



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

DISEÑO DE UN MODELO PARA AUMENTAR LA COMPETITIVIDAD DE LATAM  
AIRLINES, BASADA EN LA ESTRUCTURA DE COSTOS, EN UN MERCADO  
LOW-COST

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

RUBÉN MARIO RUBILAR CARILLANCA

PROFESOR GUÍA:  
ROCÍO RUIZ MORENO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
DANIEL VARELA LÓPEZ  
JUAN PABLO ROMERO GODOY

SANTIAGO DE CHILE  
2019



RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL  
POR: RUBÉN MARIO RUBILAR CARILLANCA  
FECHA: 2019  
PROF. GUÍA: ROCÍO RUIZ MORENO

## DISEÑO DE UN MODELO PARA AUMENTAR LA COMPETITIVIDAD DE LATAM AIRLINES, BASADA EN LA ESTRUCTURA DE COSTOS, EN UN MERCADO LOW-COST

El paradigma low-cost, consistente en una oferta a precios bajos justificada por una tarificación por servicios y eficiencia en costos, ha comenzado a tener un papel protagonista en la industria aerocomercial global en las últimas décadas. En Chile, el puntapié inicial fue dado por SKY Airline el año 2015. Desde ese entonces, LATAM ha percibido una baja en la participación de mercado de un 73,99 % a un 59,86 % en Febrero del 2019.

Para frenar dicha tendencia, el año 2017 LATAM dispuso de una serie de medidas que apuntaban a convertir su servicio en low-cost. No obstante, las políticas aplicadas no han sido suficientes para detener el avance de las aerolíneas de bajo costo, declaradas abiertamente en guerra de precios. LATAM ha constatado ineficiencias en costos en su operación. Por otro lado, posee una estructura contable compleja que impide detectar oportunidades de reducción de costos.

La memoria tiene por objetivo diseñar un modelo para aumentar la competitividad de LATAM Airlines, basada la estructura de costos, que permita identificar oportunidades de eficiencia, empleando tanto variables propias de la operación, controlables por la aerolínea, como externas, reflejando los vaivenes de la economía. Se estudia la línea contable Variable Handling, que se encuentra dentro de las cinco primeras en términos de peso monetario. Esta variable representa los costos asociados a los servicios brindados por los aeropuertos a los pasajeros.

Para describir y predecir la curva de costos se propone *Random Forest*, que reduce los errores en un 32,5 % en términos de MAPE con respecto al modelo actual. Se advierte que la actividad es muy sensible a las variaciones de la inflación y tasa de cambio USD/CLP. Mediante un análisis de regresión, con fines interpretativos, se concluye que un incremento en una unidad de tipo de cambio puede hacer aumentar los costos mensuales en 112,70 US\$ para una ruta y un punto de inflación en 1.407 US\$ adicionales. Por otro lado, una reducción en los atrasos reduciría los costos en un 53,15 % respecto al promedio. Asimismo, se constatan diferencias de hasta un 80 % en precios por pasajero en los aeropuertos. Si las tres infraestructuras más caras adoptaran tarifas intermedias, se lograrían reducciones de un 50,00 %, 42,23 % y 29,75 % respectivamente.

Los resultados muestran que, a pesar de las restricciones, las técnicas de Data Science pueden brindar interesantes resultados a partir de la información histórica y permitir una automatización de los procesos. Se insta a mejorar la política de gestión de datos, para evitar incoherencias y poder analizar un intervalo de tiempo más grande. Asimismo, se aconseja verificar las variables operacionales más utilizadas para describir la actividad, que mostraron estar altamente correlacionadas.



*“Je crois qu’il profita, pour son évasion, d’une migration d’oiseaux sauvages...”*  
*Antoine de Saint-Exupéry.*



# Agradecimientos

A mis profesores Rocío, Daniel y Juan Pablo por sus consejos, correcciones y disposición para adaptarse a los plazos que requería. Quisiera destacar las siempre detalladas observaciones de Rocío, que me permitieron tener un punto de vista académico constante del trabajo.

Al equipo de control de gestión de LATAM, por su apoyo en la obtención de datos y flexibilidad para cumplir mis labores académicas. Particularmente a mis tutores, Javier Alíster y Juan Pablo Laborde.

A mi familia y amigos por el apoyo brindado y el tiempo que no les dediqué durante la realización de esta memoria.



# Tabla de Contenido

<b>1. Antecedentes Generales</b>	<b>1</b>
1.1. Características de la compañía . . . . .	1
1.1.1. Rubro . . . . .	1
1.1.2. Misión y visión . . . . .	2
1.1.3. Ventajas competitivas . . . . .	2
1.1.4. Organigrama . . . . .	2
1.1.5. Dimensionamiento de la actividad realizada por LATAM . . . . .	3
1.2. Mercado y Marco Institucional . . . . .	4
1.2.1. Actores, regulaciones y relación con LATAM . . . . .	4
1.2.2. Mercado, tendencias y posicionamiento de LATAM . . . . .	6
1.2.3. El modelo low-cost . . . . .	8
1.3. Desempeño organizacional . . . . .	12
1.4. Aparatos . . . . .	13
1.5. Análisis PEST . . . . .	13
1.5.1. Variables Políticas . . . . .	14
1.5.2. Variables Económicas . . . . .	15
1.5.3. Variables Sociales . . . . .	15
1.5.4. Variables Tecnológicas . . . . .	16
1.6. Análisis FODA . . . . .	16
1.6.1. Fortalezas . . . . .	16
1.6.2. Oportunidades . . . . .	16
1.6.3. Debilidades . . . . .	17
1.6.4. Amenazas . . . . .	17
1.7. Análisis de las cinco fuerzas de Porter . . . . .	17
1.7.1. Poder de negociación con los clientes . . . . .	18
1.7.2. Poder de negociación con proveedores . . . . .	18
1.7.3. Amenaza de nuevos entrantes . . . . .	19
1.7.4. Amenaza de productos sustitutos . . . . .	19
1.7.5. Rivalidad entre los competidores . . . . .	20
1.7.6. Resultante de las fuerzas de Porter . . . . .	20
<b>2. Justificación del tema</b>	<b>21</b>
2.1. Área de control de gestión . . . . .	21
2.2. Identificación del problema . . . . .	21
2.2.1. Pérdida de participación de mercado doméstico chileno en contexto de competencia low-cost . . . . .	21

2.2.2.	Competencia en costos en contexto low-cost . . . . .	23
2.2.3.	Modelo actual de predicción de costos deficiente en miras de la eficiencia de costos . . . . .	23
2.2.4.	Costo de elaboración de presupuestos . . . . .	27
2.2.5.	En síntesis . . . . .	27
2.3.	Hipótesis de las causas del problema y posibles alternativas de solución . . .	28
2.3.1.	Hipótesis: la estrategia de LATAM para afrontar las low-cost no ha sido adecuada . . . . .	28
2.3.2.	Hipótesis: La gestión de costos de LATAM ha sido deficiente . . . . .	28
2.3.3.	Hipótesis: LATAM, a precios similares, ha ofrecido un peor servicio que su competencia . . . . .	30
2.3.4.	Hipótesis: compuesta . . . . .	31
2.4.	Propuesta de valor e impacto . . . . .	31
<b>3.</b>	<b>Objetivos</b>	<b>33</b>
3.1.	Objetivo general . . . . .	33
3.2.	Objetivos específicos . . . . .	33
<b>4.</b>	<b>Alcances</b>	<b>34</b>
<b>5.</b>	<b>Marco conceptual</b>	<b>36</b>
5.1.	Búsqueda de factores influyentes en los costos de una aerolínea . . . . .	36
5.2.	Manipulación de datos en control de gestión . . . . .	37
5.3.	Línea de costo analizada . . . . .	38
5.3.1.	Variable Handling . . . . .	38
5.4.	Conceptos de la operación . . . . .	39
5.4.1.	Rutas o subrutas . . . . .	39
5.4.2.	Estadísticas operacionales . . . . .	39
5.5.	Modelos de Datos . . . . .	40
5.5.1.	Regresión OLS . . . . .	40
5.5.2.	SVM: Support Vector Machine . . . . .	41
5.5.3.	Random Forest . . . . .	44
5.5.4.	Procesos Gaussianos . . . . .	45
5.5.5.	Métricas de comparación . . . . .	45
<b>6.</b>	<b>Metodología</b>	<b>47</b>
6.1.	Análisis del estado del arte . . . . .	47
6.2.	Comprensión del estado actual de la compañía en materia de gestión de costos	47
6.2.1.	Comprensión de la estructura de costos contable actual de LATAM .	47
6.2.2.	Análisis de KPIs operacionales influyentes en los costos . . . . .	48
6.2.3.	Análisis de factores exógenos que influyen en los costos operacionales	48
6.2.4.	Análisis de las líneas de costo más relevantes en términos de peso monetario . . . . .	48
6.2.5.	Análisis estadístico de los factores endógenos y exógenos . . . . .	48
6.2.6.	Comprensión del modelo actual (versus literatura) . . . . .	49
6.2.7.	Comprensión de los datos . . . . .	49
6.3.	Diseño del modelo . . . . .	50

6.3.1.	Preparación de los datos . . . . .	50
6.3.2.	Creación de nuevo(s) modelo(s) . . . . .	50
6.3.3.	Evaluación . . . . .	50
6.4.	Testeo y Mejora . . . . .	50
6.5.	Modelo final y propuestas de mejora . . . . .	50
6.5.1.	Establecer un modelo explicativo y predictivo de los costos a partir de los factores . . . . .	50
6.5.2.	Proponer estrategias de reducción de costos a partir de los resultados encontrados . . . . .	51
<b>7.</b>	<b>Resultados</b>	<b>52</b>
7.1.	Supuestos sobre los datos . . . . .	52
7.2.	Área de control de gestión y el manejo de datos . . . . .	53
7.3.	Expectativas del área . . . . .	53
7.4.	Datos . . . . .	54
7.4.1.	Variables endógenas . . . . .	54
7.4.2.	Variables exógenas . . . . .	55
7.4.3.	Aeropuertos . . . . .	56
7.4.4.	Análisis Exploratorio de Datos . . . . .	56
7.4.5.	Conjunto de entrenamiento y test . . . . .	58
7.5.	Resultados de modelos . . . . .	58
7.5.1.	Resultados generales . . . . .	58
7.5.2.	Análisis conjunto de <i>Random Forest</i> y regresión . . . . .	59
7.5.3.	Análisis por cuenta contable por aeropuerto . . . . .	62
7.6.	Propuesta de modelo . . . . .	64
7.6.1.	Restricciones y potencial de los resultados . . . . .	64
7.6.2.	Propuesta . . . . .	64
7.7.	Impacto . . . . .	66
	<b>Conclusión</b>	<b>69</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>73</b>
	<b>Anexos</b>	<b>83</b>
	Anexo A: MAPEs de modelos . . . . .	83
	Anexo B: Resultados de regresión . . . . .	84
	Anexo C: Propuesta de tutorial para código en R . . . . .	85



# Índice de Tablas

1.1. Porcentaje de utilización de aviones y cantidad de asientos según tipo para los años 2017-2018 en el negocio doméstico chileno, para el conjunto de datos analizados. Fuente: datos internos de LATAM. . . . .	13
1.2. Evolución del PIB chileno entre los años 2015-2018. Fuente: [26] . . . . .	15
2.1. Participación de mercado en mercado doméstico chileno de SKY Airline, LATAM Airlines y JetSmart SpA y número de pasajeros. JetSmart sólo operó algunos meses del 2017, por lo que se considera 0 pasajeros para dicho año en este comparativo mensual. Fuente: [53]. . . . .	22
2.2. Número y variación de pasajeros de aerolíneas domésticas el año 2017 y 2018. JetSmart sólo operó algunos meses del 2017, por lo que se considera 0 pasajeros para dicho año en este comparativo mensual. Fuente: [53]. . . . .	23
7.1. Mejores modelos obtenidos con los cuatro algoritmos utilizados. Los otros resultados obtenidos de menor relevancia se encuentran en Anexos 7.5. * <i>La distinción entre entrenamiento y test no aplica para los valores del modelo actual.</i> . . . . .	58
7.2. Resultados de regresión incluyendo variables significativas al 95 % y 90 %. Las variables iniciando por ato 1 o ato 2 corresponden a <i>dummies</i> que indican si la ruta utiliza el (los) aeropuerto(s) en cuestión. El aeropuerto de base es SCL. Los valores de los coeficientes pudieron haber sido modificados por motivos de confidencialidad. La regresión incluyendo variables no significativas se encuentra en Anexos 7.6. . . . .	60
7.3. Importancia de variables provista por el <i>package randomForest</i> [16]. La variable ato1 o ato2 son variables categóricas que indican el aeropuerto de partida o llegada para una ruta determinada. . . . .	61
7.4. Repartición de costos de cuentas contables de cada aeropuerto para la línea de costo <i>Variable Handling</i> . Los montos en US\$ no son informados por motivos de confidencialidad. Datos del 2017 al 2018. Fuente: datos internos de LATAM. . . . .	68
7.5. MAPE para modelos aplicados sobre las bases de datos tanto para el conjunto de entrenamiento como para el conjunto de test. Para SVM y G.P. (Procesos Gaussianos) se indica el kernel utilizado. . . . .	83

7.6. Resultados de regresión. Se indica el nivel de significancia al 90% y 95%. Las variables con niveles más bajos de significancia no tienen indicado un porcentaje. Las variables iniciando por *ato 1* o *ato 2* corresponden a *dummies* que indican si la ruta utiliza el (los) aeropuerto(s) en cuestión. Los valores de los coeficientes pueden ser modificados por motivos de confidencialidad. . . . 84

# Índice de Ilustraciones

1.1.	Organigrama de la alta jerarquía de LATAM. Fuente: elaboración propia con datos del sitio web de la compañía [75]. . . . .	4
1.2.	Tarificación “low-cost” de LATAM para rutas domésticas chilenas. Fuente: [66]	7
1.3.	Comparación entre tipos de aerolíneas en términos de capacidad de asientos en vuelos domésticos en Europa el año 2005. Fuente: [81]. . . . .	9
1.4.	Comparación entre tipos de aerolíneas en términos de capacidad de asientos en vuelos domésticos en Europa el año 2017. Fuente: [81]. . . . .	10
1.5.	Comparación entre costos por asientos por millas (CASM) de cuatro aerolíneas y márgenes asociados a la operación para el año 2014. Fuente: [39]. . . . .	10
1.6.	Retorno sobre el capital invertido en aerolíneas versus el costo del capital a nivel mundial. Fuente: [17]. . . . .	20
2.1.	Índice de Reclamos por 100.000 pasajeros de servicios efectuados en infraestructuras nacionales el año 2017. Fuente: [54]. . . . .	30
5.1.	Las etapas en los reportes con manipulación de datos en control de gestión. Fuente: elaboración propia. . . . .	38
5.2.	Dada una curva lineal de interés, SVM propone dos límites intentando describir la curva dejando fuera ciertos valores que se alejan de la tendencia general. . . . .	42
5.3.	Dos clases no separables mediante una línea recta. Fuente: [84]. . . . .	42
5.4.	SVM añade una nueva dimensión al problema de clasificación no lineal con el objetivo de poder separar las clases linealmente. Fuente: [84]. . . . .	43
5.5.	Luego de haber separado las clases, SVM aplica una nueva transformación que permite volver al plano original. Fuente: [84]. . . . .	43
6.1.	Comparativo entre las metodologías KDD, CRISP-DM y SEMMA (en inglés). Fuente: [98]. . . . .	49
7.1.	Correlograma de variables. La variable money corresponde al costo, tasa a la tasa de cambio USD/CLP e Índice al PIB chileno. Gráfico generado con el <i>package</i> <code>ggcorrplot</code> [56] de <b>R</b> . . . . .	56
7.2.	Correlograma de variables estadísticas. La variable money corresponde al costo <i>package</i> <code>ggcorrplot</code> [56] de <b>R</b> . . . . .	57
7.3.	Costos de Variable Handling por pasajero normalizado por el costo más elevado (PUQ). Los valores en US\$ no son incluidos por motivos de confidencialidad. Fuente: datos internos de LATAM. . . . .	63

7.4. Las etapas de la propuesta de elaboración de presupuestos. Fuente: elaboración propia. . . . .	66
7.5. Como instalar un nuevo <i>package</i> en RStudio. Fuente: elaboración propia. . .	85

# Capítulo 1

## Antecedentes Generales

LATAM es una aerolínea resultante de la fusión entre las diferentes marcas LAN y la brasileña TAM el 2012, ofreciendo así 150 destinos en 22 países y transportando carga a 169 destinos en 27 países, superando a cualquier otra aerolínea en la región. La marca LAN poseía previamente filiales en diferentes países como Argentina, Perú, Colombia entre otros. La decisión de unificar todas sus marcas bajo LATAM fue en miras de consolidarse como la aerolínea más importante de Latinoamérica y acercarse al tamaño de otras compañías de relevancia internacional. Sin embargo, no todo ha sido perfecto. Desde la fusión, la aerolínea ha debido enfrentar la peor recesión de la historia de Brasil, así como los problemas asociados a la unión de dos grupos con culturas muy diferentes [65, 105].

