



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

**DISEÑO DE DEMANDA RESTRINGIDA (CONSTRAINED) POR ORIGEN-
DESTINO PARA UNA LÍNEA AÉREA NACIONAL MEDIANTE
HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
INDUSTRIAL**

JUAN PABLO GARCÍA SAAVEDRA

**PROFESOR GUÍA:
JOSÉ ARTURO MOSQUERA CADIZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
PATRICIO MARIO CONCA KEHL
JOSÉ RAFAEL CORREA HAEUSSLER**

**SANTIAGO DE CHILE
SEPTIEMBRE 2010**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
POR: JUAN PABLO GARCÍA SAAVEDRA
FECHA: 06/09/2010
PROF. GUÍA: JOSÉ MOSQUERA CADIZ

**DISEÑO DE DEMANDA RESTRINGIDA (CONSTRAINED) POR ORIGEN-DESTINO
PARA UNA LÍNEA AÉREA NACIONAL MEDIANTE HERRAMIENTA DE
SIMULACIÓN**

El presente trabajo de título tuvo como objetivo principal mejorar el proceso de estimación de demanda, encontrando además la demanda *constrained* o restringida por origen-destino para toda la red de LAN Airlines. Para ello se desarrolló un modelo basado en herramientas de simulación, que permitiese encontrar las soluciones objetivo en un tiempo práctico, considerando el tamaño y complejidad de la red en cuestión.

Un modelo que permitiese conocer la demanda por origen-destino se hizo necesario pues en los últimos años se ha desarrollado una nueva tendencia en la administración de redes aéreas, en donde se busca mirar el tránsito de pasajeros por origen y destino real en la red, y no analizar aisladamente cada tramo (arco en una red) para luego intentar juntarlos. Esto hace muy complejo el desarrollo de pronósticos por origen-Destino, pues existe una cantidad no menor de influencias sobre un único par de estos.

Para LAN Airlines este tema ha sido discutido hace un par de años y se ha hecho necesario el desarrollo de un modelo que permita conocer la demanda por origen-destino-punto de venta en toda la red, en base a los pronósticos ya otorgados por un proveedor. El gran dilema de los datos de proyección provistos, es que estos no tienen asociada una restricción de capacidad en la red de LAN, por lo que son sobre valorados y por lo tanto no generan una información que pueda usarse para la toma de decisiones en el día a día. Dentro de estas decisiones se encuentran la cancelación de vuelos, la combinación de pasajeros a un mismo avión, aumento de frecuencia para un mismo día, entre otras.

Así se desarrolló un modelo que logró capturar gran parte de las variables importantes a la hora de analizar el negocio mismo a nivel de reservas y cancelaciones, obteniendo finalmente la demanda restringida o *constrained*. Los resultados fueron expuestos de manera que se explicarán además los errores respecto de la realidad, mostrando muy buenos resultados en los negocios Doméstico Chile e Internacional.

Además del desarrollo mismo de la herramienta, y su posterior evaluación, se expuso el potencial impacto que podría tener la implementación del modelo, asumiendo que este se enmarcaba en un conjunto de prácticas asociadas a la toma de decisiones operacionales. Así fue como se argumentó que el potencial impacto provocaría un

aumento en las utilidades mensuales de un 2,14%, logrando percibir ingresos por 203 MM USD.

Es importante señalar que esta información ya está siendo ocupada para la toma de decisiones que, sumada a otros indicadores, logra armar un portafolio de información presente semana a semana en reuniones para decisiones tácticas y operacionales.

Agradecimientos

Hilar palabras de agradecimiento en una instancia como esta no es tarea fácil, y menos al tener que mirar hacia atrás y ver quiénes fueron los que hicieron de mi persona lo que siento ser hoy.

Quiero agradecer a María Paz y a José por guiarme en la realización de este proyecto, que sin la ayuda de ellos, el desarrollo del mismo carecería de un sin fin de miradas.

A mis hermanas Soledad y Alejandra, por ser siempre referentes en mi vida.

A Rosario, compañera inseparable en lo simple y complejo de la vida.

Finalmente a mis padres Soledad y Osvaldo, por haberme dado todo e inspirar mi pasado, presente y futuro.

Índice

	Pág.
1. Introducción.....	8
1.1 La industria aérea y LAN Airlines.....	8
1.2 El Revenue Management en LAN Airlines	9
1.3 El problema que enfrenta LAN Airlines	10
1.4 Alcance del Trabajo	12
1.5 Plan de Trabajo	12
2. Contexto y Marco Teórico	14
2.1 El Revenue Management.....	14
2.2 Historia del Revenue Management.....	15
2.3 Revenue Management y Simulación.....	17
2.4 Tablas <i>Hash</i>	18
2.5 BidPrice/AU.....	18
2.5.1 BidPrice	19
2.5.1 AU	20
2.6 Integración soluciones.....	21
2.7 Beneficios de analizar la red por O-D.....	22
2.8 Demanda <i>Unconstrained</i>	23
3. Objetivos.....	26
3.1 Objetivo General	26
3.2 Objetivos Específicos.....	26
4. Metodología	27
4.1 Elección OD's por etapas	27
4.2 Selección de variables.....	27
4.3 Análisis de Resultados evolutivo	27
4.4 Complejidad y Modelamiento a medida	28
5. Prefactibilidad y Dimensión del problema	29
5.1 Tamaño de la Red.....	29
6. Desarrollo del Modelo.....	31
6.1 Cimientos del modelo.....	31

6.1.1	Primer modelo en Java.....	32
6.1.2	Problemas y conclusiones primer modelo	34
6.2	simOD v2.....	35
6.2.1	Cancelaciones.....	35
6.2.1.1	Dos modelos de cancelaciones	37
6.2.2	Límites por segmento	40
6.2.3	Asignación de Itinerario.....	40
6.2.4	Cambio itinerario ante rechazo en reserva.....	42
6.2.5	<i>Show Up</i>	44
6.2.6	Vuelos <i>Offline</i>	45
6.2.7	<i>Up Grade</i>	46
7.	Validación Modelo	47
7.1	Elección período de análisis e iteraciones.....	48
7.2	Validación Modelo	50
7.2.1	Ajuste por mercado.....	50
7.2.2	Tramos importantes	58
	Santiago-Concepción.....	58
	Santiago-Miami.....	59
	Santiago-Madrid.....	59
	Lima-Cuzco.....	60
7.2.3	Comparación con proyección por FO existente	60
7.2.4	Composición por ruta	62
7.2.5	Validación y conclusiones	65
8.	Resultados Simulador.....	66
8.1	Demanda <i>constrained</i> por O-D	66
	Santiago – Punta Arenas (SCL-PUQ).....	67
	Santiago –Buenos Aires (SCL-EZE).....	67
	Santiago – Lima (SCL-LIM)	68
	Santiago – Arica (SCL-ARI)	68
	Composición Origen-Destino-Punto de venta en tramo SCL-AKL.....	69
9.	Impacto económico.....	70
9.1	Situación inicial y cambio en FO.....	70
9.2	Beneficio económico	73

9.3 Costos incurridos.....	75
10. Conclusiones	76
11. Oportunidades y propuestas	77
11.1 Ajuste de FO y cancelaciones.....	77
11.2 Modelamiento cercano a la realidad.....	78
11.3 Optimización procesos	78
12. Referencias	80

1. Introducción

En este capítulo se pretende contextualizar el trabajo de memoria, dejando en claro la industria y empresa en dónde se desarrolla, como también mostrando su motivación y posterior plan de trabajo.

1.1 La industria aérea y LAN Airlines

Pocas invenciones en la historia han cambiado tanto la manera en que las personas viven y conviven con el mundo como lo ha hecho la invención del avión. Durante las dos guerras mundiales se invirtió mucho dinero en la confección de cada vez mejores y sofisticados sistemas aéreos, mejorando considerablemente su tecnología y diseño. Después de la Segunda Guerra mundial el primer vuelo comercial se vendió para satisfacer demanda en Europa y desde ahí que no ha parado su venta, más aun, resulta difícil imaginar la vida sin el uso de este medio de transporte. De esta manera la industria aérea ha progresado y lo sigue haciendo, haciendo que millones de personas puedan volar distancias y llegar a destinos remotos que antes se consideraban imposibles de visitar.

Tal ha sido la demanda por transporte aéreo, que la competencia se ha hecho cada vez más férrea entre los diversos agentes oferentes del servicio aéreo. Es por ello que captar un pasajero y/o carga, más puede ser determinante en el futuro de una aerolínea, llevando a destinar gran parte de las energías al desarrollo de herramientas que se traduzcan en una mejor lectura del mercado, precios y consiguiente mejor oferta a los clientes.

Lo márgenes observados necesitan cada vez más esfuerzo por parte de la aerolínea para hacer frente a los grandes costos que hay que asumir para la puesta en marcha del servicio propiamente tal. Es aquí en donde nace el *Revenue Management* (RM) llevando a la industria a crecer mucho más vía una mejor lectura de lo que el cliente está dispuesto a desembolsar en cada ticket que paga. El RM tiene como premisa minimizar el excedente del consumidor, vendiendo el asiento indicado, al cliente indicado y en el momento indicado.

Todo lo anteriormente comentado no apunta a otra meta que es la de hacer lo más rentable posible su inventario “perecible”, pues una vez que el avión despegó todos los asientos vacíos se habrán perdido y sólo habrán quedado como una oportunidad de incrementar la ganancia. De aquí tanta inversión en Investigación y Desarrollo, de aquí la inmensa oportunidad de estudio y resolución de problemas.

La memoria se desarrolló en la empresa LAN Airlines, específicamente en el área de Sistemas Comerciales e Investigación Operacional (SCIO), perteneciente a la gerencia de Desarrollo y Revenue Management.

LAN Airlines es una de las aerolíneas líderes en América Latina, consolidando a LAN Airlines, LAN Express, LAN Perú, LAN Argentina y LAN Ecuador, sumándose

además LAN Cargo y sus filiales. En su conjunto LAN Airlines tuvo una utilidad neta de 231 MM USD el año 2009, en donde el negocio de pasajeros es el principal motor, llegando a proporcionar cerca del 72% de las ganancias para la compañía, transportando cerca de 15 millones de pasajeros al año.

1.2 El Revenue Management en LAN Airlines

Para realizar esta labor, LAN Airlines enfrenta el problema en 2 partes. Primero, segmenta a los pasajeros en grupos significativos de manera estándar, generando un producto distinto para cada grupo resultante. Este producto es básicamente un asiento en el avión, sujeto a una serie de restricciones que, mientras más barato sea el asiento, más restrictivas son. Esta segmentación es lo que comúnmente se conoce como clases tarifarias.

Luego, para cada uno de los segmentos se determina la demanda esperada en cada uno de los vuelos. Para esto se utiliza el software "PROS O&D", el cual fue recientemente implementado, reemplazando la versión anterior de este software PROS 5. La novedad de este nuevo software es que permite realizar optimizaciones de acuerdo al origen-destino real del pasajero, y no por un tramo específico de vuelo, que era como se realizaba antes. De esta manera, se puede estimar la red completa de LAN, reconociendo lo que se espera que haga realmente el pasajero.

Una vez que el programa determina las demandas esperadas, existen dos alternativas; la primera, es manejar el inventario (los asientos del avión) a través de "disponibilidades". Esto es, asignarle a cada clase un número máximo de asientos. Esto es muy importante porque si todas las clases tuvieran una disponibilidad infinita, en los escenarios de alta demanda, los pasajeros comprarían con anticipación las clases más baratas nada más, y los pasajeros de negocios, que son más rentables y suelen desear comprar un pasaje cuando el vuelo está más próximo a su salida, no encontrarían espacio.

La segunda forma, y es a la cual LAN está migrando, es manejar su inventario a través de un elemento similar al costo de oportunidad llamado *Bidprice*, el cual no depende de las clases en las cabinas. En términos simples es asignarle a cada asiento un valor que corresponde a cuanto le cuesta a la aerolínea venderlo ahora según su valor esperado futuro dada la demanda estimada. Este valor, se compara con la tarifa que el pasajero quiere pagar, y si ésta es mayor, se le vende el asiento (por supuesto, todo esto resulta invisible para el pasajero).

El manejo de disponibilidad por clase, y el manejo por *Bidprices* son teóricamente idénticos como solución, pero en la práctica permiten un manejo mucho más detallado y preciso del inventario, permitiendo tomar mejores decisiones.

1.3 El problema que enfrenta LAN Airlines

Actualmente los sistemas que se ocupan para estimar la demanda son sumamente complejos e incluyen un sinnúmero de restricciones y variables. Todo ello debe procesarse en tiempos lo suficientemente cortos como para que la optimización ayude en el día a día de los sistemas.

Específicamente el software *PROS O&D* genera un pronóstico el cual considera tanto la historia observada, como la situación actual en toda la red. Si bien este pronóstico tiene en cuenta una cantidad de información no despreciable y toma en cuenta todas las restricciones referentes a la red LAN, deja de lado una restricción no menor. El pronóstico que arroja el *software* asume que la capacidad de la red es infinita, lo que se traduce en que la demanda no está restringida a lo que es capaz de soportar la red misma. Es así como se ha definido a esta demanda como “Demanda *Unconstrained*”, haciendo referencia justamente a que no está restringida.

Si bien para todos los demás procesos en los cuales *PROS O&D* interfiere de alguna u otra manera esta no consideración de capacidad en la demanda no afecta mayormente, el pronóstico mismo no permite tener una idea de lo que realmente es lo que se proyectará como demanda. En otras palabras se tiene un pronóstico sobreestimado y que no se ciñe a las características mismas de la red LAN. Por lo mismo mirar este pronóstico con el fin de tomar decisiones comerciales no es factible, pues no entrega la información realmente necesaria y esperada de una proyección de demanda.

Si bien existen otros pronósticos que apoyan la toma de decisiones, estos realizan las proyecciones por tramo (arco en una red) y no por origen-destino de los pasajeros. Esto es justamente a lo que se ha migrado en los últimos años, pues es mucho más valioso entender el comportamiento de los pasajeros por su real origen-destino, que ver su trayectoria como la suma de los diferentes tramos de su recorrido final. Estos pronósticos sumados al levantamiento de una serie de indicadores, son la base para la toma de decisiones al corto, medio y largo plazo.

El problema se agranda al entender la dimensión de la información requerida como para llegar a un pronóstico acabado que permita tomar mejores decisiones. Actualmente LAN Airlines vuela más de 420 orígenes-destino al día solamente en su red, dejando de lado rutas *offline* con otras aerolíneas por medio de alianzas. Sumado a ello, se manejan todas las restricciones impuestas a la toma de decisión de si aceptar o rechazar una reserva potencial de acuerdo a los criterios de apertura y cierre de las distintas clases en las diferentes cabinas de un mismo vuelo.

Así, desarrollar una proyección de demanda restringida a las capacidades de la red involucra a priori un manejo extensivo de información, pero además se necesita que la herramienta que apunta a tomar mejores decisiones genere la información de forma eficaz y eficiente en el consumo de recursos.

Por otro lado, se han planteado metas que apuntan a mejorar los factores de ocupación en los distintos mercados en donde opera LAN Airlines. El Factor de Ocupación (FO) es la razón entre el número de pasajeros que finalmente se subió a un

avión en particular dividido por la capacidad del mismo. Es por ello que, un aumento en el FO se traduce inmediatamente en mayores ingresos para la compañía. Este beneficio se ha estimado en estudios desarrollados al interior de LAN Airlines y se ha llegado a establecer que un aumento de entre 1 a 5% en el FO, para factores de ocupación menores al 95%, se traducen en un aumento en las utilidades de entre 2,5 a 7 MM USD al año. De aquí el gran beneficio que puede traerle a la compañía un mejor apoyo en la toma de decisiones en pos de mejorar sus FO en la red.

1.4 Alcance del Trabajo

Apoyar a la mejora en la toma de decisiones comerciales mediante el desarrollo de una mejor proyección de demanda por origen-destino es el fin último de este proyecto de memoria. Específicamente se pretende dar un apoyo a la toma de decisiones tales como la cancelación de vuelos cuando la demanda no satisface un número crítico que haga rentable la salida de un vuelo en particular; la fusión de vuelos, entendiéndose ello como la oportunidad de juntar dos vuelos que tienen un mismo origen y destino y que además presentan bajo factor de ocupación por separado, pero alto si se fusionan; el desarrollo de promociones para levantar una demanda caída. En general todas estas decisiones apuntarán a obtener un mejor factor de ocupación en los vuelos.

Para ello se desarrollará una herramienta basada en la simulación la cual pretenderá modelar las situaciones de decisión a las cuales se ve enfrentada una potencial reserva (decisiones que el cliente claramente no ve), teniendo como *input* el pronóstico de demanda *unconstrained* mencionado anteriormente.

Dado que es imposible segmentar la red, pues la interacción entre los distintos orígenes-destinos de la red es muy alta y diversa, primero se trabajará en los cimientos de la herramienta solamente con un origen-destino. En base a este escenario se analizarán todas las falencias y oportunidades que el modelo pudiera llegar a presentar, y con ello se elaborarán las mejoras. Además de ello se montará un escenario distante a la realidad considerando menos variables en un principio, para luego ir sumando la totalidad de ellas. Esto se justifica pensando en el tamaño del problema a resolver y en la complejidad esperada.

Una vez finalizada la etapa recién mencionada, se procederá a incorporar el pronóstico para toda la red, trabajando en la eficacia y eficiencia de la herramienta. Junto con ello se irán analizando la incorporación de maneras de acabar con un modelo que refleje la realidad en las decisiones internas, lo más fehacientemente posible.

1.5 Plan de Trabajo

El Plan de Trabajo contemplará cinco grandes etapas. Una primera etapa estará ligada al levantamiento de la información necesaria para entender el comportamiento de la red a modelar. En ella se espera entender a cabalidad los distintos procesos de decisión respecto a la aceptación/rechazo de una potencial reserva. Así se pretenderá distinguir los entes involucrados y cómo es la interacción entre ellos.

Una segunda etapa estará ligada al levantamiento de los cimientos de la herramienta propiamente tal. Para ello se desarrollará un modelo basado solamente en un origen-destino y con un subconjunto de todas las variables involucradas en un modelo acabado. De aquí se espera crear cimientos fuertes que permitan crecer en el tamaño de la información involucrada.

Luego de finalizar la etapa anteriormente descrita, se pasará a incorporar todos los orígenes-destino que existen en la red. Se imposibilita tener un paso intermedio, pues la interacción entre todos los puntos de la red es alta e inevitable al mismo tiempo. Asimismo se incorporarán todas las variables y restricciones importantes a la hora de la toma de decisiones para el modelo. Un punto importante a esta altura será el desarrollo de una herramienta que cumpla con los objetivos, pero de forma eficaz y eficiente en el manejo de recursos.

En una cuarta etapa se espera analizar el comportamiento del modelo contrastándolo con información histórica y validándolo a diferentes niveles. En esta etapa se espera además agregar nuevas y diferentes maneras de modelar variables intrínsecas del modelo, haciendo del proceso uno totalmente retroalimentado. Además de ello se contrastaran los resultados obtenidos por el modelo con proyecciones actuales, viendo cómo se comportan ambas proyecciones finalmente en contraste con la realidad.

Finalmente se espera mostrar los resultados de demanda *constrained* e información adicional que pudiera salir del proceso de simulación, que pudiera resultar útil para la toma de decisiones. Esto último se refiere a básicamente tomar toda la información levantada y cruzar datos de manera que estos finalmente proporcionen nuevas miradas para su final uso en diagnósticos y/o toma de decisiones.

2. Contexto y Marco Teórico

En esta sección se pretende introducir la terminología y el desarrollo de las diferentes herramientas utilizadas en el trabajo de memoria. Es así como se pretende abarcar desde la historia del RM y sus diferentes técnicas, como también su relación con la simulación y el *Hashing*, seguido de cómo LAN Airlines se enfrenta en el día a día a resolver las diferentes contingencias utilizando estas técnicas.

2.1 El Revenue Management

El Revenue Management (RM), también algunas veces llamado Yield Management, se ha ganado un gran espacio en la teoría y práctica de negocios en los últimos 15 a 20 años. Sin importar si ello conlleva a encasillarlo como una disciplina emergente o una nueva ciencia de gestión, el RM es un conjunto de estrategias y tácticas que apuntan a mejorar la utilidad de un cierto negocio. En general, y dependerá de la industria y tamaño del negocio en dónde esté inserto, el RM es bastante complejo ya que necesita tener control de distintos aspectos en la gestión de un negocio, incluyendo gestión de tarifas, movilidad respecto de las ganancias, y gestión del canal de distribución, por nombrar algunas.

El RM es multidisciplinario ya que entremezcla elementos del marketing, operaciones, y gestión financiera en una nueva manera de pensamiento. Es así como el trabajo en conjunto de todas las principales áreas de una compañía deben dialogar en un canal limpio y de fácil acceso, para que el producto final ofertado sea en común acuerdo en los principales ejes de la empresa.

Específicamente en el caso del transporte de pasajeros para las aerolíneas, la capacidad se mantiene fija porque cambiar qué avión vuela una ruta específica, basado en la demanda, es la excepción antes a la regla. Es por eso que se dice que cuando un avión sale desde su origen, los asientos no vendidos no generan utilidad y se consideran como perecibles. Las aerolíneas en general monitorean cómo se están vendiendo los asientos en una cabina en particular y actúan para, por ejemplo, ofrecer descuentos cuando los asientos se proyectarán como no vendidos.

Otra forma de capturar mejores escenarios es intentando segmentar el mercado. Una firma deberá redefinir su inventario básico en diferentes productos para conseguir este fin. En el caso de las aerolíneas esto se traduce en aplicar restricciones de compra, requerimientos en el largo de la estadía y aplicando impuestos o “seguros” para cancelar o modificar tanto itinerario como fecha de viaje.

A grandes rasgos, la forma en que una aerolínea sortea estas decisiones es dejando cierto número de asientos reservados para acaparar la probable demanda por asientos con tarifas altas. Los precios de los asientos varían inversamente respecto de los asientos reservados en una cabina determinada, esto es, mientras más asientos hayan reservados en una cabina, mayor será el precio de cada asiento. Esto continuará

así hasta que el precio de la clase *premium* iguala a la de la clase *economy*. Basado en esta filosofía es que se determina el precio del nuevo asiento que será vendido.

La forma de entender cabalmente lo que hay detrás del RM en la industria aérea de pasajeros, es entender al avión como un multi-producto, en donde existen diferentes clases (productos) y estas tendrán distintos precios. Así se pasa de la situación descrita en el Gráfico 1, en donde solamente se logra capturar a aquellos pasajeros que están dispuestos a comprar a un precio dado y los demás se pierden, a una situación en el Gráfico 2, en donde se logra segmentar el mercado para acaparar una mayor demanda.

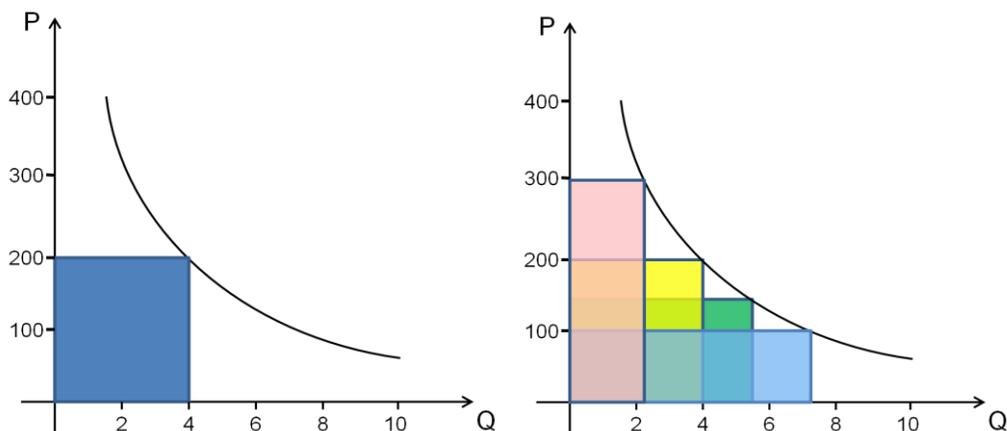


Ilustración 1: Tarifa única y múltiples tarifas

De esta forma se puede ver que el hecho de cobrar una sola tarifa, en el primer caso, genera ingresos por $4 \times 200 = 800$. Mientras que si se aplica una multi-tarifa, como se aprecia en el segundo caso, se obtienen ingresos por $300 \times 2 + 200 \times 4 + 150 \times 5 + 100 \times 7 = 2850$. Luego, la idea es encontrar las tarifas que permitan segmentar de mejor manera el mercado y encontrar las disposiciones a pagar de un mayor número de clientes. Así el excedente de los consumidores se reduce, generando un mayor ingreso en base a la discriminación por tarifas y motivo de compra (viaje de negocios, turismo, etc.).

