Punto de Control Más Cercano:** Tiempo estimado de llegada al próximo punto de control de la ruta.

- **Hora Inicio Plan:** Hora en que se inició la ejecución del servicio, haya estado planificado o no.
- **Delta Tiempo Ejecutado vs Planificado:** Tiempo entre en donde está el bus y dónde debería estar según su planificación.

Sonda realizó el desarrollo necesario, incorporando una opción a su Sinóptico de poder extraer este archivo con una periodicidad de 10 minutos, con datos de todos los buses en operación. Esto permite tener un punto de comparación, una foto de lo que está sucediendo en la calle, cada 10 minutos. Esto es suficiente para realizar un prototipo y piloto para este sistema. Esta extracción implica una sobrecarga importante para la base de datos principal del Sinóptico de Sonda, por lo que se habilitó sólo para un usuario, lo que es suficiente para el sistema requerido.

Ejemplos de algunas líneas de este archivo plano se pueden encontrar en el anexo 9.1.

5.5.2 Comparación de Datos On-Line con Planes de Operación

Luego de obtener una vista de lo que está sucediendo en la calle, para calcular las alertas se requiere comparar con respecto a lo que debería estar sucediendo. El parámetro de comparación resulta del diseño de la red de transporte (ver capítulo 4.4.2.1), donde el actual producto es el Plan de Operación (o Programa de Operación, PO).

Los Planes de Operación son, a grandes rasgos, lo que debe cumplir un concesionario en su área, incluyendo los servicios que debe prestar, los trazados y paraderos definidos para estos servicios y los buses que debe despachar en éstos. Existe una diferencia en el detalle del Plan de Operación dependiendo de si se trata de un concesionario “alimentador” o “troncal”: A los primeros se les entrega la información de número de buses que debe desplegar por servicio (frecuencia), variando en tramos de media hora, y para los segundos corresponde a información incluso más detallada, indicando las horas exactas a las cuales deben ser despachados los buses desde los cabezales de los servicios.

Los Planes de Operación se mantienen vigentes por 3 meses, aunque en la práctica sufren pequeñas modificaciones en el intertanto. Más información al respecto se puede encontrar en el punto 8 e del glosario.

5.5.2.1 Procesos Panel de Alertas

Para calcular las alertas de despacho se necesita realizar básicamente la comparación entre cada cuánto tiempo tienen que salir los buses frente a cada cuánto están saliendo realmente desde los cabezales. Para ello se necesita, a partir del Plan de Operaciones, la frecuencia con que deben ser despachados los buses, según el tramo horario en el que se esté.

Este proceso es realizado por el sistema desarrollado por la CGTS, denominado “Pan-Access”, el cual está desarrollado completamente en Microsoft Access en conjunto con macros en Visual Basic.

Una vista completa del proceso de cálculo de alertas se expone en el diagrama a continuación (Figura 27). Éste comienza con la extracción del archivo plano desde el Sinóptico de Sonda, para luego importarlo a la base de datos Microsoft Access, donde se procede a calcular las alertas de despacho, entre otros indicadores relevantes que son desplegados por el Panel de Alertas. Posteriormente, se exportan los resultados en la base de datos MySQL para su despliegue a través de la interfaz Web.

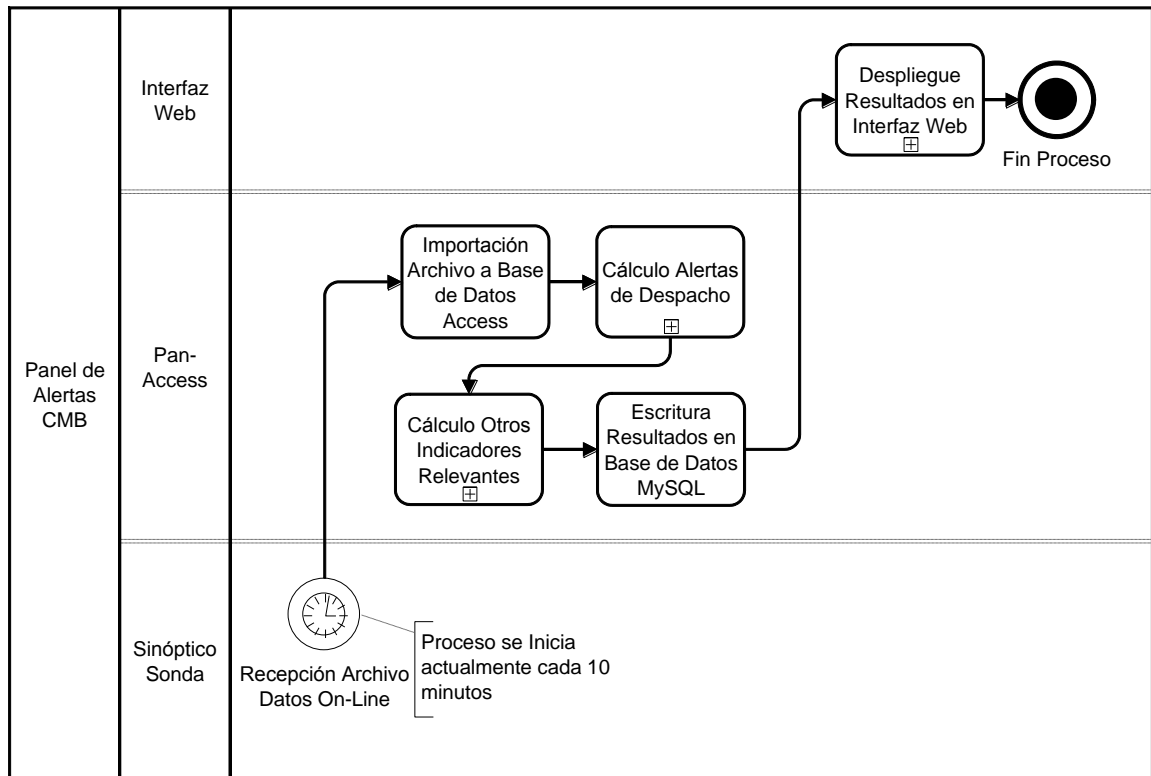


Figura 27: Proceso General Funcionamiento Panel de Alertas

La primera actividad desarrollada al recibir el archivo plano cada 10 minutos, anterior al cálculo de cualquier indicador, es su carga en la base de datos Microsoft Access, donde son procesados los datos.

5.5.2.2 Importación Archivo Base de Datos Access

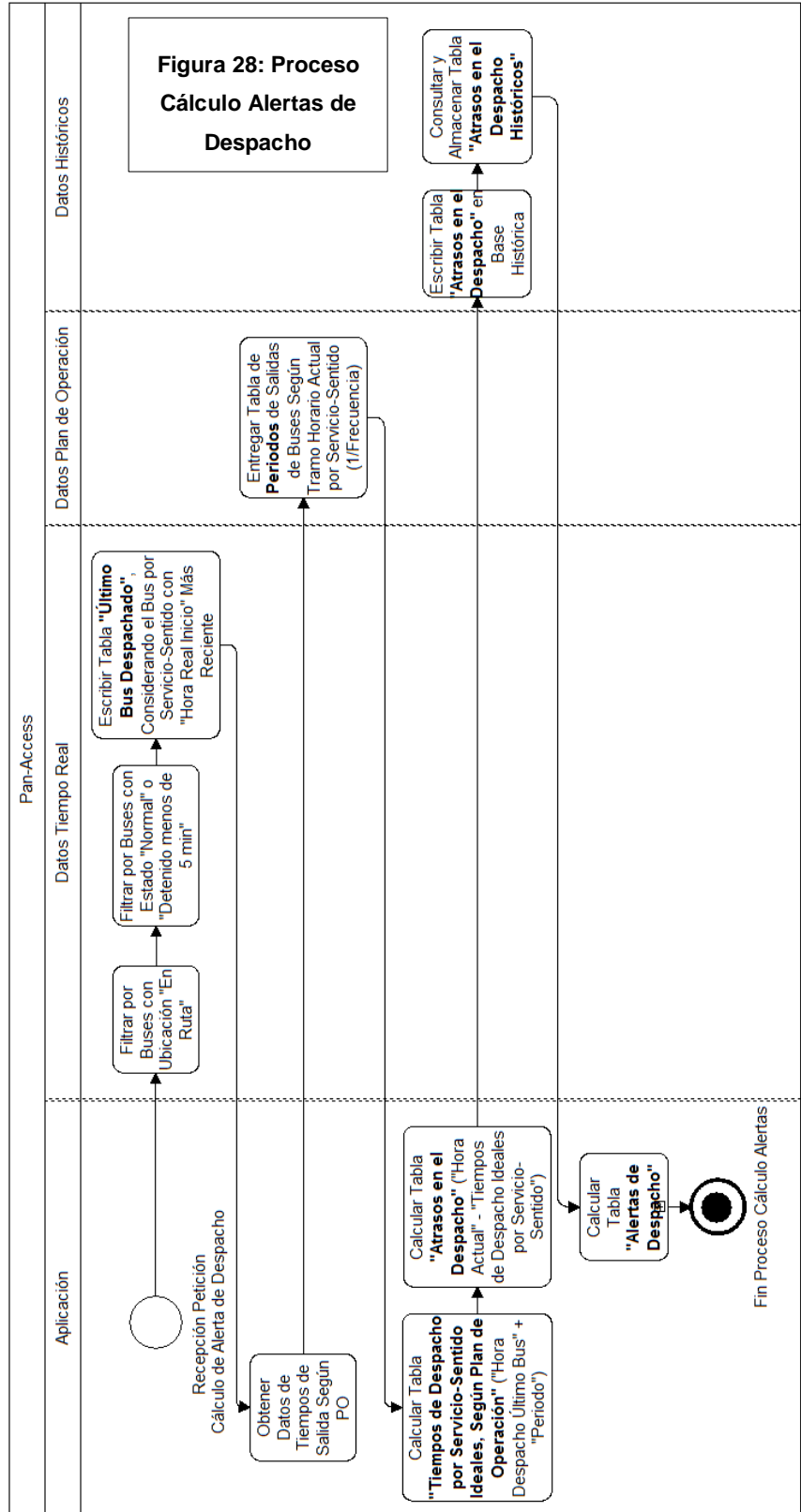
En esta actividad se ejecuta automáticamente una pequeña aplicación desarrollada en Visual Basic, al recibirse el archivo plano desde el Sinóptico, el cual consolida los datos en una tabla en Microsoft Access. La aplicación simplemente recorre línea por línea el archivo arribado copiando cada campo en la base de datos, para finalmente mover el archivo plano a una carpeta distinta que acumula los archivos ya procesados.

5.5.2.3 Proceso: Cálculo Alertas de Despacho

A continuación se explicará el proceso completo para el cálculo de las alertas de despacho, expuesto en la Figura 28, aclarando el funcionamiento global de la aplicación Pan-Access como también las reglas de negocio asociadas al cálculo de las alertas. El sistema funciona mediante funciones y macros programadas en Microsoft Access, que permiten automatizar completamente las actividades mencionadas a continuación.

1. Filtrar por Buses con Ubicación “En Ruta”

Luego de cargarse los datos desde el archivo plano en una tabla principal dentro de Microsoft Access, para calcular las alertas de despacho se debe trabajar sólo con los buses que estén efectivamente prestando servicio. Por



eso se filtra la tabla, ya ordenada, por los buses que efectivamente se encuentran en la ruta del servicio.

2. Filtrar por Buses con Estado "Normal" o "Detenido menos de 5 min"

Se filtra posteriormente con el fin de descartar los buses que aunque estén en ruta, no estén operando, tales como los en “panne”, no operativos o detenidos por un tiempo excesivo.