### 1.1. Características de la compañía

#### 1.1.1. Rubro

La empresa se dedica a brindar servicios de aerolínea comercial asociadas al transporte de pasajeros y de carga. Dentro de esta óptica, los clientes son personas naturales, que utilizan los servicios de rutas comerciales, organizaciones que poseen convenios de vuelos para sus trabajadores para rutas comerciales, personas naturales u organizaciones que envían encomiendas vía cargo. Diferentes tarifas se pueden aplicar según la cantidad y la naturaleza del cliente [71, 77]. Asociados a su negocio principal, LATAM puede vender millas para empresas que deseen ofrecerlas asociadas a la venta de sus propios servicios, comúnmente casas bancarias o del *retail* [72]. LATAM ofrece también servicios de agencia de viajes, bajo la marca LATAM Travel [74].

### 1.1.2. Misión y visión

La misión de la aerolínea, citando a su sitio corporativo, es “conectar a las personas con seguridad, además de un excelente y agradable servicio”. Su visión es convertirse en la aerolínea preferida de los pasajeros, donde vuelen dos tercios de la región, convirtiéndola en una de las tres aerolíneas más grande del mundo [69].

### 1.1.3. Ventajas competitivas

Las ventajas competitivas detalladas a continuación son extraídas del sitio corporativo de LATAM [68].

- **Presencia líder en mercados de Sudamérica**

Antes de la fusión con TAM, LAN Airlines ya poseía posiciones dominantes en el mercado sudamericano, con participación mayoritaria del mercado del tráfico aéreo hacia y desde Chile, Perú y Ecuador y participación mayoritaria del mercado nacional de transporte de pasajeros en Chile y Perú. Desde la fusión con TAM, estas cifras han aumentado.

- **Una base diversificada de generación de ingresos, tanto de transporte de pasajeros como de carga**

Según el sitio corporativo, LATAM logra integrar en forma rentable sus operaciones de transporte de pasajeros y de carga. Al planificar rutas de transporte de pasajeros, toman en cuenta posibles servicios de carga y también reservan ciertas rutas específicas de carga utilizando sus aeronaves destinadas a tal fin.

- **Una marca fuerte complementada con alianzas estratégicas globales**

LATAM se ha consolidado con el tiempo. En primer lugar, con la unificación el año 2004 de las diferentes aerolíneas que operaban bajo la marca LAN. Posteriormente, con la creación de la marca LATAM, incorporando TAM y aumentando su red. De esta forma, se genera una marca presente en diversos lugares, con una uniformidad de servicio y un sello de seguridad en todos sus vuelos. Por otro lado, LATAM es miembro de la alianza oneworld y posee acuerdos bilaterales con socios estratégicos como American Airlines, Iberia y Qantas, por citar algunos ejemplos.

- **Estrategia de optimización de la flota**

Se realiza un uso óptimo de la estructura de flota, minimizando la combinación de diferentes tipos de aeronaves. En efecto, una mayor uniformidad de flota reduce los costos de inventario y de capacitación de pilotos para que operen distintos tipos de aeronaves.

### 1.1.4. Organigrama

La estructura jerárquica de los miembros ejecutivos de LATAM, publicado en el sitio web oficial a la fecha de redacción de este informe es presentado a continuación [75]. La Figura 1.1 muestra un esquema de esta jerarquía.

- **Presidente del directorio**

El presidente es Ignacio Cueto Plaza, quien posee una trayectoria en la industria aérea que supera los 30 años. Dentro de su experiencia, es posible citar cargos en Fast Air Carrier (compañía de carga estadounidense), en Ladeco, LAN, LAN Perú y LAN Cargo. Ignacio es parte del Grupo Cueto, grupo controlador de LATAM Airlines Group.

- **Directorio**

El directorio, sin contar el presidente, está compuesto por 8 personas, donde se encuentra Sonia Villalobos, Henri Philippe Reichstul, Juan José Cueto Plaza, Georges de Bourguignon, Carlos Heller Solari, Giles Agutter, Eduardo Novoa Castellón, Nicolás Eblen Hirmas.

- **Ejecutivos**

- **C.E.O.**

El cargo de C.E.O. está ocupado por Enrique Cueto Plaza. Ha ejercido la posición desde la fusión entre LAN Airlines y TAM. Previamente fue C.E.O. de LAN, de Fast Air y es parte de la junta directiva de la alianza oneworld y de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA).

- **Vicepresidente Sénior Comercial**

Roberto Alvo Milosawlewitsch tiene la responsabilidad sobre el resultado del negocio internacional de pasajeros de la compañía y la negociación de los temas relacionados con la flota. Ha desempeñado cargos similares en LAN previamente.

- **Vicepresidente Sénior Legal**

Juan Carlos Menció es el encargado de Asuntos Legales y Compliance. Ha ejercido postas similares en aerolíneas privadas estadounidenses.

- **Vicepresidente Sénior Operaciones y Flota**

Hernán Pasman está a cargo del área Operaciones y Flota. Con una importante experiencia en LAN previamente, trabajó en diferentes industrias, como Motorola Argentina o Telefónica.

- **Vicepresidente Sénior Personas**

Emilio del Real está a cargo de Recursos Humanos. Psicólogo de profesión, fue gerente de Recursos Humanos de Lever Chile y DS.

- **Vicepresidente Sénior Finanzas**

Ramiro Alfonsín se encarga de las Finanzas de LATAM. Previamente trabajó para Endesa y en Banca de Inversión y Corporativa en bancos europeos.

### 1.1.5. Dimensionamiento de la actividad realizada por LATAM

LATAM ofrece alrededor 150 destinos en 22 países y transportando carga a 169 destinos en 27 países, superando a cualquier otra aerolínea en la región [77].

El año 2017, LATAM fue escogida la mejor aerolínea de Sudamérica, según *Global Traveler GT Tested Reader Survey Awards* [77], distinción que está en concordancia con la misión del grupo. Este reconocimiento la acerca a su objetivo de ser una de las tres aerolíneas más importantes del mundo.



Figura 1.1: Organigrama de la alta jerarquía de LATAM. Fuente: elaboración propia con datos del sitio web de la compañía [75].

Para el año recién mencionado se transportaron 67 millones de pasajeros, con 43.095 empleados provenientes de 64 nacionalidades y 307 aviones en operación con un promedio de 7,9 años. Se recorrieron 137 destinos en 24 países donde 30 corresponden a 30 nuevas rutas incorporadas dicho año. Asimismo, se contabilizan 896 mil toneladas de carga transportada a 144 destinos [77].

En términos de ingresos operacionales, el año 2017 por concepto de pasajeros se alcanzó la suma de 8.494.477 MUS\$, en comparación a los 7.877.715 MUS\$ del 2016. En cuanto a carga, el 2017 se finalizó con 1.119.430 MUS\$, versus 1.110.625 el 2016. Se observa un incremento en los dos negocios respecto al año anterior [77].

## 1.2. Mercado y Marco Institucional

### 1.2.1. Actores, regulaciones y relación con LATAM

Al operar en diferentes países y continentes, LATAM se debe acoger a las normas propias establecidas en cada región. No obstante, existen instituciones como IATA (Asociación Internacional del Transporte Aéreo) que buscan uniformizar las normas a las que se deben enfrentar las aerolíneas [7]. El C.E.O. de LATAM forma parte de esta Asociación (Ver Sección 1.1.4).

Los actores normativos se pueden agrupar según el tipo de regulación. Se pueden englobar tres regulaciones principales; regulación del mercado, económica de infraestructura aeroportuaria y técnica [7].

## Regulación del mercado

El mercado sigue un paradigma de “cielos abiertos”, el que fue iniciado por la Convención de la Aviación Internacional o Convención de Chicago (1944). Los acuerdos de cielos abiertos se firman entre países y existen 9 niveles de “libertades del aire”. Por ejemplo, una libertad corresponde a sobrevuelo sin aterrizaje entre país de origen, país X y el país de aterrizaje [7].

Los aeropuertos, que poseen una capacidad limitada no siempre dan abasto a la demanda. Es por ello que existe una gestión de “slots”; espacios de un aeropuerto en un horario determinado. Los slots son asignados según diferentes criterios. Por ejemplo, en Brasil el 20 % de los slots están disponibles bajo un sistema de lotería. En México, por otra parte, la preferencia en la asignación de slots se da en función de la antigüedad de la aerolínea. Ciertas veces es posible vender los slots, lo que produce un mercado secundario [7].

Las aerolíneas realizan alianzas con el objetivo de reducir los costos de operaciones aéreas y aumentar los beneficios a los clientes. Algunas de las alianzas más conocidas son Star Alliance, SkyTeam y oneworld, LATAM formando parte de esta última [7].

## Caso chileno

En 1979 se dictó la Ley de Aviación Comercial, DL N2.564, instaurando una política de cielos abiertos, competencia (libertad de precios) y una intervención menor de la autoridad. A contar de esa fecha, se aplica en Chile una política aérea internacional de “cielos abiertos con reciprocidad”. Los cielos abiertos consisten en que las aerolíneas son libres de fijar la frecuencia del servicio, las tarifas y la capacidad de sus aeronaves, sin necesidad de aprobación alguna por parte de la autoridad. La autoridad chilena corresponde a la Junta Aeronáutica Civil (JAC), que tiene por misión ejercer la dirección superior de la aviación civil en Chile, gestionando políticas públicas que promuevan su desarrollo y, especialmente, el del transporte aéreo comercial nacional e internacional, con el fin de que exista la mayor cantidad de servicios aéreos accesibles, eficientes, competitivos, seguros y de calidad, en beneficio de los usuarios de este modo de transporte. Se encargan de velar por la seguridad y de gestionar los reclamos contra las compañías, así como cualquier otro inconveniente que surja concerniendo los vuelos [96].

## Regulación económica de la infraestructura aeroportuaria

Las aerolíneas hacen uso de aeropuertos, donde existen diferentes reglas asociadas a una diversidad de aspectos como el mantenimiento de aviones, terminales de carga, parques de combustible, terminales de pasajeros, entre varios otros puntos [7].

Las tarifas varían importantemente de un aeropuerto a otro y las aerolíneas no utilizarán los mismos servicios en cada centro aeroportuario. A ello se le suman los impuestos de cada país o región [7].

Los costos de la infraestructura aeroportuaria que explicarán los costos que deberá asumir

la aerolínea, se resumen en Personal, Mantenimiento, Administración, Servicios públicos, Servicio de deudas, Sistema de rescate y extensión de incendios, Seguridad e Impuestos (Tasas de sobrevuelo, impuestos de salidas, sobretasas al combustible e impuesto al billete) [7].

Diferentes alianzas se desarrollan para la gestión y desarrollo de infraestructura aeroportuaria. En algunos, una determinada aerolínea puede estar comprometida financieramente con la inversión, lo que le permitirá en un futuro utilizar a costos más bajos las instalaciones [7].

## **Regulación técnica**

Es el grupo de reglas asociadas con la seguridad de las operaciones aéreas y la gestión de activos [7].

Estas reglas están reguladas sobre todo por la Organización de Aviación Civil internacional (ICAO), que es el organismo internacional principal de la materia [7].

La agencia en sí no puede obligar el cumplimiento de sus normas. La adopción de estas reglas y políticas están a cargo de cada estado soberano [7].

Dentro de otras instituciones, se encuentra la FAA (Administración Federal de Aviación), que supervisa todo el espacio aéreo en Estados Unidos, la IATA (Asociación Internacional de Transporte Aéreo) que es una asociación comercial que representa a más de 240 aerolíneas en todo el mundo y ayuda a formular políticas y estándares de la industria o la IFATCA (Federación Internacional de Asociaciones de Controladores de Tránsito Aéreo), que representa a más de 50.000 controladores de tráfico aéreo en todo el mundo [7].

### **1.2.2. Mercado, tendencias y posicionamiento de LATAM**

El año 2012 LATAM Airlines fue la aerolínea más grande del mundo por capitalización de mercado. Las acciones alcanzaron su máximo en 2010 a más de US\$30. Al 2017, ocupaba el puesto 15 entre otros operadores aéreos mundiales, después de la china Hainan Airlines Holding Co. Y de la australiana Qantas Airways Ltd [87].

A pesar de encontrarse en una posición destacada a nivel internacional y liderando América Latina, los analistas ven riesgos para el futuro de LATAM, justificado por las nuevas aerolíneas dentro de los países de habla hispana, donde los principales actores son JetSmart, Viva Perú y FlyBondi. El crecimiento de dichas aerolíneas crece a un ritmo más importante que el crecimiento de LATAM. De hecho, se puede constatar una pérdida en poder de mercado. Esto complica la posición de LATAM como aerolínea tradicional [20].

A pesar de que el número de pasajeros ha aumentado en los últimos años, no hay bases para afirmar que se debe a una mejor estrategia de LATAM. En efecto, la llegada de los nuevos competidores low-cost (Ver Sección 1.2.3) ha dado lugar a un mercado más competitivo, con

	PROMO La tarifa más baja	LIGHT Suma lo que quieras	PLUS Beneficios de compra	TOP Más libertad y flexibilidad
<b>Equipaje de mano</b> 1 pieza 0kg	✓	✓	✓	✓
<b>Equipaje de bodega</b> 1 pieza 23kg	Desde \$9.990	Desde \$9.990	✓	✓
<b>Selección de asiento</b>	✗	Costo extra	✓	✓
<b>Asiento preferente</b>	✗	Costo extra	Costo extra	✓
<b>Cambios*</b>	✗	✗	Antes del vuelo por \$25.000	✓
<b>Devoluciones</b>	✗	✗	Antes del vuelo por \$30.000	✓
<b>Acumulación KMS. LATAM Pass</b>	✗	✓	✓	✓

Figura 1.2: Tarificación “low-cost” de LATAM para rutas domésticas chilenas. Fuente: [66]

precios más bajos y una mayor cantidad de personas volando. En términos de participación de mercado, LATAM ha reducido su presencia en alrededor de un 10 %, cediendo este porcentaje a sus competidores. Esta baja una de las justificaciones de la realización del presente proyecto. El detalle de la evolución de las partes de mercado se encuentra explicado en la Sección 2.2.1.

Ramiro Alfonsín, vicepresidente de Finanzas, confía en LATAM: “Tenemos la conectividad que las low-cost no pueden ofrecer” [87].

LATAM ha informado a la prensa que la compañía nunca será totalmente low-cost. No obstante, hay movimientos provenientes de LATAM en la Dirección General de Aeronáutica Civil para crear una nueva empresa aerocomercial. En efecto, un documento con estos fines fue timbrado con fecha 23 de marzo de 2018 [24].

### Modelo “opuesto” *low-cost* de LATAM

LATAM, ante el escenario low-cost de la competencia, aplicó una estrategia denominada, “opuesta” a las low-cost, que, según Andrés del Valle, vicepresidente de Finanzas corporativas, consiste en transformar los vuelos domésticos en low-cost, pero los de larga distancia en un modelo más *premium* que el actual. La evolución hacia el low-cost de los vuelos nacionales se anunció el 2016 [32, 29].

Uno de los ejes del modelo low-cost es la oferta de tarifas diferenciada según los servicios que el cliente desea incluir en su viaje. Así, el viajero posee cuatro categorías de pasajes al momento de comprar; Promo, Light, Plus y Top dependiendo del número de maletas, acumulación de puntos y servicios a bordo [29, 103]. La tarificación resumida, con sus principales características, se encuentra en la Figura 1.2.

Dentro del marco de la transformación low-cost, LATAM comenzó el 2018 una renovación de la distribución de asientos de sus aviones, con el fin de aumentar la cantidad de asientos y

poseer una flota más uniforme en términos de espacio interior del avión. La operación implica la transformación de 150 aviones [29].

### 1.2.3. El modelo low-cost

#### Primeras compañías low-cost en el mundo

El modelo low-cost apareció en Estados Unidos algunos años antes de la desregulación del mercado de la aviación a finales de los años 70, lo que dio el puntapié para una nueva era de las aerolíneas. La primera compañía que comenzó a ofrecer servicios bajo el concepto de low-cost fue Southwest Airlines, desde los años 1960. Su propuesta fueron las tarifas bajas, que se explican por el ofrecimiento de menos servicios a los clientes en comparación a las aerolíneas tradicionales y por una mejora de la eficiencia en sus procesos operacionales que le brindaron ventajas de costo. Hoy en día, la idea base de una aerolínea low-cost es básicamente la misma [81].