2.2 Historia del Revenue Management

La historia del Revenue Management comienza en el año 1978 cuando la junta civil de aviación de los Estados Unidos (U.S. CAB) perdió control de los precios que las aerolíneas publicaban, que hasta ese momento habían estado estrictamente regularizados, basados en objetivos de precios y ganancias. Este cambio tuvo como consecuencia un gran cambio en la industria, dejando a las aerolíneas ser libres en términos de cambios en precios, itinerarios y servicio, sin tener que recurrir a la CAB para su aprobación.

Algunas aerolíneas aceleraron su desarrollo de reservas computacionales (CRSs) y sistemas de distribución global (GDSs) llevando a una mejor centralización de la información, que sin duda les permitía una mejor toma de decisiones, aumentando la brecha con otras aerolíneas que no estaban a la par.

Al mismo tiempo el mercado se vio afectado por la entrada de aerolíneas de bajo costo, que basaban su estrategia de negocio en recorrer pocas ciudades y brindar menos servicios, debido a que lograban conseguir una gran utilidad pero bajando los precios de los pasajes aéreos. Así lograron capturar una demanda que hasta ese momento no se había capturado, en donde el servicio pasaba a segundo plano, y sólo se reemplazaba el uso de un auto por el de un avión. Resultó entonces que, ante la sorpresa de muchos, el precio del transporte aéreo era casi elástico, haciendo que cuando el precio era lo suficientemente bajo, pasajeros cambiaban de manejar su auto a volar en avión.

Mientras estas compañías aéreas obtenían ganancias muy grandes, la mayoría de las aerolíneas más grandes tenían características que las pequeñas carecían. Estas ofrecían itinerarios mucho más frecuentes, servicios a más ciudades y establecieron un nombre y una reputación. Para muchos pasajeros de negocios, conveniencia en los itinerarios y servicio era (y sigue siendo) mucho más importante que el precio, por lo que el miedo de estas aerolíneas entrantes, en este segmento, era casi nulo. Aun así, las ganancias cayeron drásticamente debido al efecto que se tuvo en otros segmentos. Claramente se pedía a gritos una nueva estrategia de recapturar la elección de los pasajeros perdidos.

La resolución a esta tan esperada estrategia se le asocia a Robert Crandall, el vicepresidente de marketing en American Airlines en ese momento. La forma en que se procedió fue haciendo una combinación de restricciones a la compra de boletos seguido de tarifas controladas de acuerdo a las capacidades. Diseñaron descuentos que tenían asociadas restricciones de tiempo a la salida del vuelo, no se podían devolver y requerían un mínimo de estadía en el destino. Esto apuntaba justamente a segmentar el mercado dejando de lado a los pasajeros de negocios, para que no compraran boletos con tarifas menores. Así lograron introducir una estrategia que les permitía ofrecer boletos con descuentos, teniendo en cuenta el movimiento respecto de la capacidad, pero sin dañar al segmento de los pasajeros de negocios.

En el lanzamiento de la estrategia se encontraron muchos problemas, mayormente debido a que el comportamiento de la demanda era muy cambiante respecto de los días de la semana, por origen-destino, y otras variables. Así fue como nació lo que terminó llamándose DINAMO: *Dynamic Inventory Allocation and Maintenance Optimizer*. DINAMO se convirtió en el punto de inicio del RM actual, en donde se tomaban en cuenta muchas más variables que hacían que los “descuentos” fueran acordes al origen-destino mismo y de acuerdo al momento de compra y vuelo. Básicamente el sistema manejaba los precios y capacidades de acuerdo a cómo se estaba moviendo la red completa, y de acuerdo a las estrategias escogidas con antelación.

Fue así como American Airlines pudo competir con todas las aerolíneas más pequeñas que ofrecían tarifas bajas, llegando incluso a ofrecer mejores tarifas. Un caso fue el de PeopleExpress, la cual pasó a obtener en el año 1984 su record en utilidades,

al año 1986 declararse en banca rota (DINAMO se lanzó el año 1985). Finalmente Continental Airlines compró PeopleExpress, pues su negocio era insostenible.

Como resultado de la historia, la práctica del RM en la industria aérea es altamente compleja, pero al mismo tiempo permite poder competir asumiendo los cada vez más altos costos fijos. Es por ello que se ve como una filosofía crítica a la hora de obtener mayores ganancias en uno de los rubros más competitivos que se ha visto en la historia.

2.3 Revenue Management y Simulación

En todos los modelos de optimización que se ocupan para obtener límites de capacidad en las clases, distribución de itinerarios, horarios de salida, etc., se necesita información de demanda. Es por ello que existen distintos modelos determinísticos de programación matemática que capturan los efectos en toda una red, juegan un rol predominante en la teoría y práctica del RM en aerolíneas. Aun así, estos modelos no logran capturar importantes variables como lo son la incerteza en la demanda, soluciones nesteadas, y el dinamismo en la naturaleza del proceso de reservas. Alternativamente, el problema de la red puede fraccionarse en problemas para tramos (arcos en una red) para los cuales hay métodos satisfactorios en optimización, pero estas formas de abordar el problema no logran capturar el comportamiento de la red como un todo.

Buscar otro foco para llegar a soluciones ha sido materia de estudio hace un tiempo ya. Teniendo en cuenta que el RM se ha desarrollado lo suficiente, y que les permite a las aerolíneas poder funcionar de buena forma, se han abierto espacios para explorar nuevas formas de levantar información para una mejor toma de decisiones. Es tal la cantidad de información que se tiene, que un buen uso y/o reproceso de ella, puede llevar a mejorar la calidad de la misma.

La simulación se ha adentrado en este campo, ofreciéndole al RM una mirada distinta que busca hacerse cargo de movimientos que difícilmente pueden modelarse en un problema de optimización. Estudiar tanto el comportamiento de los potenciales pasajeros, como de la red misma, ayuda a construir modelos que puedan mutar de acuerdo a variables intrínsecas del modelo. Esta herramienta se ha ocupado en los últimos años, para sobreponerse a lo determinísticos, estáticos y particionados que resultan ser los modelos de optimización ocupados a la fecha, dejando de lado la naturaleza dinámica y estocástica de la demanda.

Si bien la simulación no pretende reemplazar los modelos de optimización, esta busca agregarle dinamismo a lo que a simple vista parece ser estático y poco dinámico, introduciendo comportamientos que pueden evolucionar con la simulación misma y responder de diferentes formas en distintos escenarios.

2.4 Tablas *Hash*

Dada la gran cantidad de información que será necesario manejar durante los procesos de simulación, se ocupará una técnica conocida como “*Hashing*”, la cual se basa en guardar información en memoria para acceder rápidamente, consultarla y modificarla de forma reiterada y sucesiva.

Las tablas *Hash* son una derivación de esta técnica en donde se almacenan datos en una tabla en memoria, en donde cada dato de la tabla está referenciado a una clave. Es por eso que se dice que las tablas *hash* son una función inyectiva, en donde al aplicarle la función a un elemento, este hace referencia solamente a un elemento, y no se dan ambigüedades en ese sentido.

La utilización de tablas *hash* permite un acceso casi directo a registros, lo que significa que, en promedio, una búsqueda puede llegar a requerir sólo uno o dos intentos en la memoria o el archivo que contiene la información. La clave es una cadena de bytes, entonces la función de *hash* debería ser como un índice de los registros que tiene una distribución aleatoria sobre las cadenas de entrada esperadas. De otra forma, habría más colisiones de *hash* (dos elementos para una misma clave) degradando así el tiempo de búsqueda. Si, por ejemplo, la clave es alfabética, cada byte puede tener sólo 26 de sus 256 valores posibles. Funciones tan simples no distribuirán los índices de una forma pareja.

Es así que las tablas *hash* se han ocupado cuando se necesita manejar una cantidad no despreciable de información, y acceder a la misma reiteradas veces a un bajo costo en recursos y tiempo. En otras palabras, estas tablas permiten un simple manejo de datos, siendo muy eficientes en el manejo de ellos, sacrificando memoria RAM y no tiempo.

2.5 BidPrice/AU

En esta sección se pretende entender el manejo de inventario (asientos) y su relación con las estrategias de venta de los mismos. Específicamente existen dos maneras de ir manejando la entrada de reservas potenciales; una primera hace relación al costo marginal de aceptar una nueva reserva dado el estado actual del inventario, esta se conoce como manejo por *BidPrice*. La segunda, es una manera de centrarse en definir capacidades o límites por clases. De esta forma, nos centramos en la relación entre las clases de una misma cabina y en cuánto más se debería permitir dado el estado actual en los cierres de las clases. Esta última manera de entender la entrada y no entrada de reservas se denomina en inglés como *Authorization Level*, pero se conoce por AU. Tanto el manejo por *BidPrice* como el manejo por AU tienen la misma solución, el de entender los costos de oportunidad de una nueva reserva más.

2.5.1 BidPrice

Dentro de los manejos de inventario, el manejo por *BidPrice* hace relación directa con el costo de oportunidad que tiene una nueva reserva. De esta forma se asocia un valor concreto (costo) a un asiento, dado el número de reservas en ese instante en una cabina determinada, teniendo intrínseco el tiempo que resta para el vuelo. Luego este valor irá creciendo a medida que el avión se va llenando, teniendo siempre opciones por parte de analistas de hacer incidencias de forma tal de hacer más costosa/fácil la entrada de reservas.

Para determinar si una reserva es aceptada, se debe cumplir que la suma de todos los *BidPrices* para los distintos tramos en el origen-destino (OD), debe ser menor o igual al *FareValue* del OD, cómo lo muestra la ecuación 1. El *FareValue* entonces, representará hasta qué punto la compañía estará dispuesta a asumir el costo de llevar esa reserva por ese OD. De esta forma el *FareValue* equivale un punto de corte que sale de la optimización diaria de la red, que tiene consigo involucrado distintas políticas tanto de la utilidad completa para la red, como también de decisiones estratégicas en algún minuto dado. En términos simple, el *FareValue* corresponde a la tarifa pagada por el pasajero.

$$\sum_{i \in T} BidPrice_i \leq FareValue$$

Ecuación 1

Para entender mejor el funcionamiento del *BidPrice*, tomemos el siguiente ejemplo. Consideremos un OD con tres tramos por recorrer. En este caso el OD es ARI-SCL, y se debe pasar por los tramos ARI-ANF, ANF-LSC y LSC-SCL. Pensemos además que el *FareValue* del OD es 2000. A continuación se plantea una situación de *BidPrices* en donde las cabinas para todos los tramos tienen solamente 10 asientos, como lo muestra la tabla 1.

Tabla 1: BidPrices para el OD ARI-SCL

N° Asientos Restantes	<i>BidPrice</i> ARI-ANF	<i>BidPrice</i> ANF-LSC	<i>BidPrice</i> LSC-SCL
1	1800	1000	2000
2	1300	700	1500
3	900	440	900
4	600	220	750
5	400	100	610
6	280	40	400
7	180	15	250
8	110	5	100
9	50	1	40
10	1	1	1

Luego, si en el primer tramo quedaban tres asientos, en el segundo, seis y en el tercero cuatro, la suma de *bidprices* es de 1690. Ahora ese valor debe ser comparado con el *FareValue* del OD (ARI-SCL), el cual es independiente de los tramos que se ocupen para volar el OD, y ver si la suma de los *bidprices* es menor o igual que ese valor, y de cumplirse, la reserva es efectiva. En este caso en particular la suma es menor que el *FareValue* (2000) por lo que la reserva si se realiza.

Cabe notar, que el vector de *Bidprice* siempre es creciente cuando el número restante de asientos en la cabina es decreciente. Algo totalmente intuitivo y va de la mano con que los últimos que llegan a un vuelo en particular les debe costar más reservar finalmente en ese tramo.

2.5.1 AU

Así como existe la forma de aplicar restricciones a la aceptación o rechazo de reservas vía la asociación de costos, existe otra manera y que está asociada a limitar la capacidad por clase. Esta restricción toma todas las clases existentes en una cabina y les asocia a cada una de ellas un máximo de reservas permitidas. De esta forma, se asocia primero a cada clase con un “valor”, y respecto de ello se generan las soluciones para la capacidad.

Esta capacidad se ha denominado *Authorization Level* (AU) y es una solución nesteadada para las capacidades de cada clase. Este “nesteo” se traduce en que siempre ingresarán reservas a clases más altas o de mayor *revenue*, no ocurriendo lo mismo con las de menor *revenue*. Asimismo se determinan las protecciones en cada clase que serán las que finalmente determinarán si una reserva en particular es efectiva o no.

Para entender mejor el punto anterior, se ha ejemplificado una solución de AU para un tramo X en la tabla 2. Esta tabla muestra las clases, su AU nesteadado y las protecciones en cada clase.

Tabla 2: AU nesteadado y Protecciones

Clase	AU (nesteado)	Protección
A	125	1
B	124	44
C	80	40
D	40	20
E	20	10
F	10	10

Aquí se puede ver cuáles son los “límites” asociados a cada clase (protección), que salen de la solución de AU nesteadada. Al final de cuentas el criterio para aceptar una reserva en una clase determinada es: si la protección en esa clase es mayor que cero se acepta la reserva. Si es que la protección en esa clase es cero, se busca hacia abajo hasta encontrar una clase que tenga protección mayor que cero, y se le “roba” ese espacio a esa clase.

Al final de cuentas, lo que busca la solución por AU es siempre dejar entrar a clases que aporten con mayor *revenue* que otras más bajas. Es por eso que se dice que el espacio se hereda en soluciones por AU.

Finalmente cuando un OD se evalúa por AU, tiene que haberse aceptado la reserva (protecciones mayores que cero) en todos los tramos del OD. Tomando el mismo ejemplo que en la sección anterior, para que el OD ARI-SCL sea reservado, tiene que cumplirse la solución de AU en el tramo ARI-ANF, ANF-LSC y LSC-SCL. Basta que un tramo se caiga por AU para que el OD completo se caiga.

2.6 Integración soluciones

El por qué se decide ocupar AU o *BidPrice* para un OD en particular, tiene que ver con los factores de ocupación (FO) que se están viendo. Así para ciertos mercados se ocupa en general AU y para otros la comparación entre los *BidPrices* y el *FareValue*. Específicamente los vuelos con un FO potencial proyectado bajo el 50% son trabajados por AU y sobre el 60% son trabajados por *BidPrice*. Si un vuelo está por entre 50% y 60% de FO, el vuelo estará por AU si es que antes estuvo por AU, y estará por *BidPrice* si es que antes estuvo por *BidPrice*.

El cuadro 1 permite resumir la interacción entre los dos modelos, y el cómo se entremezclan las decisiones de actualización de inventario.

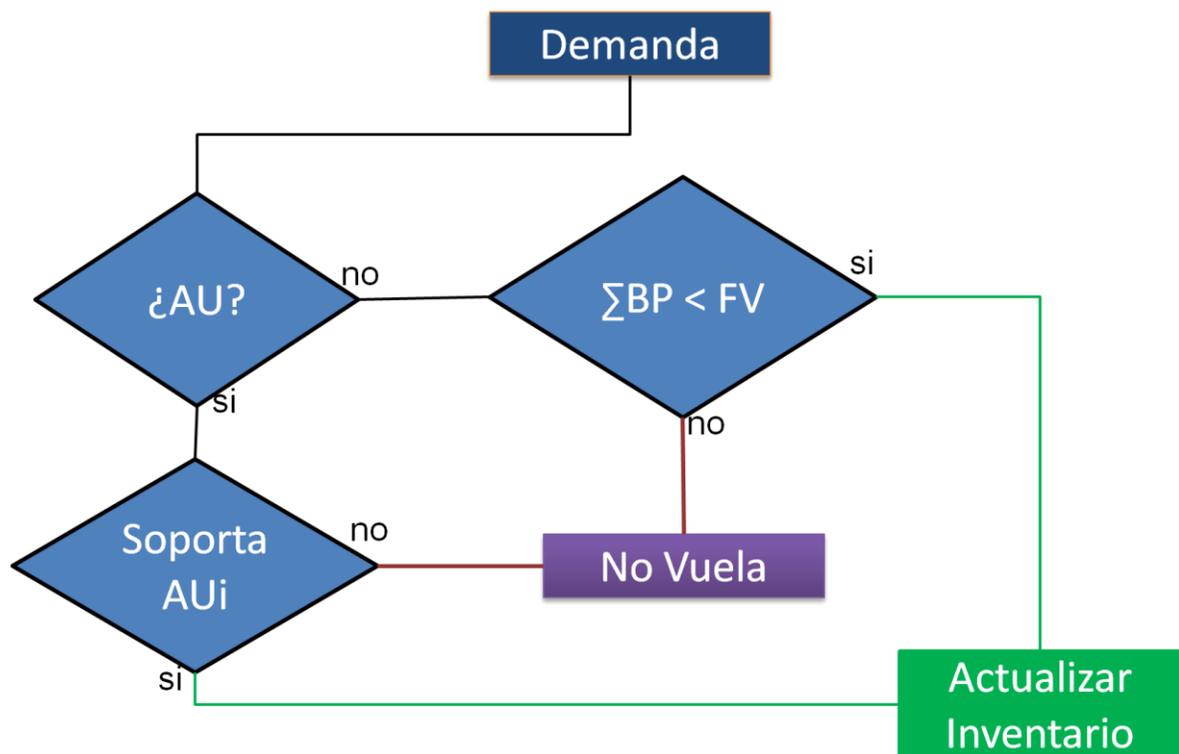


Ilustración 2: Integración BidPrice – AU

Como se puede ver en el cuadro 1, primero se evalúa si es que el OD es por AU o por *BidPrice/FareValue*. Luego se analiza si es que la suma de los *BidPrices* para todos los tramos es menor o igual que el *FareValue*, en el caso de que así se tenga que evaluar el OD, o viendo si es que en todos los tramos las protecciones de esa clase en particular permiten la reserva, para el caso por AU.

2.7 Beneficios de analizar la red por O-D

Hace no más de un par de años atrás que la forma de analizar y optimizar las redes en servicios de pasajeros en las aerolíneas ha cambiado. Este cambio se debe básicamente a que se pretende entender de mejor forma el comportamiento de los pasajeros y su interacción con la red. Es por ello que se ha pasado de analizar la red por tramos a por origen-destino en las rutas de los pasajeros, ya que esto último ayuda a maximizar el beneficio total para la red y no de manera aislada cuando se trabaja por tramo.

Anteriormente los sistemas tradicionales de *Revenue Management* realizaban decisiones de apertura/cierre de clases en vuelos individuales. Al no considerar estos sistemas el mercado por O-D, que es una combinación de los puntos de despegue y aterrizaje del pasajero, no se puede maximizar la utilidad total de la red. En particular, cuando se optimiza el cierre/apertura por clase para un vuelo, estos sistemas asumen que existe espacio en las conexiones posibles, cuando en realidad no lo hay.

El optimizar por O-D considera explícitamente todas las combinaciones de conexiones, itinerarios y clases para reservar, por lo que se proyecta una demanda de pasajeros que considera el aporte de cada combinación por O-D, y los casos en donde las distinciones por Punto de Venta (POS en inglés) son relevantes. Esta forma de optimizar resuelve un gran problema de optimización matemática que determina qué conexiones, itinerarios, y clases para reservar, tienen que estar abiertas, utilizando capacidad limitada, para maximizar la utilidad de toda la red.

Un ejemplo que clarifica el beneficio de analizar la red por origen-destino es el de quién se aceptaría en la siguiente situación. Consideremos dos tramos contiguos, AAA-BBB y BBB-CCC, y tres pasajeros distintos con las siguientes disposiciones a pagar:

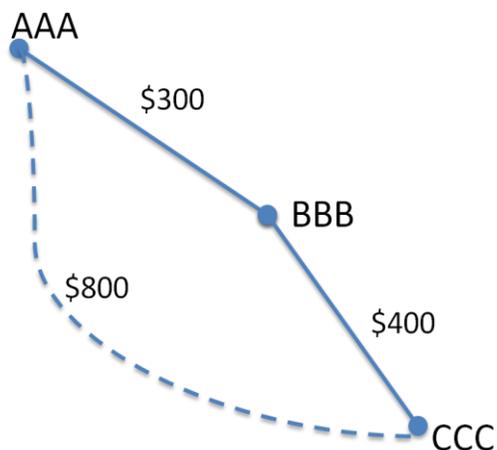


Ilustración 3: Tramo vs OD

Entonces, si se acepta al pasajero que quiere volar el tramo AAA-BBB y al pasajero que quiere volar el tramo BBB-CCC, se obtendrían ingresos por $\$300 + \$400 = \$700$. Pero si se aceptase al pasajero que quiere volar el O-D AAA-CCC, se obtendrían ingresos por $\$800$, ocupando exactamente el mismo espacio en las dos opciones. De esta manera queda en claro que el optimizar la red por O-D incorpora las interacciones entre distintos tramos, en contraposición con la versión en donde se analizan de manera aislada pretendiendo obtener el máximo de utilidad sin incorporar a todos los actores relevantes a su alrededor.

2.8 Demanda *Unconstrained*

En LAN Airlines existe un proveedor que entrega soluciones a todo lo anteriormente expuesto (*BidPrices*, *FareValues*, *AUs*) y además de ello se provee de una proyección de demanda para un tiempo futuro. Este tiempo puede ser incluso de dos años, pero el error del pronóstico es tal que en realidad no se ajusta en lo absoluto con la realidad. Pero para plazos más cortos, esta proyección sirve como base para establecer las políticas de cierre de clases, la optimización diaria de la red en términos de *BidPrices* y *AUs*, límites por segmento, entre otros.

Ahora bien, el dilema de esta proyección es que asume que la capacidad en la red no tiene restricción alguna, entendiéndose con ello que la capacidad en las cabinas es infinita y no acotada. Así, esta demanda, que por cierto es sumamente detallada, sobreestima la demanda y por lo mismo no entrega números que puedan analizarse muy en detalle.

Esta proyección de demanda contiene diversas dimensiones que permiten caracterizar detalladamente cada número en la proyección. A continuación se presenta un cuadro que muestra las dimensiones más importantes de la demanda, un ejemplo y la explicación de cada dimensión.

Tabla 3: Ejemplo de Demanda Unconstrained

Nombre Dimensión	Ejemplo	Descripción
Origen Online	LAX	Origen del OD en la red LAN
Destino Online	SCL	Destino del OD en la red LAN
POS	CL	Punto de Venta (País)
Fecha Vuelo	2010-04-18	Fecha del Vuelo
PATH – TOD	LAX-LIM-SCL 14-2359	Aeropuertos que visita (escalas) y ventana de tiempo en el día en donde sale el primer vuelo. En este caso el primero vuelo debe salir entre las 00:14 y las 23:59.
DCP	14	El DCP indica cuánto tiempo antes se espera las reservas. Existen 17 DCPs, y cada uno representa una ventana de tiempo de días. El DCP 17 es el mismo día del vuelo, el 16 es el día anterior, el 14 es un intervalo de 5 días entre el tercer y octavo día antes del vuelo. La duración de las ventanas de tiempo no es uniforme, y es creciente a medida que se va alejando de la fecha de vuelo.
Origen Offline	LAX	Origen del OD, que no necesariamente es el mismo <i>online</i> .
Destino Offline	SCL	Destino del OD, que no necesariamente es el mismo <i>online</i> .
Reserva Influenciada	5.32	La reserva influenciada, además se provenir de factores históricos, estacionalidad y otros, se influencia respecto a otro tipo de factores que pudiesen influir en su valor.
Error Reserva Influenciada	0.14	Error en la medición de la reserva influenciada.
Cancelación Influenciada	3.65	Ídem a reserva influenciada.
Error Cancelación Influenciada	0.84	Ídem a reserva influenciada.

Como se puede ver en esta proyección, otorgada por el software "PROS O&D", permite desarrollar un trabajo tomando estos datos como un buen y detallado *input*. La demanda viene para toda la red y necesita de una fecha vista para hacer una bajada. Es tal la cantidad de información que proviene de esta proyección, que hace inviable su almacenamiento en alguna base de datos, así que cada día se va perdiendo la proyección del día anterior.

De esta manera se puede bajar una proyección parada en el día actual y con eso analizar los datos de esta demanda sin restricciones. He aquí el primera paso para el desarrollo de esta memoria.

3. Objetivos

A continuación se expondrán los objetivos que tiene este proyecto de memoria, los cuales se pretenden resolver y cumplir en las diferentes áreas y características del modelo a desarrollar.

3.1 Objetivo General

Mejorar el proceso de estimación de demanda, encontrando además la demanda *constrained* o restringida por origen-destino para toda la red de LAN Airlines.

3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar una herramienta que presente una proyección de demanda con bajo error en el pronóstico.
- Obtener la composición por origen-destino-punto de venta para cualquier tramo o vuelo de la red.
- Obtener los resultados en un tiempo tal que el modelo resulte práctico en el día a día.
- Desarrollar un modelo que logre incorporar comportamientos reales observados tanto en procesos de reservas como de cancelaciones.
- No limitar el crecimiento de la herramienta en pos de acercarse aun más al comportamiento real tanto de pasajeros entrando al sistema, como también del cómo se maneja el negocio internamente en la compañía.

4. Metodología

En esta sección se pretende dejar en claro las herramientas metodológicas que se ocuparán en el desarrollo del presente trabajo de memoria.