3. Escribir Tabla "Último Bus Despachado", Considerando el Bus por Servicio-Sentido con “Hora Real Inicio” Más Reciente

Para calcular cuánto atraso en el despacho tiene cada servicio-sentido, se requiere únicamente la hora del despacho del último bus que salió del cabezal. Para esto, se considera para cada servicio-sentido únicamente el bus que comenzó su recorrido hace menos tiempo (recordar que “Hora Real Inicio” es el momento en que el bus comenzó a prestar el servicio-sentido al que está asignado).

4. Obtener Datos de Tiempos de Salida Según PO

Se ejecuta la consulta para la obtención de los datos de tiempo de salida. Estos datos están guardados en una tabla en la base de datos, pero como parámetro se debe conocer la hora y tipo de día actual, pues el periodo de salida cambia según cuáles sean estos datos.

5. Entregar Tabla de Periodos de Salidas de Buses Según Tramo Horario Actual por Servicio-Sentido (1/Frecuencia)

El sistema recibe la respuesta a la consulta y guarda temporalmente estos datos.

6. Calcular Tabla "Tiempos de Despacho por Servicio-Sentido Ideales, Según Plan de Operación" ("Hora Despacho Último Bus" + "Periodo")

Basado en la hora de despacho del último bus (calculado en el punto 3) se calcula la tabla que muestra las horas a las que debería despacharse el siguiente bus para ese servicio, mediante la suma de las horas calculadas y el periodo.

7. Calcular Tabla "Atrasos en el Despacho" ("Hora Actual" - "Horas de Despacho Ideales por Servicio-Sentido")

Para calcular el atraso real en las salidas de los buses, se debe realizar la resta entre la hora actual y las horas de despacho calculadas para los siguientes buses. En esta tabla, datos negativos implican que no hay atraso y aún hay holgura para que salga el próximo bus. Un valor cercano a cero significa que un bus debería estar siendo despachado, y por último un valor positivo quiere decir que existe un atraso en el despacho en el servicio-sentido.

8. Escribir Tabla "Atrasos en el Despacho" en Base Histórica

Luego de calcular los atrasos reales de cada servicio-sentido, se guardan estos datos en una base histórica para poder desplegar esta información a través de otros indicadores, en la interfaz web. Esto se debe a que si un servicio presenta atrasos constantes (i.e., un promedio de atraso en el despacho considerable), puede requerir una acción más táctica que operativa para mejorar la situación.

9. Consultar y Almacenar Tabla "Atrasos en el Despacho Históricos"

Se lee y almacena la tabla histórica de atrasos actualizada, para poder desplegar esta información en la interfaz web.

10. Calcular Tabla "Alertas de Despacho"

Este corresponde a un subproceso contraído y se requiere mayor detalle para su explicación, pues aquí se encuentra el proceso de negocio que

calcula las alertas que serán desplegadas. Este proceso, expuesto en la Figura 29, toma como base la tabla "Atrasos en el Despacho" de la base de datos.

a) Decisión “¿Existe Atraso?”

Entrando a un nivel donde cada servicio-sentido es analizado, se define su estado. Si no posee atraso alguno, el servicio-sentido queda estipulado como “Normal”. Si posee atraso, continúa el análisis.

b) Determinar Grupo

Si el servicio-sentido posee algún tipo de atraso, se debe determinar en qué grupo se encuentra antes de determinar la severidad del retardo. Se definen tres:

1) Buses por hora: 12 o más

Intervalo: 5 minutos por bus o menos

Intervalo Umbral: 10 minutos

2) Buses por hora: Entre 7 y 12

Intervalo: Entre 5 y 8 minutos por bus

Intervalo Umbral: 15 minutos

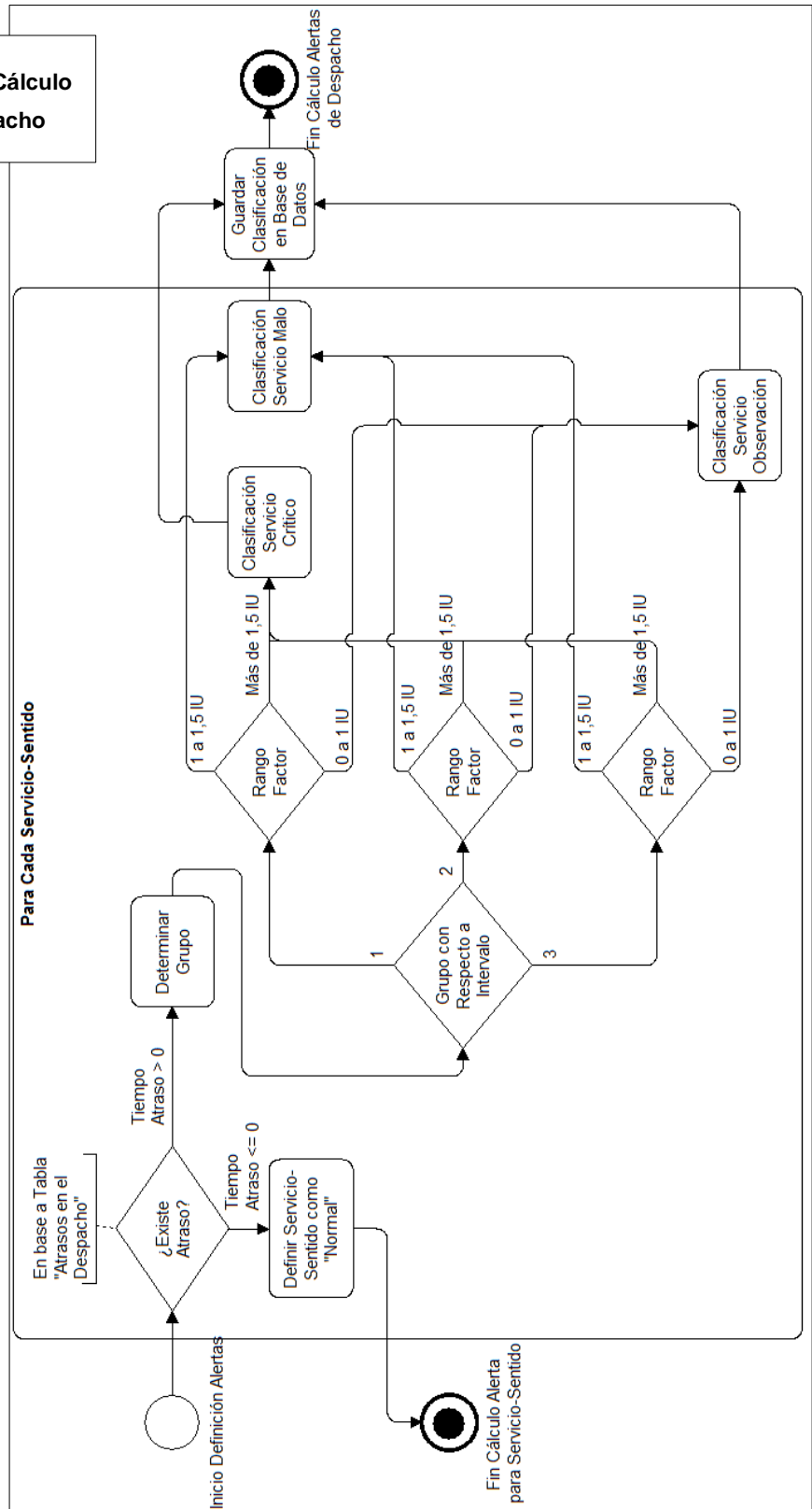
3) Buses por hora: Entre 0 y 7

Intervalo: Entre 8 y 15 minutos por bus

Intervalo Umbral: 20 minutos

El **Intervalo Umbral** (IU) corresponde a un parámetro en minutos que define cómo se caracterizará el atraso de cada servicio-sentido. Este valor cambia según el número de buses por hora de cada servicio.

Figura 29: Detalle Cálculo Alertas de Despacho



La razón de dividir los servicios en grupos y entregarles este parámetro es porque es distinto que, por ejemplo, un servicio con un intervalo de 2 minutos tenga un atraso del 100% (2 minutos adicional de espera) a otro que tiene un intervalo de 15 minutos tenga un atraso de 100% (15 minutos adicional de espera); esto permite diferenciar estos atrasos y darle mayor prioridad al segundo caso, pues es más grave que un bus no salga cuando el intervalo es más largo. En el primer caso, si un bus no es despachado, el tiempo de espera será a lo más de 4 minutos; en el segundo será de 30. Por otro lado, sin embargo, que un servicio tenga una frecuencia alta significa que ésta se requiere para lograr satisfacer la demanda de forma eficiente.

c) Según Rango Factor, Entregar Clasificación de Alerta

En esta etapa del proceso se clasifica cada servicio-sentido según su nivel de alerta, dado el grupo en el que está y su atraso, pudiendo quedar como “Crítico”, “Malo” o en “Observación”.

Para cada grupo se utiliza el siguiente mecanismo de clasificación (IU: Intervalo Umbral):

Servicio	Rango Mínimo	Rango Máximo
Observación	0 * IU	1 * IU
Malos	1 * IU	1,5 * IU
Críticos	1,5 * IU	-

Tabla 2: Clasificación Según Intervalo Umbral

La siguiente tabla resume como queda la clasificación de cada servicio-sentido, según el grupo en el que está:

Grupo	Servicio	Rango Mínimo	Rango Máximo
1	Observación	0	10
	Malos	10	15
	Críticos	15	más de 15
2	Observación	0	15
	Malos	15	22,5
	Críticos	22,5	más de 22,5
3	Observación	0	20
	Malos	20	30
	Críticos	30	más de 30

Tabla 3: Clasificación de las Alertas Según Grupo

Cabe destacar que un servicio-sentido puede tener distinto tipo de clasificación según la hora del día, pues las frecuencias no son estáticas.

d) Guardar Clasificación en Base de Datos

Se almacena el resultado de cada servicio-sentido en la Base de Datos temporalmente, para poder ser desplegado en la interfaz web.

11. Fin Proceso Cálculo Alertas

Acá culmina el proceso de cálculo de alertas en bruto, y comienza el proceso de cálculo de otros indicadores.

5.5.2.4 Proceso: Cálculo Otros Indicadores Relevantes

Posterior al cálculo de las alertas y su prioridad, es necesario realizar el cálculo de indicadores que complementan la información entregada en las

alertas de despacho. A continuación se detalla este proceso, expuesto en la Figura 30:

1. Obtener Número de Buses y Plazas Según Tipo Bus por Servicio-Sentido

Se obtienen, a partir de los datos en tiempo real, el número de buses por servicio-sentido así como el número de plazas que suman.

2. Escribir Tabla "Número de Buses y Capacidades por Servicio-Sentido Asignados"

Se almacena esta información en una tabla.

3. Filtrar por Buses con Ubicación "En Ruta"

A partir de los datos iniciales en tiempo real, se filtran por los buses que efectivamente están "En Ruta" (es decir, están prestando servicio).