#### Crecimiento de aerolíneas low-cost

A lo largo del tiempo, las aerolíneas low-cost han tomado fuerza, dominando mayor parte de mercado que antes pertenecía a aerolíneas tradicionales. Al mismo tiempo, la competencia en precios permitió una democratización del vuelo en avión, aumentando la cantidad de pasajeros que utilizan este medio de transporte [81]. En las Figuras 1.3 y 1.4 se muestra el incremento desde el año 2005 al 2017 de asientos disponibles ofrecidos por low-costs contra aerolíneas tradicionales para vuelos domésticos europeos. Se aprecia que en la mayoría de los países, los asientos ofrecidos por las primeras han aumentado de manera considerable con respecto al 2005, en detrimento de las compañías con estructura clásica.

Las aerolíneas low-costs han mostrado ser rentables, lo que también explica su auge. La Figure 1.5 muestra los márgenes asociados a la operación para cuatro compañías: dos low-cost, Ryanair y easyJet y dos compañías tradicionales, Lufthansa Group y Air France – KLM. Se analizan los costos por asiento por milla recorrida (CASM). Se aprecia que existe una relación inversa entre los costos y los márgenes, donde la empresa que tiene los mayores márgenes es la más eficiente en términos de costos. Las eficiencias constatadas se encuentran en términos de operación. Se aprecia que los costos asociados a combustibles son similares para las cuatro compañías.

#### Estrategias seguidas por operadores tradicionales para competir contra las low-costs

El mercado doméstico europeo es actualmente dominado por las compañías low-cost, alcanzando altos márgenes y percibiendo tasas de crecimiento. Las empresas tradicionales han tomado diferentes estrategias para sobrevivir a este contexto [39]. En el caso europeo, las



Figura 1.3: Comparación entre tipos de aerolíneas en términos de capacidad de asientos en vuelos domésticos en Europa el año 2005. Fuente: [81].



Figura 1.4: Comparación entre tipos de aerolíneas en términos de capacidad de asientos en vuelos domésticos en Europa el año 2017. Fuente: [81].

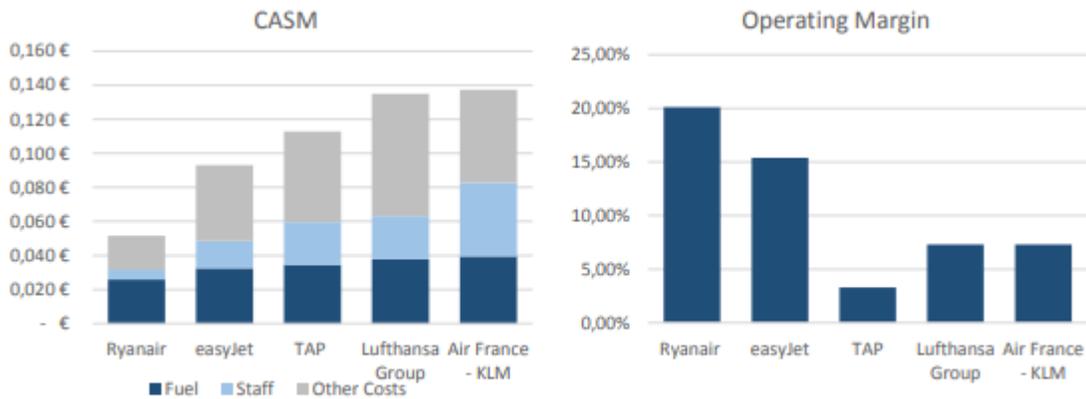


Figure 4: Comparison of cost per available seat mile and operating margin in 2014  
Source: Company's annual reports

Figura 1.5: Comparación entre costos por asientos por millas (CASM) de cuatro aerolíneas y márgenes asociados a la operación para el año 2014. Fuente: [39].

ofertas low-cost se iniciaron alrededor desde los 90 1.2.3 y las empresas tradicionales han debido afrontar este desafío también desde la misma fecha.

- **Reducir costos**

Ante la arremetida low-cost, la mayoría de las compañías tradicionales europeas decidieron iniciar estrategias de reducción de costos [3], incluyendo prácticas ya implementadas por las low-costs [39].

Una de las formas de reducir costos es la modernización y estandarización de la flota. Flotas más modernas consumen menos combustible y aparatos uniformes permiten economías de escala en términos de mantenimiento y procesos (Ver Sección 5.1). Otra de las opciones recomendadas por la literatura es la adaptación de la clase turista a un mercado específico. Por ejemplo, para rutas donde la demanda por servicios *premium* es menor, disponer de una mayor cantidad de espacios para viajeros clase turista [79].

Otra de las vías para la reducción de costo es la disminución del tiempo de los aviones en los aeropuertos. Por ejemplo, Ryanair es capaz de desembarcar a todos los pasajeros de su avión, limpiar el aparato, reabastecerse de comida y bebidas, combustible y abordar los nuevos pasajeros en solamente 25 minutos [102].

Algunas medidas han sido más drásticas. Iberia, perteneciente a International Airlines Group, eliminó 3000 puestos trabajos en una reestructuración de personal [39].

- **Fusiones y adquisiciones**

Las dos últimas décadas, se han creado grupos masivos como International Airlines Group, que corresponde a la unión de Iberia y British Airways, que tuvo lugar el 2011, Air France – KLM, grupo creado del acercamiento entre Air France y KLM el 2004, el grupo Lufthansa, formado desde cuando Lufthansa adquirió SWISS y Austrian Airlines el 2005 y 2008 respectivamente. United Airlines se unió con Continental Airlines el 2012. Northwest Airlines con Delta Airlines el 2010 y US Airways con American Airlines el 2013, sólo por citar algunos ejemplos [39].

Estos grupos han sido la tónica entre las aerolíneas tradicionales con el objetivo de incrementar la eficiencia.

- **Entrar al negocio low-cost**

Las compañías tradicionales, además de fusionarse con otras aerolíneas del mismo segmento, están creando o adquiriendo firmas low-cost.

Se puede citar, como ejemplos europeos, al grupo Air France- KLM, que fue la primera aerolínea tradicional de gran tamaño en poseer una compañía low-cost: Transavia, que ya pertenecía a KLM antes de que las dos compañías de fusionaran. Lufthansa adquirió Germanwings. International Airlines Group adquirió Vueling Airlines, que ya era parcialmente controlada por Iberia [39].

Las estrategias de las empresas que adquieren low-costs pueden variar pero la mayoría cede sus trayectos menos rentables y de corta distancia a sus subsidiarias low-costs, permitiendo a dichas compañías de poseer mayor parte de mercado en el negocio doméstico y alcanzar mayores márgenes. Las marcas tradicionales se enfocadas para trayectos larga distancia.

- **Ingresos secundarios**

Desde el comienzo, los ingresos secundarios han sido parte del modelo de negocios de las low-costs [104].

En el caso de las aerolíneas tradicionales, la propuesta de valor clásica es un un servicio completo. Aplicar estrategias low-costs de tarificación por servicios podría entrar en contradicción con la propuesta de valor. Aun así, se observan ejemplos de aerolíneas tradicionales que han instaurado cobros por servicios, como British Airways, que comenzó a cobrar más por equipaje adicional o Delta Airlines, que cobra por ver películas a bordo. Varias también han comenzado a cobrar el uso de Wi-Fi [104].

Los ingresos generados por estas tarificaciones secundarias pueden incluso constituir el 20 % del ingreso total de una compañía [25].

- **Diferenciación**

Otra forma de enfrentar la competencia de las compañías low-costs es mediante la diferenciación, entregando un servicio de gran calidad. Estas son dominantes en el mercado de corta distancia en Europa, pero las aerolíneas tradicionales aún son líderes en trayectos de largas distancias. Sin embargo, la tendencia podría cambiar, dado el interés que han mostrado low-costs como easyJet y Ryanair en entrar al mercado de los viajes de negocios [104] y viajes de larga distancia [39].

Algunas compañías tradicionales han comenzado a mejorar sus servicios con el objetivo de alcanzar una calidad excepcional de servicio y así atraer a viajeros menos sensibles al precio. Para los clientes de viajes de negocios, los programas de fidelidad, como millas por viaje, pueden ser decisivos al momento de la elección de un ticket. Aun así, dichos clientes deben adaptarse a las condiciones de sus empresas, que han sido más estrictas en condiciones y presupuestos con el tiempo [47].

Lufthansa es una de las aerolíneas tradicionales que se ha enfocado en dar un excelente servicio. Un 42.2 % de los ingresos de larga distancia proviene de los clientes business y primera clase [79]. Una estrategia focalizada en calidad, con servicios personalizados y beneficios adicionales podría ser una manera adecuada de diferenciarse de las compañías low-costs [104].

### 1.3. Desempeño organizacional

Como ya se ha descrito anteriormente, LATAM en vista de su misión, trabaja por una red a nivel mundial. Al mismo tiempo, desea unificar un equipo proveniente de organizaciones y culturas diferentes, dada la fusión de LAN y TAM, todo en un proceso de optimización de la eficiencia y competitividad de recursos.

La unificación de equipos se ha traducido en una reducción de diferentes “centrales de comando” repartidas en todos los países donde LAN y TAM operaba a sólo dos unidades, en Brasil y Chile. Este comando centralizado permite por ejemplo enviar un avión de reemplazo a una región donde hay problemas con los aparatos desde otro país.

En términos de personal, el número ha ido disminuyendo, pasando de 50.413 personas el 2015, 45.916 el 2016 y 43.095 el 2017 dentro de la óptica de eficiencia y competitividad [77, 76, 78]. A su vez, el número de nombramientos internos el 2017 aumentaron significativamente. La cantidad de movimientos y avances profesionales sumaron 58.000, representando un 13 % de la fuerza laboral. Los puestos se cubrieron internamente en todos los niveles: puestos de

Tipo de avión	% de utilización	Número de asientos
A320	56,89 %	185
A321	43,06 %	220
B789	< 0,00 %	313
B767	< 0,00 %	221-238

Tabla 1.1: Porcentaje de utilización de aviones y cantidad de asientos según tipo para los años 2017-2018 en el negocio doméstico chileno, para el conjunto de datos analizados. Fuente: datos internos de LATAM.

liderazgo (30 %), gerencia media (28 %) y otras funciones (12 %) [77].

En definitiva, el número de personal ha ido disminuyendo una óptica de eficiencia. Por otro lado, se han favorecido los nombramientos internos y se ha intentado unificar equipos culturalmente diferentes.

En términos de negocio doméstico chileno, la compañía ha ido perdiendo porcentaje de mercado. En el 2012 la empresa tenía un 76,13 % de participación [11]. Para Enero y Febrero del 2018 esta cifra disminuyó hacia un 63,6 %. La diferencia ha sido ganada por las low-cost [24].

Ante la tendencia mundial del crecimiento de las low-cost, LATAM, como fue mencionado anteriormente, ya ha comenzado a tomar planes de acción para no quedarse fuera de este paradigma de vuelo.

## 1.4. Aparatos

Los aviones utilizados en el negocio doméstico chileno son principalmente A320 y A321 fabricados por Airbus. Los otros modelos, de marca Boeing, que aparecen en la Tabla 1.1 se utilizan en situaciones excepcionales. Dichos aviones operan habitualmente en otros negocios [70].

La tabla 1.1 indica la repartición según tipo de avión en el negocio doméstico chileno durante los años 2017-2018 así como el número de asientos con los que cuenta cada aparato. Los porcentajes entregados corresponden a los datos estudiados, por lo que no considera todos los vuelos del período.

## 1.5. Análisis PEST

El análisis PEST es una herramienta que permite a las compañías comprender el entorno en que se encuentran, analizando los factores Políticos, Económicos, Sociales y Tecnológicos. El nombre se explica por las iniciales de dichas variables [21].

### 1.5.1. Variables Políticas

Dos instituciones destacan dentro de la estructura normativa de las operaciones aeronáuticas en Chile; la Dirección General de Aeronáutica Civil (“DGAC”), como la Junta de Aeronáutica Civil (“JAC”). La DGAC responde directamente ante las Fuerzas Aéreas Chilenas y está encargada de velar por el cumplimiento de las leyes y normativas chilenas que rigen la navegación aérea. La JAC es la autoridad chilena en asuntos de aviación civil [76].

LA DGAC vela por la seguridad de las actividades aeronáuticas, para ofrecer seguridad a los pasajeros como al entorno donde se realizan actividades aeroportuarias. La JAC, por su lado, establece las principales políticas comerciales y regula las operaciones tanto domésticas como internacionales que conciernen a Chile, lo que incluye normativas respecto al personal, aeronaves, niveles de seguridad, control de tráfico aéreo y administración aeroportuaria [76].

Chile es miembro permanente de la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO en inglés), que corresponde a una institución de las Naciones Unidas, establecida en 1947 con el fin de asistir en la planificación y el desarrollo del transporte aéreo internacional [76].

La ICAO establece las normas técnicas para la industria, las que han sido adoptadas por las autoridades chilenas, lo que puede garantizar seguridad con estándares internacionales en las operaciones aeronáuticas de los actores nacionales e internacionales que decidan volar sobre territorio chileno [76].

Es importante destacar que la estabilidad política puede afectar las decisiones de operar en un determinado país de parte de las aerolíneas. Por ejemplo, LATAM suspendió sus operaciones en Venezuela el 2016, decisión que se suma al cese de vuelos de parte de otras aerolíneas internacionales, como Lufthansa, Air Canada, entre otras [9].

El interés por volar en Chile, o hacia Chile, del lado de los actores internacionales, es analizado por parte de las autoridades del país, que ven en la llegada de nuevos actores un impulso al turismo y a las actividades económicas [14].

El aumento de pasajeros y de aerolíneas, potenciado por las autoridades, debe tener en cuenta las limitaciones aeroportuarias del país. Es por ello que el actual aeropuerto Arturo Merino Benítez está actualmente en curso de remodelación. Se estima que el fin de los trabajos tendrá lugar el 2020. Esto permitirá duplicar la capacidad de pasajeros que recibe anualmente. El año 2017, el ministro de Obras Públicas, Alberto Undurraga, manifestó que el objetivo es que el aeropuerto vuelva a ser el mejor de Sudamérica. Según sus palabras, “la inversión realizada corresponde a la más importante en materia aeroportuaria de las últimas décadas. Esto permitirá convertir Chile en una plataforma económica, turística y de negocios. El interés por diferentes concesionarias extranjeras de tomar a cargo el proyecto demuestra la confianza y la certeza de los extranjeros en Chile” [35].

Las tasas de embarque, que se traducen por un encarecimiento de los precios que deben pagar los pasajeros, dependen de las decisiones de las autoridades pertinentes, quienes han mostrado interés en reducirlas para así ofrecer mejores precios a los pasajeros e incentivar los viajes y el turismo. Se ha anunciado una reducción de 20 % de las tasas para vuelos nacionales y de un 13 % para los vuelos internacionales para el año 2020 [46].

Año	PIB anual [M]	Var. PIB [%]
2015	219.836	2,3
2016	226.095	1,5
2017	245.789	1,3
2018	252.474	4,0

Tabla 1.2: Evolución del PIB chileno entre los años 2015-2018. Fuente: [26]

### 1.5.2. Variables Económicas

Desde la transformación low-cost de SKY, el Producto Interior Bruto ha estado en ascenso. La Tabla 1.2 muestra los valores del PIB para el 2015 al 2018.

El PIB, que puede ser considerado como indicador de crecimiento de un país, se condice, sin establecer necesariamente una relación causal, con el número de personas que han decidido volar desde la misma fecha, como muestra la 1.2, donde se aprecia un aumento cercano a un 36 % entre el 2015 y el 2018.

En el período 2015-2018, la transformación de SKY en low-cost, y la llegada de JetSmart se tradujeron en tarifas rebajadas que motivarían a un mayor número de personas a volar. De las palabras de Eduardo Ortiz, gerente de JetSmart, el objetivo de su aerolínea low-cost es democratizar la experiencia de volar [94].

Más allá de los actores low-costs, Chile también ha llamado la atención de actores internacionales importantes, como Emirates Airline, que comenzó a ofrecer vuelos a Chile desde el 2018. Las autoridades en términos de turismo chilenas han destacado que esto permite potenciar la llegada de turistas provenientes de Dubái a Chile. El gerente de Emirates Airline para América Latina, Scott Lantz, destaca la belleza de los paisajes de Chile. Hubert Frach, vicepresidente Senior de Operaciones Comerciales de Emirates destacó que Santiago es un destino de ocio y negocios muy popular. Se destacó también la sostenible economía del país [14].