4.1 Elección OD's por etapas

Dado el nivel de complejidad que se necesita para procesar una cantidad muy grande de datos, se ha optado por elegir ciertos OD's representativos de ciertos mercados para cimentar la programación de un modelo que finalmente abarque todo. Es por ello que se ha decidido trabajar primero con un OD que se evalúa su aceptación y rechazo en las reservas por AU, y luego otro en donde se evalúa por *BidPrice/FareValue*.

Esta forma de dividir el trabajo es para ver que cada modelo, en donde se apunta a lo mismo, logre capturar la esencia de cada forma de discriminación. Además de ello esto permitirá centrar energías también en el desarrollo del manejo de datos, pensando en cómo finalmente abordar toda la red, tema que se verá más adelante.

4.2 Selección de variables

Así como se segmentará el mercado en un principio, lo propio se hará con las variables que entrega la demanda *unconstrained*. Esto se refiere a que en una primera etapa el modelo no considerará ciertas variables para ver cómo se van entremezclando las decisiones y restricciones con la demanda. De esta forma se pretende reconocer fallas oportunamente en un modelo básico, y no dejarlas pasar en otro más complejo.

Otro tema no menor es el del tiempo. Este tema va de la mano con la gran cantidad de datos que se deberán procesar simultáneamente para dar con resultados. Es por ello que la idea de partir con un modelo básico permitiría encargarse de que ese tiempo no explote a la hora de correr el modelo con toda la red integrada.

4.3 Análisis de Resultados evolutivo

De manera de ir siempre alineado a la realidad, es que a medida que se van quemando etapas, se realizarán además análisis de resultados para los resultados obtenidos. Quizás estos resultados en los primeros modelos estén muy alejados de la realidad, pero aun así existen formas de analizarlos para que ciertas restricciones sí se estén cumpliendo, o que ciertas decisiones asociadas al modelo se desarrollen de la forma en que fueron programadas.

Nuevamente el propósito detrás es no dejar escapar fallas que en modelos más complejos, sean casi imperceptibles y muy difíciles de detectar. Esta forma de atacar la complejidad que tendrá el modelo en etapas posteriores, resulta ser muy apropiada y de fácil retroalimentación.

4.4 Complejidad y Modelamiento a medida

Si bien en las primeras etapas la prioridad es buscar el buen funcionamiento de modelos simples y básicos, no se dejará de ver las maneras de ir introduciendo ciertas variables o modelos de decisión que se acoplen de buena manera con la realidad. De estos, habrán algunos que se escaparan del objetivo de una etapa determinada, pero que sin duda quedarán en el tintero para etapas posteriores.

Este tipo de modelamiento, está pensado para analizar distintos escenarios y el cómo su presencia afectan en los resultados finales. Ejemplo de estos, son las distribuciones en el tiempo de cancelaciones, elección de itinerarios para un mismo *path*¹, a qué clase se asocia un pasajero que proviene de una cabina *business* cuando tiene que pasar a un avión que no tiene esa cabina, por nombrar algunos.

¹ Path: corresponde a la ruta para completar un OD. Por ejemplo el OD SCL-LAX, tiene como posibles path SCL-LIM-LAX y otro SCL-LAX.

5. Prefactibilidad y Dimensión del problema

Esta sección pretende hacerse cargo de la dimensión del problema mismo y la evaluación del cómo pretende ser abordado. En muchos casos existe exceso de información disgregada que consume muchos recursos en ser consultada, tanto en tiempo como en recursos de memoria virtual para un computador. Es por ello que la manera de abordarse tiene que ser tal que finalmente se acceda de manera eficaz y eficiente.

5.1 Tamaño de la Red

Para el desarrollo del modelo, se ha optado por considerar solamente los vuelos *online*, esto quiere decir que sólo se consideraran los vuelos operados por la compañía y se dejarán de lado los vuelos con alianzas con otras líneas aéreas. Esto es básicamente por el acceso al control de toda la información que se necesita para manejar inventarios, *bidprices*, cierres y/o aperturas de clases, entre otros, que solamente sabe y conoce cada aerolínea.

Pensando entonces en solamente la red LAN, se han analizado diferentes días en el año para obtener números que no estén sujetos solamente a estacionalidad o influencias externas. Los resultados que se resumen en la tabla 3, muestran datos promedio para cada caso y reflejan un poco lo complejo de la interacción entre ellos, y el manejo simultáneo de la información.

Tabla 4: Variables importantes y sus valores promedio

Variable	Valor Promedio
ODs/día	420
Tramos/día	440
Reservas potenciales/día	120.000
Clases/tramo	20
Contadores de reserva/día	400.000
Itinerarios posibles	85.000

Si se piensa en un horizonte de tiempo de análisis de un mes, estos números pueden crecer de manera tal que procesar la demanda entrante y preguntar por las diferentes variables alojadas en distintas tablas puede ser totalmente inviable.

Actualmente en LAN todas estas tablas están almacenadas en grandes bases de datos que permiten fácilmente acceder a sus valores en el tiempo. Pero el hecho que sea fácil no considera que se gasta mucho en recursos, memoria y tiempo, para

acceder a ellos. Es por esto que la manera de hacerlo debe ser una que permita una lectura y escritura/actualización rápida y con recursos de un computador normal y de características estándar.

Por último cabe señalar que el pronóstico de demanda *unconstrained*, que sirve como *input* para el modelo, involucra toda la red y tiene un nivel de detalle tal, que supera los 20 millones de registros. A partir de ellos se debe desagregar aun más, para hacer de cada reserva un hito dentro de la modelación.

En síntesis se cuenta con un volumen de reservas potenciales muy grande, que hacen referencia a un sinnúmero de combinaciones dentro de la red, y además se tiene una red compleja, orquestada por diferentes restricciones y parámetros que necesitan operar a la perfección para el buen funcionamiento. La tarea será combinar cada uno de los actores de manera rápida y efectiva, pero sin descuidar el objetivo final; obtener la proyección *constrained* o restringida a la red y sus capacidades.

6. Desarrollo del Modelo

En esta sección se pretende mostrar cuáles fueron las etapas en el desarrollo del modelo, sus principales características, trabas y resultados obtenidos.

A grandes rasgos, el modelo tuvo cuatro grandes etapas. Una primera de cimentación del modelo, en donde se inició el camino para el entendimiento del problema en su conjunto. Una segunda etapa en donde se trabajó con toda la red, pero un subconjunto de todas las variables. La etapa número tres, contempló un modelo acabado y tomando en cuenta todo lo que no se había considerado en las etapas anteriores. Y finalmente una etapa de retroalimentación y de alternativas en el modelamiento, buscando variabilidad en las soluciones obtenidas.

6.1 Cimientos del modelo

En una primera etapa se trabajó solamente con un OD con el fin de obtener un modelo que lograra capturar todos los inconvenientes posibles que se suscitaban durante la programación del modelo. Fue así como se trabajó con el OD ARI-SCL y con un horizonte de trabajo de una semana en la proyección de demanda.

Lo primero que se realizó fue obtener todos los datos necesarios para trabajar con ese OD. Entre ellos se necesitaban la tabla de AU para todos los tramos que estaban dentro del OD, los itinerarios posibles para los *paths* y finalmente los inventarios en todos los tramos que se pudiesen necesitar.

Este OD era relativamente simple de trabajar pues, tenía sólo cuatro *paths* posibles, los cuales apuntaban a no más de 10 itinerarios posibles para realizar el OD. Además de ello, al ser un vuelo doméstico, existía sólo la cabina *Economy* la cual está compuesta por 15 clases. Por lo mismo la solución de AU era menor en tamaño y no requería de muchas sutilezas en su manejo.

Teniendo toda la información necesaria, se procedió a desarrollar un modelo que fuera capaz de obtener un hito de demanda, asociarle arbitrariamente un itinerario de acuerdo al *path*, y luego analizar si es que el inventario en ese momento permite que esa reserva sea efectiva o no de acuerdo a la solución inicial de AU.

Para desarrollar el modelo, se usó el lenguaje Java por su infinita documentación y opciones de programación sin límites. En un principio se estudió la posibilidad de usar librerías pre-seteadas para el manejo de simulación, las cuales tenían librerías de estadísticas y tiempos internos que ayudaban a no tener que programar todo. Pero en realidad había que gastar un esfuerzo no menor en hacer que dos fuentes distintas conversaran, y conversaran apropiadamente. Fue por esta razón que se desechó esa opción, y se optó por programar un modelo desde cero.

6.1.1 Primer modelo en Java

El primer modelo en Java tenía como objetivo procesar la demanda, asignarle un itinerario dado a la entrada en cuestión (no viene como dimensión el itinerario) y luego ver si efectivamente esa entrada se podría convertir en una reserva dada. El *input*, la demanda *unconstrained*, tenía el formato de archivo de texto, y como tal este venía por líneas y en un orden que no tenía ningún sentido. De aquí que el primer tema a tratar era el cómo la demanda se ordenaría en el tiempo.

En un capítulo anterior, se describieron las dimensiones de la demanda y en la cual aparecía una en particular; el DCP. El DCP, *Data Collection Points*, corresponde a una ventana de tiempo en el tiempo, pero hacia atrás respecto de la fecha del vuelo. A continuación se esquematizan los DCPs respecto de cuánto tiempo antes del vuelo representa cada ventana.

Tabla 5: DCPs y relación días antes del vuelo

DCP	Días antes del vuelo
17	0
16	1
15	2
14	3 - 8
13	9 - 11
...	...
1	299 - 729

De esta forma se podría tomar cualquier información de reserva potencial en la demanda *unconstrained* y ubicar en qué momento del tiempo esa reserva llegaría a la red con intenciones de reservar. Tomemos entonces una potencial reserva para el día 8 de Enero del 2010 que tiene asociado el DCP 14. Lo que se hace entonces es moverse hasta 3 días antes del vuelo y generar una ventana de 5 días en los que es posible que esa reserva entre al sistema. Para determinar el momento exacto de la llegada se ocupó una distribución uniforme en el intervalo de tiempo, debido a la simpleza y rapidez que le toma a la uniforme generar el espacio de solución. Si se realiza la misma acción con todas las entradas del *input* se obtienen diferentes hitos en el tiempo (con hora y fecha) los cuales más tarde se ordenarán e irán llegando en el tiempo al sistema.

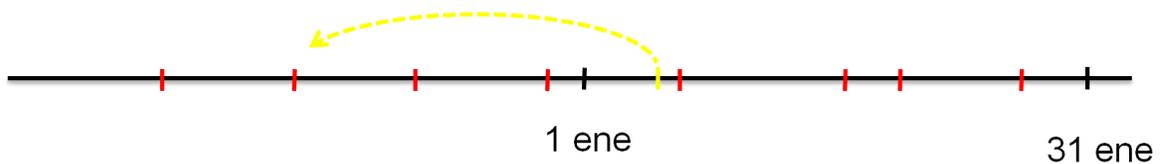


Ilustración 4: Llegadas de reservas en el tiempo

Sumado a lo anterior se debe determinar cuántas reservas genera cada entrada. En secciones anteriores se explicó que cada entrada en el *input* tenía una dimensión correspondiente a las reservas influenciadas y al error asociado a esa estimación. Con esos datos se genera entonces un intervalo en donde la estimación puede caer. Por ejemplo, si la demanda influenciada es de 5.32 y el error es de 1.55, se genera el siguiente intervalo:



Ilustración 5: Intervalo Reservas

Luego, nuevamente ocupando la distribución uniforme en el intervalo se llega a que la reserva final fue de 5.84, en donde nace un nuevo problema que es ver si es que ese número corresponde a cinco o seis reservas. Para ello se buscó algo simple y efectivo, y se estableció que los decimales determinarían la probabilidad de que ese número finalmente resultara en la parte inferior o superior del entero. En el ejemplo, las reservas iban a ser finalmente 5 con probabilidad 0.16 y 6 con probabilidad 0.84. Un método simple y que se acomodaba fácilmente a cualquier situación.

Combinando los dos métodos anteriormente descritos, se podía hacer una gran lista de eventos en el tiempo, cada uno asociado solamente a una reserva potencial. De esta forma podrían ser ordenados y luego consultados en el tiempo para procesarlos de acuerdo a las restricciones en la red para ese OD.

Una vez que todas las entradas estaban generadas, había que simplemente ordenarlas en el tiempo y así el simulador en sí, no tenía que tener una componente temporal, si no que de antemano se sabía que hito iba antes que otro. Para ordenar los registros de demandas potenciales se ocupó el *software* "Pentaho" el cual brinda un sinnúmero de transformaciones a información, tanto en bases de datos, como en archivos de texto. Se decidió ocupar este programa para ordenar los datos, pues brindaba simpleza en ello, y lo más importante es que no había que programar un nuevo código para ordenar un archivo de texto según una variable, cosa que se escapaba de la motivación del proyecto.

Para procesar la demanda ordenada en el tiempo había que tener todos los accesos a las tablas en línea para no demorar aun más el proceso. Así, el programa para simular la entrada de reservas a la red contemplaba en primera instancia conexiones a las bases de datos de inventario para todos los tramos necesarios en el OD ARI-SCL con la misma fecha vista del pronóstico. Además se necesitaba acceso a las tablas de AU para esos mismos tramos. Con esa información bastaba para procesar los datos y aceptar o rechazar las reservas potenciales que entraban a la red.

En consecuencia el primer modelo resultaba de la siguiente forma:

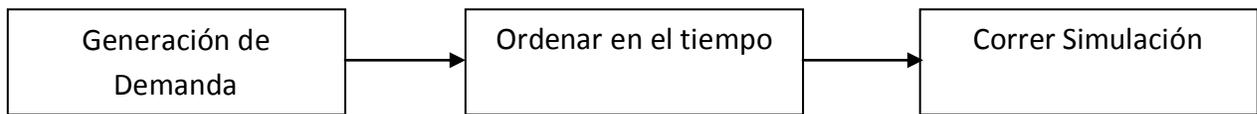


Ilustración 6: Procesos Primer Modelo

En donde el primer y el tercer proceso se programaron en Java y el segundo en Pentaho. Aun así, los tres procesos se llamaban desde un mismo programa consecutivamente.

6.1.2 Problemas y conclusiones primer modelo

El primer modelo arrojó un sinnúmero de errores los cuales se fueron trabajando en su momento, tomando cerca de dos meses para dar con un buen funcionamiento en términos de resultados y tiempo en la ejecución.

Una vez sobrepasado el problema de modelamiento mismo, con la buena interacción de toda la información necesaria para restringir la demanda, el gran dilema fue el tiempo de proceso. Si se pretendía modelar en algún momento futuro toda la red, el modelar solamente un OD tenía que ser sumamente rápido. Esta tarea no fue fácil ya que en un principio todos los procesos que involucraban la simulación para un solo OD tomaban cerca de 10 minutos. Pensando en que este modelo sólo corría para una semana de información y nada más que un solo OD, aventurarse a que ese era el mejor modelo pensando en modelar uno o dos meses y toda la red, hacía que el tiempo de proceso explotara.

La forma de abordar mejoras fue básicamente en el cómo se estaban manejando los datos. En el primer proceso, el de limpieza de datos y generación de demanda, no había mucho que hacer pues, el trabajo era sobre un archivo de texto el cual se leía solamente una vez por registro. El proceso de ordenación en el tiempo, era muy eficiente y no generaba una demora considerable. Por lo que todo apuntaba a que había que modificar la forma en la cual se accedía a los datos de inventario y soluciones de AU.

Efectivamente el proceso de simulación era el que consumía más tiempo. Esto era porque se mantenía una conexión abierta a las bases de datos, en donde estaba toda la información, que apuntaba a un servidor. Entonces por cada registro había que preguntar por al menos tres elementos en tres diferentes tablas y esto hacía que, en suma y resta, el tiempo fuera inmanejable. Había que atacar el problema considerando que se iban a hacer sucesivas consultas y actualizaciones de datos por cada registro, por lo que ir a buscar datos a un servidor externo, procesarlos y luego modificarlos no era la forma adecuada.

De esta forma nace la idea de ocupar *Hashing* para el uso de datos. La técnica del *Hash* nace con la idea de procesar muchos datos en poco tiempo, y de encontrar una manera efectiva de leerlos y modificarlos rápidamente. En simples palabras, esta técnica guarda cada registro en un espacio en memoria, por lo que la función de *hash* le asocia a cada dato una dirección en disco. Luego, una vez que se pide cierto dato, se

va a un espacio predefinido en el disco y el dato aparece rápidamente. Entonces, se ahorra el tiempo de buscar y va directamente a dónde necesita.

En vista de ello, lo primero que se hizo fue pasar todos los datos necesarios a un servidor local para ahorrarse el tiempo de conexión a un servidor externo y luego se cargaron todos los datos en tablas *hash*. Estas tablas eran cargadas solamente al principio del programa y luego sólo bastaba con ir a ellas para realizar las consultas. Cabe destacar que los datos se guardan en memoria virtual, por lo que consumen memoria RAM. De ahí que habrá que tener cuidado del cómo se llenan, dejando el resto de memoria para que el programa pueda correr de manera rápida.

Haciendo estos cambios, el tiempo bajó de manera radical. Se pasó de simular un OD en un poco más de 6 minutos, a procesarlo en 0.1 segundos. El cambio fue abismal y se enmarcaba a lo que se buscaba de esta primera etapa: cimentar un modelo que fuera replicable a toda la red con bajo costo en tiempo y memoria.

6.2 simOD v2

La construcción del segundo modelo nace por la necesidad de integrar los reparos hechos al primer modelo y con la idea de seguir con lo estipulado en el plan de trabajo. Este modelo tenía como gran objetivo incorporar la mayor cantidad de variables relevantes para modelar de mejor manera la realidad en el negocio de la aerolínea. Fue así como se fueron introduciendo una a una de manera de ir discutiendo la forma en su modelamiento mismo y el cómo repercutirían distintas formas de abordar las mismas. Por último se realizó la validación del modelo en contraste con lo que realmente ocurrió, para así poder determinar el error y la consiguiente credibilidad del modelo.

A continuación se explica el cómo las nuevas variables entran al modelo, el cómo se modelaron y su repercusión en el mismo.

6.2.1 Cancelaciones

En el primer simulador diseñado, las cancelaciones no tenían lugar para la interacción con la reservas. Es por ello que su inclusión jugaba un rol importante, pues en la industria de las líneas aéreas de pasajeros, las cancelaciones muchas veces pueden cambiar totalmente la forma en que se decide aceptar o rechazar una nueva reserva. Las cancelaciones son algo cotidiano y se tiene que aprender a convivir con ellas.

Así como se pueden realizar proyecciones tan detalladas como se hace en la demanda, lo mismo se puede hacer con las cancelaciones. Es por ello que el proveedor

PROS incorpora, además de la proyección de demanda, una proyección de cancelación. Esta cancelación corresponde a una tasa, por lo que en realidad es el porcentaje en esperanza de lo que debería cancelarse. Como se explicó en capítulos anteriores, las proyecciones son válidas en unas ventanas de tiempo en el tiempo (DCPs), por lo que la cancelación es proyectada para esas ventanas de tiempo y tiene las mismas dimensiones de la demanda; origen, destino, punto de venta, fecha de vuelo, etc. Pero nuevamente se enfrenta que esta cancelación es *unconstrained* por lo que no tiene asociada una restricción de capacidad a la red al igual que la demanda. De esta forma hay que ver efectivamente cuánto de lo que hay en inventario y de lo faltante por entrar resultará finalmente cancelado.

Para explicarlo de mejor forma, tomemos un ejemplo en donde la cancelación es de 0.4 para la clase B. En este caso el origen es SCL y el destino LAX, y la ruta asociada es SCL-LIM-LAX, ocupando el itinerario LA600-LA600. Que la cancelación sea de 0.4 quiere decir que habrá que cancelar en esperanza el 40% de lo que existe en esa ruta, y el 40% de lo faltante por entrar. Para cancelar el 40% de lo existente en inventario se asocia una probabilidad a cada reserva de cancelar, en este caso con probabilidad 0.4 cancela y con probabilidad 0.6 mantiene la reserva. Es importante recordar que esta tasa es efectiva para las dimensiones antes descritas (falta otras, que por simplicidad no se ejemplifican), por lo que tienen asociado un momento antes de la fecha del despegue desde el origen del OD. De esta forma la cancelación se divide en dos; primero se cancela, al principio del DCP, lo existente en inventario, y luego se ve de las reservas que entraron en ese DCP cuáles cancelan, y en qué momento.

Siguiendo con el ejemplo tomemos que en el vuelo SCL-LIM LA600 existen 35 reservas en la clase B, y en el vuelo LIM-LAX LA600 existen 23 reservas. Luego, y dado que la tasa de cancelación es de 0.4, cada reserva tiene probabilidad 0.4 de cancelar y 0.6 de no hacerlo, por lo que se recorren cada una de las reservas y se ve cuál cancela y cuál no. Finalmente se podría terminar con que en el primer vuelo cancelaron sólo 5 de las 35 quedando 30 en inventario, y del segundo finalmente quedaron 15. De esta forma se tiene resuelto el problema de cancelaciones en inventario, pero falta ver las cancelaciones de las reservas que entran en ese DCP.

Tomemos como ejemplo que en ese DCP se proyectan cinco reservas potenciales, de las cuales finalmente tres reservan. Luego, y como se explicó en capítulos anteriores, sabemos exactamente en qué momento del DCP se realizó cada reserva, por lo que las podemos identificar en el tiempo. Ocupando el mismo procedimiento que en la cancelación por inventario, vemos de acuerdo a las probabilidades, cuáles de esas tres reservas cancelan. Pensemos que solamente una finalmente canceló como lo muestra el cuadro 6, por lo tanto ahora habrá que decidir en qué momento del tiempo cancela. Para ello se ocupa una distribución uniforme en el espacio entre que realizó la reserva y el término del DCP, y con ello se determina en qué momento la cancelación se hace efectiva.



Ilustración 7: Cancelaciones en el tiempo

Lo interesante de observar las cancelaciones de esta forma, es ver la interacción se produce entre otras potenciales reservas que puedan caer antes o después de la cancelación, causando que quizás un espacio se abra debido a una cancelación justo antes de otra reserva. Asimismo las cancelaciones podrían abrir un espacio cuando ya llegaron todas las reservas potenciales, afectando el futuro en otros ODs u otros itinerarios.

Finalmente es importante recalcar y recordar que las cancelaciones deben aplicarse tanto al inventario existente al momento de modelar, como también a lo faltante por entrar en el DCP. Lo faltante por entrar en el DCP interactuará directamente con las reservas generadas para ese mismo período de tiempo, abriendo y cerrando espacios.

6.2.1.1 Dos modelos de cancelaciones

Para analizar el cómo introducir las cancelaciones al modelo, se estudiaron dos posibilidades en las cuales se demostró teóricamente y luego empíricamente que los resultados eran los mismos en esperanza, pero diferían en varianza.

La primera idea para introducir las cancelaciones, dada la tasa de cancelación, era sumar todas las reservas y a ese total, aplicar la tasa y ver cuántas quedaban. Así si por ejemplo entraban 20 reservas en un determinado DCP y la tasa de cancelación era de 0.3, luego se aplicaba la tasa al total de reservas y quedaban 14 reservas sin cancelar y seis reservas que cancelarían en algún momento. De esta forma, la tasa de cancelación se aplicaba simplemente al total reservado y por consiguiente se obtenían tanto las reservas que no cancelarían como las que sí.

Otra opción consistía en hacer de la tasa de cancelación una probabilidad de cancelación, que se aplicaría a cada reserva por separado. Así si, por ejemplo, la tasa de cancelación fuera nuevamente de 0.3, entonces cada reserva cancelaría con probabilidad 0.3 y no cancelaría con probabilidad 0.7. Con ello se le agregaría varianza al modelo, y sería distinto en cada iteración, teniendo escenarios distintos pero igualmente posibles.

Para la segunda opción, la esperanza de las cancelaciones no es más que,

$$E(C) = \sum E(C_i) = \sum c * bk_i = c \sum bk_i$$

Ecuación 2

Esto se debe a que bastaría con aplicar a cada reserva la probabilidad y sumarlos para obtener la esperanza total.

Para el primer modelo en tanto, primero habrá que notar que luego de sumar las reservas y aplicar la tasa, nos encontraremos con un número que posiblemente es decimal, por lo que habrá que decidir si ese decimal corresponde a la parte entera superior o inferior. Para ello se pensó en una manera simple de resolver el problema, por lo que el mismo decimal correspondería a la probabilidad de que el número final fuese el entero superior o el entero inferior. Para dejarlo más en claro, si el número fuese 45.4, luego con probabilidad 0.6 el número final será 45 y con probabilidad 0.4 será 46.