4. Filtrar por Buses con Estado "Normal" o "Detenido menos de 5 min"

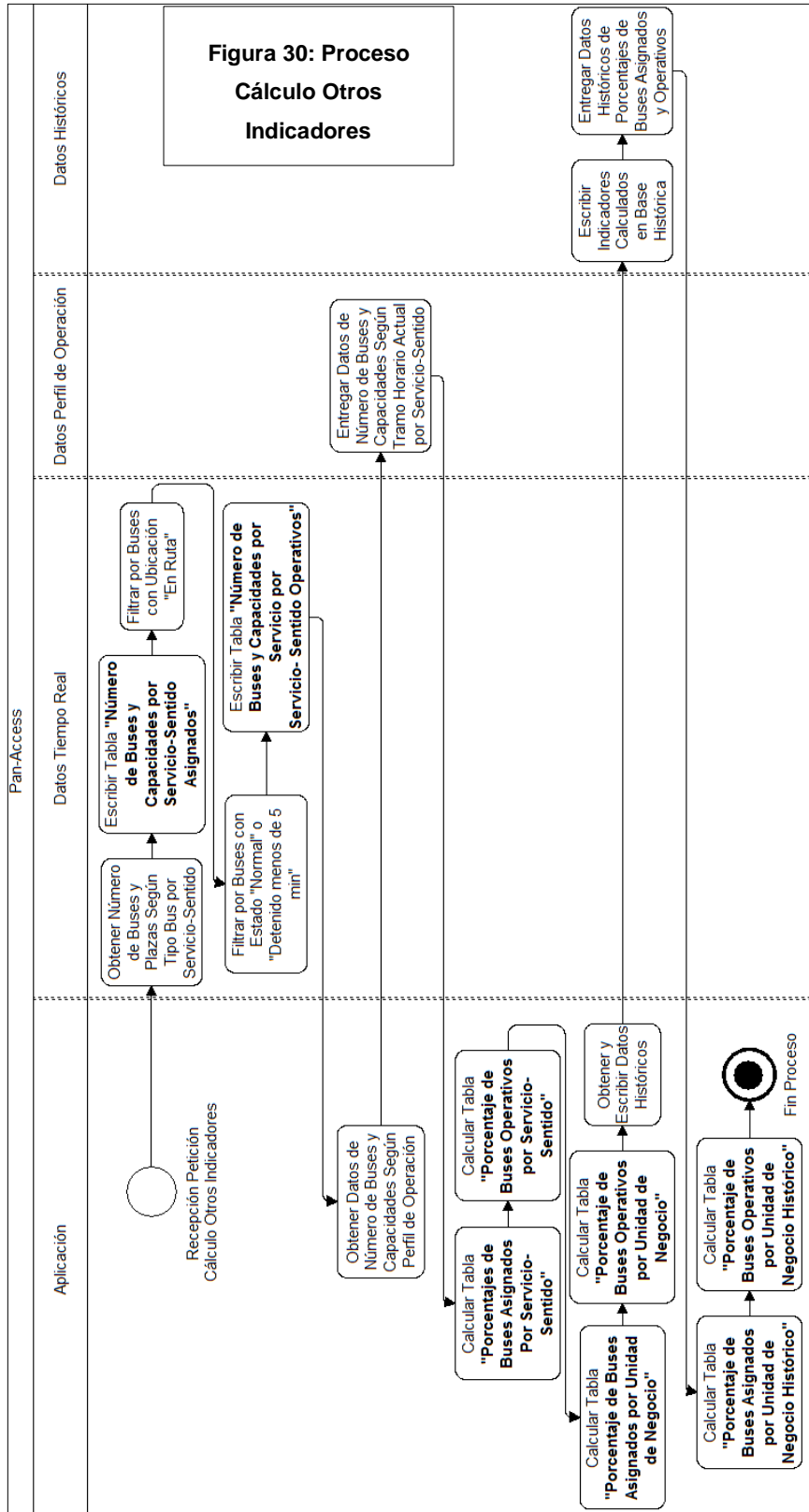
Además, estos buses deben cumplir el estar en estado "Normal" o "Detenido menos de 5 min".

5. Escribir Tabla "Número de Buses y Capacidades por Servicio por Servicio- Sentido Operativos"

Se guarda la tabla con los datos filtrados según los puntos 3 y 4.

6. Obtener Datos de Número de Buses y Capacidades Según Perfil de Operación

Se consulta el Perfil de Operación (explicado en el glosario, punto 8 f), el que según el tramo de media hora actual, entregará cuántos buses deberían estar en operación en este momento y cuánta capacidad de pasajeros



deberían éstos estar entregando estos buses, lo que corresponde al punto de comparación para el cálculo del indicador.

7. Entregar Datos de Número de Buses y Capacidades Según Tramo Horario Actual por Servicio-Sentido

La tabla con los datos de Perfil de Operación entrega la información requerida en el punto anterior.

8. Calcular Tabla "Porcentajes de Buses Asignados Por Servicio-Sentido"

Se calcula la tabla de porcentajes de buses asignados. Este valor se calcula como el "Número de Buses por Servicio-Sentido Asignados" (según tabla de punto 2) dividido por el "Número de Buses por Servicio-Sentido según Perfil de Operación" (según tabla del punto anterior). Este número da una muestra de si el concesionario, aunque no tenga los buses operando, los tiene al menos asignados en el sistema de gestión de flota.

9. Calcular Tabla "Porcentaje de Buses Operativos por Servicio-Sentido"

Se calcula la tabla de porcentajes de buses operativos. Este valor se calcula como el "Número de Buses por Servicio-Sentido Operativos" (según tabla del punto 5) dividido por el "Número de Buses por Servicio-Sentido según Perfil de Operación" (según tabla del punto anterior). Este número entrega una visión de cómo está cumpliendo el concesionario con respecto a lo que debería cumplir, y corresponde a un indicador relevante a la hora de medir la calidad del servicio.

10. Calcular Tabla "Porcentaje de Buses Asignados por Unidad de Negocio"

Agrupando y sumando los buses asignados por cada servicio-sentido de una Unidad de Negocio completa, se puede finalmente contrastar este dato con los que deberían estar asignados según el Perfil de Operación en total para cada Unidad y obtener el porcentaje correspondiente.

Adicionalmente, se construye una tabla resumen por tramos, que refleja los buses asignados a cada servicio-sentido de cada Unidad de Negocio:

- Porcentaje de servicios con entre 0 y 25% de los buses asignados (según Perfil de Operación)
- Porcentaje de servicios con entre 25% y 75% de los buses asignados (según Perfil de Operación)
- Porcentaje de servicios con entre 75 y 100% de los buses asignados (según Perfil de Operación)

11. Calcular Tabla "Porcentaje de Buses Operativos por Unidad de Negocio"

Similar a lo realizado en el punto anterior, agrupando y sumando los buses operativos por cada servicio-sentido de una Unidad de Negocio, se puede finalmente contrastar este dato con los que deberían estar operativos según el Perfil de Operación en total para cada Unidad y obtener el porcentaje correspondiente.

12. Obtener y Escribir Datos Históricos

Los indicadores calculados tanto en 10 como en 11 deben ser guardados en la base histórica, por lo que se debe comenzar el acceso a esta Base de Datos.

13. Escribir Indicadores Calculados en Base Histórica

Se almacenan en la base histórica los nuevos datos.

14. Entregar Datos Históricos de Porcentajes de Buses Asignados y Operativos

Se obtiene de la base histórica los datos de buses asignados y operativos de las últimas 2 semanas, según el periodo y la Unidad de Negocio en que se está. Esta información se requiere para la confección de los gráficos del sistema.

15. Calcular Tabla "Porcentaje de Buses Asignados por Unidad de Negocio Histórico"

Habiendo obtenido la información del punto 14 simplemente se debe calcular el porcentaje promedio de buses asignados.

16. Calcular Tabla "Porcentaje de Buses Operativos por Unidad de Negocio Histórico"

Ídem a al punto 15 pero para los buses operativos.

17. Fin Proceso Cálculo Otros Indicadores

Al culminar el proceso de cálculo de otros indicadores se debe comenzar con el despliegue de la información en la plataforma Web. Acá termina el trabajo de la base de datos Access y las macros programadas en Visual Basic para ésta.

5.5.2.5 Proceso: Despliegue Información vía Web

Luego de tener la totalidad de las alertas calculadas, y escritas en la base de datos MySQL mediante un driver ODBC entre Microsoft Access y MySQL, se despliega la interfaz web.

El motor PHP y Apache existentes en la capa web funcionan en base a requerimientos del usuario; cada vez que un usuario se conecta a la página

web, el motor PHP hace todas las consultas necesarias a la base de datos MySQL según la página que éste esté visualizando. Las tablas que son reproducidas en la base de datos MySQL son:

1. Tabla Alertas Calculadas (clasificación de los servicios-sentido y su prioridad)
2. Tabla Porcentajes de Buses Asignados y Operativos por Unidad de Negocio
3. Tabla Porcentajes de Buses Asignados y Operativos por Unidad de Negocio Histórico
4. Tabla de Porcentajes de Buses Asignados y Operativos por Servicio-Sentido

El sistema de visualización web, mediante el motor PHP, realiza algunos cálculos adicionales que permiten a los usuarios leer de forma más fácil la información, tales como agrupaciones de los tipo de alertas para el despliegue de los gráficos, ordenamientos de la información y la capacidad de filtrar las alertas según unidad de negocio. El filtrado por unidad de negocio permite que el Operador CMB pueda enfocar sus esfuerzos sólo en la Unidad de Negocio que le interesa monitorear.

El proceso de despliegue web se muestra en la Figura 31 expuesta a continuación.

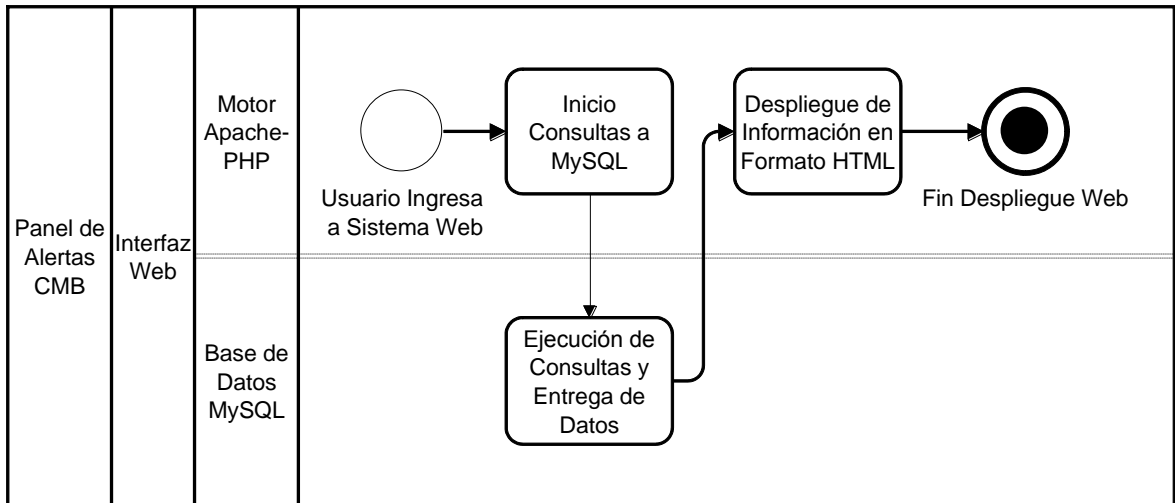


Figura 31: Proceso Despliegue Web

Existen dos páginas a las que se puede acceder para desplegar las alertas:

1. Página de Jefe de Sala, donde se visualizan todas las alertas.
2. Página de Operador CMB, donde se visualizan las alertas filtradas por Unidad de Negocio.

Ambas tienen la misma estructura básica, difiriendo sólo en algunos detalles, tales como en los gráficos desplegados.

En la Figura 32, expuesta en la página siguiente, se puede apreciar cómo se visualiza la información mostrada al usuario Jefe de Sala CMB.