### 1.5.3. Variables Sociales

Un estudio realizado el 2017 muestra que el interés por viajar por parte de los chilenos se ha incrementado en los últimos años. Un 53 % de los chilenos viaja por lo menos dos veces al año al extranjero. Para vacaciones o viajes largos los chilenos viajan con sus parejas o familias, pero un 40 % realiza viajes cortos con amigos. Este último tipo de viaje ha experimentado un aumento significativo en el tiempo, explicado en gran parte por las ofertas low-cost. Los destinos favoritos han sido Perú, Argentina y Brasil [64].

También las nuevas tendencias en términos de compra, como los días especiales de “cyber-day” favorecen las compras [64].

## 1.5.4. Variables Tecnológicas

El mundo aeronáutico se caracteriza por la constante innovación de las constructoras de aviones. Las nuevas tecnologías prometen menos consumo de combustible, mejor asistencia a la tripulación de vuelo y una mejor experiencia de viaje para los pasajeros [4].

Ciertos sucesos como el accidente de Ethiopian Airlines ocurrido en Marzo de 2019 ponen en jaque la seguridad de aviones nuevos. El avión implicado, un Boeing 737-800 MAX, es un avión nuevo, que se encuentra en uso comercial desde el año 2017, donde todos los pasajeros resultaron muertos. Lion Air tuvo un accidente en Octubre 2018 con el mismo modelo avión en circunstancias muy similares. Esto motivó a diferentes países y aerolíneas a no utilizar este modelo hasta garantizar la seguridad del modelo [10]. Aunque las razones de los accidentes no han sido aclaradas a la fecha, esto podría ser un argumento en contra para poseer flotas muy recientes. Para el impacto del tipo de flota a nivel de costos, ver Sección 5.1.

Las nuevas tecnologías permiten remodelar los aviones ya existentes, incorporando nuevas cabinas para los pasajeros y así otorgar mayor comodidad y entretenimiento. LATAM se encuentra a la fecha en un período de renovación de sus cabinas de sus aviones más antiguos [50].

## 1.6. Análisis FODA

### 1.6.1. Fortalezas

- LATAM posee trayectoria en Chile. La marca LAN existe desde el año 1926 [76].
- LATAM ofrece mayores destinos y frecuencias que su competencia nacional [87].
- LATAM posee alianzas con diferentes compañías y grupos en el mundo que aumentan las posibilidades de sus pasajeros. Ver Sección 1.1.3.
- LATAM ofrece un programa de fidelidad, LATAM Pass, que no existe en sus competidores domésticos nacionales [73].
- LATAM ha recibido varias distinciones que reconocen su calidad operativa, su servicio a bordo, o su liderazgo en Latinoamérica, por nombrar algunos. [78].
- El tamaño de LATAM puede contribuir a obtener economías de escala al momento de negociar contratos o servicios con diferentes actores.
- El mejor servicio brindado por LATAM respecto a su competencia nacional disminuye sus costos en términos de compensaciones 2.1.

### 1.6.2. Oportunidades

- El mercado doméstico nacional evoluciona hacia el low-cost. Esto puede generar incentivos para mejorar la eficiencia en costos y así ofrecer precios más convenientes a sus pasajeros.

- La principal infraestructura aeroportuaria del país, el aeropuerto Arturo Merino Benítez se remodela. Esto puede permitir mejorar la operación (evitando, por ejemplo atrasos debido a la saturación actual del aeropuerto), como un mejor servicios a sus clientes. Ver Sección . Una operación más rápida y a tiempo es una operación más económica, puesto que se evitan cobros asociados a la mayor estadía de los aviones y las reprogramaciones.
- Las tasas aeroportuarias se reducirán al 2020, lo que permitirá a los clientes ofrecer tarifas más convenientes. Ver Sección 1.6.2.

### 1.6.3. Debilidades

- LATAM actualmente es un grupo que opera en 26 países, con más de 41 mil empleados, por lo que debe enfrentar la burocracia y lentitud de un grupo de estas dimensiones [78], lo que hace tardar las decisiones respecto a aerolíneas más pequeñas, en particular las direcciones en cuanto a reducción de costos.
- Ante la evolución low-cost, LATAM ha presentado servicios diferentes según destinos, que puede resultar confuso para los clientes. Ver Sección 2.3.1.
- Las propias ventajas de LATAM, como su programa de fidelidad, pueden resultar un arma de doble filo, al incorporar costos y logística adicional que no tiene la competencia, creando una desventaja en costos.
- LATAM posee una flota variada, lo que puede incrementar los costos de mantenimiento y de formación de tripulación, en comparación con la competencia: SKY posee una flota compuesta por la familia A320 al igual que JetSmart [37, 34, 5].

### 1.6.4. Amenazas

- Las mejoras a las infraestructuras aeroportuarias nacionales (Ver Sección 1.6.2) pueden incentivar la llegada de nuevos actores lo que podría desencadenar una baja en la fracción de mercado de LATAM.
- Los incentivos a la reducción de precios de parte del gobierno (Ver Sección 1.6.2) pueden aumentar la demanda de vuelos lo que podría suscitar el interés de nuevos actores por llegar al mercado nacional.
- La participación de mercado de las aerolíneas low-cost, Jetsmart y SKY han aumentado en los últimos años en desmedro de la de LATAM, tendencia que podría continuar en el futuro, amenazando la posición de líder de la aerolínea en estudio. Ver Sección 2.2.1.

## 1.7. Análisis de las cinco fuerzas de Porter

Las cinco fuerzas de Porter son una herramienta para comprender las dinámicas de poder entre los diferentes actores que pueden influir en el desempeño de una empresa. Cada fuerza corresponde a un autor [63].

### 1.7.1. Poder de negociación con los clientes

Los clientes no pueden negociar el precio de sus pasajes en Chile. Cuentan con la libertad de escoger entre las aerolíneas, pero son tomadores de precio. El poder de negociación es mediano, dado que si los precios son muy altos, los pasajeros probablemente buscarán alternativas, sin embargo los clientes no tienen el poder de cambiar los precios.

### 1.7.2. Poder de negociación con proveedores

En el mundo de las aerolíneas existen diferentes proveedores, que van desde los constructores de aviones, hasta los proveedores de alimentos que se ofrecen en los viajes.

- **Constructores de aviones**

Dos constructores de aviones dominan casi la totalidad del mercado de aviones de uso comercial, Boeing, una empresa estadounidense y Airbus, su antagonista europea. Esta baja cantidad otorga un poder de negociación elevado a dichas compañías.

- **Servicios de mantención**

Los servicios de mantención pueden ser tantos interiorizados totalmente por la compañía como contratar servicios por parte de terceros. La oferta de compañías que brindan mantención a aviones puede ser considerada extensa. En Estados Unidos, para el año 2017, se tenían contabilizadas 3800 firmas estadounidenses ofreciendo servicios de mantenimiento [2]. Por lo tanto, es posible afirmar que las aerolíneas poseen un mayor poder de negociación ante estas empresas.

La seguridad en la industria aeronáutica es un tópico de suma relevancia y las recomendaciones dictadas por los fabricantes de las diferentes piezas de un avión pueden añadir poder de negociación a estos actores, en desmedro de las aerolíneas.

- **Combustible**

El petróleo al ser un recurso natural no renovable, con pocos productores, posee las características de un bien escaso ypreciado. Diferentes compañías se encargan de distribuir el petróleo hacia los diferentes aeropuertos, como Shell, o Exxon. Para regular los precios y permitir una competencia justa, la IATA ha establecido normas y recomendaciones para los proveedores, así como estándares de calidad para garantizar la seguridad y eficiencia del combustible en las operaciones [48]. Las aerolíneas son tomadoras de precio. Gracias a las regulaciones, las compañías enfrentan precios similares para regular la competencia. La Figura 1.5 muestra que la diferencia en precios por éste ítem que paga Ryanair, low-cost europea versus la que paga Air France, aerolínea tradicional es prácticamente nula. El poder de negociación ante estos precios, que, además, están sujetos a regulaciones, es bajo.

- **Infraestructuras Aeroportuarias**

Las tarifas que enfrentan las aerolíneas por las infraestructuras aeroportuarias suelen ser las mismas, aunque algunas pueden obtener servicios más económicos a cambio de compromisos de construcción o remodelación de infraestructura [38]. Las condiciones particulares cambian según cada región y aeropuerto, como es detallado en 1.2.1.

- **Proveedores de productos para los pasajeros**

Los servicios de alimentación a bordo, materiales como audífonos o de higiene, son entregados por diferentes proveedores, donde las aerolíneas disfrutan de un mayor poder negociación.

- **Negociaciones del poder sindical**

Aunque los trabajadores son parte de la empresa, la tripulación podría ser considerada como parte de los proveedores de servicio y pueden manifestar descontento sobre sus condiciones laborales, lo que puede repercutir en cancelaciones de vuelo y otros problemas similares. El año 2018, una parte del personal de LATAM se declaró en huelga, lo que implicó atrasos y cancelaciones [36]. Dado que LATAM puede implementar diferentes medidas para evitar o dar término a una de estas situaciones, el poder de negociación es mediano.

### **1.7.3. Amenaza de nuevos entrantes**

Como es analizado en Sección 2.2.1, la amenaza de nuevos entrantes en un mercado donde los pasajeros aumentan cada año es algo posible. La mejora de las infraestructuras aeroportuarias que se han previsto (Ver Sección 1.6.2) también podrían incentivar la llegada de nuevos actores redistribuyendo las partes de mercado en desmedro de LATAM, así como reducir los márgenes en el caso de una competencia en precio más intensa. Observando la tendencia de los últimos años y las condiciones políticas apuntando a una mejora de las instalaciones, la llegada de un nuevo competidor es una amenaza constante.

A nivel mundial, la industria a mostrado mejores resultados, lo que puede incentivar la llegada de nuevos entrantes. Este incremento se visualiza en la Figura 1.6 que muestra la tendencia del retorno sobre la inversión versus costo de capital a nivel mundial, que desde el 2015 muestra cifras favorables para las aerolíneas 1.6.

### **1.7.4. Amenaza de productos sustitutos**

En el mercado doméstico chileno, la alternativa al transporte en avión es generalmente el bus, que suele ofrecer precios más abordables pero trayectos de mayor duración y con una reputación asociada a la inseguridad. Sin embargo, los servicios de buses han evolucionado con el tiempo, entregando mayor comodidad de viaje, que puede ser preferida por los clientes ante las tardanzas por la saturación habitual del aeropuerto Arturo Merino Benítez. Sin embargo, desde el inicio de las low-cost en Chile, estas empresas han ofrecido tarifas muy competitivas respecto de los buses. Las mejoras en las infraestructuras aeroportuarias deberían disminuir las molestias propias a un aeropuerto saturado. Los buses ya han percibido disminuciones en sus ventas por la mayor y mejor oferta aerocomercial, de hasta un 20% el 2018 [13]. Por lo tanto, se puede considerar esta amenaza como baja.



Figura 1.6: Retorno sobre el capital invertido en aerolíneas versus el costo del capital a nivel mundial. Fuente: [17].

### 1.7.5. Rivalidad entre los competidores

La rivalidad existente entre los competidores es alta. El principio de la estrategia low-cost es de disminuir costos para ofrecer precios bajos. La competencia low-cost es una competencia en precios que puede ser agresiva, con campañas publicitarias frecuentes y promociones. Diferentes episodios de guerra de precios se han evidenciado en los últimos años [1, 89, 85].

### 1.7.6. Resultante de las fuerzas de Porter

Este análisis permite identificar el contexto de LATAM dentro un entorno competitivo intenso, donde las aerolíneas deben tratar con fabricantes y proveedores, como los del combustible que poseen bastante poder de negociación o proveedores de servicios estatales no necesariamente competitivos. La tendencia low-cost favorece la competencia y la optimización de las operaciones con el objetivo de reducir costos. La evolución del negocio doméstico chileno está presente en la industria mundial.

La mejora en las operaciones y la evolución de la industria ha influido en los desempeños de las compañías. Hasta el año 2015, el retorno de la inversión a nivel mundial era inferior al costo del capital, aunque en los últimos años la tendencia se ha revertido, como muestra la Figura 1.6 lo que se explica principalmente por una reducción de los precios de los combustibles y una reducción de costos gracias a una mejor infraestructura, mejor asignación de vuelos según demanda y a una mejora de la productividad en las operaciones [17].

# Capítulo 2

## Justificación del tema

### 2.1. Área de control de gestión

El área de control de gestión tiene como objetivo realizar un seguimiento de las cifras de LATAM en todos sus ámbitos, como el financiero o el operacional.

Para poder controlar la gestión, deben tener modelos de referencia respecto a cada uno de los negocios implicados y asimismo modelos para poder analizar los datos existentes. De esta forma, se genera un contraste entre lo esperado y lo real y se determinan oportunidades de mejora.

La magnitud de la misión es considerable y la relevancia transversal. El diagnóstico de la salud de LATAM surge de esta área. El gerente se encarga de dar las directrices representando la voz y la intención de las altas direcciones y ajustar sus objetivos a las misiones del área. Las diferentes aristas del negocio, representadas por diferentes cuentas contables, son también encabezadas por un jefe de control de gestión, que, bajo el gerente, se encargan de llevar a cabo los entregables y proyectos, apoyados por un equipo de analistas.

### 2.2. Identificación del problema

#### 2.2.1. Pérdida de participación de mercado doméstico chileno en contexto de competencia low-cost

LATAM ha debido afrontar la transformación del mercado hacia el paradigma low-cost. El año 2015 Sky Airline comenzó a implementar paulatinamente dicho modelo en sus rutas [45]. En junio del 2017 la aerolínea JetSmart, con una propuesta low-cost, recibió la autorización para operar en Chile [67]. Estos nuevos competidores transformaron por completo el contexto aerocomercial nacional.

Año	% SKY	% LATAM	% JetSmart	% otras	Total de pasajeros
2015	24,82 %	73,99 %	-	1,19 %	9.898.114
2016	25,38 %	73,64 %	-	0,97 %	10.835.958
2017	25,78 %	67,91 %	-	5,09 %	11.597.628
2018	25,72 %	61,00 %	12,23 %	1,05 %	13.454.174
2019 (Ene-Feb)	23,89 %	59,86 %	15,01 %	1,24 %	3.010.117

Tabla 2.1: Participación de mercado en mercado doméstico chileno de SKY Airline, LATAM Airlines y JetSmart SpA y número de pasajeros. JetSmart sólo operó algunos meses del 2017, por lo que se considera 0 pasajeros para dicho año en este comparativo mensual. Fuente: [53].

Para conservar su posición de mercado ante la arremetida low-cost, LATAM anunció el 2016 una evolución hacia el low-cost en sus vuelos nacionales, la que se materializó el año 2017 [32], que se centra en una nueva tarificación y oferta comercial, complementada con una mejor eficiencia de costos (Ver Sección 1.2.2).

A nivel general, se observa que el efecto del escenario low-cost ha sido un aumento de pasajeros. Como muestra la Tabla 2.1, el número de pasajeros en vuelos domésticos aumentó de 9.898.114 millones de personas el 2015 a 13.454.174 para el año 2018.

En particular, LATAM ha percibido una baja paulatina de su participación de mercado, pasando de un 73,99 % de participación el año 2015 a un 59,86 % el 2019, mientras que las cifras de SKY se han mantenido relativamente constantes; se observa un leve aumento cercano al 1 % del 2015 al 2017 y con la llegada de JetSmart su participación disminuyó levemente, finalizando con un 23,89 % el 2019. Por otro lado, JetSmart ha conocido solo buenas cifras, incluso mejores a las esperadas para su arribo al mercado nacional [88], alcanzando un 15,01 % de participación al 2019.

Aunque el número de pasajeros de LATAM ha aumentado, esto no ha sido suficiente para conservar su participación de mercado. Según David Arcos, director comercial de LATAM, el incremento se debe a la estrategia low-cost de la empresa [31]. No obstante, al analizar las cifras, el año 2019 la participación conjunta de JetSmart y SKY se acerca a un 40 %, porcentaje que desafía la posición de líder de mercado de LATAM.

Focalizándose en el aumento de pasajeros general, si se analiza el año 2017 al 2018 (Ver Tabla 2.2), se observa un incremento de 1.856.546 pasajeros, que fueron mayoritariamente a la nueva aerolínea JetSmart, en desmedro de SKY Airlines y sobretodo LATAM Airlines.

En el mismo período, se dio a conocer que los buses sufrieron una baja de pasajeros de 20 %, que es atribuida principalmente a la competencia low-cost. Los empresarios de buses manifiestan que los mayores descensos ocurrieron en trayectos de larga distancia, como Santiago-Antofagasta O Santiago-Punta Arenas. En general, instancias mayores a 500 kilómetros. Los buses comienzan a focalizarse en trayectos más cortos no cubiertos por las aerolíneas [30]. Sin embargo, la baja en los pasajes de buses también puede explicarse por un aumento del parque automotriz [86].