Luego entonces definamos

$$a = \sum c * bk_i$$

Ecuación 3

Así se tendría que el número final sería,

$$X = \begin{cases} \lfloor a \rfloor & , \text{con probabilidad } \lfloor a \rfloor + 1 - a \\ \lfloor a \rfloor + 1 & , \text{con probabilidad } a - \lfloor a \rfloor \end{cases}$$

Ecuación 4

Por lo tanto la esperanza de las cancelaciones sigue como,

$$E(C) = \lfloor a \rfloor * (\lfloor a \rfloor + 1 - a) + (\lfloor a \rfloor + 1) * (a - \lfloor a \rfloor)$$

$$E(C) = \lfloor a \rfloor^2 + \lfloor a \rfloor - a * \lfloor a \rfloor + a * \lfloor a \rfloor - \lfloor a \rfloor^2 + a - \lfloor a \rfloor$$

$$E(C) = a = \sum c * bk_i$$

Ecuación 5

Así se puede concluir que tanto el primer método para incluir las cancelaciones como el segundo método presentan exactamente la misma esperanza de cancelaciones, por lo que *a priori* no importaría ocupar un método u otro. Aun así se

esperaría que el primer método presentara una mayor varianza pues para cada reserva se decide si finalmente se produce una cancelación o no, mientras que en el segundo, la decisión siempre será, dado un número de reservas, si se cancela el entero inferior o superior de ese total.

Para ilustrar lo anteriormente descrito, se hizo una prueba en donde para una semana de simulación se analizaron la cantidad de cancelaciones para el método 1 y 2, y se graficó el promedio acumulado en 100 iteraciones para ver la convergencia de los métodos. Además se graficaron la líneas de tendencia para ver si efectivamente la teoría se mostraba en la práctica y las esperanzas terminaban igualándose.

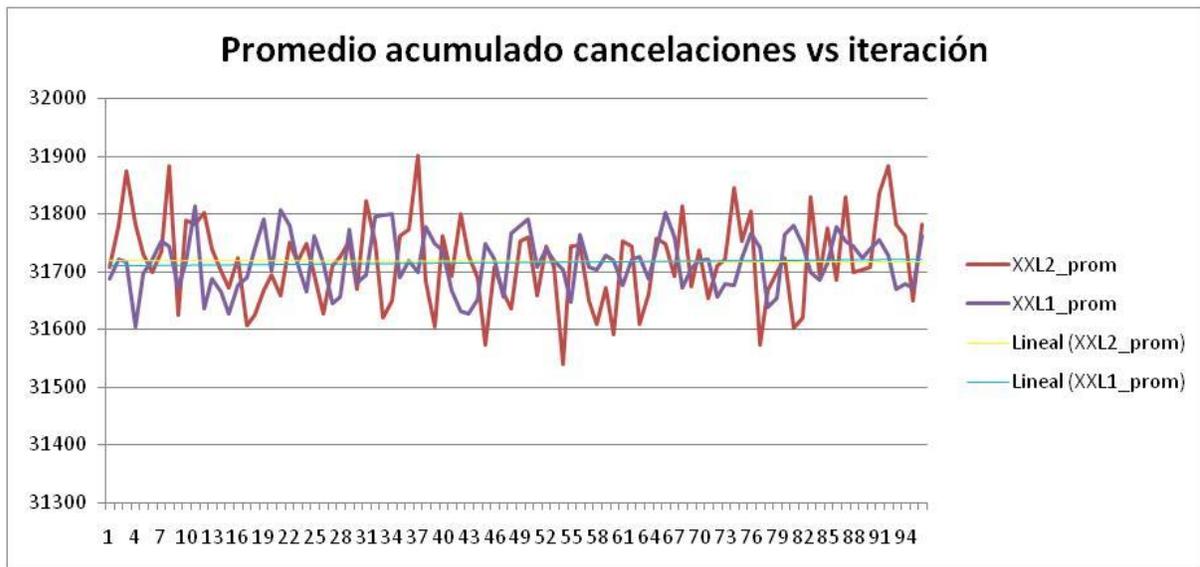


Ilustración 8: Promedio acumulado cancelaciones vs iteración

Como se puede ver en el gráfico, la varianza del segundo método es mayor a la del primero. De hecho el valor de varianza para el segundo método es de 21.600 aprox., mientras que en el primero es de 9.130 aprox. Esto claramente justifica el hecho que al hacer que cada reserva tenga asociada una probabilidad de cancelar, significará que la varianza en las cancelaciones crezca. De ahí que este método, el segundo, haya sido el escogido para modelar las cancelaciones, pues justamente lo que se pretende es abarcar la mayor cantidad de posibles escenarios teniendo varianzas grandes. Así al finalizar la simulación se sacarán promedios de escenarios totalmente válidos, tratando de dejar el determinismo de lado y hacer un modelo lo más realista posible.

El resultado obtenido no es una sorpresa y se sabía de antemano un comportamiento como el que se ilustró anteriormente, por lo que esto vino a reforzar las ideas de que el mejor método era el segundo, pues introducía distintos escenarios en las distintas iteraciones. Aun así este análisis sirvió primeramente para ver diferencias y similitudes entre los dos métodos, pero también para tener una idea respecto del

volumen de cancelaciones en el período simulado. Una vez pasada esta valla, el trabajo continuó con la inclusión de otras variables al modelo.

6.2.2 Límites por segmento

Con el afán de tener un mejor control sobre las rutas que los pasajeros vuelan, además de manejar los inventarios por clase para todos los vuelos, y tener ciertas restricciones de capacidad para las distintas clases en esos vuelos, se ha hecho una necesidad manejar inventarios por segmento. Los segmentos corresponden a rutas que realiza un mismo vuelo para dos tramos pero seguidas. Por ejemplo el LA801, vuela primero desde Santiago de Chile a Sydney en Australia, y después vuela el mismo LA801 de Sydney a Auckland en Nueva Zelanda. Para tener un mejor control de los inventarios, se puede privilegiar pasajeros que hagan la ruta completa hasta Auckland para asegurarse un factor de ocupación mayor en los dos vuelos. O quizás podría ser relevante subir más pasajeros en Sidney, por lo que las restricciones al segmento SCL-AKL serían mayores, permitiendo que pasajeros de Sidney suban hacia Auckland.

Los límites por segmento corresponden a un número que limita el número de reservas para un determinado segmento. Todos los tramos son segmentos, esto quiere decir que cualquier ruta entre dos aeropuertos corresponde a un segmento y por lo tanto tiene asociado un límite por clase para las reservas. Pero a ello se suman las rutas que realiza un mismo vuelo para dos o más aeropuertos seguidos. Por lo tanto cuando un pasajero pretende reservar un cierto origen-destino, habrá que revisar, además de los inventarios por tramo para cada clase en cada vuelo, los límites por segmento por clase en todos los segmentos.

En términos de la simulación misma, el agregar límites por segmento a cada ruta para cada reserva no generó mayores complicaciones. Pero el hecho de que cada ruta pueda tener distintos segmentos de distinto “largo”, hacía que la forma de evaluar tenía que ser inteligente y el modelo tenía que resolver este tipo de problemas en forma autónoma. Además de ello se sumaba el hecho de que guardar ese tipo de información en memoria, podía disminuir la rapidez en el proceso mismo de simulación. Pero nuevamente, el hecho de ocupar *hashing* ayudó a que esto no cambiara radicalmente el tiempo de proceso.

6.2.3 Asignación de Itinerario

El itinerario corresponde a los vuelos que transportarán al pasajero para completar su ruta. Si por ejemplo tomamos el *path* LAX-LIM-SCL-IPC, un itinerario

posible sería el LA601-LA601-LA833, pero en realidad existen varios más juntando las posibilidades que existen para ir de un aeropuerto a otro y finalmente combinarlos para completar la ruta. La elección de un itinerario en específico dependerá de las intenciones de los pasajeros en ese determinado momento. Por ejemplo para un pasajero de negocios, que vuela para ir a una reunión en Arica, desde Santiago, le gustaría viajar temprano para así llegar a la reunión de las 9:00. Por otro lado, en rutas que tienen combinaciones, el pasajero tiende a elegir rutas que tienen menores tiempos de combinación entre los vuelos. Por ejemplo si un vuelo llega a Lima a las 9:00 am, nos gustaría que la combinación para ir a Los Ángeles saliera lo antes posible, por lo cual descartaríamos hacer una combinación a las 21:00 de ese mismo día.

Para modelar esta problemática se optó por definir ciertas probabilidades a los diferentes itinerarios posibles para completar una cierta ruta en particular. Esta probabilidad estará asociada al tiempo de vuelo total de la ruta, contando el tiempo de vuelo, como también el tiempo de conexiones. De esta forma podríamos pensar en el siguiente ejemplo; Un pasajero quiere completar la ruta AAA-BBB-CCC para lo cual tiene cuatro diferentes opciones. Además de ello se saben los tiempos totales que implica completar la ruta con cada uno de los itinerarios posibles. Todo ello se resume en la siguiente tabla:

Tabla 6: Tiempos totales de vuelo y probabilidad de ser escogido

AAA-BBB-CCC 10-1429		
ITIN	t vuelo (min)	probabilidad
LA111-LP222	100	0.25
LA333-LP444	120	0.12
LA555-LP666	250	0.00648
LA777-LP888	80	0.623

Como se puede ver en la tabla existen diferentes tiempos para completar la misma ruta. Los tiempos pueden variar porque el tiempo de conexión en uno es distinto del otro, como también podría ser porque el material (avión propiamente tal) varía y con ello el tiempo de vuelo podría ser distinto para cubrir la misma distancia. Una vez que se tiene los tiempos de vuelo, se procede a calcular la probabilidad de que un itinerario sea elegido. Para ello se ocupa la siguiente ecuación:

$$\frac{TT_1^\alpha}{TT_1^\alpha + TT_2^\alpha + TT_3^\alpha + TT_4^\alpha} = P_1$$

Ecuación 6

La ecuación anterior calcula la probabilidad de elegir el itinerario uno. Para ello se necesitan saber los tiempos totales de vuelo de todos los itinerarios y se obtiene un promedio alterado ponderado para obtener la probabilidad. No es un promedio ponderado de los tiempos totales, pues cada tiempo está elevado a un parámetro α negativo que castiga a los tiempos más altos y hace que los tiempos menores ganen mayor relevancia.

De esta forma se pueden obtener las probabilidades de elegir cualquier itinerario y con ello completar el proceso de reserva del pasajero en cuestión.

Esta elección se hace para cada una de las potenciales reservas que entran al simulador, por lo que en cada momento se deben calcular las probabilidades, consumiendo recursos no menores y disminuyendo la rapidez en el proceso. Estos cálculos no se pueden realizar con anterioridad pues no se sabe *a priori* cuáles itinerarios están abiertos para cada ruta, en cada día y hora.

Cabe destacar que en ningún momento se está descartando un itinerario respecto de otro. Lo que se pretende finalmente con esta regla es que en esperanza la demanda se distribuya de una forma determinada en directa relación con los tiempos totales que le toma a cada itinerario completar la ruta. Esto va de la mano con que este modelo se pensó para ser uno lo menos determinístico posible, y lo más probabilístico posible. Así, siempre se cubrirían situaciones excepcionales, pero que en la realidad se dan, por lo que no se estaría en contra de lo que realmente ocurre.

La diferencia con el primer modelo realizado en este ítem en particular, es que antes el itinerario se asignaba de manera aleatoria y sin considerar los tiempos de vuelo. En otras palabras, la probabilidad de elegir cualquier itinerario era igual para todos los itinerarios. Una manera simple de avanzar en el modelamiento, dejando el ponerse más realista para más adelante.

6.2.4 Cambio itinerario ante rechazo en reserva

En el primer modelo de simulación, una vez asignado un itinerario, cuando llegaba una reserva potencial al sistema, ésta se procesaba y se decidía si finalmente esta reserva potencial se convertiría en una reserva. Si es que la reserva potencial finalmente se convertía en reserva, se actualizaban los inventarios y se pasaba al siguiente registro, pero si es que no se convertía en reserva, no hacía nada y simplemente se pasaba al siguiente hito de potenciales reservas.

Detengámonos en este punto para discutir el siguiente ejemplo. Pensemos en un O-D en donde existan 10 itinerarios posibles y, dadas las características del O-D, los tiempos totales de vuelo de cada itinerario no difieren sustantivamente. Entonces, luego

de elegir un cierto itinerario, se procede a ver si es que esa reserva potencial finalmente se transforma en reserva, y pensemos que ésta es rechazada. ¿No sería sensato pensar que al pasajero no le importaría cambiarse de itinerario para hacer la misma ruta y demorándose lo mismo? De ahí que en realidad había que mejorar lo que se estaba haciendo hasta el primer modelo. Por ello se decidió por introducir un método que eligiera un nuevo itinerario a partir del nuevo subconjunto de itinerarios posibles (se descarta el último por rechazo en la reserva).

Ocupando el ejemplo de la sección anterior, pensemos que se eligió el itinerario LA111-LP222, pero al procesarlo, el modelo arroja que no se puede reservar en ese itinerario. Luego nos quedarían los siguientes itinerarios posibles, con sus tiempos totales de vuelo y con las nuevas probabilidades, asociadas al nuevo subconjunto de itinerarios:

Tabla 7: Tiempos totales de vuelo y probabilidad de ser escogidos

AAA-BBB-CCC 10-1429		
ITIN	t vuelo (min)	probabilidad
LA333-LP444	120	0.16
LA555-LP666	250	0.00868
LA777-LP888	80	0.831

Como se puede ver, las nuevas probabilidades hacen aun más probable el itinerario que se demora menos, pero siempre se deja una pequeña posibilidad de que los otros salgan elegidos. Pensemos por ejemplo que ahora si se elige el itinerario LA777-LP888, el último filtro que se realiza para que ese sea el itinerario elegido es que se cumpla la siguiente relación:

$$\frac{TT_{inicial}}{TT_{nuevo}} \geq U(0,1) \Rightarrow 1.25 \geq U(0,1)$$

Ecuación 7

La ecuación anterior tiene como finalidad decidir hasta qué momento se cambia de itinerario. Específicamente compara el tiempo del primer itinerario escogido con el nuevo itinerario y ve si es que la razón entre ellos es mayor o igual que un número distribuido uniformemente entre 0 y 1. En el mejor de los casos el nuevo tiempo es menor que el primero escogido, por lo tanto la razón anteriormente descrita será mayor que 1, y la uniforme siempre entregará números entre 0 y 1, por lo que siempre se aceptarán itinerarios con menor tiempo total de vuelo. El por qué se eligió una uniforme para definir hasta qué punto se acepta, es simplemente para obtener mayor varianza en los resultados y diferencias a partir de lo aleatorio y no de lo determinístico.

Una alternativa a esta forma de decidir hasta qué punto se puede cambiar de itinerario, sería dejar fija la cota para la razón, o sea que no fuera un número aleatorio. Pero una forma de dejarlo aún más fijo, sería determinando un número de veces en las que se puede cambiar de itinerario, pero claramente esto sería una decisión global para toda la red y no tomaría en cuenta casos en los cuáles se debería restringir un poco más o restringir un poco menos. De ahí que decidir el cambio de itinerario en función de los posibles itinerarios y sus respectivos tiempos de vuelo total, parece ser el camino indicado.

Esta forma de modelar el comportamiento de los pasajeros y sus elecciones marca una primera tendencia en este modelo para proyectar la demanda, pues incorpora formas de acercarse a la realidad mediante métodos matemáticos en las decisiones propias del modelo. Textos recientes ya han hablado de que el futuro del *Revenue Management* está justamente en el *customer choice*, en donde todas las proyecciones, decisiones de precio y apertura y cierre de clases estarán ligadas a los que históricamente y tendencialmente han querido los clientes. Aun así se piensa que es una forma muy costosa en recursos y tiempo como para aplicarse hoy en día. Hace 30 años atrás, se pensaba lo mismo del actual *Revenue Management*, por lo que habrá que esperar a ver quiénes serán los primeros en aventurarse en cambiar la forma de ver y analizar la industria.

6.2.5 Show Up

El *Show Up* corresponde a la tasa de presentación que finalmente tuvo un vuelo en particular. Esta tasa también se pronostica y es tomada como dato para el modelo, por lo que al final de correr la simulación se aplica la tasa para ver finalmente cómo salió un avión en particular para cubrir una ruta. La tasa de *show up* busca restar a aquellos pasajeros que, habiendo reservado, no se presentan al vuelo por distintos motivos. Estos casos se manejan de manera diferente que las cancelaciones y por lo tanto no tienen relación alguna.

Para entender de mejor forma el cómo se aplica, se expone el siguiente ejemplo. Pensemos en que el vuelo LA123 que cubre el tramo AAA-BBB el día 17 de Noviembre, tiene las siguientes reservas en las diferentes clases:

Tabla 8: Tasa de presentación y reservas finales

Clase	Reservas	Show Up	Volado Final
A	10	0,68	7
B	23	0,78	18
C	57	0,87	49

D	51	0,9	46
E	38	0,94	35
F	30	0,98	29

Como muestra la tabla anterior, hasta antes que despegara el vuelo para ir de AAA a BBB, existían 57 reservas en la clase C. La proyección de *show up* arroja que la tasa para esa clase en ese vuelo en específico es de 0,87, por lo que finalmente volaron 49 pasajeros en esa clase. De esta forma queda claro que la proyección de *show up* es a nivel de clase para todos los vuelos.

Este cálculo no entra en el modelo mismo de simulación, pues se realiza una vez que se ha terminado el proceso, y sobre los inventarios finales se aplica la tasa de *show up* para conocer lo finalmente volado en cada clase para cada vuelo.

Luego de haber aplicado el *show up* recién se puede calcular el Factor de Ocupación (FO) de cada vuelo. El FO, como se ha comentado en secciones anteriores, no es más que dividir los asientos ocupados en la capacidad del avión. Este es un índice que tiene mucha importancia y tiene directa relación con los ingresos que se obtienen por mercado, ruta o tramo. Siempre se aspirará a tener un FO cercano a 100, y de ahí todo el esfuerzo ocupado en RM para dar con ello. Si bien, y como se verá más adelante, en el modelo actualmente descrito se ocupa el FO para validar su error respecto de lo real, a su vez entrega una proyección de FO por tramo para todos los tramos abiertos en el período de simulación. Esta información es sumamente relevante y se analizará el impacto en la mejora de este índice respecto de la situación actual en LAN, por lo que será un *output* no menor del modelo.

6.2.6 Vuelos Offline

Los vuelos *offline* tienen una gran influencia en la red de LAN, de hecho cerca del 10% de los ingresos proviene de vuelos con esas características [3]. De ahí la importancia que tiene el hecho de considerar las combinaciones con otras líneas aéreas, pues tanto LAN genera demanda en otras, como esas otras líneas aéreas generan una fuerte demanda para LAN.

Aun así se hace inviable considerar los vuelos *offline* en el modelo, pues para ello se necesitaría tener acceso a todas las soluciones de red de las otras líneas aéreas. Esto es, tener acceso a inventarios en todo momento, soluciones asociadas a la capacidad en cada clase en cada vuelo (AU's y límites por segmento), soluciones de costos de oportunidad marginales para cada tramo y origen-destino (*BidPrices* y *FareValues*), entre otros. Dado que esta información forma parte de las estrategias de

cada línea aérea, no son públicas y por lo tanto no se podrían manejar ante una eventual decisión de incorporar vuelos *offline*.

Es por ello que se ha decidido no considerar los vuelos *offline* en el modelo, asumiendo el costo que podría tener ello en la red. Aun así no queda claro el efecto real de no considerar los vuelos *offline* pues en realidad la evaluación para ello se realiza de forma distinta, pero no es que no se incorporen del todo. Para dejar más en claro este asunto consideremos un ejemplo en donde el origen-destino *offline* es Santiago-Barcelona (SCL-BCN). LAN sólo vuela hasta Madrid, por lo que el tramo MAD-BCN sería el tramo *offline*. Para el modelo, la forma de evaluar esta situación sería comparar el *BidPrice* del SCL-MAD con el *FareValue* del SCL-BCN, pero este último valor no se conoce pues habría que prorratear la componente *offline*. De esta manera se pierde un poco de información y no se tiene claro el impacto, pues en cierta forma se evalúa todo de forma consecuente y en componentes *online*, pero existe una desinformación en el beneficio real para el pasajero de tomar el O-D cuando este tiene componentes *offline*.

En términos prácticos siempre se considerarán las componentes *online* de los O-D que tengan combinaciones a componentes *offline*, por lo que en estricto rigor siempre se considerarán su influencia en la red, pero abordando el problema desde una visión simplista en la evaluación. Esto último radica en que no se conocen ciertos valores para hacer de la evaluación una completa. Este punto queda abierto entonces para un futuro desarrollo, en donde los términos faltantes se podrían prorratear de acuerdo a ciertas reglas para poder completar la evaluación y poder entonces considerar el O-D completo y no sólo restricto a las componentes *online*.

6.2.7 Up Grade

El *Up Grade* corresponde a cuando un pasajero, habiendo pagado una tarifa en la cabina *economy* se le concede la posibilidad de viajar en cabina *business*, habiendo espacio en esta última. Esta decisión no se incorporó en el modelo mismo pues tiene que ver con los resultados finales de la simulación. Esto último se refiere a que la decisión de subir pasajeros a cabinas superiores se realiza cuando ya no llegaron más pasajeros y el avión está listo para el despegue. Es por ello que se podría hacer un análisis de los resultados finales del cómo despegó cada avión y analizar cuáles pasajeros, sujetos a su clase, podrían obtener dicho beneficio.

Para completar esta manera de integrar un comportamiento real en la forma de traspasar pasajeros de una cabina a otra como parte de un beneficio, se podría crear una regla que relacione el espacio en cabinas superiores, y la composición de las clases más altas en la cabina inferior. De esta forma, pasajeros en clases altas de la

cabina *economy* podrían ser candidatos al *Up Grade* si es que el espacio así lo permite en cabinas *premium economy* o *business*.

Este análisis queda fuera del modelo desarrollado, pues no genera implicancias en los resultados mismos y se debiese desarrollar luego de obtener los resultados finales. Si se crea alguna regla para definir ciertas probabilidades, por ejemplo, de qué clases suben y en qué momento, no debiera generar mayores dificultades encontrar tasas o números respecto del *Up Grade* que se registró en un vuelo en específico.

Los ítems anteriormente descritos corresponden a características, o supuestos en algunos casos, que se han desarrollado con el fin de modelar el cómo LAN Airlines resuelve la evaluación en la aceptación/rechazo de reservas de pasajeros para toda la red. En la mayoría de los casos se optó por ocupar los valores y procedimientos reales, y en otros se decidió modelar de una manera inteligente para acercarse aún más a la realidad. Cabe mencionar que muchos de estos ítems fueron tema de discusión en diversas reuniones y se discutió más de una solución para cada tema, optando finalmente por el que más se alinea con los objetivos finales del proyecto.

Por último es importante indicar que el modelo está abierto a ser modificado para incorporar nuevas variables o alternativas de modelamiento, como también para modificar las actualmente existentes. Además de obtener los *outputs* deseados y de la forma deseada, siempre se ha optado por desarrollar un modelo que sea fácilmente “moldeable” para incorporar o modificar variables, por lo que no debiese generar mayores dificultades adentrarse en el modelo mismo para realizar estos cambios.

7. Validación Modelo

En esta sección se espera mostrar los resultados obtenidos al correr el modelo anteriormente descrito, por lo que será necesario describir cuáles fueron los parámetros y fechas seleccionadas para el análisis de los resultados. Además de ello se presentará el error del modelo respecto de la realidad para poder concluir de mejor manera acerca de la credibilidad del simulador para ciertos mercados u orígenes-destinos.

7.1 Elección período de análisis e iteraciones

El tiempo que toma al modelo dar con los resultados finales está total y directamente relacionado con el período de análisis que se pretenda analizar y con la cantidad de iteraciones que se pretenda realizar de ese período. Esto se debe a que mientras más larga sea la ventana de tiempo que se pretenda simular, mayor será la cantidad de reservas potenciales que caerán dentro de ese período, por lo que habrá que procesar una cantidad mayor de posibles reservas. Asimismo, el hecho de agregar una semana más, por ejemplo, a un período dado, hace que no sólo se deba procesar una semana más de información, sino que también en todo el período anterior habrá información para esta “nueva” semana. De esta forma se piensa que el tiempo de simulación crece de forma exponencial mientras crece el período de tiempo de simulación. Si bien no se ha probado fehacientemente, tema que además sale de los alcances de esta memoria, basta con analizar unas pocas corridas y darse cuenta que esto es así.

Respecto del número de iteraciones, el tiempo de simulación es directamente, en promedio, proporcional al número de iteraciones. Esto es porque la información que existe para un período de tiempo, entre una iteración y otra, no difiere sustancialmente, pues fueron generadas a partir de la misma información. Es precisamente esta diferencia lo que enriquece al modelo, pues le otorga varianza conforme a lo que se ha decidido y planteado para que en una iteración se produzca un escenario y en otra, otro totalmente distinto, siendo los dos ciento por ciento posibles.

Para tener una idea del cómo influyen tanto el período de tiempo a simular como el número de iteraciones, se presenta a continuación una tabla que muestra el tiempo total para obtener los resultados finales en base a las dimensiones antes descritas.