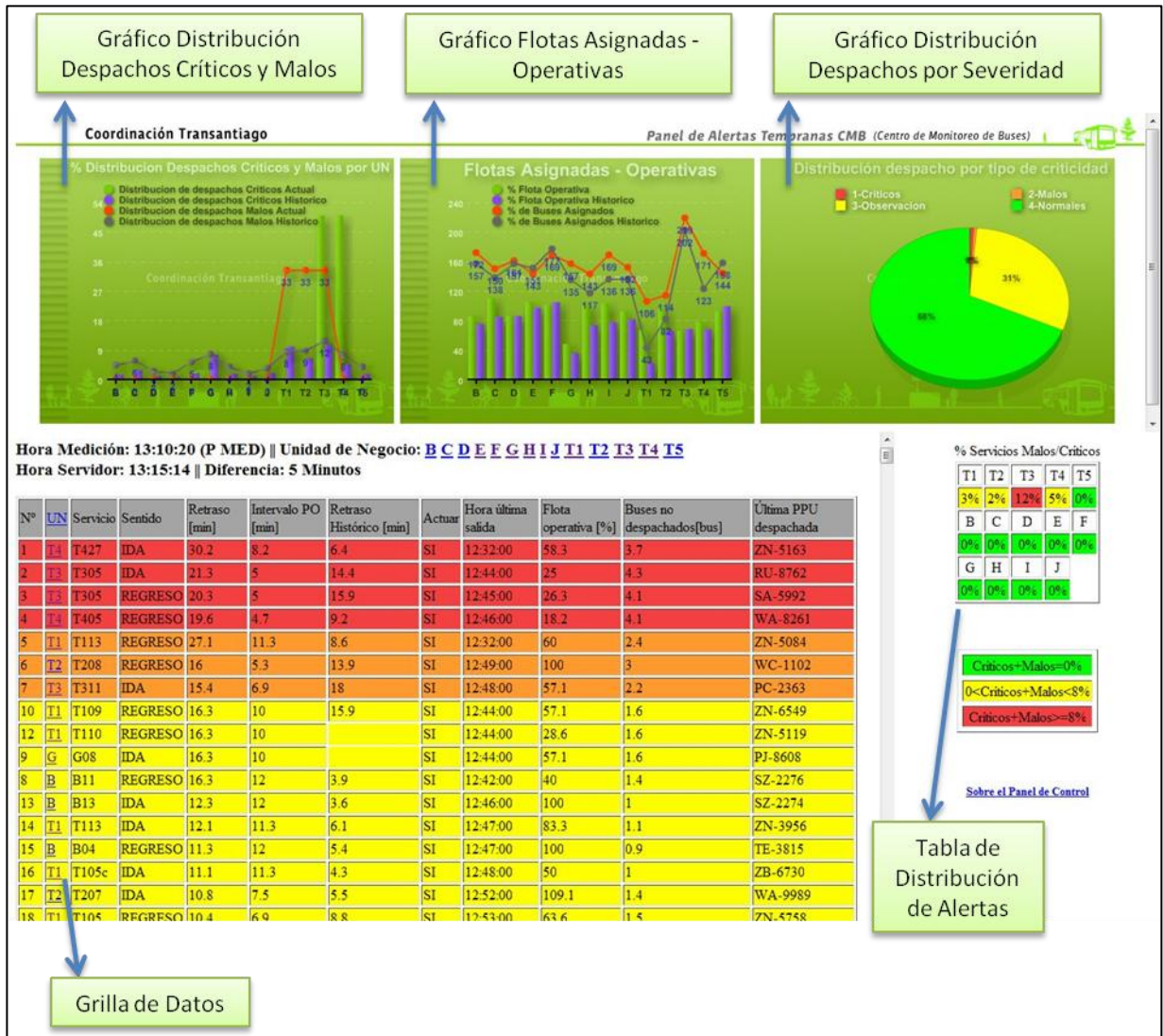


Figura 32: Visión General Panel de Alertas, Página Jefe de Sala

A continuación se revisa en detalla cada sección de la página web.

Hora Medición: 13:10:20 (P MED) || Unidad de Negocio: [B](#) [C](#) [D](#) [E](#) [F](#) [G](#) [H](#) [I](#) [J](#) [T1](#) [T2](#) [T3](#) [T4](#) [T5](#)
Hora Servidor: 13:15:14 || Diferencia: 5 Minutos

Nº	UN	Servicio	Sentido	Retraso [min]	Intervalo PO [min]	Retraso Histórico [min]	Actuar	Hora última salida	Flota operativa [%]	Buses no despachados[bus]	Última PPU despachada
1	T4	T427	IDA	30.2	8.2	6.4	SI	12:32:00	58.3	3.7	ZN-5163
2	T3	T305	IDA	21.3	5	14.4	SI	12:44:00	25	4.3	RU-8762
3	T3	T305	REGRESO	20.3	5	15.9	SI	12:45:00	26.3	4.1	SA-5992
4	T4	T405	REGRESO	19.6	4.7	9.2	SI	12:46:00	18.2	4.1	WA-8261
5	T1	T113	REGRESO	27.1	11.3	8.6	SI	12:32:00	60	2.4	ZN-5084
6	T2	T208	REGRESO	16	5.3	13.9	SI	12:49:00	100	3	WC-1102
7	T3	T311	IDA	15.4	6.9	18	SI	12:48:00	57.1	2.2	PC-2363
10	T1	T109	REGRESO	16.3	10	15.9	SI	12:44:00	57.1	1.6	ZN-6549
12	T1	T110	REGRESO	16.3	10		SI	12:44:00	28.6	1.6	ZN-5119
9	G	G08	IDA	16.3	10		SI	12:44:00	57.1	1.6	PJ-8608
8	B	B11	REGRESO	16.3	12	3.9	SI	12:42:00	40	1.4	SZ-2276
13	B	B13	IDA	12.3	12	3.6	SI	12:46:00	100	1	SZ-2274
14	T1	T113	IDA	12.1	11.3	6.1	SI	12:47:00	83.3	1.1	ZN-3956
15	B	B04	REGRESO	11.3	12	5.4	SI	12:47:00	100	0.9	TE-3815
16	T1	T105c	IDA	11.1	11.3	4.3	SI	12:48:00	50	1	ZB-6730
17	T2	T207	IDA	10.8	7.5	5.5	SI	12:52:00	109.1	1.4	WA-9989
18	T1	T105	REGRESO	10.4	6.9	8.8	SI	12:53:00	63.6	1.5	ZN-5758

Figura 33: Grilla de Datos

La Grilla de Datos despliega la información detallada de cada alerta, ordenada por prioridad. El color de fondo de cada fila representa su situación tal como se expresa en la sección 5.4, así como también se muestra la información requerida para cada servicio-sentido según los requerimientos expresados en ese punto.

En la parte superior de la grilla se puede observar el retraso que tiene la información con respecto a cuándo se realizó el cálculo de las alertas. Esto permite al operador CMB saber si confiar directamente en la información o es necesario corroborarla directamente en el Sinóptico.

Los gráficos, detallados a continuación, fueron construidos mediante la herramienta “XML/SWF Charts”, basada en tecnología flash, disponible a través de una versión gratuita.



Figura 34: Gráfico Distribución Despachos Críticos y Malos

El gráfico de distribución de despachos críticos y malos permite conocer rápidamente qué unidad de negocio es la que está teniendo más problemas actualmente, además de poder compararlas entre sí en su comportamiento histórico. En el caso mostrado, se visualiza claramente que entre la Troncal 3 y la 4 tienen la totalidad de despachos críticos actuales, y entre la Troncal 1, 2 y 3 tienen la totalidad de despachos malos actuales.

Asimismo, se puede observar que históricamente las unidades de negocio con mayor porcentaje de servicios-sentido críticos son la Troncal 1, 2, 3 y Alimentador G.



Figura 35: Gráfico Flotas Asignadas – Operativas

El gráfico de flota asignada – operativa por unidad de negocio entrega un apoyo adicional para conocer el estado de cada unidad, en especial al comparar con el dato histórico respectivo. Si una unidad de negocio tiene un nivel de flota operativa más bajo que el histórico es indicativo de un problema.



Figura 36: Gráfico Distribución de Despacho por Tipo de Criticidad

El gráfico de distribución por tipo de criticidad entrega una visión completa del funcionamiento de Transantiago, expresando qué porcentaje de servicios-sentido están en cada uno de los tipos de criticidad.



Figura 37: Tabla de Distribución de Servicios Malos y Críticos

La tabla de distribución de servicios malos y críticos, al mostrar éstos como una suma y no por separado, permite visualizar rápidamente las unidades de negocio con mayores problemas en el despacho. En este caso, por ejemplo, la Troncal 3 presenta un porcentaje de 12% de servicios-sentido que son malos o críticos, lo que se puede interpretar que más de 1 de cada 10 servicios en la Troncal 3 tienen problemas.

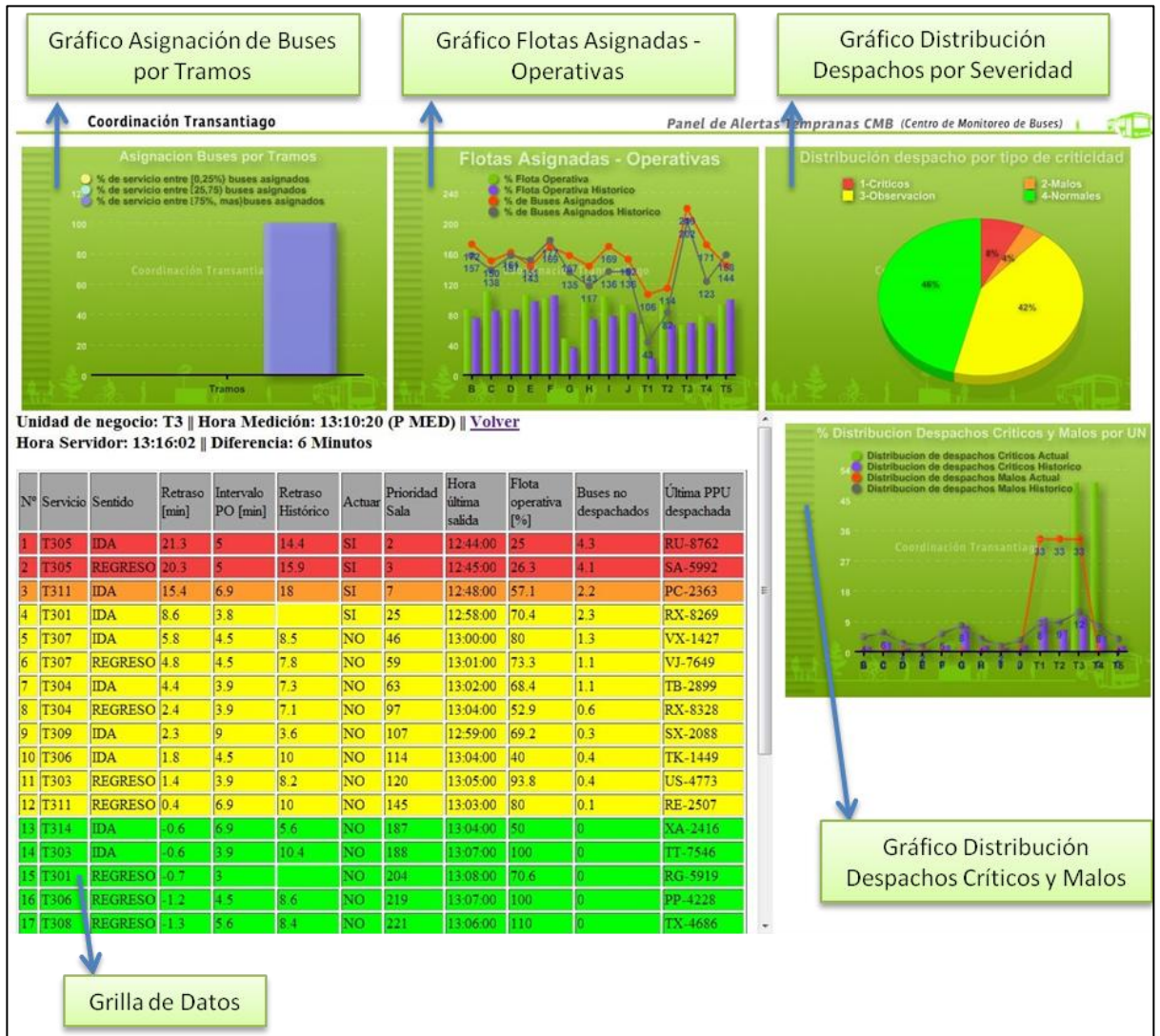


Figura 38: Visión Filtrada por UN Panel de Alertas, Página Operador CMB

Como se mencionó anteriormente, la página filtrada por Unidad de Negocio permite al operador CMB centrarse sólo sobre la Unidad de Negocio que debe monitorear. La diferencia con la página correspondiente a la visión global de todas las alertas es la redistribución de los gráficos para dar cabida al gráfico de asignación de buses por tramos y la eliminación de la tabla de distribución de servicios malos y críticos.