Año	% SKY	% LATAM	% JetSmart	Total de pasajeros
2017	2.989.868	7.875.949	0	11.597.628
2018	3.460.413	8.20.046	1.645.445	13.454.174
Variación	470.545	331.097	1.645445	1.856.546

Tabla 2.2: Número y variación de pasajeros de aerolíneas domésticas el año 2017 y 2018. JetSmart sólo operó algunos meses del 2017, por lo que se considera 0 pasajeros para dicho año en este comparativo mensual. Fuente: [53].

### 2.2.2. Competencia en costos en contexto low-cost

Las aerolíneas low-cost buscan, tal como su nombre indican, ofrecer bajos costos al cliente. Estas aerolíneas ofrecen tarifas diferenciadas por servicio, de forma tal que el pasajero solamente pague lo que requiere. Además, para disminuir los precios se busca una máxima eficiencia de todos los procesos y operaciones, buscando constantemente oportunidades de reducción de costos. Más detalles sobre el funcionamiento de las aerolíneas low-cost en Sección 1.2.3. La gestión de costos, que ha tomado suma relevancia desde la implantación del modelo low-cost en LATAM, ha aumentado la eficiencia en personal y salarios, como en los procesos de mantención [103].

Analizar la competitividad de LATAM en costos respecto a su competencia es una tarea con varias trabas. En efecto, SKY y JetSmart no se encuentran en bolsa, por lo que no están obligadas a emitir reportes financieros, a diferencia de LATAM. Esto genera asimetría de la información y dificulta la búsqueda de información de costos de la competencia. Sin embargo, hasta la fecha, estudios internos de carácter confidencial estiman que LATAM sigue siendo ineficiente en ciertos ejes de costo respecto a su competencia nacional.

Asimismo, ciertos aspectos ligados a la operación y a la estrategia comercial encarecen los vuelos de LATAM. Por ejemplo, SKY y JetSmart a la fecha no cuentan con programa de fidelidad. El programa de fidelidad LATAM Pass implica un costo que se agrega por cada pasajero volando en alguna ruta de la compañía.

LATAM, en este contexto, debe ser capaz de reducir sus ineficiencias actuales en términos de costos. Las fuentes de estas ineficiencias no siempre son fáciles de detectar, sobretodo si se tiene en cuenta que se analiza un negocio con aproximadamente 300 rutas y 50 líneas de costos para cada una, que a su vez se dividen en diferentes cuentas contables.

### 2.2.3. Modelo actual de predicción de costos deficiente en miras de la eficiencia de costos

#### Líneas y cuentas contables

Para entender el modelo de predicción de costos, es necesario comprender como funciona la estructura de costos de las rutas comerciales de LATAM, la que está compuesta básicamente por líneas y cuentas contables.

Una línea de costo es una agrupación de diferentes cuentas contables asociadas a un tópico común. Para cada subruta, existen alrededor de 50 líneas de costos relacionadas con la operación. Dentro de estas líneas de costos se pueden citar aquellas asociadas al mantenimiento de motores, tasas de aeropuertos, sueldos de empleados, servicio a bordo, entre varias otras.

Asimismo, cada línea de costo es la suma de diferentes cuentas contables. Por ejemplo, la línea Variable Handling, engloba los costos de servicios prestados por los aeropuertos a los pasajeros de un cierto vuelo (Ver Sección 5.3.1), tiene asociadas 19 cuentas, dentro de las que se pueden nombrar costos asociados a aduanas, controles rutinarios de pasajeros, servicios de prestados por terceros como las escaleras para que los pasajeros desciendan, etcétera.

Para cada cuenta, existen equipos específicos según el país de operación que se encargan de ingresar la información según las facturas de los proveedores.

Las cuentas son, a su vez, la suma de diversas facturas, las que fueron ingresadas a los sistemas de información de control de gestión por equipos específicos según la cuenta y país de operación. El detalle respecto a dichas facturas no es accesible en las interfaces habituales de trabajo. Cada equipo a cargo de una cuenta en particular tiene sus propios estándares y el acceso a dicha información se realiza directamente con el personal a cargo, que puede incluso estar en otro país.

Como las facturas son mensuales, toda la estructura de costos tiene como unidad temporal mínima el mes.

La moneda utilizada corresponde al dolar. La elección se debe a que representa una moneda común para comparar negocios en diferentes regiones y a la facturación en la moneda norteamericana de parte de ciertos proveedores.

## **Recolección de los datos**

La subgerencia de control de gestión analiza los costos de las rutas comerciales, que son facturados por diferentes proveedores en diferentes aeropuertos y países para asegurar integridad contable.

El área no entra al detalle de cuentas salvo cuando la situación lo amerite. En general el análisis se encuentra al nivel de líneas contables. Las cuentas, a su vez son el resultado de la suma de diversas facturas. La información relacionada con ellas es manejada por otros equipos y no se encuentra disponible en los sistemas de información habituales de control de gestión.

Control de gestión se limita a verificar la congruencia de los montos y en casos de incoherencias se revisa el procedimiento que llevó a la cantidad en cuestión y se contactan los equipos que han provisto dichas cifras para revisión.

Gran parte de los análisis son exclusivamente monetarios y no consideran las causas o factores que puedan explicar, por ejemplo, diferencias de costos entre una ruta y otra. Esto no permite entender los costos como consecuencia de la interacción entre precios, operación y

factores exógenos que puedan dar mayor comprensión a las cifras e identificar incongruencias contables u oportunidades de reducción de costos.

El proceso que intenta asociar variables asociadas a la operación a las cifras contables es la elaboración de presupuestos.

## Presupuestos

Para cada año, para cada subruta y para cada línea de costo, se realiza un presupuesto para estimar los costos del año siguiente.

Las predicciones permiten asignar recursos, como tipo de flota o personal para las rutas. Asimismo son utilizadas para estimar los costos de eventuales nuevas rutas.

Para la creación de nuevas rutas, se escogen algunas ya existentes con características similares para estimar los costos. En caso de concretarse la ruta, un error en la predicción puede significar una incorrecta asignación de tipo y cantidad de flota hasta la cancelación de la ruta por rentabilidad.

Los presupuestos son realizados por diferentes equipos, que se especializan en algunas líneas de costo en específico. Control de Gestión se limita a verificar la congruencia de la información.

Cada línea tiene asociada una variable, ya sea externa a la operación o directamente relacionada con ella, llamada “*driver*”, que debería explicar el costo. Por ejemplo, para el combustible, el *driver* asociado es la distancia. Para *Variable Handling* (Ver Sección 5.3.1), es la cantidad de pasajeros.

Para predecir, el método actual utilizado por LATAM consiste en una regla de tres. Se asume que cada línea depende exclusivamente del *driver* asociado. Conociendo cuanto fueron los costos del año anterior y la cantidad del *driver* respectivo, se obtiene un costo por *driver*, que luego es simplemente multiplicado por la cantidad de *driver* estimada para el año siguiente. Matemáticamente, una predicción de costo corresponde a:

$$Costo(t) = \frac{Costo(t-1)}{Driver(t-1)} Driver(t)$$

Donde  $Costo(t)$  corresponde al costo para el año  $t$ ,  $Costo(t-1)$  es el costo constatado el año  $t-1$  y  $Driver(t)$  es la cantidad estimada para el año  $t$  del *driver* asociado.

La fracción  $\frac{Costo(t-1)}{Driver(t-1)}$  es llamada precio unitario asociado al *driver* respectivo, que es generalmente multiplicada por el *driver* mensual que da origen a presupuestos mensuales.

La expresión puede ser ponderada según ajustes de tipo de cambio o inflación.

Es un método simple, que se justifica por la cantidad de proyecciones que se deben realizar: para 12 meses, 300 subrutas y 50 líneas de costo, lo que da un total de 180.000 predicciones.

Sin embargo, esta forma de predecir asume que cada línea de costo tiene una sola causa, ignorando a otros factores que puedan influir en dicha cifra.

Durante el proceso se realizan varias versiones, que se explican por la actualización de valores que eran erróneos o la actualización de *inputs*. Se pueden contabilizar para un año al menos 10 versiones diferentes.

Las predicciones son realizadas en Excel, que luego se cargan al sistema de intranet.

## Problemas asociados a los presupuestos

La predicción, mediante regla de tres, es simple y no tiene fundamento estadístico más allá de la experiencia que indica que los *drivers* utilizados son los indicados. Otros factores que podrían influir en cada línea no son considerados. También ocurren errores bastantes evidentes, como meses sin costos para algunas líneas, aunque la ruta opere durante esos meses. Sin embargo, estos casos son rápidamente identificados mediante macros que detectan costos ceros durante períodos de operación. No obstante, los errores más sutiles no son siempre capturados, dado que implican la verificación visual de un analista de control de gestión.

Dentro de la óptica del área, poder controlar los presupuestos de una forma más certera, idealmente automática, disminuiría la carga de personas que buscan errores a través de la mera observación de hojas de cálculo de numerosas celdas, lo que es un trabajo tedioso y no necesariamente eficaz.

Los presupuestos tienen un MAPE (Ver Sección 5.5.5) de 125 %, cifra que muestra las predicciones están alejadas en promedio más allá del doble respecto de las cifras reales, lo que desencadena desconfianza respecto a la precisión de las estimaciones.

Este método para realizar los presupuestos nunca ha sido cuestionado. Además, como se estudia en la Sección 2.2.4, es también muy costoso. Esto, sumado a los resultados poco ciertos motivan a una revisión completa del método bajo una perspectiva analítica e ingenieril.

La forma de predecir y explicar los costos, mediante de la regla de tres, no permite interpretarlos en términos de variables operacionales o externas, más allá del *driver* asociado, lo que ya es una aproximación simplista, porque los costos no dependen de una sola variable. En miras de la estrategia low-cost, mejorar el modelo de costos es de suma relevancia. Contar con un modelo que describa mejor la actividad, con menor porcentaje de error e incorporando una mayor cantidad de variables, permitiría comprender mejor la dinámica de costos e identificar oportunidades de eficiencia a través de la información financiera-contable de la empresa.

## 2.2.4. Costo de elaboración de presupuestos

El proceso de elaboración de presupuestos para un año determinado comienza alrededor de agosto y se extiende hasta diciembre, con verificaciones continuas durante los primeros meses del año analizado. Es altamente costoso, dada su duración y cantidad de personas implicadas.

Alrededor de 100 personas trabajan en la elaboración de presupuestos. Esta alta cantidad se explica cuando se considera que se deben realizar estimaciones de cada línea contable, que en total, son del orden de 50. Para elaborarlas, se debe buscar información, la cual circula entre diferentes actores, aumentando la posibilidad de errores.

El proceso es sometido a constantes verificaciones “visuales” para detectar errores, ya sea por error de cálculo o por cifras alejadas de valores habituales, según la experiencia en costos de los analistas. De igual forma, dado que se trabaja en planillas Excel, se aplican macros para detectar errores burdos, como costos directamente asociados a vuelos cuando estos no fueron efectuados. Para cada línea de costo existe una hoja Excel por subruta. Como se existen alrededor de 300 subrutas, los analistas deben trabajar con archivos de 300 hojas.

De esta forma, se tiene que para la elaboración de presupuestos trabajan alrededor de 100 personas. Si se consideran los meses de Agosto a Diciembre, asumiendo que dedicarán dos de cinco días laborales por semana, se obtiene que cada uno trabaja 360 horas en total sobre el tema.

Por motivos de confidencialidad, no se indica el sueldo de un analista de control de gestión, pero sí se toma el salario del mercado para el cargo, que corresponde a \$ 853.403 a la fecha de redacción de este informe [49]. De esta forma, la hora laboral de un analista que trabaja 185 horas por mes tiene un costo de \$ 4.613. Considerando las 360 horas de trabajo en presupuestos por analista se puede analizar el costo por línea corresponde a \$ 1.660.676, que en dolares, ocupando una tasa de conversión USD/CLP de 682,30 [51], equivale a 2.433,94 US\$, cifra que supera en algunos aeropuertos los costos mensuales de *Variable Handling*. Considerando que cerca de 100 trabajadores realizan esta misión, el costo total en términos de horas de personal asciende a los 243.394 US\$, valor que podría pagar los costos de *Variable Handling* de ciertos aeropuertos por todo un año, sin realizar ninguna mejora operacional. Esta cifra es también superior al total de costos de ciertas líneas contables para todo un año.

La aproximación anterior considera que el personal que interviene en los presupuestos es compuesto solamente por analistas. Sin embargo, jerarquías superiores también participan del proceso, por lo que los montos involucrados son probablemente más altos. Además, se considera el período de Agosto a Diciembre, ahora que se trabaja sobre los presupuestos en los primeros meses del año analizado igualmente, lo que incrementaría aun más los costos.

## 2.2.5. En síntesis

A lo largo de los últimos cinco años, LATAM ha evidenciado una pérdida de su poder de mercado. Su posición de líder, una de sus ventajas competitivas, está siendo amenazada.

Sus oponentes, con propuestas low-costs, han obligado a LATAM a adaptarse, implementando estrategias de la misma línea en las rutas nacionales. A pesar de los esfuerzos, sus competidores continúan abarcando porcentaje de mercado. La eficiencia en costos, uno de los pilares de la oferta low-cost, cobra suma relevancia. Constatándose ineficiencias respecto a sus competidores, resulta necesario identificar oportunidades de reducción de costos para alcanzar competitividad en este ámbito. Las predicciones permiten tomar decisiones a nivel de creación de nuevas rutas, asignar recursos, comparar rutas, justificar diferencias y encontrar ineficiencias en la estructura de costos. No obstante, las estimaciones son simplistas, dejando de lado factores que pueden ser relevantes y que pueden jugar un rol clave en las dinámicas de costos de LATAM.

## **2.3. Hipótesis de las causas del problema y posibles alternativas de solución**

### **2.3.1. Hipótesis: la estrategia de LATAM para afrontar las low-cost no ha sido adecuada**

Esta hipótesis puede ser justificada desde diferentes puntos de vista. Por un lado, SKY comenzó su estrategia low-cost el año 2015 en el mercado doméstico chileno, mientras que LATAM entró en terreno a partir del 2017 [88]. Considerando que a nivel mundial la tendencia low-cost ha comenzado a tomar fuerza desde hace más de 20 años (Ver Sección 1.2.3), la tardanza implicó que los clientes identificaran a SKY como la compañía low-cost, fidelizándolos. En efecto, la parte de mercado de SKY en los últimos cinco años se ha mantenido constante, como muestra la Tabla 2.1.

Otro punto analizar puede ser la oferta “opuesta” a las low-cost, que se basa en un servicio “premium” para viajes de larga distancia, pero low-cost para los vuelos regionales o domésticos, puede ser confusa para los clientes, quienes pueden tener la impresión que LATAM no ofrece un servicio low-cost para vuelos domésticos, o viceversa, que para vuelos de larga distancia, LATAM ofrece servicios low-cost. La experiencia internacional muestra que las compañías administran dos marcas distintas para diferenciar servicios low-costs de servicios tradicionales (Ver Sección 1.2.3).

Una falta de anticipación de la evolución del mercado, producto de una falta de visión estratégica, sumado a una oferta confusa a los clientes, alejándose de lo que muestra la experiencia internacional, pueden explicar la baja de participación de mercado.

### **2.3.2. Hipótesis: La gestión de costos de LATAM ha sido deficiente**

Desde un punto de vista operacional, las empresas low-cost más exitosas poseen una gestión de costos muy eficiente, como se detalla en la Sección 1.2.3. Particularmente, estas empresas apuntan a disminuir el tiempo de estadía en los aeropuertos (lo que implica evitar retrasos) y

a efectuar operaciones rápidas durante la permanencia en las infraestructuras aeroportuarias. Ryanair, por ejemplo, logra desembarcar los pasajeros de un vuelo, limpiar y reabastecer el avión, incluyendo combustible, como embarcar pasajeros, todo en un promedio de 25 minutos [102].

LATAM fue reconocida el año 2018 por el reputado ranking OAG como la aerolínea más puntual del mundo dentro de la categoría de *MegaAirlines* [33]. Aunque esta categoría excluye las compañías low-cost, este reconocimiento indica una gestión operacional destacada respecto al mercado. Sin embargo, las aerolíneas low-cost muestran que la operación puede seguir mejorándose.

En términos de competitividad en costos respecto a la competencia, se han constatado ineficiencias en costos (a través de estudios confidenciales) ligados a la operación respecto a los otros actores (Ver Sección 2.2.2 lo que es un punto débil en un contexto de competencia low-cost. Además, cuando se poseen costos que las otras compañías no poseen, como el programa LATAM Pass de millas, es aún más importante optimizar los costos comunes con la competencia para compensar los costos adicionales.

Dentro de una perspectiva contable, las rutas de LATAM, alrededor de 300, con 50 líneas de costo para cada ruta, dan lugar a 15000 líneas que controlar y analizar, sin considerar que cada línea de costo se descompone en diferentes cuentas.