Tabla 9: Iteraciones, tiempo a simular y tiempo de proceso

N° Iteraciones	N° Días a simular	Tiempo Total (horas)	Tiempo/it (horas)
100	7	~7	0.07
40	30	~10	0.25

En base a la tabla anteriormente expuesta, se puede decir que el tiempo por iteración crece a medida que se aumenta el número de días a simular. No es fácil establecer una relación entre estas variables y tampoco es el objetivo de este escrito, pero claramente se esperaría que este tiempo creciera de forma exponencial conforme se agranda la ventana de tiempo a analizar. De esta manera habrá que jugar con el número de días a simular y el número de iteraciones, para no perder por un lado la

consistencia del modelo en términos promedio, y además para obtener información en un tiempo razonable.

Si el tiempo de proceso no fuese un tema, no habría problema en correr una simulación lo bastante grande como para acaparar un número no menor de meses, pero habría que detenerse en el propósito de ello. Esto es, ver qué tan asertivo podría ser el modelo conforme crecen los días respecto de la fecha inicial de simulación. Quizás una solución podría ser correrlo cada tres o cuatro semanas e ir ocupando la herramienta para decisiones más en el corto plazo y descartar la de mediano. Este ítem será resuelto en secciones posteriores en donde se analice el cómo se comporta el modelo a medida que se va alejando de la fecha inicial de simulación.

Para analizar los resultados, se escogió un período de tiempo de 14 días para simular y con ello ver en un tiempo razonable cómo se comporta el ajuste del modelo. Si bien se han realizado otros análisis para distintas fechas y períodos de tiempo, el modelo no presenta mayores diferencias en los primeros días de simulación, por lo que se escogió realizar una nueva simulación que además estuviese actualizada al momento de la entrega de este escrito.

Antes de analizar los resultados es importante mencionar que se pretende estudiar el ajuste del modelo en relación a la realidad en términos de la demanda proyectada por tramo. Al estudiar la demanda por cada vuelo realizado por tramo, se podrá obtener el FO para ese vuelo y con ello obtener promedios en tramos, fechas, mercados, etc., como se explicará más adelante. Lo importante es notar que el modelo se comparará con la realidad en términos de FO y con ello se verá que tanto se ajusta y dónde se presentan menores y mayores errores. Así se podrá concluir que la demanda por OD *constrained*, en base al ajuste por tramo, se moverá dentro de un rango de error determinado, nuevamente haciendo alusión a lo obtenido por tramo.

Si bien el modelo proyecta demanda por tramo y a la vez por OD, siendo esto último el fin último de esta memoria, podría darse que el modelo se ajuste mejor en algunos mercados en términos de FO respecto de las actuales proyecciones. De ser así, se analizará dónde se produce esto y quedará a disposición de la empresa para ocuparlo cuando se estime conveniente. En caso contrario se determinarán y cuantificarán las diferencias con las proyecciones existentes, para así saber en qué momento estas se comportan de mejor manera. Si bien mejorar la proyección misma por tramo, disminuyendo el error, nunca fue el motivo de este proyecto de titulación, podría darse eventualmente que se noten mejorías como un derivado del modelo, por lo que habrá que dejar en claro dónde ocurre.

Asimismo cuando se presenten diferencias muy grandes no necesariamente se estará en un escenario adverso en términos generales, pues esto perfectamente podría tomarse como una alerta hacia el cómo el pronóstico está funcionando. Si bien se perderá credibilidad en el modelo en estos casos, esto generará una alerta del cómo se

está trabajando en el día a día respecto de lo proyectado por los sistemas internos. Al final de cuentas el simulador no es más que el reflejo de la proyección hecha por PROS y mostrando una demanda restringida a la capacidad de la red, por lo que si, por ejemplo, esta proyección subestimara la demanda de forma grosera, esto se vería reflejado en el simulador también. De aquí que un error muy grande en el simulador podría, eventualmente, deberse a que el pronóstico mismo no está siendo asertivo, debiéndose quizás a poca historia, pocos datos, mala manipulación de los mismos u otros factores. Esto será tema de las últimas secciones de este escrito y se verá cuándo y dónde se producen.

7.2 Validación Modelo

A continuación se expondrán los resultados más importantes de proyecciones, analizando el ajuste del modelo respecto de lo real. Para analizar el ajuste del modelo se usará el Factor de Ocupación (FO) real que se presentó en esa fecha y se comparará con lo obtenido con el modelo. El FO es básicamente la demanda agrupada por cabina y dividida por la capacidad física de cada avión, por lo que en términos simples se comparará la demanda obtenida a partir del simulador con la demanda real volada.

7.2.1 Ajuste por mercado

Como se ha mencionado anteriormente, existen cinco grandes mercados; Doméstico Argentina, Doméstico Chile, Doméstico Ecuador, Doméstico Perú e Internacional. Para cada uno de ellos se presenta el FO promedio en las fechas de análisis en contraste con lo real volado.

Doméstico Argentina

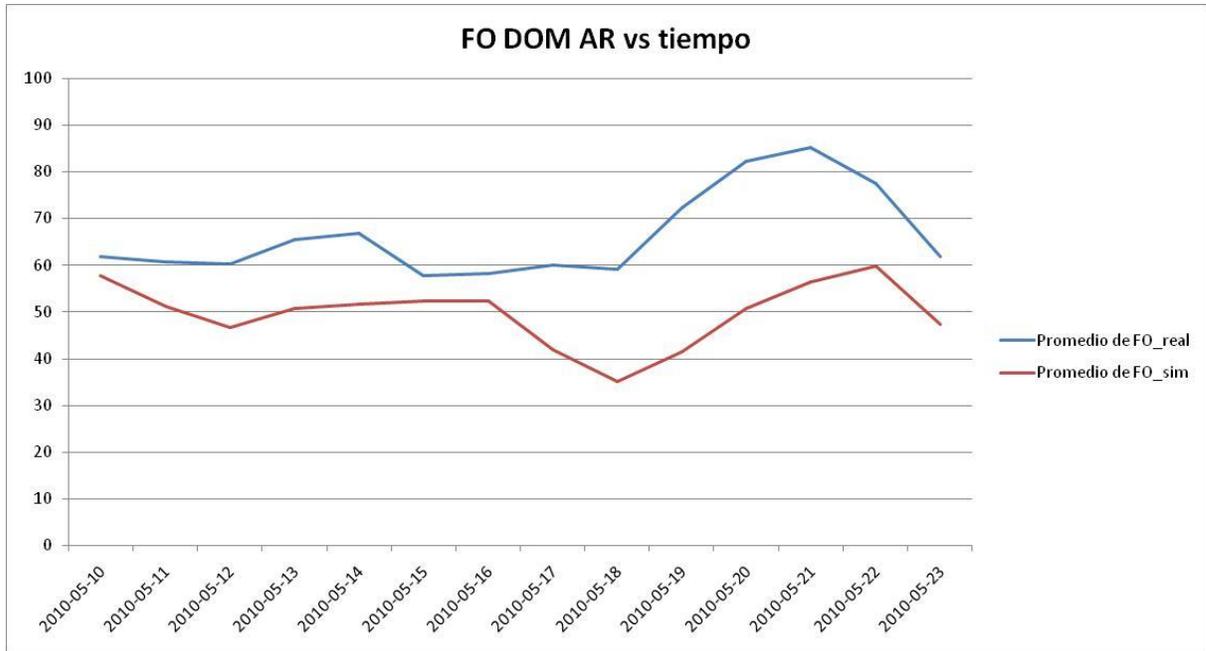


Ilustración 9: FO Doméstico Argentina en el tiempo

Doméstico Chile

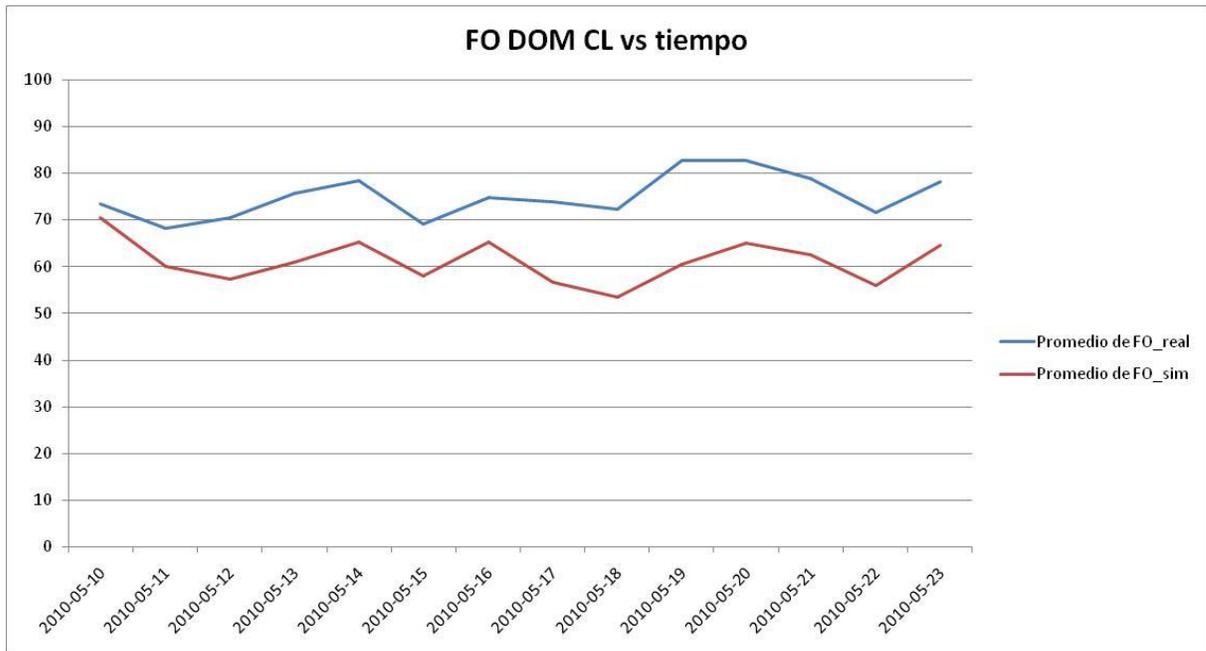


Ilustración 10: FO Doméstico Chile en el tiempo

Doméstico Ecuador

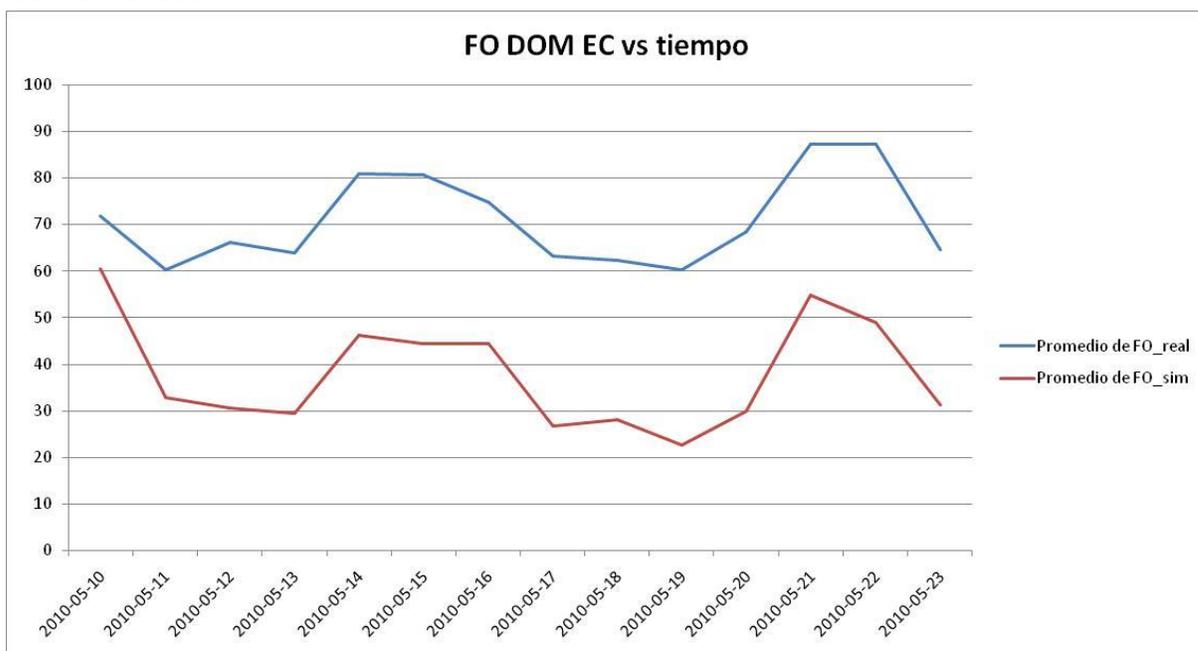


Ilustración 11: FO Doméstico Ecuador en el tiempo

Doméstico Perú

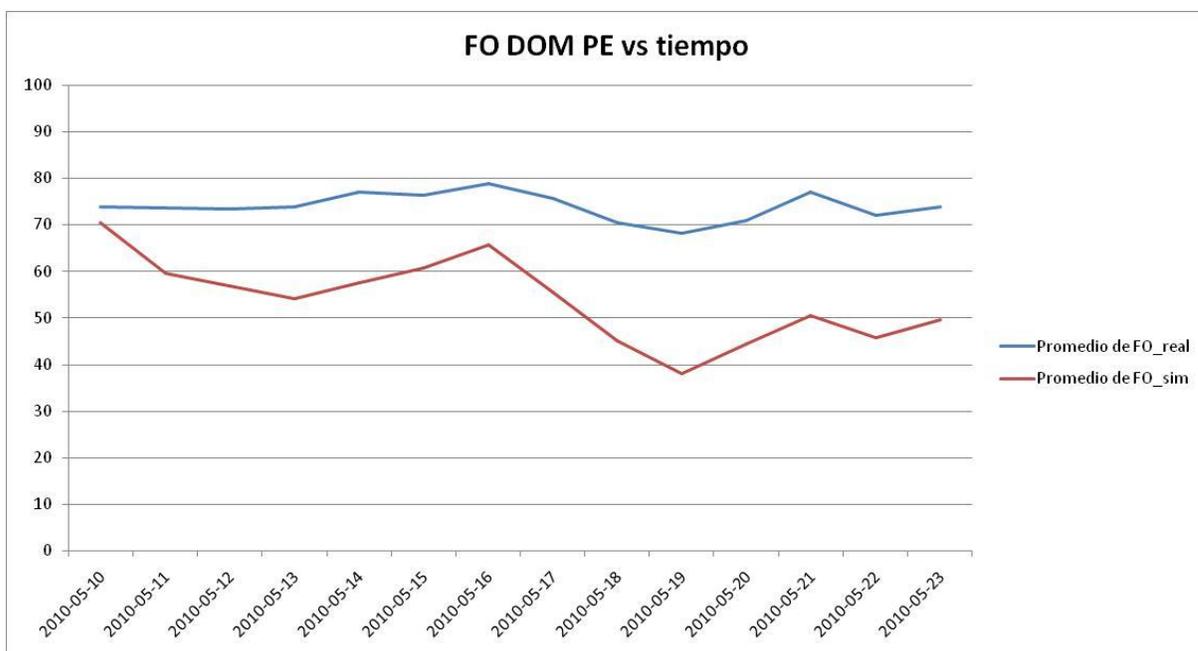


Ilustración 12: FO Doméstico Perú en el tiempo

Internacional Cabina Economy

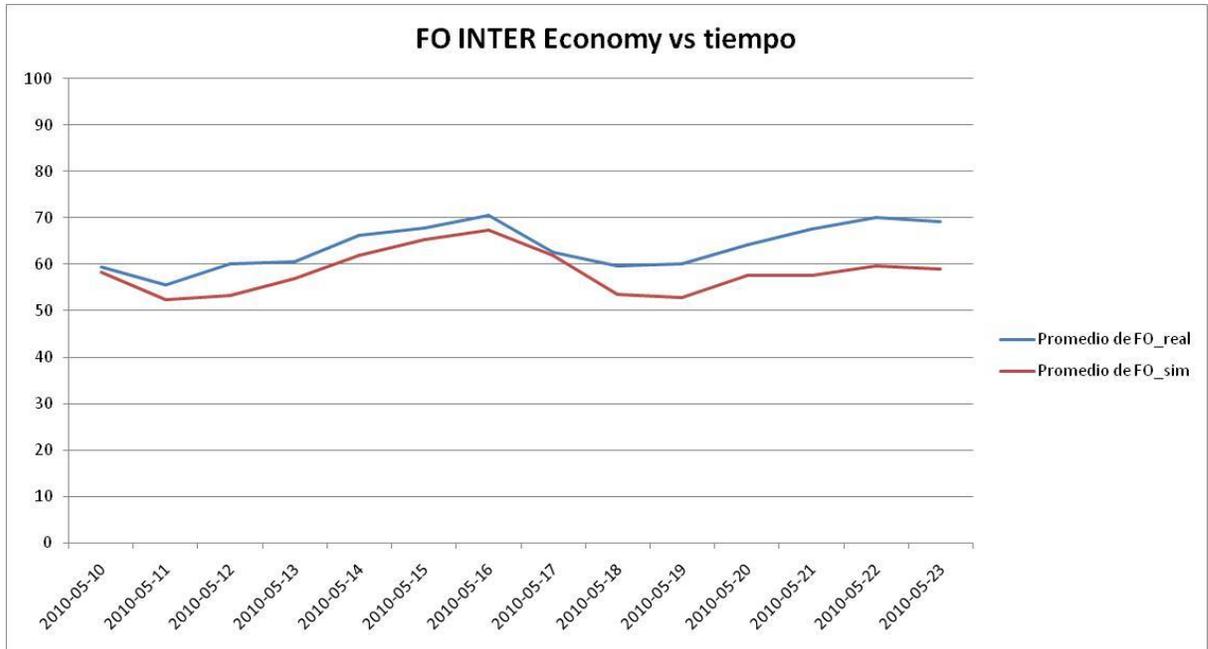


Ilustración 13: FO INTER Cabina Economy en el tiempo

Internacional Cabina Business

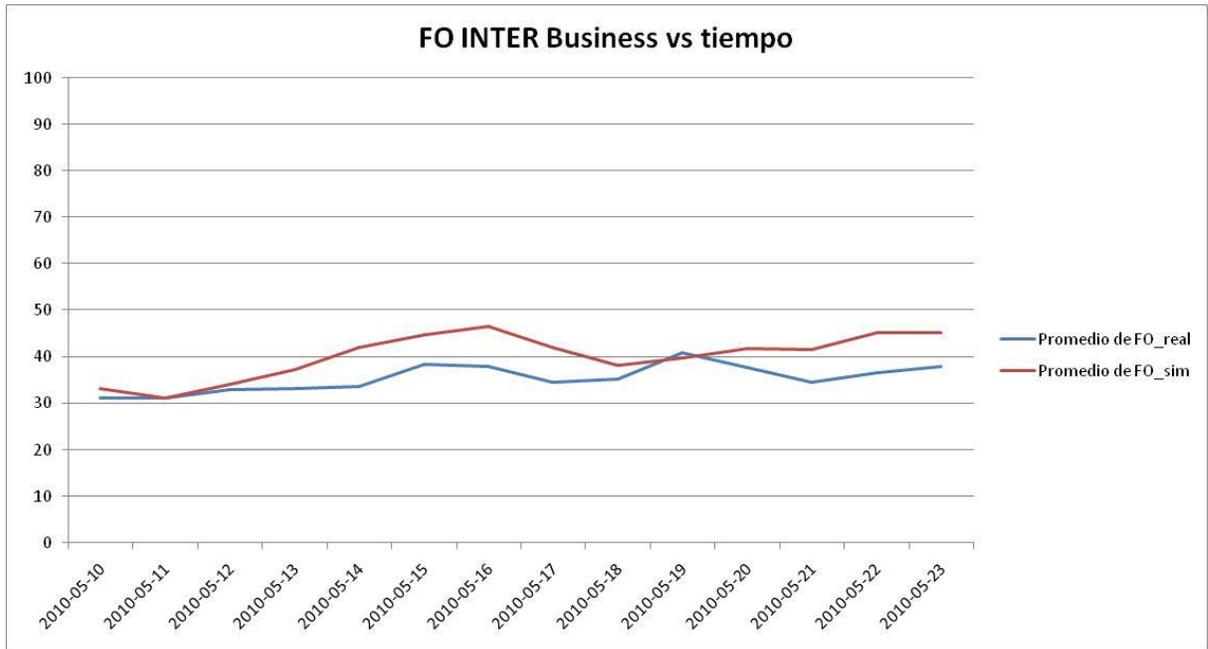


Ilustración 14: FO INTER Cabina Business en el tiempo

Como se puede ver en los distintos gráficos, el ajuste en general es muy bueno, pues en ningún caso los resultados son completamente opuestos a lo volado realmente. La mayor diferencia se puede notar en el mercado doméstico Ecuador, la cual se

atribuye a que LAN Airlines abrió hace poco tiempo ese mercado, por lo que la cantidad de datos con los cuales se hace el pronóstico no es la ideal. Por otro lado, tanto el mercado doméstico Argentina como Chile, presentan un muy buen ajuste sobre todo en los 10 primeros días de simulación, teniendo Chile un error menor a lo largo de los 14 días de simulación.

El mercado Internacional, tanto en su cabina *economy* como *business*, presentan un ajuste notable en donde casi no se aprecian diferencias. Nuevamente la historia en los datos juega un rol importantísimo a la hora de pronosticar demanda, y eso es lo que ocurre en especial con este mercado. Además de ello, el mercado internacional mantiene una demanda relativamente alta y constante en cada uno de sus vuelos, por lo que era de esperar que el ajuste en este mercado fuera bueno. Aun así, fue sumamente sorprendente el resultado pues, y como se verá más adelante, incluso llegó a mejorar la proyección misma de FO que provee PROS.

Un punto importante es que en general la mayoría de los pronósticos, agrupados por mercado, muestran un sesgo a la baja. Este sesgo se discutió y se llegó a una primera conclusión de que se estaba castigando de sobre manera con las cancelaciones. Si bien se trató según el pronóstico *unconstrained* sugería, al parecer estas generan un impacto no menor en la cantidad de reservas finales.

Además de ello, el factor de ocupación real que se muestra para comparar con lo dicho por el simulador, incluye 4 clases tarifarias que el simulador no las puede incorporar. Estas clases corresponden a espacios destinados para funcionarios, el canje LANPASS y viajes de comisión. En promedio, estas clases corresponden a un 4 a 5 puntos porcentuales del FO, por lo que haría disminuir la brecha entre las curvas. Aun así, el sesgo a la baja se mantiene, por lo que sin duda en un trabajo posterior habría que estudiar si las cancelaciones se están aplicando de buena manera, o si es que el pronóstico es el que no ayuda.

A continuación², y para cuantificar de mejor forma los errores por mercado, se expondrá una tabla resumen con los errores a medida que se va alejando la fecha de inicio de simulación, como también su valor promedio. Esto dará una idea de qué tan asertivo puede llegar a ser el modelo en los distintos mercados.

Para obtener los errores se ocupó el error porcentual absoluto simétrico promedio, sMAPE en inglés (*Symmetric Mean Absolute Percentage Error*), que se define de la siguiente forma:

² De aquí en adelante, tanto el problema de las cancelaciones como el de las clases tarifarias reservadas, no se tratarán, y los próximos cálculos no considerarán este acercamiento de las curvas debido a las razones ya explicadas.

$$sMAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|A_i - F_i|}{A_i + F_i}$$

Ecuación 8

en donde n corresponde al número de datos que se tiene para la proyección, A_i es el valor real y F_i es el valor proyectado.

Esta forma de cuantificar el error toma las desviaciones absolutas de lo proyectado respecto de lo real y crea una ventana de largo la suma de estos números para ver a qué porcentaje corresponde la desviación de esta ventana. En general este error es muy ocupado en pronósticos y proyecciones, pues tiene como resultado un porcentaje, lo que facilita la lectura y entendimiento.

A continuación se encuentra la tabla calculada a partir del método descrito anteriormente, la cual muestra los diferentes mercados y el error del pronóstico (sMAPE) en el tiempo.