Figura 39: Gráfico Asignación de Buses por Tramos

Este gráfico, correspondiente a la zona F, demuestra que hay alrededor de un 50 % de los servicios de esta unidad de negocio que no poseen asignados el número de buses que deberían tener asignados, por lo que es imposible que puedan cumplir a cabalidad con el Plan de Operación correspondiente.

Como se puede observar, la labor principal de la capa de presentación de la aplicación es mostrar la información de forma útil y fácil de entender para el usuario final, permitiéndole tomar acciones de forma más eficiente.

5.6 Implementación

El Panel de Alertas se comenzó a utilizar en el CMB en enero de 2009 de forma intermitente y de forma estable en febrero del mismo año. Desde ese momento, el Panel de Alertas se usa como una de las herramientas básicas con

que dispone el Centro de Monitoreo de Buses para la supervisión de lo sucedido en la ruta.

Una de las ventajas que posee este sistema, avalada por el Jefe del CMB en entrevista realizada (ver anexo 9.2), es que gracias a que las alertas son en el despacho de los buses, la capacidad de gestión sobre ellas es alta; es posible avisar al concesionario de inmediato para que despache buses. En cambio, si la brecha entre buses está en el medio de la ruta, es más difícil su corrección, pues se debe realizar una inyección de un bus, y la congestión en la ruta podría dificultar la llegada a tiempo del vehículo a la posición necesaria.

En otras palabras, el sistema puede detectar el momento exacto en que un concesionario está incumpliendo con el Plan de Operación.

5.6.1 Pruebas

Las pruebas realizadas al sistema para su validación consistieron en comparar las alertas entregadas por el Panel de Alertas prototipo con la información entregada por el Sinóptico Sonda. Estas pruebas arrojaron que el sistema fue capaz de mostrar exactamente lo que está sucediendo. También se detectó en algunos casos que a pesar de haber generado una alerta por una brecha en el despacho de un servicio-sentido, al ser verificada en el Sinóptico, el servicio-sentido en cuestión ya contaba con un bus despachado en la ruta; esto se debe en gran parte a la demora en la actualización del sistema (cada 10

minutos). Por lo anterior se determina que es necesario corroborar las alertas con el Sinóptico antes de realizar alguna acción.



Figura 40: Centro de Monitoreo de Buses Transantiago

Con respecto a la estabilidad, el sistema presentó una disponibilidad de alrededor de un 90%, generando caídas en general por problemas en la base de datos Access.

Aparte de los problemas anteriores, el Panel de Alertas se comportó dentro de lo esperado, considerando que se trata de un prototipo que sirve como la base para el desarrollo de un sistema definitivo.

5.6.2 Impacto

En la Figura 41, correspondiente a un gráfico del número de incidentes detectados en Transantiago por el CMB, es posible notar una clara tendencia al alza en el número de acontecimientos registrados. Esto no quiere decir que la operación de buses de Transantiago bajó su calidad durante este periodo, sino que el Centro de Monitoreo de Buses fue capaz de detectar mayor cantidad de incidentes al día, en gran parte gracias a la existencia de forma estable del Panel de Alertas a partir de febrero.

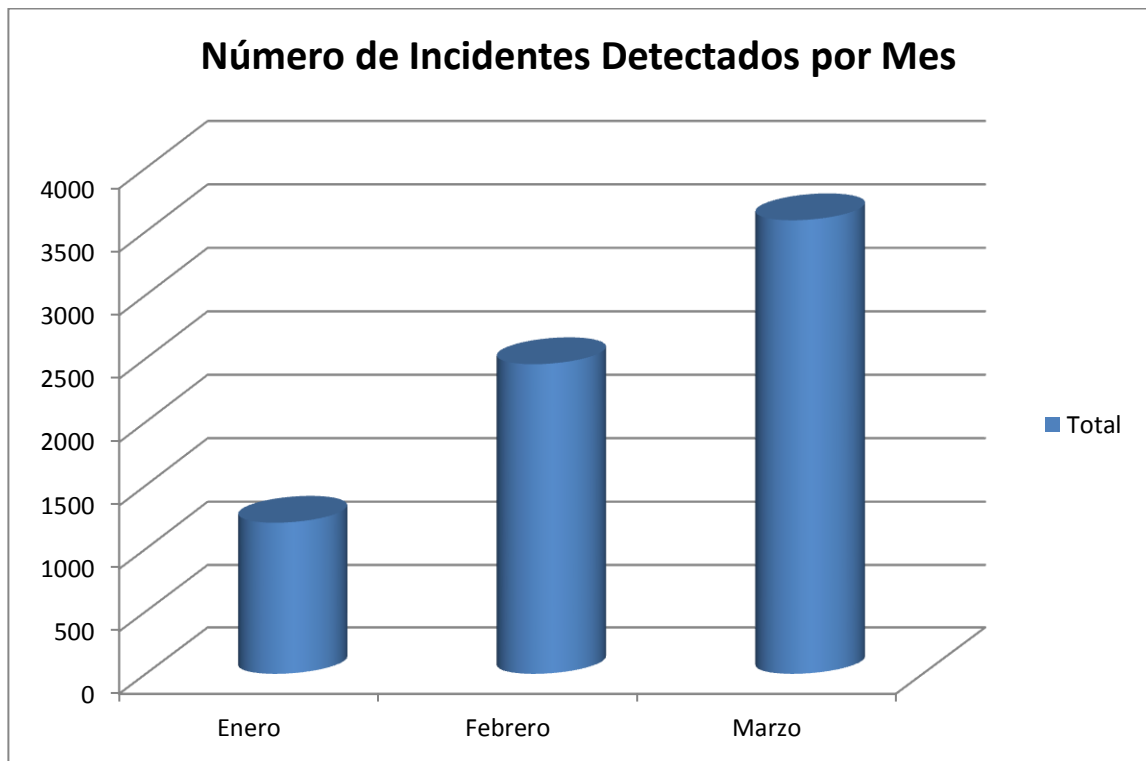


Figura 41: Gráfico Número de Incidentes Detectados

Cabe considerar que durante enero el CMB sufrió un cambio de oficinas que pudo haber mermado la detección eficiente de incidentes en ruta durante

ese mes, aunque de todas formas se nota un crecimiento importante entre febrero y marzo que corrobora la efectividad del Panel de Alertas para mejorar la supervisión de los servicios de buses de Transantiago.

5.6.3 Problemas

El sistema Panel de Alertas desarrollado, a pesar de su gran relevancia para el CMB y Transantiago en general, se trata de un prototipo, por lo que presenta problemas inherentes a este estado. Los más importantes son:

- 1. Estabilidad:** Dado que fue desarrollado en base a sistemas ya existentes en Transantiago (sistema “*Pan-Access*”, desarrollado en Microsoft Access), el Panel de Alertas sufre de caídas intermitentes, incluso algunas veces varias al día. Luego de un monitoreo de varias semanas con herramientas especializadas, se encontró que la disponibilidad del sistema es de aproximadamente un 90%, bastante bajo para ser un sistema de tanta relevancia.
- 2. Actualización:** El sistema funciona en base al archivo plano extraído desde el Sinóptico de Sonda, el cual está disponible sólo cada 10 minutos. Esto permite confiar en las alertas calculadas sólo hasta un par de minutos después de realizados los cálculos, pues después de ese tiempo las alertas están desactualizadas.
- 3. Limitaciones:** El desarrollo en Microsoft Access no permite mayor flexibilidad en la implementación de mejoras en el sistema, especialmente en pos de la estabilidad.

Todos los problemas expuestos, sin embargo, se arreglarían con un desarrollo definitivo del Panel de Alertas en herramientas de clase mundial, tales como J2EE o similar.

5.6.4 Futuro del Sistema

El Área de Vías de Transantiago está convencida de que el Panel de Alertas es una herramienta necesaria para Transantiago. Sin embargo, para ser más funcional, se requiere su desarrollo en sistemas más estables y con más alertas, tales como las propuestas en el punto 5.2.2.

Desde marzo de 2009 se realizaron trabajos con la empresa dedicada al SIAUT (Servicios de Información a Usuarios de Transantiago), responsable en otras cosas de los desarrollos tecnológicos de Transantiago. Esta empresa sería la responsable de desarrollar la versión definitiva del Panel de Alertas para el CMB.

Luego de varios meses de trabajo (desde marzo a septiembre de 2009), fueron desarrollados:

1. Especificación de cómo debía ser el Panel de Alertas definitivo
2. Desarrollo de los casos de uso del Panel de Alertas definitivo
3. Especificación de las reglas de negocio para el cálculo de las alertas de despacho

La empresa SIAUT logró desarrollar una primera versión de la aplicación definitiva. Sin embargo, ésta no alcanzó a ser probada en el CMB por decisión interna de Transantiago; la concesión a SIAUT terminaba en poco tiempo y se decidió cancelar el proyecto.

Las pruebas preliminares a esta aplicación mostraron, a pesar de lo anterior, que el desarrollo era adecuado. Éste estaba siendo realizado en base a tecnología J2EE y bases de datos Oracle.

Sin embargo, queda claro para Transantiago que esta es una herramienta necesaria, y será licitada nuevamente su implementación a una empresa especializada en el desarrollo de software, con todas las mejoras que se requieren.

5.6.5 Mejoras para el Desarrollo Definitivo del Panel de Alertas

Algunas mejoras con que debe contar el Panel de Alertas definitivo ya han sido mencionadas en los puntos anteriores. No obstante, a continuación se detallan todas las mejoras con las que se propone debe contar el nuevo Panel de Alertas.

1. Aumentar la tasa de actualización a al menos cada 2 minutos, absorbiendo los datos directamente de un espejo de la base de datos del Sinóptico de AFT-Sonda, y no mediante un archivo plano extraído cada 10 minutos.

La razón de no requerir una actualización en tiempo real es que se debe considerar que una persona no es capaz de actuar si las alertas se actualizan a una tasa demasiado alta; se deben dejar las alertas fijas un margen de tiempo suficiente como para permitir a los Operadores CMB tomar acciones sobre los incidentes.

2. Mejorar la estabilidad y flexibilidad en el desarrollo del Panel de Alertas, utilizando tecnologías probadas para el desarrollo.
3. Aumentar la cantidad de alertas disponibles, incorporando alertas de regularidad en ruta, frecuencia y buses detenidos, y mediante un servicio de web-service permitir a otros entes del sistema ingresar alertas de accidentes, problemas de congestión u otros.
4. Permitir la visualización del Panel de Alertas a los concesionarios de buses a través de sus Centros de Operación de Flota con el fin de que puedan tomar acciones antes de que el CMB tenga que actuar.
5. Agregar una funcionalidad al sistema que permita almacenar históricamente las alertas específicas generadas, para poder realizar análisis más acabados del comportamiento de los concesionarios en el tiempo. Esto debe incluir facilidades para realizar *Data Mining* sobre los datos.
6. Integrar las alertas con un sistema de *Workflow* que permita llevar un registro de las acciones tomadas por los Operadores CMB y Operadores COF.