La magnitud de la información contable-financiera dificulta el seguimiento y la identificación de oportunidades de reducción de costos. Para poder analizar y también realizar proyecciones, los métodos son simplistas (Ver Sección 2.2.3) dejando de lado factores relevantes que pueden afectar los costos y que pueden anunciar oportunidades de reducción de costos.

El modelo actual de predicción costos es muy simple y poco preciso, lo que no permite evaluar y diagnosticar bien las operaciones comerciales. Por ejemplo, no se logra determinar A ciencia cierta si ciertos números positivos son debido a una mejor gestión o se deben solamente a fluctuaciones favorables de tasas de cambio. Asimismo, ciertos trayectos con características similares poseen costos diferentes que el modelo no logra explicar. El análisis de la gestión de rutas comerciales como la predicción para el futuro pierde validez con estas inconsecuencias. Los costos son explicados como consecuencia de una sola variable. Sin embargo, los diferentes entes involucrados exigen poseer una representación más adecuada. Esto permitiría identificar la influencia de cada uno y orientar los esfuerzos hacia la reducción de costos.

Un modelo de costos que permita explicar de forma más precisa los costos asociados a las rutas comerciales beneficiaría al área de control de gestión, dado que le permitirá realizar análisis y predicciones mejores y así evaluar el desempeño de las operaciones de rutas comerciales de una forma más certera. Esto se se traduciría en mejores decisiones aguas arriba. Un mejor control sobre la estructura de costos permite asignar recursos más eficientemente, tomar mejores decisiones y poder discernir efectivamente cuando los números positivos (negativos) se deben a una mejor (peor) gestión o a circunstancias de la economía.

En definitiva, LATAM, aunque ha mostrado resultados sobresalientes en la operación, tiene aún margen de mejora. Además, se han constatado ineficiencias en costos respecto a la

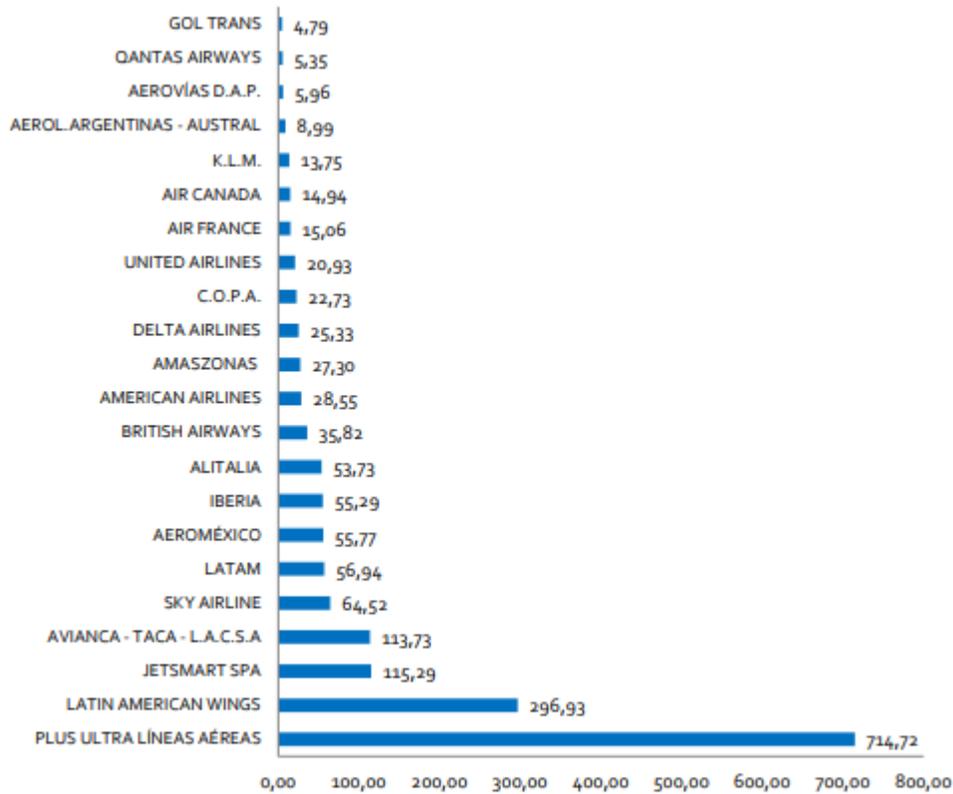


Figura 2.1: Índice de Reclamos por 100.000 pasajeros de servicios efectuados en infraestructuras nacionales el año 2017. Fuente: [54].

competencia. Su gestión de datos contable no ha sido óptima, lo que le ha impedido modelar la actividad en términos de costos con precisión. La información de los datos podría contener oportunidades de reducción de costos valiosas. Estas mejoras se traducirían en reducciones de costo.

### 2.3.3. Hipótesis: LATAM, a precios similares, ha ofrecido un peor servicio que su competencia

El informe anual de reclamos de la Junta de Aeronáutica Civil del año 2017 muestra la cantidad de reclamos por 100.000 pasajeros transportados durante todo el período. El estudio incluye todas las aerolíneas que efectúan servicios en infraestructuras chilenas para el servicio de pasajeros [54]. El gráfico comparativo se encuentra en la Figura 2.1.

LATAM posee un índice de 56,94 de reclamos contra un 64,52 de SKY y un 115,29 de JetSmart. Todas estas cifras son bastante elevadas respecto a los mejores evaluados, sin embargo, LATAM, entre las tres, posee el mejor indicador, lo que podría descartar en cierta medida la hipótesis de que el servicio de LATAM ha sido peor que el de la competencia. No obstante, SKY muestra una evaluación cercana: la percepción para LATAM y SKY no es tan diferente.

### 2.3.4. Hipótesis: compuesta

La baja en la participación de mercado puede ser un fenómeno multicausal. Una tardanza al entrar al mercado low-cost, con una estrategia confusa para los clientes, sumado a ineficiencias de costos que no le permiten a LATAM tener precios competitivos pueden explicar el descenso. Las ineficiencias pueden ser difíciles de determinar en una estructura contable compleja que dificulta el análisis y toma de decisiones.

## 2.4. Propuesta de valor e impacto

LATAM, en su sitio de relación con los inversionistas, establece que uno de sus ejes claves es su voluntad de poseer una competitividad en costos. Textualmente; “Vamos a redefinir nuestra estructura de costos para mejorar nuestra competitividad y simplificar nuestra organización, con el fin de aumentar la flexibilidad y la rapidez en la toma de decisiones. El objetivo es reducir los costos totales en aproximadamente un 5 % del total de costos operacionales. Estos ahorros se sumarán a las sinergias derivadas de la combinación de negocios entre LAN y TAM, así como a las eficiencias que esperamos obtener de nuestra flota con nuevas tecnologías” [69].

La reducción de costos y los planes para lograr este fin se articulan dentro de los ejes principales que LATAM quiere resaltar delante de sus inversionistas. El presente tema de memoria está en suma concordancia con el cumplimiento de estos objetivos.

Dentro de la estructura contable de LATAM existen datos asociados a los costos de los últimos 10 años aproximadamente para cada ruta (Ver Sección 5.4.1). Sin embargo, diferentes cambios han sido implementados durante el paso de los años sobre las líneas contables (para la definición de línea, ver Sección 2.2.3), que no han sido debidamente documentados o implementados en los sistemas informáticos. Por ejemplo, cuando aparecen nuevos costos no referenciados en las líneas ya existentes, se agregan a una de ellas, sin registrar la fecha exacta y los detalles de la modificación, lo que resulta en que dicha línea de costo ya no es comparable en el tiempo. Asimismo, ciertas reformas, mezclaron información entre diferentes líneas, también, sin establecer un historial de los cambios. Estas incongruencias solamente permiten un estudio de los años 2017 y 2018.

La estructura contable impide crear valor a partir de los datos históricos en una ventana de tiempo superior a dos años. En un mundo donde las herramientas de Data Science se han convertido en parte esencial del análisis de datos, desaprovechar la información existente durante varios años por una mala gestión de la data es desperdiciar una potencial fuente de creación de valor.

Un estudio de los departamentos de control de gestión en España muestra que la presión y obsesión por los resultados a corto plazo puede ser un lastre para la organización en el largo plazo. La función de control de gestión puede desempeñar un importante valor añadido. Los resultados de técnicas de análisis de datos pueden permitir una reducción de costos de un 20 % así como aumentos en la productividad [62].

Se propone analizar los datos de costos existentes así como de operación y de variables exógenas que puedan repercutir en la operación con los datos existentes de los dos últimos años. Se espera encontrar mejores resultados que los del modelo actual y conclusiones que indiquen oportunidades de reducción de costos. Si éstos tienen una mejor *performance* que el modelo actual, se evidencia el valor que se puede crear de los datos. En caso de haber tenido una mejor gestión de la data contable, el valor agregado de 3n estudio sobre todos los datos podría haber sido aun mayor. De esta forma, es posible justificar esfuerzos destinados a mejorar la gestión de la estructura contable.

De esta forma, se espera que los análisis que se efectúen sienten bases para realizar estudios de datos más profundos y que permitan obtener mejores resultados en el futuro, con el aumento natural de los datos, bajo el supuesto de una mejor gestión de la data *à posteriori* y la mejora de los modelos de datos que otorgue el paso del tiempo.

El análisis, reducido en datos, exige la implementación de supuestos. Se asume que todas los vuelos domésticos chilenos pueden ser comparados entre sí. En un contexto con mayor cantidad de datos, cada vuelo podría tener su propio modelo. Sin embargo, como los datos son mensuales, actualmente para cada ruta (para la definición de ruta, ver Sección 5.4.1), se cuentan con 24 datos, lo que fuerza a tener un nivel de agregación menos específico para aumentar la cantidad de datos.

Se analiza la línea de costo *Variable Handling*, por encontrarse dentro de los primeros 5 costos más elevados sobre un total de 50 líneas de costos. Sin embargo, el procedimiento debe ser fácilmente replicable a otras líneas de costos.

El modelo actual tiene un MAPE de 125 % para los presupuestos, cifra elevada que puede desencadenar asignaciones de recursos a más del doble de lo requerido o viceversa.

Los costos para elaborar el modelo actual se evalúan en 2.433,94 US\$ 2.2.4, cifra más elevada que ciertas líneas de costo en todo un año que se explica por las 100 personas sobre esta misión y los meses que transcurren realizándola.

Se busca un modelo de datos capaz de explicar los costos mediante las variables buscadas y mejorar la forma actual de realizar predicciones, tanto en precisión numérica como en carga de trabajo. Asimismo, se espera que los resultados del modelo adviertan oportunidades de reducción de costos que permitan realizar recomendaciones para disminuir las ineficiencias.

# Capítulo 3

## Objetivos

### 3.1. Objetivo general

Diseñar un modelo de reducción de costos operacionales en las rutas domésticas de LATAM Airlines, con el fin de hacer frente a los competidores low-cost y ofrecer precios competitivos a los clientes en este segmento.

### 3.2. Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte en materia de reducción de costos, identificando ejes operacionales claves para lograr este fin, comparando la realidad LATAM contra la de otras compañías y las recomendaciones de la literatura.
- Diseñar un modelo explicativo y predictivo de costos en base a los datos existentes. Para seleccionar el modelo, comparar a través de métricas diferentes modelos y escoger aquel que entregue los resultados más adecuados, es decir, el que refleje de la mejor forma la realidad y entregue oportunidades de reducción de costos.
- Testear la *performance* de los modelos, analizando los resultados y proponiendo mejoras.
- Establecer primeras bases de análisis de datos en el área de control de gestión, a través del modelo propuesto y sus resultados.

# Capítulo 4

## Alcances

La reducción de costos es un problema que puede ser abordada desde diferentes perspectivas de la empresa. Sin embargo, la perspectiva de datos contables no ha sido suficientemente abordada, cumpliendo una función meramente descriptiva, a pesar que, con las herramientas actuales es posible crear valor a partir de la data histórica.

Las mejoras operacionales mediante análisis de procesos han sido la tónica desde que LATAM comenzó su oferta *low-cost*, lo que se ha evidenciado en su mejora operacional y las distinciones que ha recibido. Se ha realizado reducciones de los servicios entregado a los pasajeros, realizando una completa revisión de las prestaciones brindadas a los pasajeros. La automatización en procesos también está siendo implementada. Se puede citar la instauración de postas check-in, mayor cantidad de procesos online y supresión de agencias. Los sueldos y la cantidad también ha sido constantemente evaluada, lo que ha desencadenado despidos y búsqueda de mayor eficiencia. Estos análisis no se han detenido y están a cargo de diferentes departamentos de la empresa [78], todos conscientes la evolución de la industria y el objetivo imperante de reducir los costos.

En la literatura se observa que las grandes compañías en general deciden crear una nueva marca para el segmento *low-cost* 1.2.3, esta solución no es abordada en el presente trabajo, porque los análisis requeridos para determinar su viabilidad se desviarían de los objetivos.

La solución abordada (Ver Sección 7) se enfoca en el análisis de datos contables de las rutas. A pesar de que LATAM cuenta con información contable de, al menos 10 años, la mala gestión de ellos se traduce en la imposibilidad de utilizar los datos para un estudio comparativo al curso del tiempo. El análisis presentado muestra el potencial de las conclusiones para las reducciones de costos de un modelo en dos años, que podría establecer un incentivo a poseer una mejor administración de datos con miras a largo plazo.

El modelo presentado es escalable en el tiempo, bajo el supuesto de una mejora de la gestión de datos. El contexto actual, donde los análisis de datos han tomado gran relevancia es otro incentivo para cambiar el curso de acción y adquirir una visión a mayor largo plazo.

Con el aumento natural de datos por el tiempo y una mejor gestión de ellos, será posible

analizar por ruta específica, a diferencia del análisis actual, que compara diferentes rutas en el mercado doméstico, introduciendo mejoras en la precisión del modelo. A la fecha de elaboración de este informe, sólo es posible acceder a 24 datos, correspondiente a los meses transcurridos en dos años, lo que impide realizar un análisis exclusivo para cada ruta.

Aun bajo los supuestos actuales, los resultados obtenidos son mejores que el modelo actual, lo que es una justificación para dar relevancia a mejorar de datos en el futuro próximo.

Los análisis y propuestas fueron realizados sobre la línea de *Variable Handling*, que se encuentra dentro de las primeras cinco líneas de costos de un total de 50. Queda propuesto extender el análisis a otras líneas.

El análisis se limita al negocio doméstico chileno. Una extensión interesante sería analizar los 17 negocios de la compañía.

Solamente se tienen en cuenta vuelos domésticos de pasajeros, para rutas con todos los datos requeridos disponibles. Servicios cargo o chárter son excluidos del análisis.

El presente trabajo considera la utilización de diversas consultas BEx (Ver Sección 5.2) que dan origen a la base de datos utilizada para efectuar los análisis. Sin embargo, la interacción de diferentes bases de datos complejizan la misión. Es por ello que se propone la creación de una única consulta en BEx que integre todos los datos requeridos sin necesidad de operaciones posteriores para su correcta utilización por los algoritmos.

La implementación de la solución queda propuesta para el área de control de gestión. Se entrega un manual con un código estándar en R que explica cómo proceder para *Variable Handling*, tanto para las predicciones de *Random Forest* como para las interpretaciones de la tendencia de las variables provistas por la regresión. Este manual asume que la consulta predefinida para los datos fue creada en BEx.

# Capítulo 5

## Marco conceptual

### 5.1. Búsqueda de factores influyentes en los costos de una aerolínea

La literatura respecto a los costos en las aerolíneas aborda diferentes temáticas, donde se encuentra la búsqueda de factores que afectan los costos o propuestas para modelar funciones de costo. De esta forma, se pueden encontrar puntos de mejora o dinámicas de economías (por ejemplo, a largo plazo, a distancia recorrida, etcétera) [111].

En un estudio de las aerolíneas canadienses [40], el modelo es abordado a través de una regresión entre diversas variables. Se analizan tres servicios diferentes; servicios de pasajeros planificados, servicios de carga planificados y servicios tipo chárter, para todas las aerolíneas en paralelo. El modelo pretende llegar a un resultado válido para cualquier aerolínea de Canadá.

Numerosas variables son presentes en el modelo, las que son clasificadas según costos asociados al personal y horas de trabajo, combustible, capital y materiales. Además, ciertas variables pretenden predecir el efecto de la tecnología sobre las operaciones, porque nuevas tecnologías suponen una operación más eficiente. El objetivo es llegar a una función de costos.