Tabla 10: sMAPE por mercado en el tiempo

	DOM AR	DOM CL	DOM EC	DOM PE	INTER Y	INTER J
2010-05-10	6,34%	4,98%	10,40%	4,62%	8,95%	22,47%
2010-05-11	10,74%	10,44%	29,25%	15,30%	8,81%	18,67%
2010-05-12	13,12%	12,31%	38,91%	17,27%	10,64%	21,59%
2010-05-13	14,14%	11,86%	37,46%	20,20%	7,76%	22,75%
2010-05-14	13,99%	10,00%	30,30%	17,98%	8,79%	22,94%
2010-05-15	7,93%	10,90%	31,53%	13,87%	7,15%	21,55%
2010-05-16	9,66%	7,74%	29,91%	11,35%	7,37%	25,70%
2010-05-17	19,93%	16,29%	46,67%	17,74%	10,81%	26,64%
2010-05-18	29,33%	20,25%	41,05%	28,43%	12,12%	21,32%
2010-05-19	30,49%	18,24%	50,45%	35,75%	13,18%	20,00%
2010-05-20	24,84%	13,16%	43,16%	27,94%	10,70%	21,10%
2010-05-21	23,26%	15,14%	26,87%	26,45%	13,15%	24,23%
2010-05-22	17,08%	14,42%	34,54%	28,50%	14,44%	29,71%
2010-05-23	27,34%	10,75%	56,22%	23,65%	15,58%	26,33%
Promedio	17,79%	12,57%	36,13%	20,67%	10,70%	23,36%

Como se puede ver en la tabla anterior, se aprecia claramente como lo dicho anteriormente se confirma al analizar los errores por mercado. Tanto el doméstico Chile como la cabina *economy* del mercado internacional, muestran un error bastante bajo, en contraposición con el doméstico Ecuador, por ejemplo, que muestra un error que

juega en contra de la credibilidad del modelo para ese mercado. Es importante notar que estos valores son los promedios a lo largo de cada mercado, por lo que otorgan una visión general de cómo se comporta el modelo en términos generales en un mercado en particular.

Para analizar el cómo el modelo se ajusta en cada vuelo, se hizo una inspección en los vuelos más importantes para corroborar que la varianza intra-mercado no fuera muy grande, obteniéndose que en general los promedios hablaban muy bien de lo que ocurría en cada vuelo. Por ejemplo para un tramo como el Santiago-Punta Arenas (SCL-PUQ), se encontró que el error promedio en los mismos días fue de aproximadamente 10%, lo mismo ocurría en el tramo Santiago-Antofagasta (SCL-ANF), donde el error fue de 10.8%. De esta forma se puede ver que en este mercado el promedio en el error sí refleja lo que sucede al interior del mercado, y no existen errores que se disparen de manera excesiva.

Un análisis exhaustivo queda fuera pues basta con detenerse en los tramos más importantes e influyentes de cada mercado para ver si el promedio realmente representa el error general por mercado. De esta manera, y ocupando simple inspección, se pudo determinar que en los mercados Doméstico Argentina, Doméstico Chile e Internacional *economy*, los promedios en los errores son un fiel reflejo de lo que pasa a nivel de tramo. En tanto para los mercados Doméstico Ecuador e Internacional *business*, el error es muy elevado en general y al adentrarse en ellos se encuentran errores aun más grandes, y otros menores que atenúan el promedio. Así para estos últimos mercados el promedio no es concluyente por sí solo y es necesario revisar un tramo en específico por si se quiere mayor información.

En el caso del mercado Doméstico Ecuador se había comentado con anterioridad que el error en el pronóstico obedece en gran parte a lo nuevo que es ese mercado para LAN Airlines, con la consiguiente falta de datos e información relativa a tendencias. Estos factores son claves a la hora de proyectar demanda, por lo que todavía no se puede obtener una buena proyección.

Otra conclusión interesante es que para el mercado Doméstico Ecuador, la proyección de demanda en términos del FO sigue casi la misma tendencia en todo momento. Analizando el gráfico de FO simulado en contraste con el FO real, se puede ver que existe una subestimación de demanda “constante” para toda fecha, por lo que en realidad sí se logran capturar las tendencias en la demanda, pero no así lo que sucede con las reservas. Por un lado podría deberse a que el pronóstico proyecta menos reservas *per sé*, o que quizás está siendo muy duro en términos de cancelaciones, cancelando más de lo visto en la realidad. Esta conclusión se sostiene en base a que el simulador siempre se encuentra a una distancia constante de aproximadamente 30 puntos porcentuales, lo que hace pensar que en realidad la tendencia está bien estudiada y no así la relación reservas/cancelaciones.

En tanto para el mercado Internacional en su cabina *business*, el error puede ser engañoso en el sentido de que este penaliza mucho cuando los valores son menores. En general la cabina *business* no se llena, por lo que sus FO son relativamente bajos, de ahí que cuando el modelo no es muy asertivo el error lo penaliza bastante. Pero como se puede ver en el gráfico de FO simulado versus el FO real, se ve que claramente estas curvas permanecen bastante juntas, tal como sucede en la cabina *economy*, con la salvedad de que ahí los valores son más elevados y por lo tanto menos penalizados en el error.

En síntesis, esta primera alternativa de ver qué tan asertivo resulta ser el modelo presentó muy buenos resultados. En primer lugar los ajustes en las proyecciones son muy buenos en la mayoría de los mercados, siendo el doméstico Chile y el internacional los que mostraron los errores más bajos. Esto muestra un buen augurio para los resultados finales de demanda *constrained*, pues si el modelo se comporta de esta manera en agrupación por FO, la proyección de demanda por origen-destino gana credibilidad y peso a la hora de adentrarse en su análisis.

7.2.2 Tramos importantes

Para analizar de manera más específica lo que sucede con la proyección de demanda por FO, se ha decidido escoger ciertos tramos relevantes para la compañía, los cuales pertenecen a distintos mercados. Entre ellos se encuentran el tramo Santiago-Concepción (SCL-CCP) del mercado doméstico Chile, el Santiago-Madrid (SCL-MAD) y Santiago-Miami (SCL-MIA) del internacional y el Lima-Cuzco (LIM-CUZ) del doméstico Perú. Estos tramos presentan alta demanda y siempre son críticos a la hora de analizar nuevas opciones de mejora en la cobertura y/o frecuencia dada la implicancia que tienen para el mercado, como también en la forma en que estos tramos conectan con otros.

Santiago-Concepción

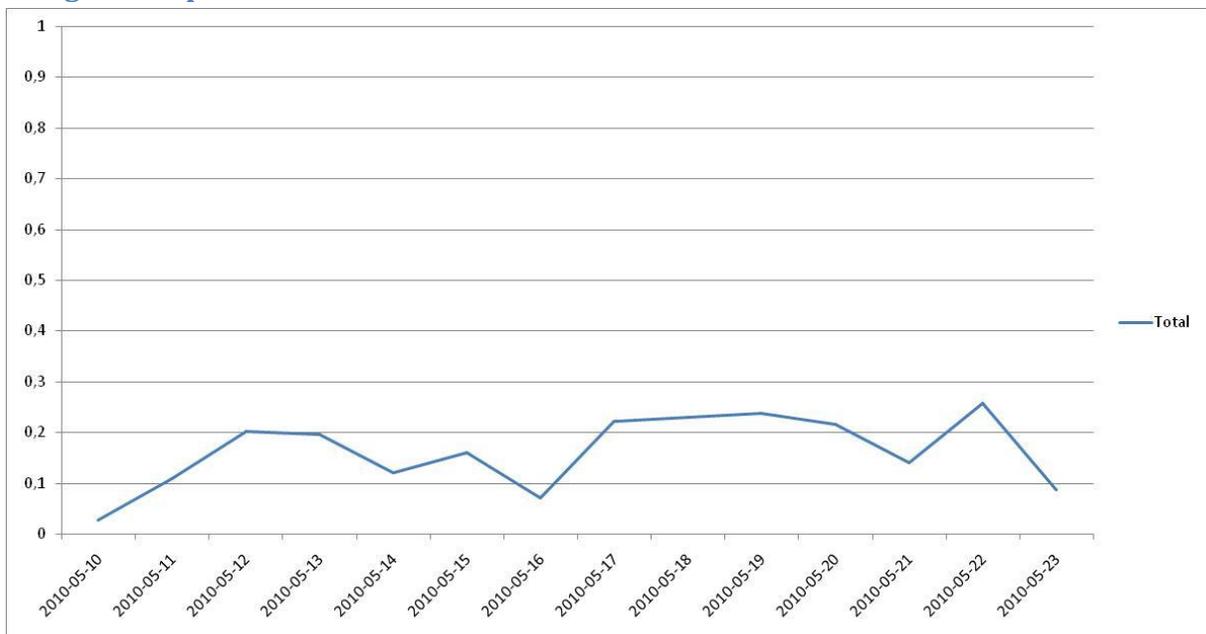


Ilustración 15: Error promedio en el tiempo para el tramo SCL-CCP

Santiago-Miami

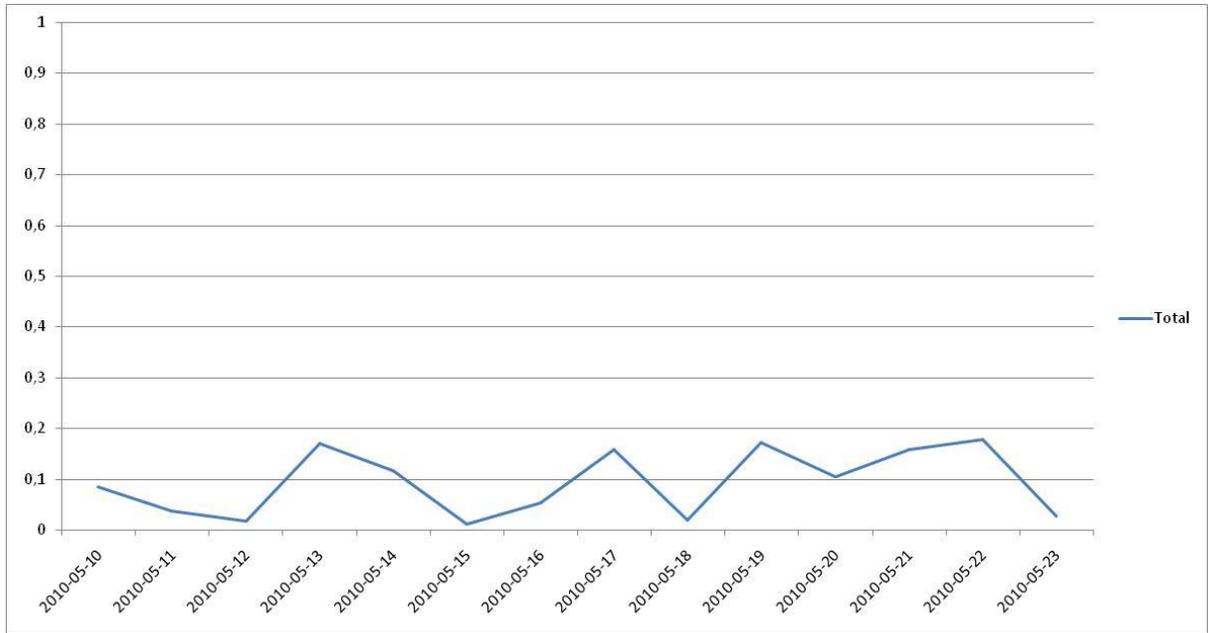


Ilustración 16: Error promedio en el tiempo para el tramo SCL-MIA

Santiago-Madrid

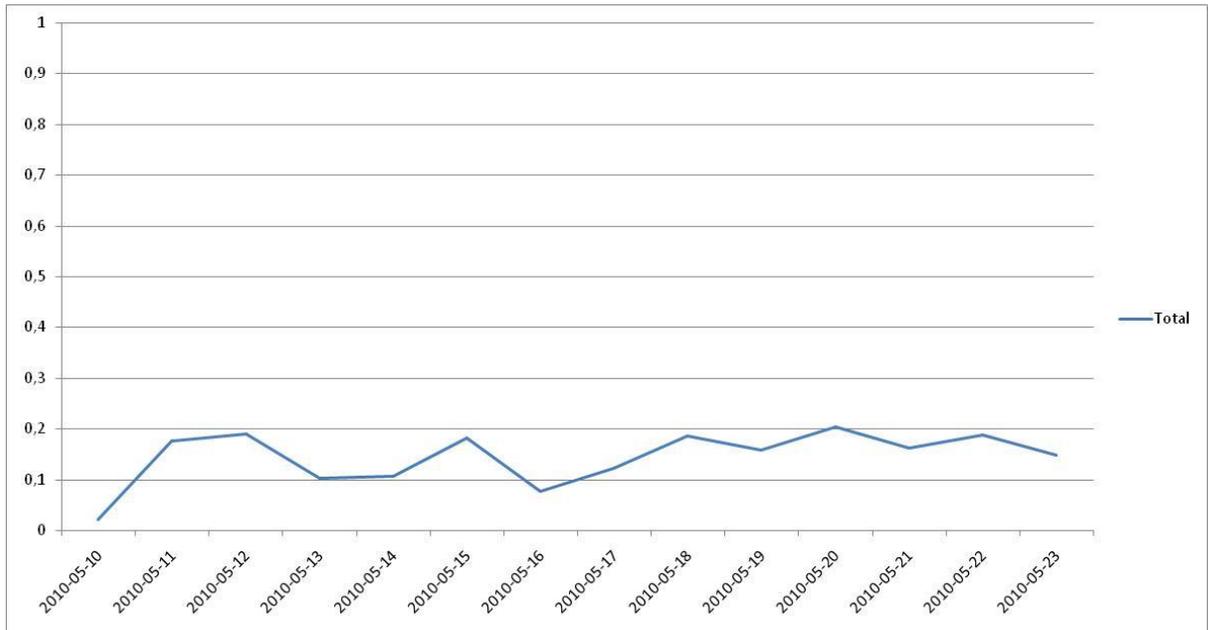


Ilustración 17: Error promedio en el tiempo para el tramo SCL-MIA

Lima-Cuzco

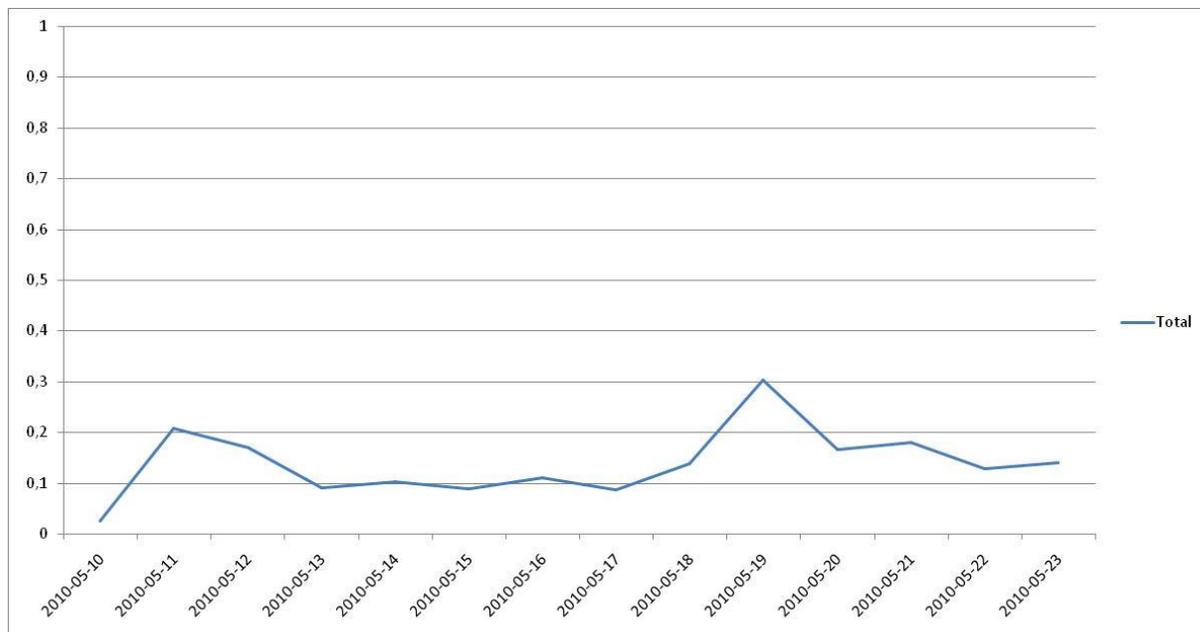


Ilustración 18: Error promedio en el tiempo para el tramo LIM-CUZ

Como se puede ver en los distintos tramos, los errores nunca se disparan considerablemente y se aprecia un mejor ajuste tanto en tramos del doméstico Chile (SCL-CCP) y en el internacional (SCL-MAD y SCL-MIA). Como era de esperarse, al adentrarse y analizar tramos o rutas específicas el error crece debido a la variabilidad intrínseca que tiene asociado cada vuelo, en cada clase y en cada fecha. Es por ello que el análisis por tramo solo apunta a develar si es que los errores se disparan en ciertas rutas, para al momento de analizar O-D, tener en cuenta esas rutas presentes.

En general, nuevamente se puede ver como el ajuste del modelo es bastante bueno, ya que en general los errores se mantienen dentro de cotas y aun así bajos. Como se analizó anteriormente existen ciertos mercados en los que el error crece, y se explicó el por qué ocurría este fenómeno, por lo que al adentrarse en rutas para esos mercados se esperaría un error promedio mayor. Aun así, el ajuste en estas rutas se presenta dentro de lo aceptable, siendo muy bueno en las rutas internacionales y domésticas en Chile. En los otros mercados habrá que analizar ruta a ruta para definir su “credibilidad” frente a lo que realmente sucede.

7.2.3 Comparación con proyección por FO existente

Una comparación interesante que se puede analizar es el cómo PROS proyecta FO y como esta proyección se compara con la desarrollada por el simulador. Para ello primero se mostrará la misma tabla que se presentó en secciones anteriores en donde

se mostraba el error promedio del FO, pero esta vez agregando el error que tiene la proyección de PROS.

Tabla 11: Error promedio de FO proyectado para simulador y PROS

	DOM AR		DOM CL		DOM EC	
	sim	PROS	sim	PROS	sim	PROS
2010-05-10	6,34%	5,67%	4,98%	5,39%	10,40%	7,37%
2010-05-11	10,74%	7,97%	10,44%	10,36%	29,25%	12,21%
2010-05-12	13,12%	6,65%	12,31%	9,30%	38,91%	22,06%
2010-05-13	14,14%	8,42%	11,86%	7,63%	37,46%	16,52%
2010-05-14	13,99%	8,24%	10,00%	6,82%	30,30%	16,89%
2010-05-15	7,93%	7,74%	10,90%	11,07%	31,53%	16,74%
2010-05-16	9,66%	7,23%	7,74%	6,98%	29,91%	16,05%
2010-05-17	19,93%	16,17%	16,29%	9,28%	46,67%	26,70%
2010-05-18	29,33%	15,11%	20,25%	11,04%	41,05%	15,73%
2010-05-19	30,49%	18,33%	18,24%	9,14%	50,45%	23,95%
2010-05-20	24,84%	21,69%	13,16%	8,18%	43,16%	18,58%
2010-05-21	23,26%	28,74%	15,14%	11,44%	26,87%	10,30%
2010-05-22	17,08%	20,96%	14,42%	8,96%	34,54%	13,66%
2010-05-23	27,34%	27,08%	10,75%	7,01%	56,22%	46,47%
Promedio	17,79%	14,19%	12,57%	8,71%	36,13%	18,61%

	DOM PE		INTER Y		INTER J	
	sim	PROS	sim	PROS	sim	PROS
2010-05-10	4,62%	6,45%	8,95%	11,27%	22,47%	27,57%
2010-05-11	15,30%	11,99%	8,81%	12,97%	18,67%	21,19%
2010-05-12	17,27%	13,64%	10,64%	10,59%	21,59%	21,47%
2010-05-13	20,20%	13,08%	7,76%	11,63%	22,75%	25,68%
2010-05-14	17,98%	11,01%	8,79%	11,15%	22,94%	22,82%
2010-05-15	13,87%	9,66%	7,15%	10,84%	21,55%	19,75%
2010-05-16	11,35%	8,51%	7,37%	8,26%	25,70%	25,32%
2010-05-17	17,74%	9,57%	10,81%	10,79%	26,64%	22,57%
2010-05-18	28,43%	16,05%	12,12%	11,16%	21,32%	19,12%
2010-05-19	35,75%	22,63%	13,18%	12,50%	20,00%	18,27%
2010-05-20	27,94%	14,24%	10,70%	9,45%	21,10%	17,82%
2010-05-21	26,45%	11,23%	13,15%	12,84%	24,23%	21,25%
2010-05-22	28,50%	14,56%	14,44%	14,31%	29,71%	26,03%
2010-05-23	23,65%	11,44%	15,58%	14,16%	26,33%	22,66%
Promedio	20,67%	12,42%	10,70%	11,58%	23,36%	22,32%

Como se puede ver en el resumen anterior, en general el error se mantiene muy parecido para las diferentes fechas y en el promedio final, sobre todo para los mercados

en Argentina, Chile e Internacional en sus dos cabinas. Más aun, se puede ver como el error se redujo en al menos un punto porcentual en las dos cabinas del mercado internacional, mostrando que esta diferencia se mantiene en todas las fechas, superando el punto porcentual en ciertas fechas.

Con esta comparación el modelo desarrollado gana mayor credibilidad, pues muchas de las decisiones que se toman semana tras semana involucran el FO proyectado, por lo que con esto se demuestra que sería mejor ver el factor de ocupación que tiene como salida el simulador en desmedro del que proyecta PROS. Si bien el ganarle en proyección al actual proveedor no estaba dentro de los planes, esto no hace más que reafirmar que el simulador sí se ciñe a lo que sucede en la realidad, incluso mejorando las proyecciones actuales.

7.2.4 Composición por ruta

Para tener una mejor idea del cómo se comporta la herramienta, se ha decidido analizar además cómo vuelan las rutas en términos de las composiciones OD-POS que tiene cada ruta. Esto es, se quiere analizar cuántos pasajeros se subieron a un determinado vuelo que pensaban hacer un OD1, cuántos un OD2, etc. De esta forma se tiene que ese tramo en particular lo componen ciertos OD's, por lo que sería sensato analizar cuál fue lo realmente volado versus lo que el simulador pronosticó.

Además de obtener las diferentes composiciones para un tramo dado (llenado de tubo), se quiere analizar, dado un OD, cuáles son los tramos que intervienen en dicho par de origen-destino. Luego se comparará con lo realmente volado y se obtendrán conclusiones respecto del error de la herramienta versus lo real.

Para llevar a cabo el análisis se escogió una serie de rutas y se analizó caso a caso debido a la particularidad de cada una. En este escrito se presentan los casos más relevantes.

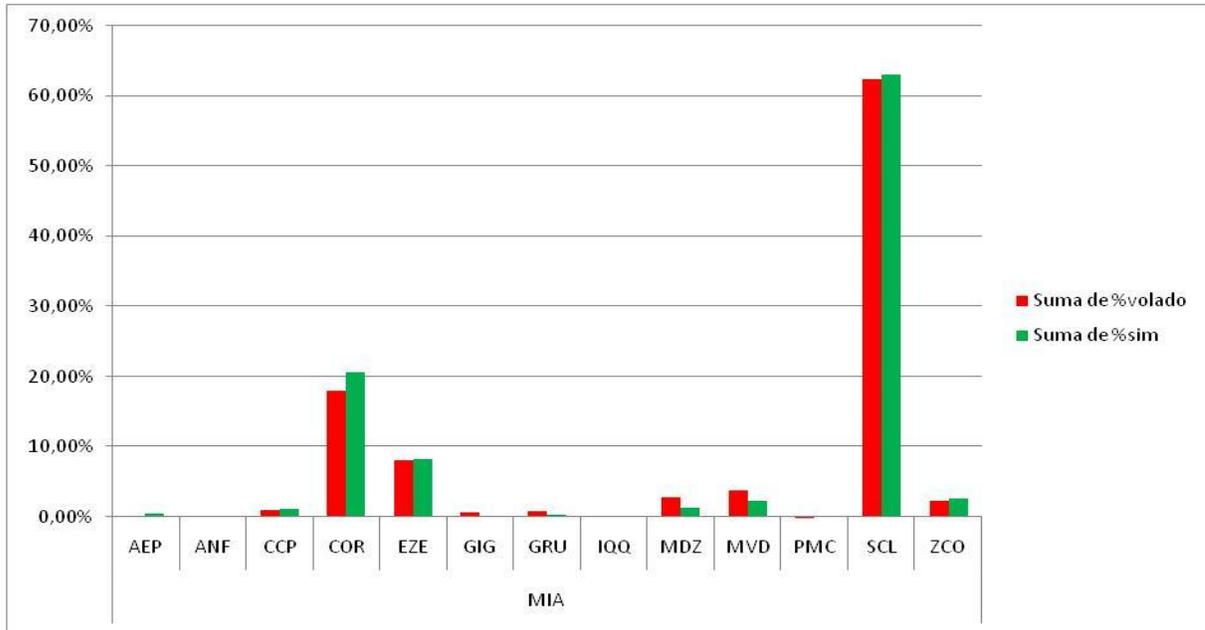


Ilustración 19: Llenado de tubo Online para el tramo SCL-MIA

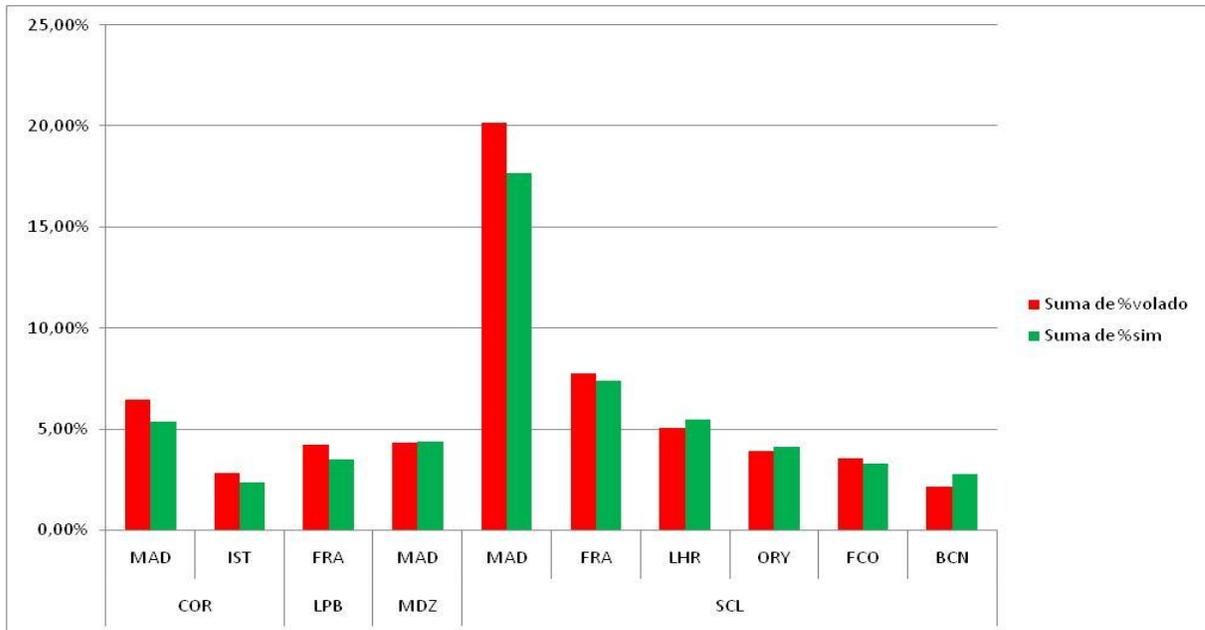


Ilustración 20: Llenado de tubo Offline para el tramo SCL-MAD

Como se explicaba anteriormente, lo que se muestra en las dos gráficas expuestas corresponde a la composición *online* del tramo SCL-MIA y la composición *offline* del tramo SCL-MAD, con el fin de ilustrar el comportamiento de la herramienta

desarrollada en términos de las diferentes influencias que recibe un tramo dado a partir de todos los OD's de la red.