Un desarrollo que considere todas estas mejoras asegura que el sistema sea útil, eficiente y eficaz en la detección de incidentes de los servicios de buses de Transantiago, facilitando su supervisión por parte de la autoridad.

6 CONCLUSIONES GENERALES

Al tener que considerar tantos factores distintos, y un volumen de datos inmenso para realizar correctamente las optimizaciones, el transporte público entrega mucho espacio para estudio. Sin embargo, la mayoría de las aproximaciones de solución para los problemas relacionados con el transporte público lo hacen para resolver complicaciones puntuales que se presentan (tales como de diseño de la red, de optimización de uso de buses, entre muchos otros subproblemas). No existen propuestas claras de una arquitectura de procesos base que permita, desde cero, construir un modelo de transporte para una ciudad.

El presente trabajo expone una propuesta para llenar este vacío, partiendo de la base de macroprocesos ya probados en distintas organizaciones, e incluso también en el sector público. Evidentemente existen mejoras que realizar, y particularidades que especificar para cada caso, pero se cuenta ya con un punto de partida y una mirada de cómo se pueden organizar los distintos actores que componen el transporte público, incluyendo los procesos más importantes que se deben considerar.

Por otro lado, queda en manifiesto la importancia que tiene hoy en día el uso de la tecnología para entregar un servicio de calidad a los usuarios. Éstos esperan que los buses se comporten de forma predecible, con el fin de poder cada uno optimizar lo máximo posible el uso de su tiempo. Además, el relativo

fácil acceso que existe hoy en día a poseer un automóvil corresponde a un desafío adicional para el transporte público, el cual debe encantar a las personas para que no se cambien a ese medio de transporte, que en el largo plazo genera muchos más problemas en la ciudad: contaminación, congestión vehicular, pérdida de masa crítica para justificar mejores proyectos de transporte público para el futuro, entre otros.

Finalmente, el prototipo desarrollado, aún en uso en el Ministerio al momento de escribir esta tesis, permite darse cuenta que a veces una aplicación bien diseñada puede ser un punto de partida importante para realizar cambios en una organización; ésta puede gatillar el comienzo de la implementación de procesos más eficientes, y dependiendo de su alcance, puede involucrar desde los niveles organizacionales más bajos hasta los más altos, mejorando a la larga la eficiencia global de la organización.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Páginas web:
 - Coordinación de Transantiago [en línea] [Consulta: diciembre 2009]:
 - http://www.transantiago.cl/web2005/Transantiago_Home2005.htm
 - <http://www.transantiago.cl/web2007/Contratos.htm>
 - http://www.transantiago.cl/web2005/ZZZoperaciones_operacion_vigente.htm
 - Exposición Ministro y otros, octubre 2009 [en línea] [Consulta: marzo 2010]:
 - <http://www.youtube.com/watch?v=ztxKN6mJbg4>
 - Hyperpath [en línea] [Consulta: abril 2010]:
 - <http://rip.trb.org/browse/dproject.asp?n=3440>
 - Páginas de apoyo [en línea]:
 - Google, www.google.com
 - Google Translate, translate.google.com
 - Wikipedia, <http://www.wikipedia.org>
 - Presentación Centro de Monitoreo de Buses por Ministro Cortázar [en línea] [Consulta: noviembre 2009]:
 - http://www.latercera.com/contenido/680_197550_9.shtml
 - <http://www.emol.com/noticias/nacional/detalle/detallenoticias.asp?idnoticia=383079>
 - Software ESTRAUS, [en línea] [Consulta: abril 2010]:
 - http://www.mctsoft.com/html/fr_mct2.htm
- Libros:
 - Barros V. Óscar, Ingeniería de Negocios (Versión 2.0), 2009

- Barros V. Óscar, Ingeniería e-Business, 2004
- Papers y artículos:
 - Benn, H. P., Bus route evaluation standards. Tech. rep., En: Transportation Research Board, Washington DC, Estados Unidos. 1995. 63 p.
 - Ceder, A., Wilson, N. H. M., Bus network design. Transportation Research B, 20: 331-344, 1986.
 - Chakroborty, P. Genetic algorithms for optimal urban transit network design. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 18: 184-200, 2003.
 - Chakroborty P., Optimal Routing and Scheduling in Transportation: Using Genetic Algorithm to Solve Difficult Optimization Problems. Directions, 6(3): 29-40, sep. 2004.
 - Cipriani E. et al., A Procedure For The Solution Of The Urban Bus Network Design Problem With Elastic Demand [s.a.].
 - Cipriani E., Gori S., Petrelli M., Transit network design: a procedure and an application to a large urban area, Roma, Italia, 2010, en aprobación para TRpC.
 - Guihaire V., Hao J. K., Transit Network Design And Scheduling: a Global Review, Francia, 2008.
 - Magnanti, T. L., Wong, R. T., Network design and transportation planning: models and algorithms. Transportation Science, 18(1): 1-55, feb. 1984.
 - Murray, A. T., A coverage model for improving public transit system accessibility and expanding access. Annals of Operations Research, 123: 143-156, 2003.
 - Quak, C. B., Bus line planning. Tesis de Magister. Delft University of technology, Holanda, 2003. 149 h.

- Xiong Y.E. & Schneider J.B. Transportation network design using a cumulative genetic algorithm and neural network. Transportation Research Record, 1364: 37-44, 1993.
- Yu, B., Yang, Z., Cheng, C., Liu, C., Optimizing bus transit network with parallel ant colony algorithm. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5: 374-389, 2005.
- Documentos:
 - Bases de Licitación para el Administrador Financiero Transantiago:
 - Bases AFT 2004
 - Anexo N°4: Anteproyectos, Bases de Licitación para el Administrador Financiero Transantiago.
 - Documento Base de Especificaciones Panel de Alertas Transantiago
 - Libertad y Desarrollo, Transantiago: La Voz de los Usuarios, Temas Públicos, N°846, noviembre 2007
 - RFI para la implementación de un nuevo Sistema de Apoyo a la Explotación de Flota, 2008
 - RFP para la implementación de un nuevo Sistema de Apoyo a la Explotación de Flota, 2009

8 GLOSARIO

8 a. Centro de Monitoreo de Buses (CMB):

Es una unidad a cargo de la Coordinación General de Transportes de Santiago, cuyo objetivo es el monitoreo, control y coordinación de los servicios de transporte público para el mejoramiento operacional continuo.

Esta unidad tiene visualización global de todos los servicios que operan al interior del sistema denominado Transantiago, entre otras funcionalidades.

8 b. Centro de Operación de Flota (COF):

Es el ente existente dentro de cada concesionario que debe hacer la gestión de su flota de buses a través de las herramientas tecnológicas disponibles para esta tarea, tales como el Sinóptico, comunicaciones por voz, entre otros.

Su principal objetivo es lograr que la empresa logre que la operación de buses cumpla con el Plan de Operación acordado con el Gobierno, además de manejar los incidentes que tengan sus buses en la ruta.

8 c. Concesionario:

Corresponde al adjudicatario, que ha suscrito el respectivo contrato de concesión con el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, y que ha otorgado, a satisfacción de éste, sus garantías de fiel cumplimiento, y demás

documentos que determinen las bases de licitación, incluyendo la suscripción de los demás instrumentos jurídicos que las bases señalen.

Un concesionario puede ser titular de una o más unidades de negocio.

8 d. Coordinación General de Transportes de Santiago (CGTS):

Corresponde al ente centralizado que presta el apoyo técnico en el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones en las labores de control y seguimiento de los contratos suscritos entre ese Ministerio y los distintos actores del sistema Transantiago.

8 e. Plan de Operación (PO):

El modelo de operación de Transantiago se basa en la generación primaria de un documento, por parte de los concesionarios y aprobado por la Autoridad (CGTS), denominado “Plan de Operaciones”. Éste es generado trimestralmente por cada concesionario. Dicho documento contiene la información de servicios, trazados y frecuencias que debe cumplir cada empresa en la respectiva zona de concesión. Adicionalmente, a las empresas con concesión troncal se les incluye las horas específicas de salida de los buses.

El “Plan de Operaciones” considera una visión global e integral del sistema para su generación por parte de la Autoridad; todos los servicios son considerados para presentar un plan óptimo para la ciudad de Santiago.

Las empresas concesionarias deben basarse en el “Plan de Operaciones” para desarrollar la programación definitiva (a través de un software de planificación, en algunos casos), con el fin de cumplir de la forma más eficiente lo requerido por la autoridad.

El CMB de la Autoridad se basa en el documento “Plan de Operaciones” para monitorear el cumplimiento por parte de los concesionarios y apoyar la gestión de los servicios.

Los PO son públicos y pueden ser encontrados en la página de Transantiago, específicamente en:

http://www.transantiago.cl/web2005/ZZZoperaciones_operacion_vigente.htm.

El proceso se resume en el siguiente diagrama:

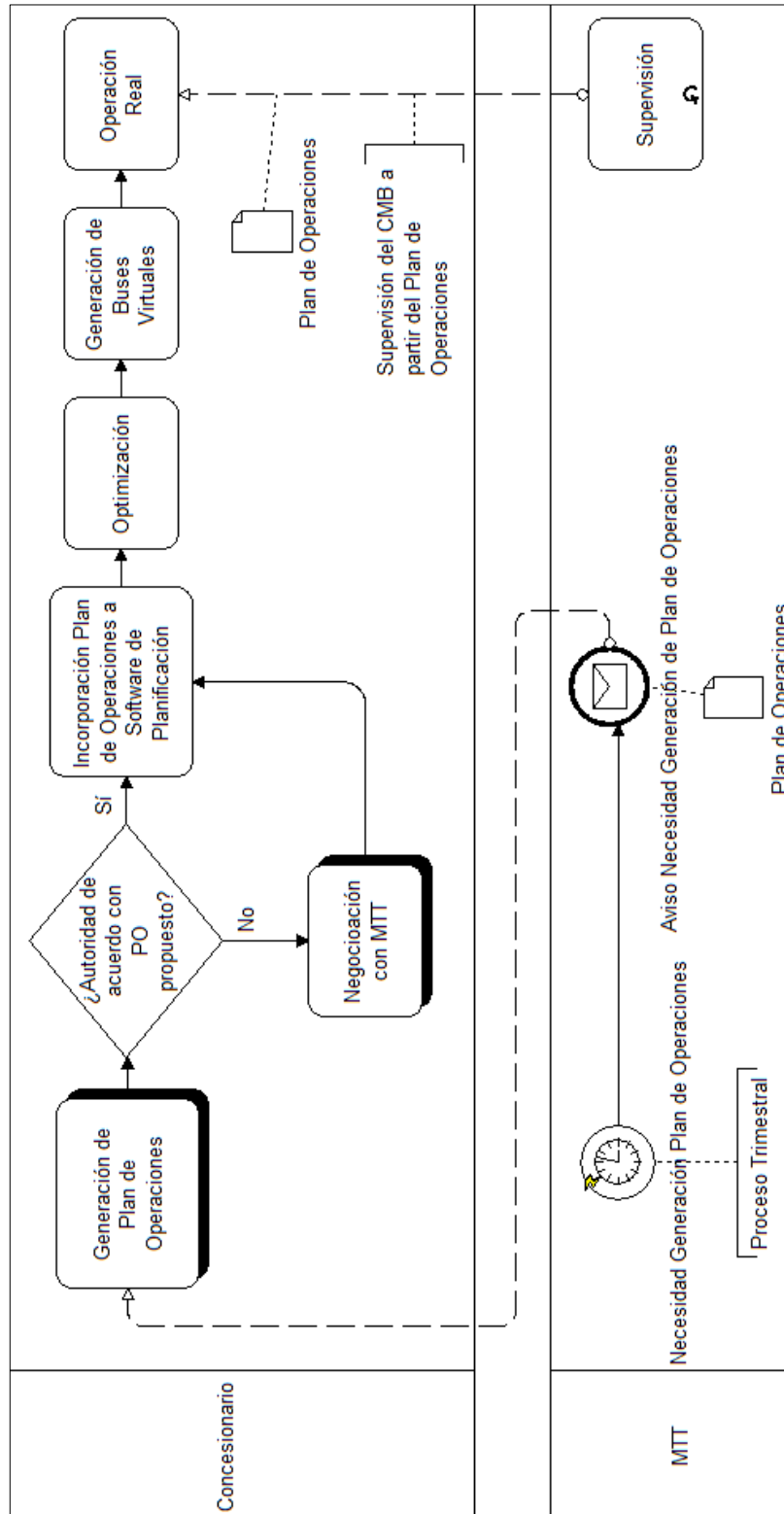


Figura 42: Proceso Generación de PO

Composición del PO Alimentador:

El PO se compone de básicamente tres archivos:

1. Definición de servicios y horarios de operación:

Define los servicios que debe dar el concesionario, los trazados específicos (por qué calles deben ir los buses), los horarios de operación, si debe contar con facilidades para discapacitados, lo que deben mostrar los letreros en los buses, entre otros. A continuación se muestra un extracto de este archivo para la zona C:

Área	Zona	SERVICIO MODELADO	SERVICIO BASES	SERVICIO USUARIO	ORIGEN	Acto Administrativo
1	C	10002	101	C01	Servicio de postulación definido en Bases	Res. 2294 (13.12.2006)
1	C			C01c	Servicio creado a partir del C01	Res. 2294 (13.12.2006)
1	C	10004	102	C02	Servicio de postulación definido en Bases	Res. 2294 (13.12.2006)

Tabla 4: Ejemplo Plan de Operación: Definición Servicios y Horarios

Área	Zona	NOMBRE SERVICIO	Servicios Nocturnos	Horario de Operación			Facilidades a Discapacitados
				Laboral	Sábado	Domingo y Festivos	
1	C	FRANCISCO BILBAO (ET/M) - CERRO 18	no	05:30 - 0:59	05:30 - 0:59	05:30 - 0:59	Parcial
1	C	ESCUELA MILITAR (ET/M) - CERRO 18	no	06:30 - 09:29 / 17:30 - 21:29	-	-	Ninguna
1	C	ESTADIO SAN CARLOS DE APOQUINDO - ESCUELA MILITAR (ET/M)	si	24 horas	24 horas	24 horas	Parcial

Tabla 5: Ejemplo Plan de Operación: Definición Servicios y Horarios

CODIGO USUARIO:	C03
NOMBRE DEL SERVICIO:	ROTONDA PEREZ ZUKJOVIC - CIUDAD DEPORTIVA
INICIO DEL SERVICIO DE IDA	AV. VITACURA / NUEVA COSTANERA
INICIO DEL SERVICIO DE REGRESO	NUEVA BILBAO / VITAL APOQUINDO

TRAZADO DE IDA		TRAZADO DE REGRESO	
CALLE	COMUNA	CALLE	COMUNA
AV. VITACURA	VITACURA	NUEVA BILBAO	LAS CONDES
ROTONDA PEREZ ZUKJOVIC	VITACURA	AV. PADRE HURTADO	LAS CONDES
DAG HAMMARSKJOLD	VITACURA	PATAGONIA	LAS CONDES
AV. BICENTENARIO	VITACURA	CAMINO EL ALBA	LAS CONDES
AV. ALONSO DE CORDOVA	VITACURA	AV. PADRE HURTADO	LAS CONDES
AV. NUEVA COSTANERA	VITACURA	AV. PADRE HURTADO	VITACURA
AV. CIRCUNVALACION AMERICO VESPUCIO	VITACURA	AV. MONSEÑOR ESCRIVA DE BALAGUER	VITACURA
FRANCISCO DE AGUIRRE	VITACURA	AV. MANQUEHUE NORTE	VITACURA
AV. LUIS CARRERA	VITACURA	AV. LUIS PASTEUR	VITACURA
AV. LUIS PASTEUR	VITACURA	AV. LUIS CARRERA	VITACURA
AV. MANQUEHUE NORTE	VITACURA	FRANCISCO DE AGUIRRE	VITACURA
AV. MONSEÑOR ESCRIVA DE BALAGUER	VITACURA	AV. CIRCUNVALACION AMERICO VESPUCIO	VITACURA
AV. PADRE HURTADO	VITACURA	RETORNO PUENTE CENTENARIO	VITACURA
AV. PADRE HURTADO	LAS CONDES	AV. CIRCUNVALACION AMERICO VESPUCIO	VITACURA
CAMINO EL ALBA	LAS CONDES	AV. NUEVA COSTANERA	VITACURA
PATAGONIA	LAS CONDES		
GENERAL BLANCHE	LAS CONDES		
AV. PADRE HURTADO	LAS CONDES		
AV. ALEJANDRO FLEMING	LAS CONDES		
VITAL APOQUINDO	LAS CONDES		

Tabla 6: Ejemplo Plan de Operación: Definición Servicios y Horarios

2. Frecuencias y capacidades a cumplir:

Se divide en 12 tramos horarios del día para días de semana, y un subconjunto de ellos para días sábado o domingos (festivos). Los tramos horarios de día laboral son:

- PRE NOCTURNO (0:00 - 0:59)
- NOCTURNO (1:00 - 5:29)
- TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)
- PUNTA MAÑANA (6:30 - 8:29)
- TRANSICIÓN PUNTA MAÑANA (8:30 - 9:29)

- FUERA DE PUNTA MAÑANA (9:30 - 12:29)
- PUNTA MEDIODIA (12:30 - 13:59)
- FUERA DE PUNTA TARDE (14:00 - 17:29)
- PUNTA TARDE (17:30 - 20:29)
- FUERA DE PUNTA NOCTURNO (21:30 -22:59)
- PRE NOCTURNO (23:00 - 23:59)

Cada tramo horario, por cada servicio y por cada sentido, entrega datos de Frecuencia y Capacidad. En algunos casos entrega más información al concesionario, tal como velocidad media del servicio y/o longitud. A continuación se un presenta un extracto de frecuencias y capacidades de un PO para la zona C:

ID	SERVICIO		PRE NOCTURNO (0:00 - 0:59)		NOCTURNO (1:00 - 5:29)		TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)		PUNTA MAÑANA (6:30 - 8:29)					
	Usuario	Sentido	Frecuencia (veh/hr)	Cap Tte	Frecuencia (veh/hr)	Cap Tte	Frecuencia (veh/hr)	Cap Tte	Frecuencia (veh/hr)	Longitud (Km)	Velocidad (Km/hr)	Cap Bus	Cap Tte	Flota
1	I01	Ida	3,0	214,5	0,0	0,0	6,0	421,3	8,0	21,9	14,4	70,7	565,3	25
	I01	Regreso	3,0	214,5	0,0	0,0	6,0	421,3	8,0	25,4	16,9	70,7	565,3	
2	I02	Ida	3,0	214,5	0,0	0,0	5,0	351,1	10,5	23,9	16,9	70,7	741,9	28
	I02	Regreso	2,0	143,0	0,0	0,0	5,0	351,1	10,5	22,3	19,0	70,7	741,9	
3	I03	Ida	3,0	214,5	0,0	0,0	8,0	561,7	10,5	21,1	15,1	70,7	741,9	26
	I03	Regreso	3,0	214,5	0,0	0,0	8,0	561,7	10,5	20,0	18,5	70,7	741,9	

Tabla 7: Ejemplo Plan de Operación: Definición Frecuencias y Capacidad

3. Paradas de cada servicio

Presenta todos los paraderos de cada servicio a cumplir por el concesionario, especificando su posición geográfica, la esquina que representa el paradero, entre otros datos relevantes. Ejemplo:

Orden	Servicio	Sentido Servicio	Varia nte	Codigo paradero	UN	COMUNA	EJE	CRUCE	ORIENT ACIÓN	X	Y
1	C01	I		E-14-170-SN-10	C	PROVIDEN CIA	TOBALABA	ET26	SN	352643,3571	6299793,186
2	C01	I		L-17-37-PO-20	C	LAS CONDES	ISABEL LA CATOLICA	ALCANTARA	PO	352860,5945	6299931,075
3	C01	I		L-17-37-SN-15	C	LAS CONDES	ISABEL LA CATOLICA	FLANDES	SN	353151,9674	6300094,318
4	C01	I		L-17-37-SN-10	C	LAS CONDES	ISABEL LA CATOLICA	STA ADRIANA	SN	353271,8111	6300237,4

Tabla 8: Ejemplo Plan de Operación: Definición Paradas

Composición del PO Troncal:

Para el caso de los troncales, los planes de operación sólo cambian en el archivo 2, que define las capacidades y frecuencias; en este caso se es más específico y se precisan las horas a las que deben ser despachados los buses desde los cabezales, especificando el tipo de bus que debe ser despachado en el campo "TB". Un extracto del archivo que define esto para la troncal 1 se muestra a continuación:

Dia Tipo	Laboral				Sabado				Domingo y Festivos			
	Diurno				Diurno				Diurno			
No Salida	IDA	TB	REGRESO	TB	IDA	TB	REGRESO	TB	IDA	TB	REGRESO	TB
1	5:30:00	B2	5:30:00	B2	5:30:00	B2	5:30:00	B2	5:30:00	B2	5:30:00	B2
2	5:33:00	B2	5:33:00	B2	5:36:00	B2	5:36:00	B2	5:36:00	B2	5:36:00	B2
3	5:36:00	B2	5:35:00	B2	5:42:00	B2	5:42:00	B2	5:42:00	B2	5:42:00	B2
4	5:39:00	B2	5:37:00	B2	5:48:00	B2	5:48:00	B2	5:48:00	B2	5:48:00	B2
5	5:42:00	B2	5:39:00	B2	5:54:00	B2	5:54:00	B2	5:54:00	B2	5:54:00	B2
6	5:45:00	B2	5:42:00	B2	6:00:00	B2	6:00:00	B2	6:00:00	B2	6:00:00	B2
7	5:48:00	B2	5:45:00	B2	6:08:00	B2	6:08:00	B2	6:08:00	B2	6:08:00	B2
8	5:51:00	B2	5:48:00	B2	6:16:00	B2	6:16:00	B2	6:16:00	B2	6:16:00	B2

9	5:54:00	B2	5:51:00	B2	6:24:00	B2	6:24:00	B2	6:24:00	B2	6:22:00	B2
10	5:57:00	B2	5:54:00	B2	6:30:00	B2	6:30:00	B2	6:30:00	B2	6:28:00	B2
11	6:00:00	B2	5:57:00	C2	6:34:00	B2	6:34:00	B2	6:38:00	B2	6:34:00	B2
12	6:03:00	B2	6:00:00	B2	6:38:00	B2	6:38:00	B2	6:46:00	B2	6:42:00	B2
13	6:06:00	B2	6:03:00	B2	6:42:00	B2	6:42:00	B2	6:54:00	B2	6:50:00	B2
14	6:09:00	B2	6:06:00	B2	6:46:00	B2	6:46:00	B2	7:00:00	B2	6:58:00	B2
15	6:12:00	B2	6:09:00	B2	6:50:00	B2	6:50:00	B2	7:06:00	B2	7:04:00	B2
16	6:15:00	B2	6:12:00	B2	6:54:00	B2	6:54:00	B2	7:12:00	B2	7:10:00	B2
17	6:18:00	B2	6:15:00	B2	6:56:00	B2	6:56:00	B2	7:18:00	B2	7:19:00	B2

Tabla 9: Ejemplo Plan de Operación: Detalle de PO Troncal

8 f. Perfil de Operación:

Para definir lo que deben cumplir los concesionarios en cada uno de los servicios bajo su área de concesión existe el Plan de Operación (punto 8 e). Sin embargo, para poder controlar al concesionario, se necesita otro tipo de información; lo que debería estar sucediendo en cada momento en la ruta, según lo que dicta el Plan de Operación. Esta información no se puede extraer directamente de este documento pues existe un error muy alto en las transiciones entre tramos horarios. Por ejemplo, un servicio puede tener una frecuencia de 4 buses por hora en transición nocturno (5:30 - 6:29) a 12 buses por hora en punta mañana (6:30 - 8:29). ¿Cómo se refleja este cambio en el número de buses que hay en la calle en cada momento?