El modelo es una larga suma de variables ponderadas, resultado de una regresión. Dentro de las *inputs* incluidos se incluye el tipo de vuelo (pasajeros, cargo o chárter) que es una variable categórica con un coeficiente asociado. También se encuentra el precio del trabajo realizado por el personal a bordo, precio del material utilizado durante el viaje, largo del trayecto, temporalidad o combustible. Además, se interaccionan todas las variables utilizadas en el trabajo.

El modelo presentado busca describir los costos de todo un mercado (el canadiense) con tres tipos de vuelo (pasajeros, cargo y chárter). Eso explica un nivel general de las variables. Los objetivos de la memoria son más específicos en este sentido; analizar las rutas comerciales de LATAM en Chile, excluyendo las rutas de cargo o chárter.

Sin embargo, es un buen primer acercamiento, permite tomar consciencia de diferentes aspectos de la industria y de la existencia de efectos de sinergia entre diferentes variables; ellas no deben solamente ser analizadas individualmente. Por ejemplo, la tecnología puede disminuir los tiempos de servicio a bordo lo que puede ser reflejado en términos de modelo en interacciones.

Otros trabajos muestran interesantes conclusiones. A menudo, la distancia recorrida es uno de los principales factores que pueden explicar los costos [43], porque importantes costos variables como combustible, personal y mantenimiento aumentan. No obstante, se ha mostrado que *ceteris paribus*, la distancia promedio de una aerolínea tiene un efecto negativo en sus costos totales, lo que sugiere la existencia de una economía de “distancia recorrida” [40, 8]. Sin embargo, otros autores han llegado a conclusiones contrarias [80], lo que sugiere precaución al momento de llegar a este tipo de resultados.

Los resultados respecto al peso promedio de los vuelos muestran una correlación negativa entre peso y costos [109, 42, 23]. La literatura pareciera estar más de acuerdo sobre este punto.

Otros estudios han mostrado que el tamaño del avión también es importante a la hora de calcular costos. Las conclusiones a las que se llegan son que aviones más grandes son más eficientes en términos de costos [83, 8, 106, 92].

La edad del avión también influye a la hora de calcular los costos; a mayor edad, más costos de mantenimiento, pero al mismo tiempo, los costos asociados a la depreciación de las estructuras disminuyen. Las conclusiones son variadas, algunos aseguran que la edad influye en mayores costos [92, 6], otros no han encontrado evidencia de aquello [8, 101, 12]. Varios han concluido que una flota más uniforme (es decir, con más aviones del mismo modelo) [97, 41, 19] es la más eficiente.

En definitiva, una gran parte de la literatura existente apunta a la detección de diversos factores que pueden influir en los costos de una aerolínea, a menudo dentro de una óptica de identificación de economías (por ejemplo, economías de distancia recorrida). Existen controversias respecto a la correlación de los costos con ciertas variables estudiadas. Por otro lado, la mayoría de los modelos planteados son regresiones o variantes de ellas. Estas son fáciles de interpretar y permiten tener una cuantificación del cambio que se produciría con una variación un factor para los tomadores de decisiones. Sin embargo, dado el gran avance de los modelos de Data Science hasta la fecha, es posible que otros modelos puedan brindar resultados más precisos, aunque comprometiendo la interpretabilidad, vital a la hora de tomar decisiones.

## 5.2. Manipulación de datos en control de gestión

El área de control de gestión de LATAM, cuyo funcionamiento es descrito en la Sección 2.1, obtiene datos de la actividad a través de la plataforma Business Explorer de SAP (BEx).

BEx permite realizar consultas a través de una plataforma interactiva. Los resultados de

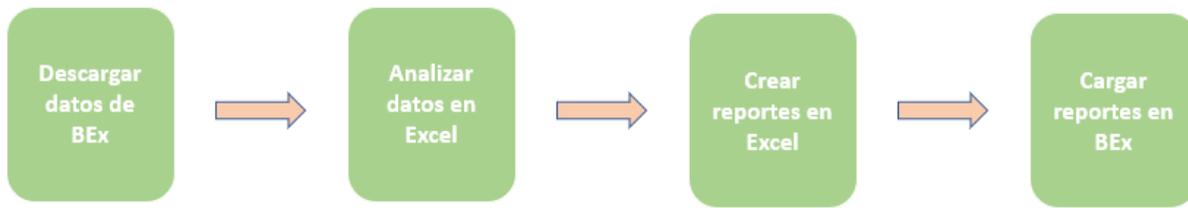


Figura 5.1: Las etapas en los reportes con manipulación de datos en control de gestión. Fuente: elaboración propia.

las consultas son equivalentes a tablas dinámicas de Excel. Es posible exportarlas a otros formatos.

Las consultas habituales pueden almacenarse para utilizaciones posteriores, en las que es posible modificar parámetros (por ejemplo, las fechas estudiadas), según se requiera.

El personal suele descargar las consultas que requiere a formato Excel para luego trabajar en dicho programa. La mayoría de los análisis son realizados por esta vía. Los reportes finales son cargados en la plataforma BEx. La Figura 5.1 ilustra esta serie de pasos. Este proceso es el seguido para elaborar los presupuestos.

## 5.3. Línea de costo analizada

### 5.3.1. Variable Handling

*Variable Handling* corresponde a los costos asociados a los servicios prestados a los pasajeros dentro del aeropuerto. Dentro de los costos, se puede citar el uso de espacio e inmuebles, gastos por check-in de pasajeros realizados por terceros, señales para guiar pasajeros, materiales o insumos ocupados en la atención y operación, multas de inmigración y uso de la infraestructura de aeropuertos en general.

Se escoge esta línea por encontrarse dentro de las primeras 5 líneas de costo más importantes y sin un equipo dedicado a analizarla, como sí lo es el caso de otras líneas de costos de relevancia.

## 5.4. Conceptos de la operación

### 5.4.1. Rutas o subrutas

Una ruta (o subruta) es el par ida-vuelta de un trayecto efectuado por LATAM. Por ejemplo, los costos de la ruta Santiago-Osorno el mes de Enero corresponden a todos los montos asociados a los trayectos Santiago a Osorno como de Osorno a Santiago durante dicho mes. Cada ruta es identificada mediante un código de tres letras.

### 5.4.2. Estadísticas operacionales

Para describir y analizar las operaciones, LATAM utiliza varios indicadores, llamados estadísticas. Estas variables son accesibles desde el sistema de intranet Business Explorer de SAP, donde se pueden crear diferentes consultas y obtener como resultado una base de datos exportable a diferentes formatos.

Dentro de las estadísticas es posible citar los kilómetros recorridos, los pasajeros transportados, las horas de vuelo, etcétera. Cada variable tiene un nivel de detalle del cual es posible realizar consultas. Por ejemplo, ciertas variables poseen información por día. Otras sólo a nivel mensual. Por ejemplo, la variable pasajeros es posible de filtrarla tanto para un aeropuerto como ruta específica. Es decir, puedo conocer cuántos pasajeros volaron en una determinada ruta y que utilizaron un aeropuerto en específico el 2 de septiembre del 2007. Algunas variables no permiten acciones al nivel de detalle descrito.

Para el presente trabajo, todas las variables escogidas se pueden de analizarlas con filtros a nivel mes, país, negocio (para excluir vuelos internacionales de domésticos), aeropuerto y ruta.

Las estadísticas utilizadas en el presente trabajo, así como su respectiva descripción, se presentan a continuación.

- **Air time:** es una estadística que corresponde a las horas de vuelo comprendidas desde que un avión despegue hasta que aterriza. Se utiliza el código ST01 para representarla en las bases de datos.
- **ASK:** el indicador *ASK* se define como el producto entre el número de asientos y los kilómetros recorridos por un avión. El código empleado para identificarla es ST02. Este indicador es uno de los más utilizados en la industria para normalizar costos entre aviones diferentes. En la Figura 1.5 se utiliza ASM, que en lugar de kilómetros, se emplean millas.
- **Block time:** la estadística *Block time* corresponde al tiempo que transcurre desde que un avión se encuentra en la losa del aeropuerto de origen esperando pasajeros, hasta que todos ellos desocupan el avión en el aeropuerto de destino. Se identifica con el código ST04.
- **Cabin hours:** es una medida del tiempo del trabajo de los tripulantes de cabina. Se

utiliza el código ST05 para esta variable.

- **Fuel consumption:** el consumo de combustible de un avión es representado en esta variable, a través de cantidad de galones utilizados. Se identifica con el código ST08.
- **Pasajeros transportados:** el indicador representado por el código ST12 corresponde al número de pasajeros transportados.
- **Frecuencias por tramo:** las *Frecuencias por tramo* corresponden a las frecuencias de los vuelos. Por ejemplo, si en un día sólo se realiza un vuelo de Santiago a Lima, la frecuencia para esa ruta es uno. Si se pide sólo para el aeropuerto de despegue (aterrizaje), el valor corresponde a 0,5 (la ruta cumple una frecuencia cuando llega al aeropuerto de destino). Esta variable es identificada como ST20.
- **Pasadas por posta nominal:** el número de veces que un avión pasa por un aeropuerto particular corresponde a las *Pasadas por posta nominal*. Su código es ST24.
- **Pasadas equivalentes:** es un ajuste de la estadística anterior. Corresponde a las *Pasadas por posta nominal* por un factor, para representar el tamaño de los aviones involucrados en términos de cantidad de asientos. Se toma como base el modelo B767 de 221 asientos. Así, el factor se obtiene dividiendo el número de asientos de los aviones en estudio por 221. El código de esta variable es ST21.
- **Kilómetros recorridos:** como su nombre indica, la variable Kilómetros recorridos representa la cantidad de kilómetros que recorre un avión. Su código es ST61.

## 5.5. Modelos de Datos

Para analizar los datos en miras de obtener un modelo explicativo y predictivo de costos, se utilizan cuatro modelos de datos.

Los modelos escogidos, a diferencia de los modelos de caja negra, permiten tener un conocimiento de los pasos y/o parámetros escogidos por los algoritmos, lo que está en concordancia con la óptica explicativa del problema; no basta solamente con predecir bien, el modelo debe tener un sentido de negocio.

Si el problema fuera meramente predictivo, sin necesidad de entender las razones que justifican la tendencia de las curvas, se podrían utilizar modelos de “caja negra”. Sin embargo, la calidad interpretativa es una de las restricciones del estudio.

Los modelos escogidos se detallan a continuación.

### 5.5.1. Regresión OLS

Como es mencionado 5.1 para analizar datos de la industria aerocomercial, los modelos econométricos basados en regresiones mediante minimización de cuadrados (*Ordinary Least Squares*) son ampliamente utilizados. La simplicidad e interpretabilidad son unas de las principales razones de su uso. Sin embargo, el supuesto de linealidad disminuye la flexibilidad del modelo.

Para  $p$  variables explicativas, la regresión OLS corresponde a:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \varepsilon$$

donde  $y$  es la variable dependiente,  $\beta_0$  es el intercepto,  $X^i$  corresponde a la  $i$ -ésima variable explicativa del modelo, acompañada de su respectivo coeficiente  $\beta_i$  y  $\varepsilon$  corresponde al error del modelo [107].

Las siglas OLS indican que para estimar los coeficientes  $\beta_i$  del modelo, se minimiza la siguiente expresión [107]:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i^1 - \dots - \beta_p X_i^p)^2$$

Para el presente trabajo, se ocupa la clase `lm` en R para ajustar modelos a través de regresiones OLS [22].

### 5.5.2. SVM: Support Vector Machine

*Support Vector Machine* es una clase de algoritmos específicos caracterizados por el uso de *kernels* (transformaciones para tratar casos no lineales). La idea intuitiva aplica a problemas de clasificación pero también es aplicable a problemas de regresión. La idea principal se basa en la implementación de límites a las curvas buscando minimizar errores [57].

Para un caso lineal, dada una curva que se intenta modelar, SVM propone dos límites que se sitúan a una cierta distancia del valor real, según una función de pérdida que también permite dejar fuera ciertos valores que se alejan de la tendencia general. La banda formada por los dos límites es llamada como "banda epsilon intensiva" [57]. Esto se ilustra en la Figura 5.2.

Para casos no lineales, SVM permite realizar transformaciones, llamadas *kernels* que permiten aumentar la dimensión del problema y así poder tratar linealmente problemas no lineales. Aunque la Figura 5.3 muestra un ejemplo no lineal para problemas de clasificación, el concepto es igualmente aplicable en problemas de regresión.

En la Figura 5.3 se busca separar puntos que no son separables por una línea recta.

Se añade una nueva dimensión al problema, tal como muestra la Figura 5.4.

La nueva dimensión, mediante un proceso de transformación, permite separar los datos. Posteriormente se realiza una transformación al plano original, terminando así la clasificación, lo que se ilustra en la Figura 5.5.

SVM es utilizado en la literatura para realizar predicciones. Por ejemplo, ha sido empleado para predecir los recursos de energía eólica y solar [110].

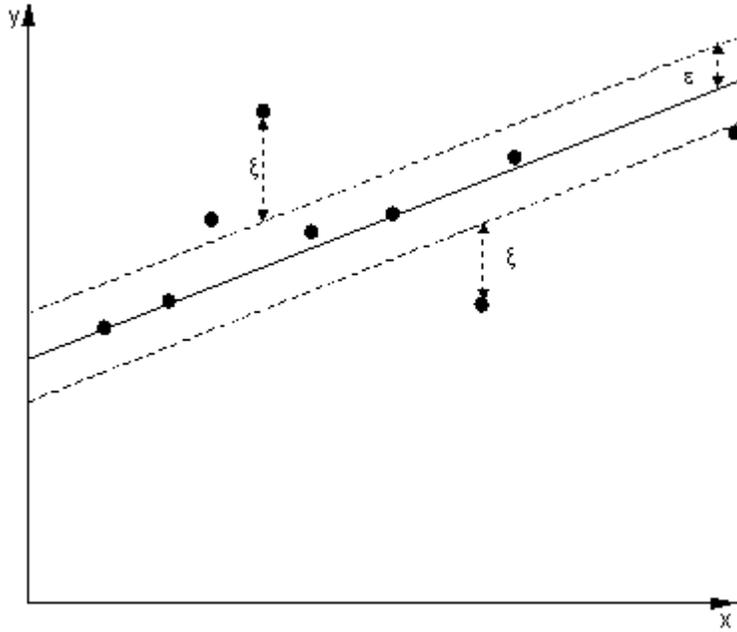


Figura 5.2: Dada una curva lineal de interés, SVM propone dos límites intentando describir la curva dejando fuera ciertos valores que se alejan de la tendencia general.

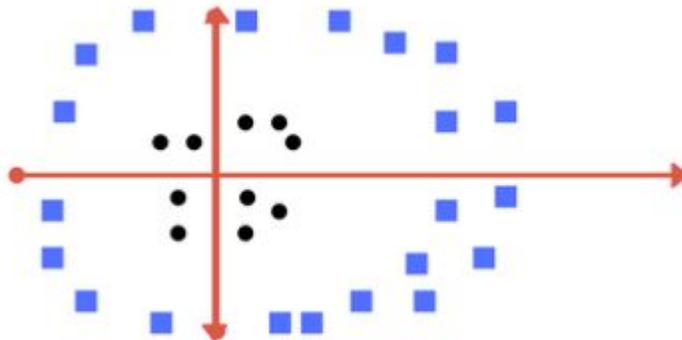


Figura 5.3: Dos clases no separables mediante una línea recta. Fuente: [84].

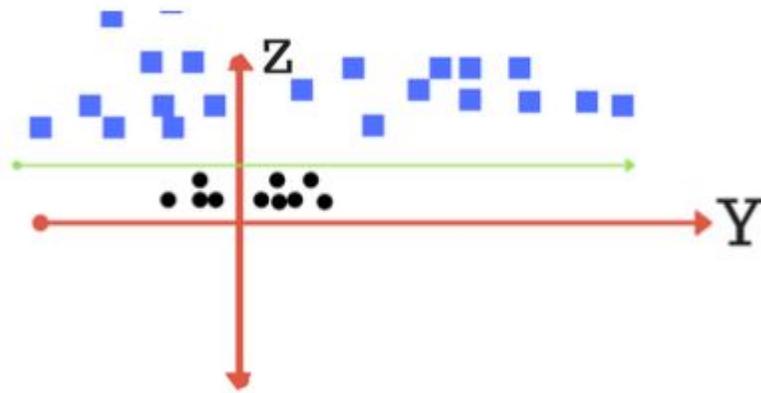


Figura 5.4: SVM añade una nueva dimensión al problema de clasificación no lineal con el objetivo de poder separar las clases linealmente. Fuente: [84].