De esta forma se puede ver que se tiene un muy buen ajuste en ambos casos, logrando equiparar de muy buena forma las composiciones absolutas de cada OD en los distintos tramos. Es más, se puede ver que la mayor diferencia es cerca de los dos puntos porcentuales teniendo un error muy bajo para OD's poco presentes en el tramo y destacando, al igual que en la realidad, a los OD's que se llevan casi toda la composición.

Este ejercicio se repitió con los OD's más importantes por negocio, manteniéndose un comportamiento similar. Se prefirió no mostrar otras rutas, pues para algunos negocios existían ciertos OD's que se llevaban casi toda la composición de la ruta, dejando muy poco a otros puntos de origen-destino.

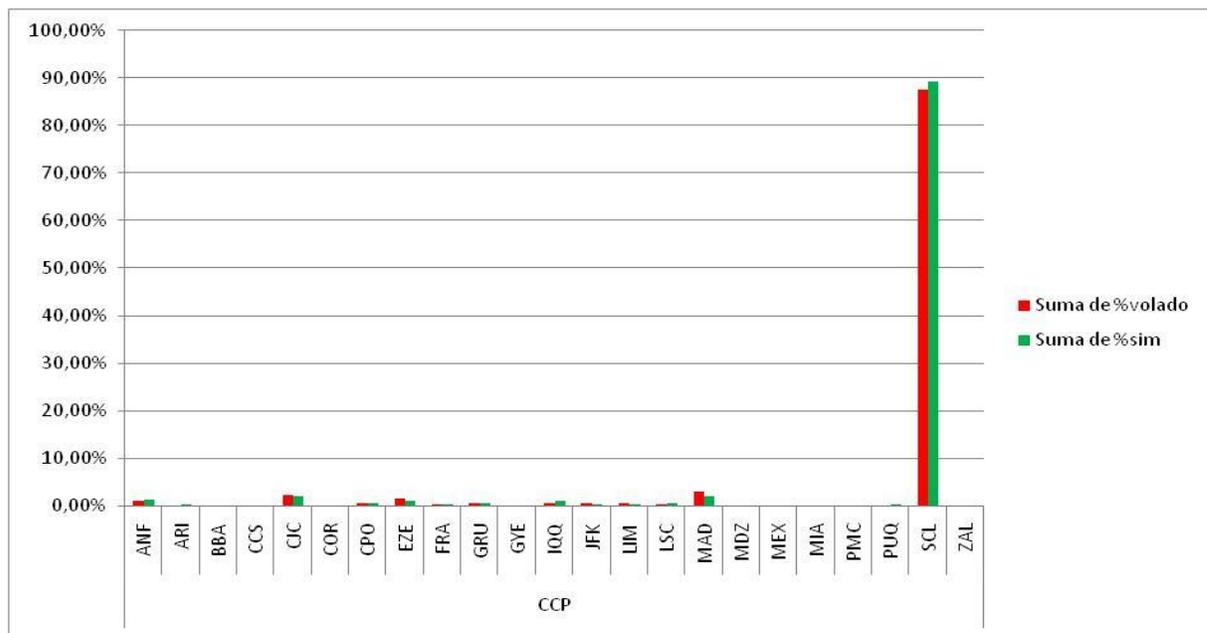


Ilustración 21: Llenado de tubo Offline para el tramo SCL-CCP

Esto es algo de lo que se comentaba respecto de ciertos tramos en los cuales un OD en particular se lleva la mayoría de la composición dejando sólo un porcentaje menor a los demás pares de puntos en la red. En este caso en particular, el tramo Santiago-Concepción, se llena casi por completo por el OD SCL-CCP, y se ve que la demanda por otros OD's en esa ruta no es muy significativa.

En general la herramienta se comportó de muy buena forma en término de las composiciones por OD en un tramo en particular. Esta forma de analizar el ajuste permite ligar el comportamiento por origen-destino de los pasajeros, con el comportamiento de cada tramo respecto del llenado de tubo (composición).

Es importante notar que si influirá la anticipación que se tiene respecto de los tramos a analizar, principalmente por el análisis de cuánto es lo que falta por entrar. Esto es, si estamos por ejemplo en una ruta internacional, y estamos analizando vuelos que salen en una semana, la mayoría de la composición ya está dada pues no queda mucho por entrar. Es decir, lo que está en juego es muy poco, por lo que si lo real es muy parecido a lo que el simulador pronostica, esto no dice nada. De esta forma habrá que pararse con tiempo, según el negocio de análisis, y respecto de ello analizar las composiciones.

En los casos anteriormente expuestos se tuvo una anticipación de al menos tres semanas, habiendo en juego cerca del 30% de la capacidad total del tramo, por lo que los análisis sí son concluyentes. No está dentro de los objetivos de esta herramienta proyectar con tiempos mayores a un mes, por lo que si dentro de ese tiempo las composiciones se comportan de buena manera, hace que esta sea más robusta aun.

7.2.5 Validación y conclusiones

A partir de las distintas maneras de analizar el ajuste del modelo a lo que realmente sucede en el negocio, se puede inferir que el simulador presenta un muy buen ajuste en general. Si bien existen rutas y mercados en los cuales las diferencias en términos de demanda agrupada por FO se mantienen altas, en general para mercados importantes y que representan el *core* de la compañía el ajuste es muy bueno.

En ningún momento se ha pretendido desarrollar una herramienta que tenga un error nulo respecto de la realidad, por lo que, en vista de los errores anteriormente presentados, se puede concluir que tanto en el mercado internacional como doméstico Chile la credibilidad del simulador es muy alta, disminuyendo en el doméstico Perú y Argentina, y siendo menor en Ecuador. Aun así, y como se analizó, las tendencias se mantuvieron muy acorde a la realidad, por lo que en ningún caso el simulador presentaría información despreciable para ningún mercado.

Al analizar lo que sucedía en tramos críticos e importantes se vio que los errores se presentaban quizás un poco altos a simple vista, pero en ningún caso disparados respecto de la realidad. Habrá que ser cauteloso en el manejo de la información y tener en cuenta que al revisar un tramo en específico la variabilidad crece enormemente, pues la incidencia de toda la red para solamente un tramo puede cambiar fácilmente, haciendo finalmente que el resultado muy específico pierda peso. De ahí que este proyecto no se pensó con el fin de tener información acertada muy específica, algo que resulta casi imposible y costoso, sino que más bien se desarrolló la herramienta pensando en una nueva información, siendo asertiva dentro de ciertos márgenes y

agrupaciones. De esta manera se piensa que el camino es muy bueno y los resultados que se presentarán más adelante irán acorde con lo que se apreciará en las ventanas de tiempo en donde se corre la herramienta.

Incorporando además el análisis de composiciones en un tramo dado, la herramienta mostró un muy buen comportamiento, dejando ver que su alineamiento respecto de lo faltante por entrar es justo y preciso. Si bien se mencionó que es muy importante tener en cuenta el tiempo que falta para el despegue de los vuelos, y con ello el cuánto está en juego, en los casos en que lo restante por entrar superaba el 30% de la capacidad, el simulador se ajustó muy bien a lo volado.

Como se ha comentado anteriormente, la herramienta está pensada para simular ventanas de tiempo de entre 3 semanas a 5 semanas, tiempo en donde hasta el momento se ha comportado muy bien y sin duda presentará información nueva, importante y a la vanguardia respecto del análisis de una compleja red de tráfico aéreo.

8. Resultados Simulador

Como se pretendía desde un principio, todo el trabajo realizado apuntaba a finalmente conocer la demanda *constrained* por origen-destino para toda la red de LAN Airlines. Así y luego de guardar los datos importantes del modelo, se puede conocer la demanda *constrained* a partir de la demanda *unconstrained* que PROS proyecta para un determinado período.

A continuación se presentarán algunos gráficos en donde se muestra la demanda *constrained*, que corresponde a lo que finalmente entró a partir de la demanda potencial para cualquier origen-destino en la red. Además de ello se presentarán maneras interesantes de agrupar y analizar los datos, basándose en la información generada a partir del proceso mismo de simulación.

8.1 Demanda *constrained* por O-D

Para cada uno de los siguientes gráficos, se muestra cuánto finalmente es lo que se reservó desde que se comenzó con la simulación hasta una fecha X, que corresponde a la fecha del vuelo. Específicamente la fecha X está semanas delante de la fecha de inicio de la simulación, por lo que las barras representan cuánto finalmente se reservó en cada una de las clases para las cabinas. A modo de recordatorio, la cabina *business* se define como J, y la cabina *economy* se define como Y.

Santiago - Punta Arenas (SCL-PUQ)

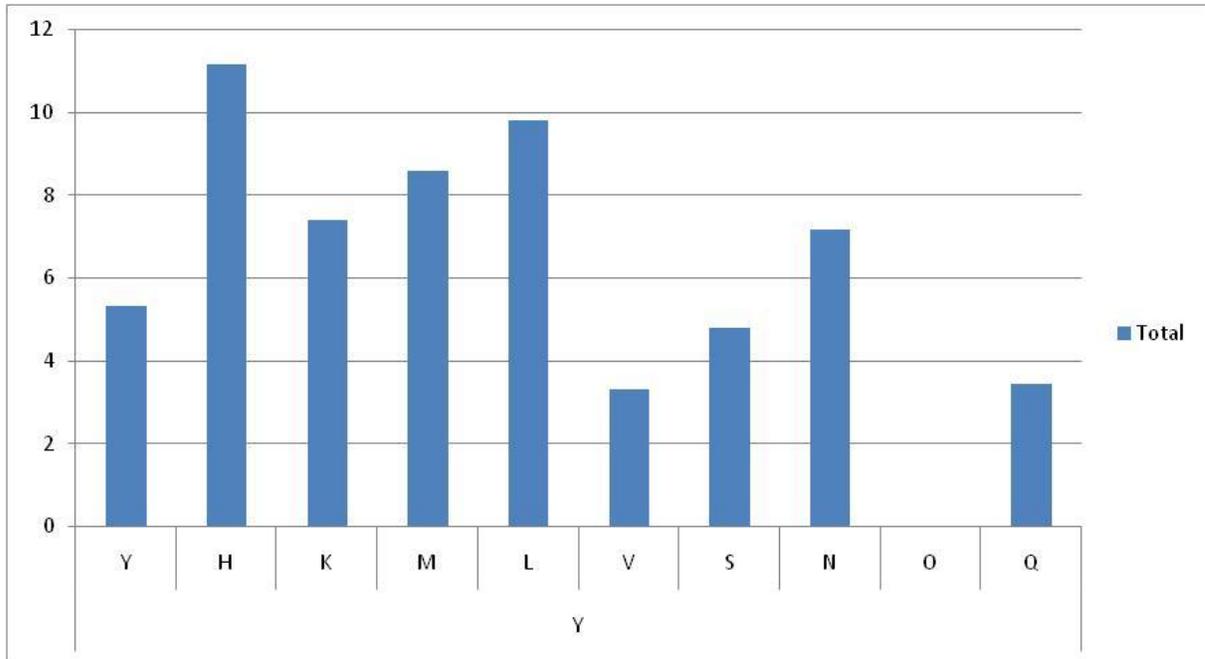


Ilustración 22: Demanda *constrained* para el O-D SCL-PUQ en fecha X

Santiago -Buenos Aires (SCL-EZE)

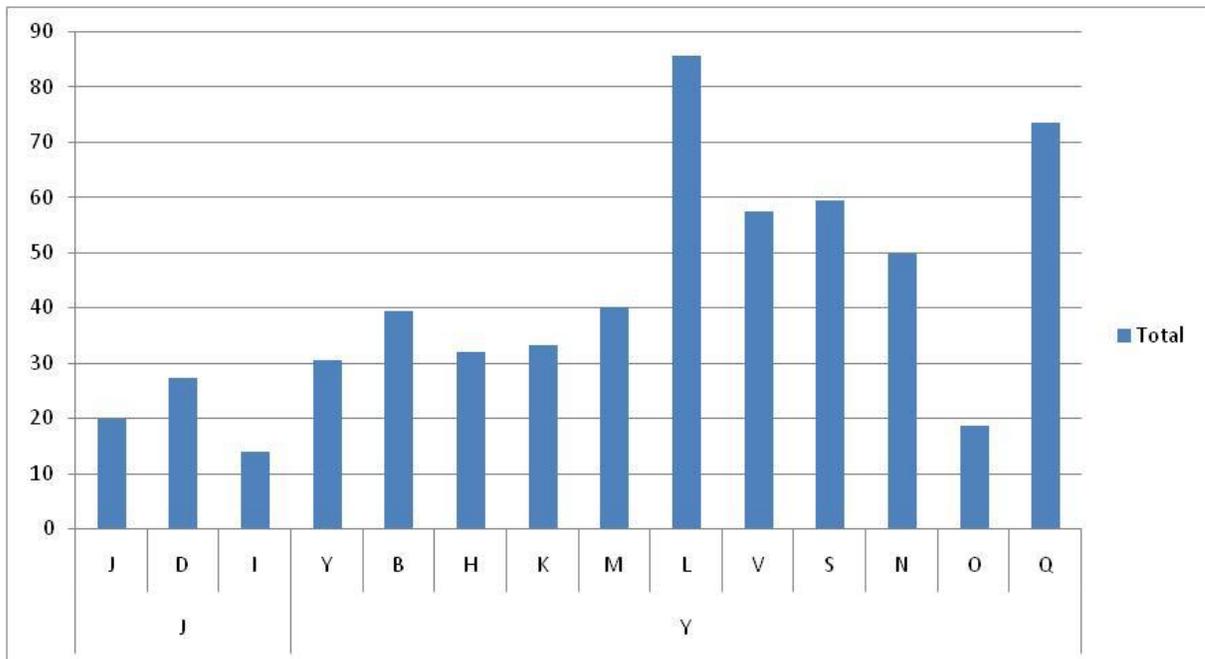


Ilustración 23: Demanda *constrained* para el O-D SCL-EZE en fecha X

Santiago - Lima (SCL-LIM)

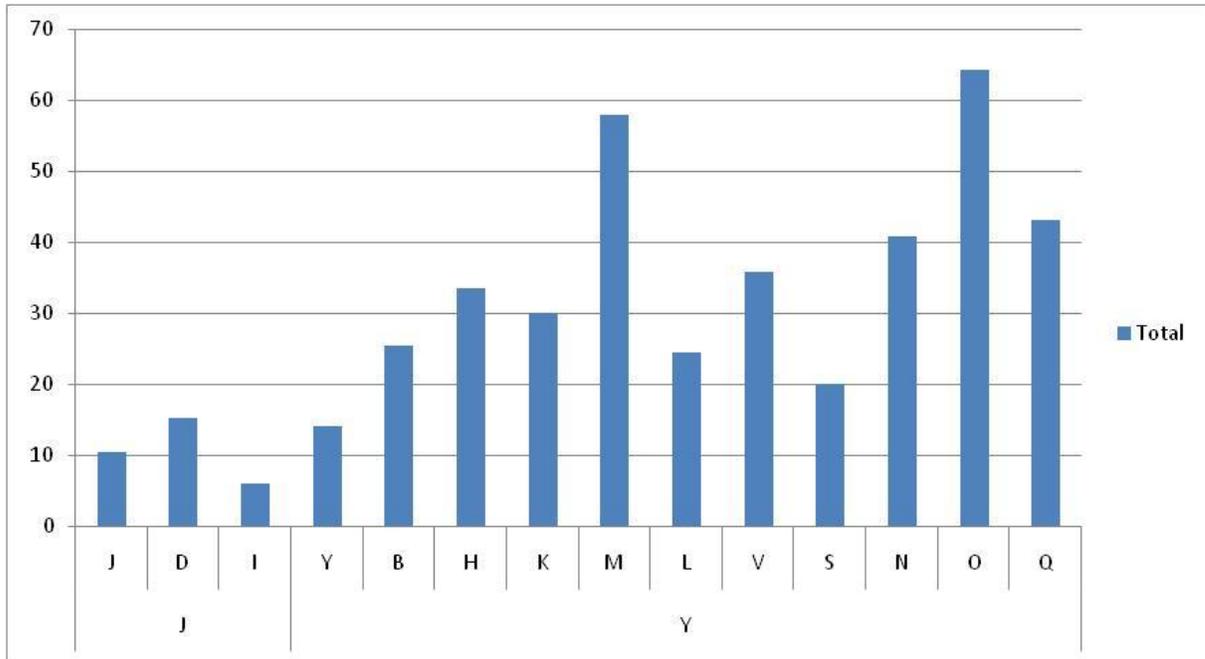


Ilustración 24: Demanda constrained para el O-D SCL-LIM en fecha X

Santiago - Arica (SCL-ARI)

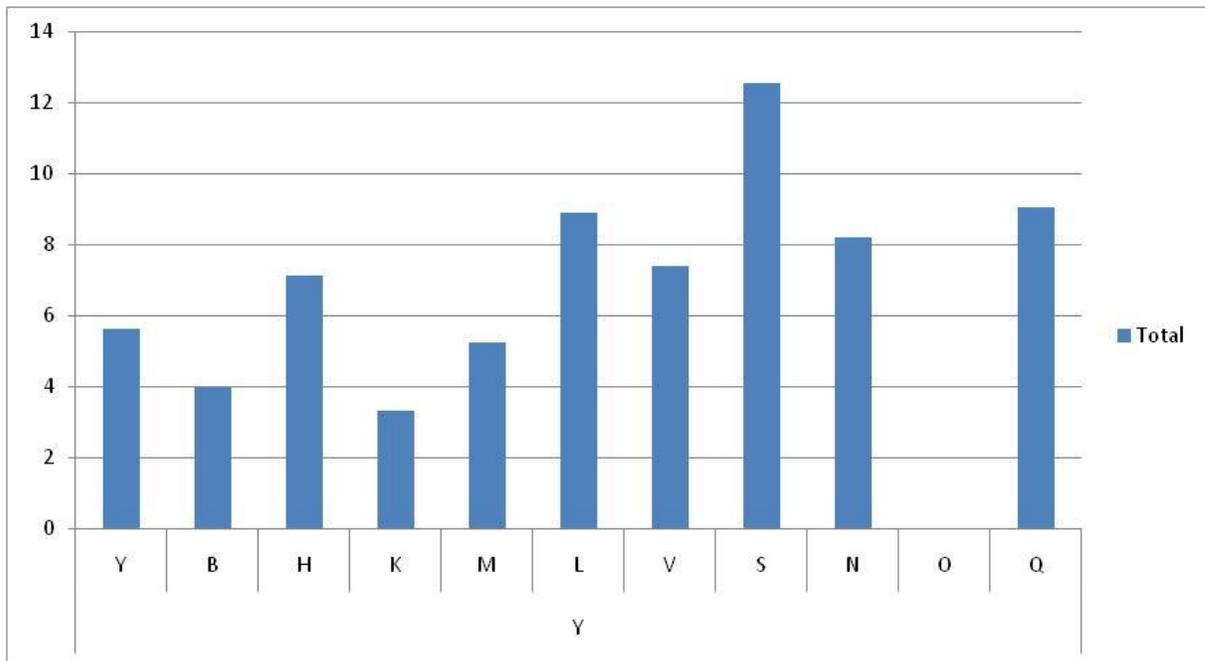


Ilustración 25: Demanda constrained para el O-D SCL-ARI en fecha X

Lo que se pudo ver en estas distintas gráficas es el cómo la demanda potencial, se vio reducida finalmente quedando la demanda restringida o *constrained* con el detalle en cada clase. Lo importante es notar que esta demanda proviene e influye por

distintas rutas, y eso es lo que la hace tan importante y trascendente al tenerla en cuenta. Un origen-destino en específico se puede ver influenciado por distintos tramos y orígenes-destinos a su vez, por lo que para conocer este dato se debe pasar por analizar la red completa y la consiguiente interacción entre reservas y cancelaciones.

Al tener el desglose de la demanda en un período de tiempo por clase, hace mucho más fácil su manejo y análisis, debido a que se podrían hacer proyecciones de ingreso fácilmente al conocer las tarifas para los O-D involucrados. De esta forma la información antes expuesta no sólo presenta una fotografía de lo que se espera que realmente llegue, y con ello tomar decisiones respecto a la entrada y/o cierre de clases, sino que también permite proyectar ingresos en un determinado período.

Composición Origen-Destino-Punto de venta en tramo SCL-AKL

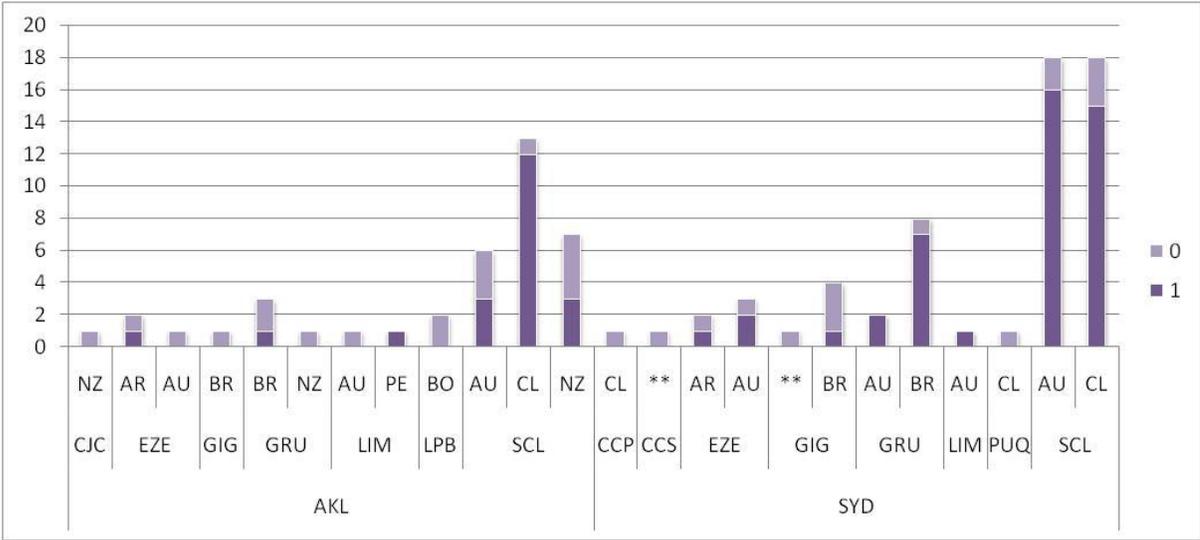


Ilustración 26: Composición O-D-POS para tramo SCL-AKL en fecha vuelo X

El gráfico anteriormente expuesto muestra, para un tramo en específico (Santiago - Auckland), cuál es la composición que se espera vender por origen-destino-punto de venta. El “0” representa lo que se rechazó proveniente de esas dimensiones y el “1” representa lo que se aceptó finalmente, en otras palabras la demanda *constrained*. Este tipo de análisis combina las dos miradas discutidas en este escrito; por un lado una mirada para un tramo en específico, pero asociada además a como se espera que se llene ese tramo en términos de los orígenes-destino-punto de venta que pasaran por el tramo.