Al cambiar la frecuencia en la salida de buses repentinamente existe un tiempo de transición con respecto a la cantidad de buses que hay en la calle; los 8 buses faltantes no salen simultáneamente. Además, para saber cuántos buses debe haber en la calle, hay que considerar el tiempo necesario para que un bus realice la ruta completa.

En la ruta deberían haber entonces:

$$N^{\circ} \text{ de Buses en Ruta} = \frac{(\text{Frecuencia por Hora}) * (\text{Tiempo del Recorrido en min})}{60}$$

Por lo que, para el ejemplo dado, y considerando un servicio-sentido de 100 minutos de duración, deberían haber en todo momento 23 buses en la calle.

Se debe considerar además que el tiempo del recorrido también es variable, pues la velocidad media de los buses varía con respecto a la hora del día (debido a la congestión, entre otros factores).

Debido a todo lo descrito anteriormente, es necesaria la construcción del Perfil de Operación, que no es más que una planilla que realiza todos los cálculos necesarios para tener un punto de comparación con respecto a cuántos buses deben estar en la calle en cada momento.

Sentido	Periodo	Minuto del día	Buses entran	Buses salen	Plazas entran	Plazas salen	Bus 5 minutos	Buses 30 minutos	Plaza 5 minutos	Plazas 30 minutos
Ida	NOCTURNO (1:00 - 5:29)	325	0	0	0	0	0	0	0	0
Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	330	1	0	42	0	1	3	42	126
Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	335	0	0	0	0	1	3	42	126
Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	340	1	0	42	0	2	3	84	126
Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	345	0	0	0	0	2	3	84	126
Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	350	1	0	42	0	3	3	126	126
Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	355	0	0	0	0	3	3	126	126
Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	360	0	0	0	0	3	3	126	126
Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	365	1	1	42	42	3	3	126	126

Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	370	0	0	0	0	3	3	126	126
Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	375	1	1	42	42	3	3	126	126
Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	380	0	0	0	0	3	3	126	126
Ida	TRANSICIÓN NOCTURNO (5:30 - 6:29)	385	0	0	0	0	3	3	126	126
Ida	PUNTA MAÑANA (6:30 - 8:29)	390	2	1	92.4	42	4	8	176.4	369.6
Ida	PUNTA MAÑANA (6:30 - 8:29)	395	1	0	46.2	0	5	8	222.6	369.6
Ida	PUNTA MAÑANA (6:30 - 8:29)	400	1	1	46.2	42	5	8	226.8	369.6
Ida	PUNTA MAÑANA (6:30 - 8:29)	405	1	0	46.2	0	6	8	273	369.6
Ida	PUNTA MAÑANA (6:30 - 8:29)	410	2	1	92.4	42	7	8	323.4	369.6

Tabla 10: Ejemplo Perfil de Operación, servicio C01 IDA

8 g. Servicio o Línea:

Conjunto de buses definido en base a lo establecido en el Programa de Operaciones:

- Trazado
- Sentido
- Frecuencia y/o horario de salida de los buses
- Pudiendo ser Alimentador/Troncal/Metro o subservicios de éstos (Expreso, SuperExpreso, u otro).

8 h. Sinóptico:

Interfaz gráfica, disponible para los concesionarios de transporte público de Santiago, que es parte de las herramientas de la Solución Transitoria de gestión de flota de Transantiago.

El sinóptico permite visualizar un servicio de buses por medio de dos líneas verticales, que representan la ruta de éste, tanto de ida como de vuelta. Sobre estas líneas es posible localizar en el sinóptico los buses que están

prestando ese servicio, así como también los paraderos, entre otras informaciones relevantes para gestionar la flota.

Dentro de la propuesta hecha por los oferentes para esta RFP, el sinóptico no debe necesariamente limitarse a lo expuesto en esta definición.

8 i. Transantiago:

El conjunto de Proveedores de Servicios de Transporte y de Servicios Complementarios, que concurren a suscribir con el Ministerio de Transportes los contratos de concesión de uso de vías o de prestación de servicios y quienes legalmente les sucedan en dichas funciones.

8 j. Tiempo entre Buses:

El inverso de la frecuencia en un periodo de tiempo, corresponde al tiempo entre salidas de buses; en otras palabras, corresponde al tiempo entre dos inicios consecutivos de viajes.

8 k. Unidad de Negocio:

Conjunto de servicios de transporte público remunerado de pasajeros, ya sean troncales o alimentadores, que será prestado por un Concesionario, ya sea en ejes Troncales o áreas alimentadoras, asociado a las vías estructurantes o, a una zona geográfica determinada respectivamente.

8 I. Viaje:

Corresponde a la entrega de servicio de transporte por parte de un bus en una línea, en una hora determinada, desde el inicio hasta el final del recorrido.

9 ANEXOS

9.1 Ejemplo Archivo Plano Exportado desde Sinóptico de AFT-Sonda

Nota: La patente se repite con el fin de mostrar que se trata del mismo bus; toda esta información viene en una sola línea de texto, pero se ilustra de la forma vista en este anexo para su más fácil lectura.

Patente	Ubicación Bus	Posición	Ubicación Bus T xt	Ruta	Sentido Ruta	Estado Actual	Nombre Ult. Pto. Control	Código Bus
ZN-5309	1	9.28	En Ruta	T402	RETORNO	Normal	PUDAHUEL ET36	ZN-5309
BJFJ-66	1	13.04	En Ruta	T207	IDA	Normal	Paradero Santa Rosa/Los Franciscanos	BJFJ-66
PV-7895	99	0	No operativos y Otros	T307	IDA	Detenido más de 30 minutos	305E - MECANICA PESADA	PV-7895
BJFF-42	6	15.4	En Terminal	T510	IDA	Fuera de Ruta por más de 12 horas	T5-La Estrella 1427	5B421
PE-9540	7	0	Fuera de Ruta	F05	RETORNO	Fuera de Ruta por más de 30 minutos	Paradero Gabriela/Col Nva Nazaret	PE-9540

Tabla 11: Ejemplo Archivo de Texto Importado, Parte 1

Patente	Tiempo Sucesor 2	Velocidad	Tiempo Antecesor	Modelo Bus	Tiempo Sucesor	Fecha Gps	Tiempo Tx	Rango
ZN-5309	2	0	11		2	08-01-2009 14:00	0:00:03	Dentro de 10 m
BJFJ-66	0	29	21		0	08-01-2009 13:57	0:02:44	Dentro de 10 m
PV-7895	0	0	0		0	08-01-2009 13:57	0:03:11	Dentro de 10 m
BJFF-42	0	0	0		0	08-01-2009 13:56	0:04:00	Dentro de 10 m
PE-9540	0	0	0		0	08-01-2009 13:55	0:04:16	Dentro de 10 m

Tabla 12: Ejemplo Archivo de Texto Importado, Parte 2

Patente	Velocidad Tramo	Capacidad	Hora Plan Inicio	Bus Sin Gps	Tiempo Detenido	Delta Tiempo VS Plan	Velocidad	Tiempo Punto Cercano	Hora Real Inicio
ZN-5309	20	160	13:47	0	0	0	20	12	13:47

BJFJ-66	20	91	13:17	0	0	0	20	28	13:17
PV-7895	20	77	10:57	0	10800	0	20	60	10:57
BJFF-42	20	98	9:42	0	0	0	20	0	9:42
PE-9540	20	77	19:16	0	0	0	20	0	19:16

Tabla 13: Ejemplo Archivo de Texto Importado, Parte 3

9.2 Entrevista a Juan Oñat, Jefe del Centro de Monitoreo de Buses Transantiago

Entrevista realizada el 6 de octubre de 2009 con el fin de obtener una visión de lo que ha significado el Panel de Alertas para Transantiago.

1. ¿Cuál es el principal rol del CMB?

Supervisar la operación de buses en Santiago. No toma acciones de sanción. Aporta información a otros actores para que apliquen sanciones cuando es necesario. Informa también a los mismos COF sobre los problemas.

Tiene además un rol coordinador entre los distintos actores del sistema, especialmente en casos cuando Unidades están en problemas. (Un operador, por ejemplo, contractualmente no tiene por qué apoyar a otras unidades, pero se ayudan por orden del CMB).

La autoridad sí tiene contractualmente capacidades para pedir operaciones especiales a las unidades.

Coordinación con el Metro: para todos los efectos, el Metro es una unidad de negocio más del sistema.

No hay otra entidad en Transantiago que pueda ver el sistema entero (un COF ve sólo su unidad de negocio).

2. ¿Por qué se requería un sistema como el Panel de Alertas?

En el lugar detectado por el panel como falla, es donde hay mayor capacidad de gestión, por el hecho de estar en el cabezal; si hay una brecha en el medio, es más difícil de corregir, pues se debe inyectar bus y puede haber congestión dificultando su llegada.

Para el segundo problema, se podrían tener "buses de inyección" en la mitad de la ruta. Se requeriría un terminal especial para ello en el centro de la ciudad.

3. ¿Cuál ha sido el impacto del sistema en la detección de incidentes? ¿ha sido positivo?

El Panel de Alertas ha sido positivo, teóricamente es una buena solución, que aporta. Pero hay cosas que atentan contra el sistema, que tienen que ver especialmente con el archivo de entrada.

Estabilidad de la herramienta es un problema. Aportaría para el respeto de la herramienta.

Otro problema del panel es que dado su diseño no tiene forma de hacer estudios en la historia específica de las alertas; sólo el atraso general.

4. ¿En definitiva, ha servido el Panel de Alertas?

Sí, en el sentido de que permite precisamente identificar el momento específico en que alguien está incumpliendo, e incluso el momento en que se puede corregir el problema.

Cuando hay un intervalo en el medio de la ruta, es más difícil que el concesionario haga algo. En cambio, el concesionario puede acá hacer algo, o simplemente debe sincerarse y dice que no puede cumplir.

Honestamente, teóricamente el panel es una buena herramienta, pero no se ha ganado el respeto en el CMB que debería. Siempre hay que corroborar la información, apoyado por el Sinóptico.

5. ¿Qué mejoras le haría al sistema?

Incorporar alertas de regularidad (brechas en ruta, no el despacho).

Mejorar actualización panel, aunque se debe considerar la capacidad de reacción de todo lo que salga.

Bus debe ir ligado a su capacidad, pues una cosa es la frecuencia, otra la capacidad de transporte.

Incorporar un Workflow; ejemplo desarrollo acá: plantilla para correos a concesionarios.