En la primera línea del eje “X” se puede ver el POS o punto de venta, en la segunda el origen y en la tercera el destino. De esta forma un ejemplo de lectura sería

que se finalmente reservarán cerca de 11 pasajeros que desean hacer el O-D Santiago – Auckland (SCL-AKL), comprando en Chile (CL). Asimismo se podría decir que se rechazarán todas las reservas provenientes de un origen-destino Buenos Aires – Auckland (EZE-AKL), compradas en Australia (AU).

Lo interesante es que además de analizar qué origen-destino desea realizar un pasajero en particular, podemos segmentarlos mejor aun cuando agregamos su POS, y el hecho de tener la demanda restringida o *constrained* en estas dimensiones, nos da una clara impresión de lo que falta por entrar y cómo son estos movimientos. Este tipo de análisis se puede realizar para cualquier tramo o incluso un vuelo en particular, en donde además se podrían agregar más dimensiones como lo son la clase en donde se pretende reservar, la anticipación con la que el pasajero llegó al sistema (días antes del vuelo) o incluso si es que conecta con otras aerolíneas para completar su origen-destino real.

9. Impacto económico

Estimar el impacto en términos económicos que una herramienta y/o proyecto podría llegar a tener en una industria tan agguerrida en términos de competencia como lo es la aeronáutica, es sumamente difícil de abordar. Más aun cuando se ve que existen costos fijos altísimos y márgenes muy bajos respecto del ingreso que se puede percibir, las posibilidades de marginar más se hace más difíciles aun.

Para abordar este tema en particular se tomarán ciertas acepciones que intentarán simplificar ciertos cálculos en pos de obtener datos duros en los cuáles una herramienta como esta podría aportar al aumento de los ingresos de la compañía. En términos generales, se asumirá que esta herramienta se enmarca en un grupo de herramientas y prácticas que apuntan a aumentar el FO y los ingresos en toda la red. De ahí que es importante notar que esta herramienta no es la responsable de los cambios, sino que el conjunto de decisiones y prácticas, incluyendo este simulador, serán las gatillantes del cambio.

9.1 Situación inicial y cambio en FO

Para estimar un beneficio potencial de la implementación de prácticas de este estilo, se tomará como base el ingreso que reporta toda la red en un mes promedio.

Para ello se ilustra a continuación un gráfico que muestra todos los tramos y su FO promedio en el período de un mes.

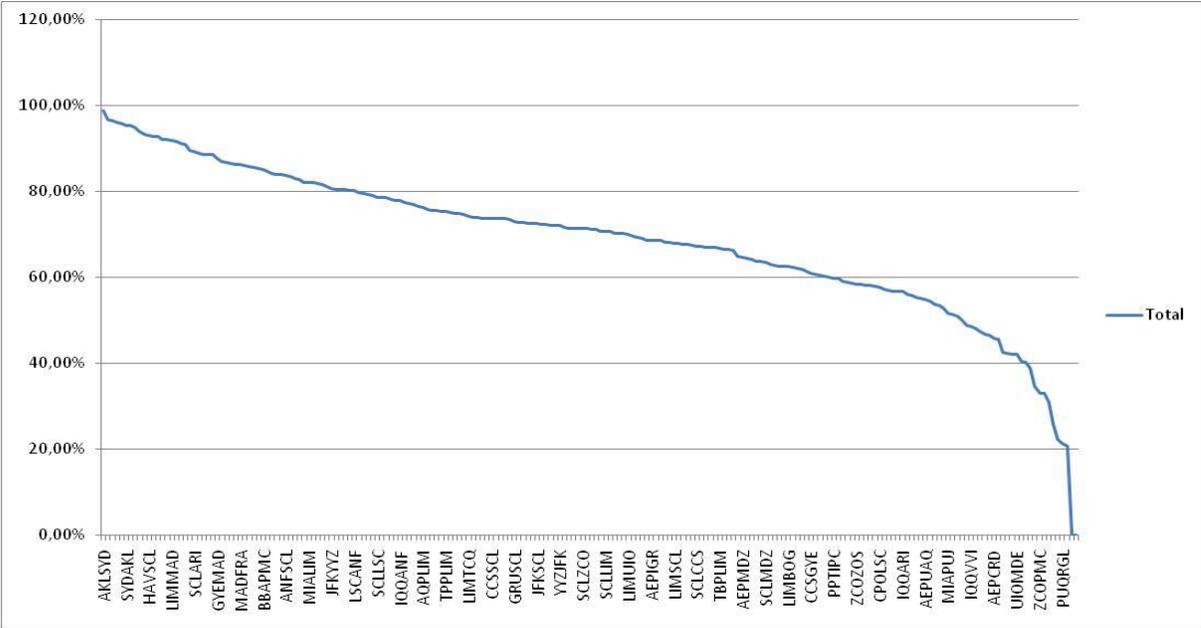


Ilustración 27: FO promedio por tramo

La curva muestra el cómo se distribuye los diferentes tramos al ordenarlos por factor de ocupación. Esta fotografía muestra cuáles son los tramos más importantes para la red, como también cuáles necesitan de una gestión distinta para aumentar el FO. Aun así, existen tramos en los que la compañía sí está dispuesta a asumir el costo de volar con un factor de ocupación bajo, pero en donde la valoración tiene que ver más con un tema de marca y posicionamiento en la mente de las personas. Es por ello que no siempre es válido el pensamiento de que un bajo FO implica que hay que deshacerse de ese tramo, pero aun así no es concluyente.

Para intentar despegarse de la situación base se ocuparon estudios vigentes realizados por la compañía, como también el juicio de expertos para encontrar una relación entre el aumento del factor de ocupación y los ingresos recibidos en cada ruta. De esta forma se estableció que para los tramos con factor de ocupación menor al 90%, el aumento de entre 2 a 5 puntos porcentuales, se traduce en un ingreso de entre 2 a 7 MMUSD en el período de análisis.

Además, y con el fin de modelar de mejor forma la dificultad para subir el factor de ocupación, se decidió que en promedio siempre sería más fácil aumentar un FO cercano a 0 en contraposición a uno cercano al 90%, por lo que la curva que describe el aumento potencial, en puntos porcentuales, se modela de la siguiente forma:

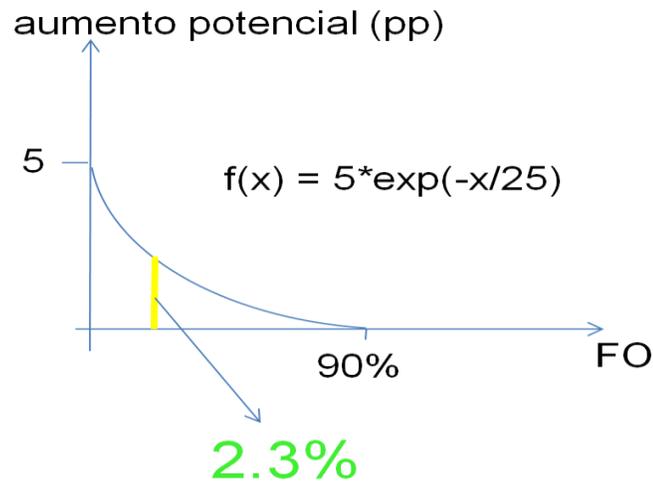


Ilustración 28: Aporte potencial al FO

De esta manera se puede modelar que el incremento en el FO, se distribuirá como una función exponencial decreciente, que intenta modelar la dificultad y por ende en cuánto se podría llegar a aumentar el FO de un tramo en específico, dado su FO base.

Finalmente, para encontrar a cuánto corresponde el aumento en el factor de ocupación, se ocupó una distribución uniforme entre 0 y $f(x)$, para dejar de lado el determinismo e incorporar excepciones propias de la realidad. Así si por ejemplo se tiene un FO base de 40%, el incremento puede ser a lo más de 3 puntos porcentuales. Y luego, se determinará a cuánto equivaldrá el aumento de acuerdo a una distribución uniforme entre 0 y 3, lo que da 2.3pp de aumento para este caso.

Si extrapolamos este mismo criterio a todos los tramos de toda la red de LAN Airlines, nos encontramos con la siguiente situación:

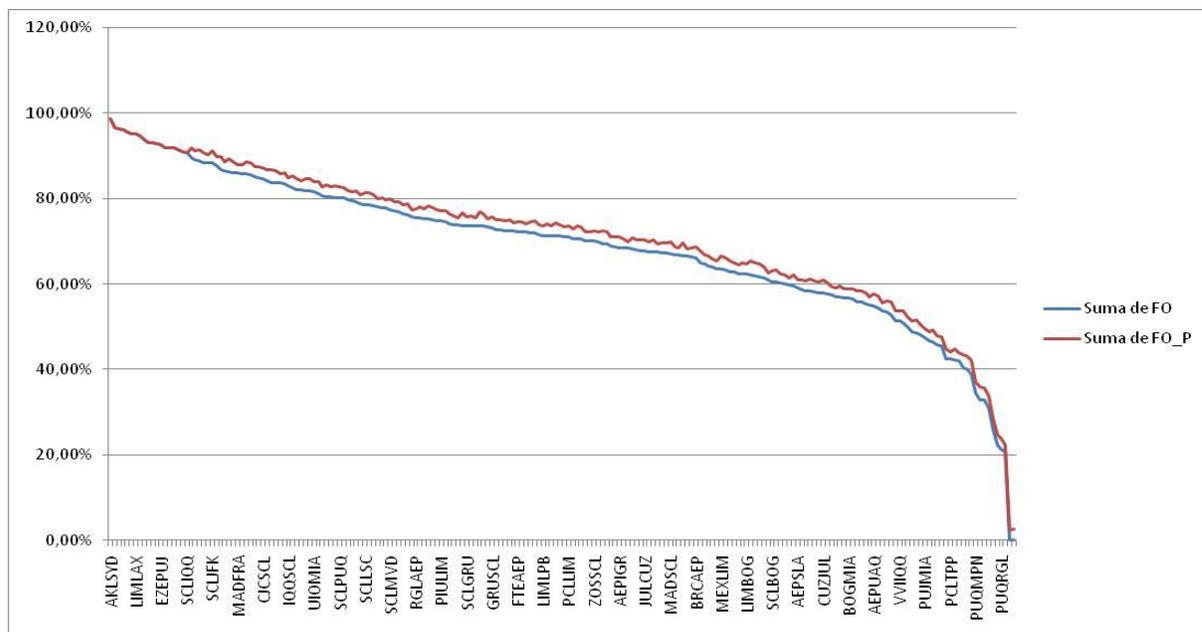


Ilustración 29: FO base y FO potencial por tramo

La ilustración 29 muestra el cambio que resulta a partir de la situación base y cuánto es el cambio en términos de FO para cada tramo. Como se ve, los cambios solamente se registran a partir de los factores de ocupación menores al 90%, pues aumentar este tipo de tramos es sumamente complicado y prácticamente grandes cambios no se ven.

En términos generales, el cambio promedio en el FO fue de 2,6%, mostrando una situación aceptada y que responde a los supuestos hechos con antelación.

9.2 Beneficio económico

Una vez completada la situación potencial respecto de la base, es hora de estimar el impacto en términos económicos y no solamente a partir del factor de ocupación de las rutas. Para ello, se tomarán los ingresos de la situación base con la cual se trabajó y se asumirá que el aumento en los ingresos es proporcional al aumento en puntos porcentuales que arrojó el ejercicio anterior.

De esta forma se tiene la siguiente tabla a modo de resumen.

Ingresos Situación Base (MMUSD)	\$ 199.476.219,00
Aumento en ingresos (MMUSD)	\$ 4.277.993,87
Ingresos Potenciales (MMUSD)	\$ 203.754.212,87
Aumento Ingreso (%)	2,14%

Tabla 12: Ingresos Base y Potenciales

Este resultado se puede ver también en su desglose por tramo, para entender el aporte de las diferentes rutas en el ingreso total. Para ello se muestra a continuación la fotografía por tramo de los ingresos totales en un mes de vuelo para toda la red.

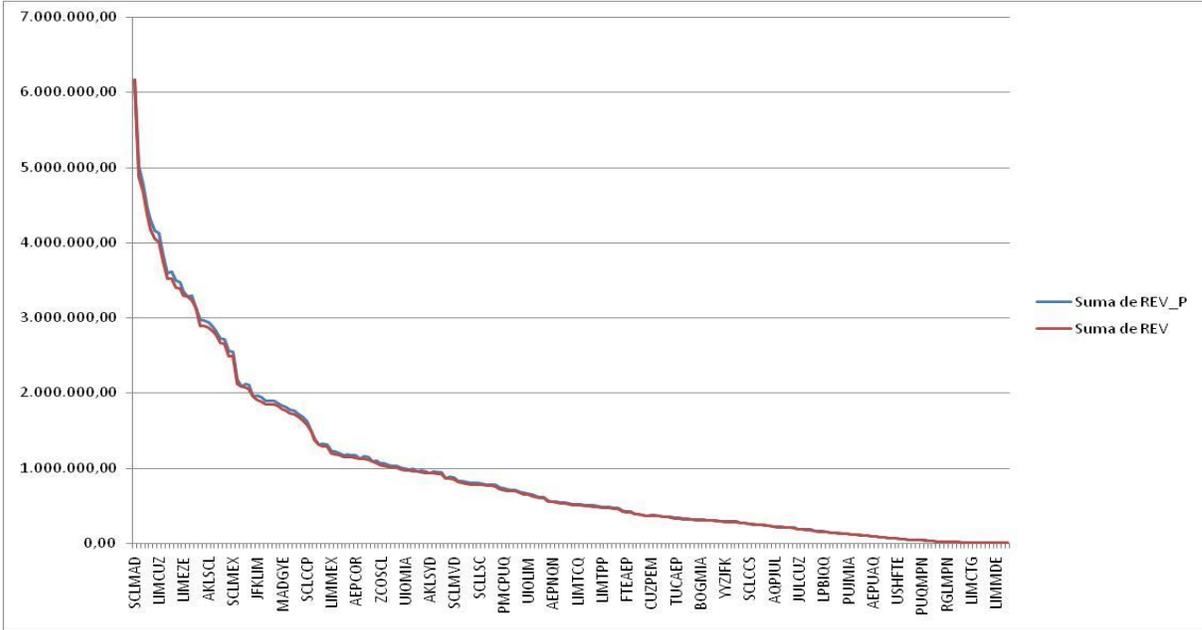


Ilustración 30: Ingresos Base y Potenciales por tramo

De esta forma se puede ver que en realidad el aumento fue sumamente medido y se enmarca en la intención de ser muy cautos en no sobredimensionar un impacto. Como se mostró en la tabla resumen del impacto, el aumento en términos porcentuales correspondió a un 2,14% lo cual se dejó en claro que no es el impacto aislado de la herramienta, sino que más bien el cómo pueden influir una serie de prácticas para la mejora en los ingresos.

Finalmente no deja de ser relevante el hecho de consolidar los ingresos en una sola gráfica con el fin de entender qué rutas son las que aportan más a la red como un todo. Quizás, además de esta fotografía, habría que analizar qué tan frecuente es un vuelo que cubre un tramo en específico pues claramente se tendrán mayores ingresos en directa relación con el número de vuelos que se realizan en esa ruta en específico. Aun así, las gestiones apuntan a satisfacer demanda en diferentes puntos de la red, por lo cual no es directo que aumentando frecuencia de vuelos se pueden incrementar los ingresos. Razonamiento que va de la mano a que un mayor FO no siempre implica un mayor ingreso.

Si bien se podría ocupar una metodología distinta para estimar el beneficio de la herramienta, se piensa que el valor agregado de un estudio más acabado no tendría consigo una mejor estimación en términos duros. Así, y dada la gran cantidad de

variables que pueden repercutir en el resultado final, se cree que no por ser un método simplista el ocupado, se tendrá algo descabellado. Más aun, puede ser que el intento de determinar el impacto de una herramienta como la desarrollada en este escrito, comprenda un proyecto aislado y que requeriría recursos independientes a este proyecto en particular.

9.3 Costos incurridos

En todo proyecto de mejora, será bueno determinar los costos en los cuales se incurrirá para llevar a cabo esa potencial mejora. En especial en la industria aeronáutica estos costos podrían ser totalmente inmanejables respecto de las expectativas que se podrían llegar a tener para un aumento que reporte una real mejora. En general las inversiones para mejorar pronósticos o implementaciones de nuevas formas de trabajo, lleva mucho tiempo de estudio, pues siempre requerirán cambios muy grandes y muchas veces irreversibles.

En el caso particular de esta herramienta se considera que los costos son totalmente despreciables, pero no así los resultados obtenidos. El proyecto desarrollado marca sin duda un inicio en la forma de entender el comportamiento de la red, y el cómo se puede generar información sumamente valiosa a partir de información que está en la mesa pero no clarificadora.

En términos concretos, este proyecto implicó un número sumamente acotado de horas hombre de personas y recursos que hacen del proyecto uno sumamente rentable, pues tiene una serie de implicancias y salidas a diferentes áreas y reportes de la compañía. De ahí que se piensa que mejoras en el trabajo desarrollado pueden sin duda levantar información a menor error, brindando mejor información para la toma de decisiones.

Finalmente se puede decir que el resultado obtenido parece sensato y aceptado para la literatura existente, como también para el juicio de expertos. De esta manera se cumple el objetivo al intentar dimensionar un potencial impacto en la línea económica de la compañía, asumiendo ciertos supuestos simplistas que apuntan a reflejar comportamientos reales en la industria.

10. Conclusiones

Esta sección pretende esclarecer qué conclusiones se pueden sacar de lo anteriormente expuesto en este escrito, intentando dejar en claro qué fue lo que realmente se logró, y qué lecciones se pueden extraer del trabajo realizado.

En términos generales se desarrolló un modelo que muestra resultados que sí representan proyecciones que se ciñen de buena manera a la realidad y por lo tanto ya significan un aporte relevante para las decisiones tácticas y operacionales.

Específicamente el modelo mostró un notable comportamiento en los diferentes mercados en los que la compañía se desarrolla, siendo el mercado internacional y el doméstico Chile los que sobresalen por sus excelentes resultados en términos de demanda por Factor de Ocupación (FO). Asimismo, se vio cómo en otros mercados, como lo es el doméstico Ecuador, en donde el error fue mayor en la proyección respecto de lo real, la tendencia se mantuvo a lo largo de todo el período de análisis, logrando asimilar *peaks* y valles de buena manera.

Al incorporar además la proyección por FO existente, se vio cómo la desarrollada por el simulador se mantenía sumamente alineada con ésta e incluso la superó en ciertos mercados. De esta manera se puede concluir que el simulador sí presenta una buena proyección y los datos expuestos de demanda *constrained* si representan, con cierto error de por medio, un buen indicador de lo que sucederá en el corto plazo.

Por último se presentó los tan esperados datos de demanda *constrained* en donde el simulador guarda registros de todos los orígenes-destinos que se presentan en el período de tiempo y para todas las fechas en donde estos se vuelan. De esta forma se puede analizar cuánto de lo potencial finalmente entró y cuánto se quedó afuera, pudiendo tomar decisiones respecto a lo que sí estará dentro, como también de maneras de no dejar fuera lo que se pierde.

La información levantada a partir del cruce de datos también permite analizar composiciones relevantes para la compañía, como lo son las composiciones por origen-destino-punto de venta de un tramo o vuelo en particular, otorgando información sumamente importante a la hora de ver quiénes son los que finalmente volarán un vuelo o tramo en específico. Más allá de una composición dada o cruce de datos específico, lo importante es notar que existe una cantidad de información no menor la cual analizada e ilustrada de manera inteligente puede proporcionar datos e información sumamente interesante que nunca antes se había tenido de esta manera.

Ligado a este último punto se encuentra el análisis de composiciones de OD en ciertos tramos que parecen relevantes para la compañía en donde sí sería bueno obtener buenos resultados. De esta forma se analizaron tramos que presentarán de

forma atomizada la composición y en donde no sólo un par origen-destino se llevará la composición de la ruta completa. Los resultados de este ejercicio fueron notables, y se encontraron muy pequeñas diferencias en las composiciones en donde existían más de tres o cuatro OD's representativos.

Cabe notar que es importante, en el análisis anterior, tomar en cuenta qué es lo que realmente está en juego, pues las implicancias de ello pueden llevar a sobrevalorar un buen resultado. Es por ello que se analizaron OD's que tuvieran en juego al menos un 30% de la demanda esperada en el tiempo a simular, y con ello se procedió a concluir en la forma que se hizo. De esta manera, para un período de a lo más un mes de vuelo, en general el comportamiento de composición de OD/tramo y de tramo/OD fue muy bueno y se ajustó a la realidad a un bajo error.

11. Oportunidades y propuestas

Con el fin de mostrar dónde están las opciones de mejora del proyecto realizado, es que se ha dedicado una sección especial para ello. El fin es dar cuenta de qué espacios se ven como interesantes de abordar para hacer más robusta a la herramienta, generar un trazado para las posibles intervenciones futuras.

11.1 Ajuste de FO y cancelaciones

Como se discutió en capítulos anteriores, el FO mostraba un sesgo a la baja sostenido en todos los negocios. Si bien se esperaba que el error divergiera a medida que se alejaba la fecha de análisis respecto de la fecha vista, en general el error es a la baja. Es por ello que se piensa que se está sobreestimando las cancelaciones, pues al momento de simular siempre se hacen cancelaciones de inventario y de las reservas que están por entrar. Sin duda que si esto se hace en todos los DCPs puede que traiga consigo una baja en las reservas finales.

Aun así habrá que adentrarse más en este punto, pues el pronóstico que entrega PROS sí considera la interacción inter-DCP, la llegada de cancelaciones y reservas, como también al finalizar el *show up* para cada vuelo. Es por ello que habrá que analizar si existe realmente una sobreestimación de las cancelaciones, o si el problema es del modelamiento de las mismas.

Sobre este último punto, se propone estudiar tanto distintas distribuciones de cancelaciones en el tiempo, lo que sin duda podría influir y hace sentido en términos del comportamiento real de las cancelaciones. Y por otro lado, se podría analizar si las diferencias en proyección con el FO real se mantienen con pendiente relativamente constante, para ver si se puede integrar de alguna forma externa una mejora para obtener menores errores.

11.2 Modelamiento cercano a la realidad

Para desarrollar un modelo que sí se alinee con la realidad, se optó por introducir maneras de pensamiento que, a partir de razonamientos lógicos y racionales, mostraran salidas y resultados más coherentes con lo que sucede en la realidad.

De esta manera, fueron pocos temas los que se modelaron de manera más compleja para tratar de acercarse al comportamiento real de los pasajeros. Dentro de ellos se encuentra el cómo se elige un determinado itinerario, cuáles reservas son las que se cancelan y cómo es la llegada de reservas en el tiempo al modelo. Si bien, alguna de ellas se modelaron de forma compleja, en otras se optó por simplificar este modelamiento en pos de justamente no complejizar tanto la herramienta.

Es por ello que se podría entender la manera de mejorar el modelamiento de ciertos comportamientos y llevarlos a ciertas lógicas que conversen con la herramienta desarrollada. Aun así, habrá que entender que no siempre se obtendrán mejores resultados a partir del desarrollo de una visión más compleja en la lógica de un modelamiento.

11.3 Optimización procesos

La herramienta expuesta en este escrito se desarrolló ocupando nociones intermedias de programación y en una máquina convencional. Es por ello que se piensa que sí hay un desarrollo importante que se podría hacer en términos computacionales, en donde una mejor plataforma mejoraría sustancialmente los tiempos que toma al simulador en tener los datos.

Además de ello, y como se comentaba, el desarrollo en términos de programación no es lo más avanzado, y si bien se está muy bien ese tema, se podrían aplicar otras maneras de manejar datos que apunten a una mejora.

Aun así, habrá que estudiar bien si la inversión para mejorar recursos y/o desarrollar un mejor código vale la pena, pues puede que los cambios no generen un cambio importante, influyendo marginalmente en el resultado final.

12. Referencias

- [1] BERTSIMAS, D., DE BOER, S., 2005. Simulation-Based Bookings Limits for Airline Revenue Management. Operations Research Center, Massachusetts Institute of Technology.
- [2] GOSAVI, A., OZKAYA, E., KAHRAMAN, A.F., 2006. Simulation Optimization for Revenue Management of Airlines with Cancellations and Overbooking. Buffalo, Estados Unidos.
- [3] HOUZVIC, B., 2008. Optimización de la venta de orígenes-destino con componente offline. Departamento Ingeniería Civil Industrial, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- [4] MCGILL, J., VAN RYZIN, G, 1999. Revenue Management: Research Overview and Prospects. Institute for Operations Research and the Management Sciences.
- [5] SUAREZ, P., 2009. Reasignación de flota en el corto plazo, mediante demand driven dispatch, en una empresa de la industria aeronáutica. Departamento Ingeniería Civil Industrial, Universidad de Chile. Santiago, Chile.