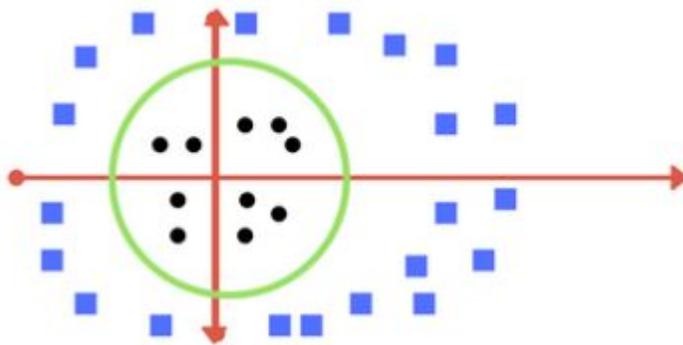


Figura 5.5: Luego de haber separado las clases, SVM aplica una nueva transformación que permite volver al plano original. Fuente: [84].

SVM es reconocido por su *performance* incluso en datos poco estructurados, su flexibilidad ante diferentes tipos de datos debido a los diversos *kernels* y un riesgo bajo de *overfitting*. Entre las desventajas se encuentra la dificultad para encontrar un *kernel* adecuado, un tiempo de entrenamiento largo y dificultad para determinar el peso y el impacto individual de las variables en el modelo final [99].

En **R** se ocupa el *package* `e1071` para implementar SVM, particularmente la clase `svm()` [82].

### 5.5.3. Random Forest

*Random Forest* es un algoritmo basado en árboles de decisión. Estos pueden ser entendidos como una serie de preguntas respecto a los datos. El árbol va aumentando sus ramas a medida que los criterios se van verificando, validando y descartando nodos, hasta llegar a las últimas hojas, que corresponden a las predicciones finales [61].

Los árboles de decisión obtienen mejores resultados al utilizar el conjunto de todos los datos pero esto conlleva un alto riesgo de *overfitting*.

Para mejorar la capacidad predictiva de los árboles de decisión, *Random Forest* implementa un muestreo aleatorio de los datos de entrenamiento al construir los árboles y subconjuntos aleatorios de variables cuando un nodo se separa en dos [61].

*Random Forest* es utilizado en la literatura para predecir curvas. Por ejemplo, es utilizado para la predicción de carga eléctrica a corto término [28].

Dentro de las ventajas de *Random Forest* se puede citar que es un modelo que admite tanto variables lineales como no lineales y que es posible verificar fácilmente la importancia de cada variable a través de los nodos visitados no descartados. Sin embargo, la forma en la que impacta cada variable es difícil de determinar y los modelos pueden resultar costosos en términos computacionales [58].

En **R** se utiliza el *package* `RandomForest` para implementar el algoritmo [16].

**R** permite analizar la importancia de cada variable mediante `importance` [16].

Para analizar la relevancia de cada variable, la función `importance` estudia cada árbol, que tiene asociado una muestra de datos no utilizados durante su construcción. En primer lugar, se utiliza una métrica para medir la *performance* sobre dicho conjunto. *R* emplea MSE (Ver Sección 5.5.5) para este fin. Posteriormente, los valores de la variable en cuestión de la muestra de datos son mezclados aleatoriamente, sin distorsionar los valores asociados a otras variables. La disminución del desempeño del modelo al realizar este procedimiento es cuantificado. Esto se realiza para todos los árboles. Si la variable es importante, se espera que se obtengan peores resultados al utilizar la variable distorsionada. Al contrario, si al transformar la variable, el valor de la métrica no empeora significativamente, o incluso mejora, esto se puede interpretar como un indicador de que la variable no tiene gran importancia en el modelo [44]. La función `importance` calcula el error al distorsionar la variable y el error con los datos no modificados

para todos los árboles. Posteriormente se calcula el promedio de las diferencias entre dichas métricas y se divide por la desviación estándar de las diferencias. En caso de que la desviación estándar sea 0, la división no es efectuada, pero el promedio calculado es casi siempre igual a 0 en dicho caso [16].

#### 5.5.4. Procesos Gaussianos

Un *Proceso Gaussiano* se puede definir como una distribución de probabilidad sobre funciones que intentan describir una curva [60].

Para encontrar la función más adecuada en el espectro de funciones generadas por la distribución, se utiliza Inferencia Bayesiana, que es un método de *Data Science* basado en el teorema de Bayes de probabilidad [18], cuya fórmula es:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)}$$

donde  $A$  y  $B$  son eventos,  $P(A|B)$  es la probabilidad condicional que el evento  $A$  ocurra dado que ocurrió el evento  $B$ ,  $P(B|A)$  tiene el mismo significado, con los eventos invertidos y  $P(A)$  y  $P(B)$  son las probabilidades marginales de que el evento  $A$  y  $B$  ocurran respectivamente.

El enfoque bayesiano da lugar a creencias *à priori* respecto al comportamiento de la curva, que en caso de *Procesos Gaussianos* corresponden a los *kernels*, donde se pueden citar *kernels* lineales, polinomiales, de base radial, entre varios otros.

En **R** el *package kernlab* provee herramientas para la implementación de *Procesos Gaussianos* [108].

Los *Procesos Gaussianos* son utilizados en predicción. Por ejemplo, se ha empleado este algoritmo para predecir demanda de electricidad [15].

Dentro de las ventajas de los *Procesos Gaussianos* se pueden citar su versatilidad, dada la existencia y posibilidad de creación de diferentes *kernels*, así como su enfoque probabilístico que permite tomar decisiones en términos de porcentajes. Dentro de las desventajas, se puede nombrar la pérdida de eficiencia para problemas de multidimensionales. Este inconveniente se aprecia cuando se trabaja cuando los datos exceden algunas docenas de variables [95].

#### 5.5.5. Métricas de comparación

- **MAPE (Mean Absolute Percentage Error)**: corresponde a una métrica de la precisión de un modelo predictivo. Esta precisión es medida como un porcentaje y se interpreta como el error promedio que tendrá una predicción respecto al valor real. Su fórmula es:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left| \frac{A_j - F_j}{A_j} \right|$$

donde  $n$  corresponde al número de predicciones,  $A_j$  el valor real asociado al índice  $j$  y  $F_j$  su respectiva predicción [100].

El MAPE tiene como ventajas que es de fácil interpretación y no depende de la escala del problema, lo que es útil cuando se desea testear varios modelos. Otras métricas, como  $R^2$  dependen de la talla del problema. Sin embargo, no considera la dirección de los errores, dado que toma el valor absoluto de las diferencias. [59].

- **MAE (Mean Absolute Error)**: mide la magnitud promedio del error en unidades de la variable dependiente, sin considerar la dirección del error. Su fórmula es:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |A_j - F_j|$$

donde  $n$  indica el número de predicciones,  $A_j$  el valor real asociado al índice  $j$  y  $F_j$  su respectiva predicción [55].

La principal diferencia con MAPE es que el MAE entrega el error en las unidades del negocio, a diferencia del MAPE, lo que puede resultar útil para un lector experto. Para alguien más alejado del tema de interés, le es más práctico comprender los errores en términos de porcentaje y el MAPE ofrece esta posibilidad. Las ventajas y desventajas con respecto a otras métricas son idénticas a las del MAPE [55].

- **MSE (Mean Squared Error)**: mide básicamente el promedio de los errores cuadrados de las predicciones de un modelo. Se define con la siguiente fórmula:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (A_j - F_j)^2$$

donde  $n$  indica el número de predicciones,  $A_j$  el valor real asociado al índice  $j$  y  $F_j$  su respectiva predicción [27].

Entrega una visión promedio de cuán alejados están los valores predichos de los reales. Sin embargo, el componente cuadrático podría implicar lecturas incorrectas como una sobreestimación del error para valores elevados o, al contrario, una subestimación para cuando los errores son menores que 1.

Es una métrica utilizada para determinar la importancia de las variables en el modelo *Random Forest* (Ver Sección 5.5.3).

# Capítulo 6

## Metodología

La metodología propuesta a continuación la revisión del estado del arte en términos de modelos de costos para aerolíneas, una revisión de la realidad actual de la compañía, la comprensión de los datos actuales de LATAM, un estudio de modelos potenciales para crear valor a partir de los datos, la aplicación y posterior análisis de los modelos propuestos, la selección de un modelo definitivo y finalmente concluir con las oportunidades de reducción de costos encontradas, objetivo del presente trabajo.

### 6.1. Análisis del estado del arte

Se analizan los modelos de Data Science actuales con potencial de utilización en el caso de estudio, los modelos utilizados por empresas del rubro y recomendaciones de la literatura en el mundo aeronáutico, tanto en términos de modelos como de variables escogidas para detectar oportunidades de reducción de costos. Asimismo, se estudian las métricas empleadas en la literatura que permitan la comparación entre diferentes propuestas.

### 6.2. Comprensión del estado actual de la compañía en materia de gestión de costos

#### 6.2.1. Comprensión de la estructura de costos contable actual de LATAM

Se comprenden y determinan las líneas de costo más importantes para encontrar oportunidades de reducción de costos.

Se busca entender como el modelo contable de costos refleja la realidad y como la información se traspa desde las acciones de compra-venta hasta la recolección de datos a nivel de

Control de Gestión, estudiando las posibles pérdidas o ambigüedades de información durante el traspaso de información por diferentes niveles.

### **6.2.2. Análisis de KPIs operacionales influyentes en los costos**

Se estudian las métricas y KPIs operacionales con el objetivo de determinar aquellas que se encuentren más relacionadas con potenciales oportunidades de reducción de costos. La finalidad de identificar indicadores propios a la operación es de contar con variables que se pueden modificar mediante un mejor desempeño en caso de existir ineficiencias y que no dependen de factores externos como tipos de cambio, inflación, etcétera.

### **6.2.3. Análisis de factores exógenos que influyen en los costos operacionales**

Se analizan factores exógenos a la operación que influyen en los costos, para diferenciarlos de los endógenos y así poder identificar las variables ajenas a la operación, que LATAM no puede modificar a través de un mejor desempeño, pero que repercuten en los costos. Dentro de estas variables exógenas se pueden citar los tipos de cambio, precios de combustible, variables de inflación, entre otras.

### **6.2.4. Análisis de las líneas de costo más relevantes en términos de peso monetario**

El negocio aéreo tiene asociado diversas líneas de costos (Para línea de costo, ver Sección 2.2.3) dada la diversidad de actores que son implicados. Se pueden citar facturas asociadas a la infraestructura aeroportuaria, flota, mantenimiento, combustible, tasas, entre muchas otras. Se determinan las más importantes para focalizarse en encontrar oportunidades de reducción en aquellas y de esta forma generar un impacto mayor.

### **6.2.5. Análisis estadístico de los factores endógenos y exógenos**

Contando con los datos de costos y las variables exógenas y endógenas, se realiza un estudio estadístico con el objetivo de encontrar relaciones entre ellos y así identificar oportunidades de eficiencia.

Se ha escogido la metodología CRISP-DM [98], que, por sus etapas, resulta la más adecuada para este estudio. Se añaden pasos adicionales para abarcar toda la misión. En efecto, como muestra la Figura 6.1, el método CRISP-DM tiene etapas que se enfocan en encontrar una solución de una perspectiva de negocio, mientras que KDD se centra en los pasos correctos a seguir para tener algoritmos exitosos. Aunque ambos puntos son importantes,

Data Mining Process Models	KDD	CRISP-DM	SEMMA
No. of Steps	9	6	5
Name of Steps	Developing and Understanding of the Application	Business Understanding	-----
	Creating a Target Data Set	Data Understanding	Sample
	Data Cleaning and Pre-processing		Explore
	Data Transformation	Data Preparation	Modify
	Choosing the suitable Data Mining Task	Modeling	Model
	Choosing the suitable Data Mining Algorithm		
	Employing Data Mining Algorithm		
	Interpreting Mined Patterns	Evaluation	Assessment
	Using Discovered Knowledge	Deployment	-----

Figura 6.1: Comparativo entre las metodologías KDD, CRISP-DM y SEMMA (en inglés). Fuente: [98].

se prefiere una visión más *business* para tener la perspectiva necesaria sin enfrascarse en el código. Por otro lado, el método SEMMA puede ser demasiado simplista para los objetivos.

### 6.2.6. Comprensión del modelo actual (versus literatura)

Un poco antes del primer paso de la metodología CRISP-DM propiamente tal, se incorpora la realización de un estudio del estado del arte de los modelos existentes en la literatura.

Posteriormente, ya dentro del marco de CRISP-DM, se procede a analizar el modelo actual, para comprender su funcionamiento e identificar puntos de mejora.

El estudio del estado del arte y el análisis del modelo actual dan lugar a un benchmarking completo para continuar el estudio.

### 6.2.7. Comprensión de los datos

Se observan los datos y se realiza un análisis exploratorio para descubrir anomalías e identificar los primeros patrones de conducta.

## 6.3. Diseño del modelo

### 6.3.1. Preparación de los datos

Los datos se transforman para convertirse en *inputs* de modelos de datos, sin valores anómalos y se realizan eventuales operaciones para facilitar su uso o corregir problemas.

### 6.3.2. Creación de nuevo(s) modelo(s)

En esta fase se utiliza un modelo para extraer patrones de comportamiento. En este caso, se intenta explicar y predecir la curva de costos.

### 6.3.3. Evaluación

Los resultados matemáticos deben tener una interpretación en el negocio, que sea constatable en la realidad. Estos se deben analizar en conjunto con expertos de LATAM para que evalúen la pertinencia y sugieran puntos de mejora.

## 6.4. Testeo y Mejora

A partir de los resultados de la evaluación se realizan mejoras y se iteran los puntos anteriores para llegar a un modelo definitivo, tomando en cuenta las métricas establecidas, las sugerencias de personal experto de LATAM y la capacidad del modelo para alertar oportunidades de reducción de costos.

## 6.5. Modelo final y propuestas de mejora

### 6.5.1. Establecer un modelo explicativo y predictivo de los costos a partir de los factores

A partir del estudio anterior, se propone un modelo que pueda explicar y realizar proyecciones de costos a partir de diversas variables, con un mejor desempeño que el modelo actual y a menor costo (en términos de tiempo de personal).

### **6.5.2. Proponer estrategias de reducción de costos a partir de los resultados encontrados**

A partir de los resultados encontrados en los pasos anteriores, se identifican oportunidades de mejora en términos de reducción de costos. Se proponen estrategias para atacar las ineficiencias a partir de la historia de LATAM, la experiencia de otras aerolíneas en el mundo y las recomendaciones mencionadas en la literatura.

# Capítulo 7

## Resultados

### 7.1. Supuestos sobre los datos

Tradicionalmente, los análisis sobre los datos se realizan a nivel de ruta (Ver Sección 5.4.1). Como ha sido mencionado en la Sección 2.4, a pesar que LATAM posee información contable histórica de, al menos 10 años, la gestión de los datos no ha sido rigurosa. Esto implica que los datos no se pueden comparar en una escala de tiempo superior a los dos últimos años, donde no se han realizado modificaciones importantes. Diferentes cuentas contables nuevas que han aparecido se han agregado a diferentes líneas sin dejar un historial de modificaciones (Para definición de líneas y cuentas, ver Sección 2.2.3). Otras se han movido de una a otra. Esto, aunque no presenta problemas para el área de control de gestión en el día a día, impide la realización de análisis sobre el desempeño contable a través de diferentes variables en el largo plazo.

Dada esta situación, y considerando que las facturas son mensuales, sólo se pueden obtener 24 observaciones para cada ruta (para ruta, ver Sección 5.4.1). Para los vuelos nacionales, dado que los equipos de negociación con proveedores son los mismos y se repiten diferentes prestadores de servicios, condiciones legislativas y fiscales, se considera que las rutas domésticas son comparables entre sí.

Como se explica en 2.4, si los resultados, bajo las premisas actuales, son mejores que el modelo actual, una situación futura donde se posea una mayor cantidad de datos para ruta debería tener resultados más sobresalientes. Esto sería un incentivo para poseer una mejor gestión de datos, que no desperdicie el potencial de años por cambios y modificaciones repentinas que responden a soluciones simplistas en el día a día pero que acarrearán consecuencias en el largo plazo.

## 7.2. Área de control de gestión y el manejo de datos

El área de control de gestión se encuentra focalizada en sus misiones diarias, que, a menudo, se reducen a encontrar concordancia entre las diferentes facturas y servicios prestados. El análisis de datos, desde una perspectiva de largo plazo, representa una innovación y también un desafío. A diferencias de otras áreas de LATAM, como marketing, donde se realizan diferentes modelos como clusterización de clientes, modelos de propensión, por citar algunos ejemplos, en control de gestión el presente proyecto representa una tentativa pionera de crear valor a partir de los datos.

Un ejemplo del enfoque a corto plazo de control de gestión es que, de la plataforma BEX (Ver Sección 5.2), los datos de un año  $n-2$  al año en curso son retirados al cabo de dos o tres meses del año  $n$ . Esto implica que se debe solicitar datos a analistas específicos que tienen acceso y saben ocupar otras plataformas destinadas a datos históricos, que no poseen necesariamente los mismos formatos, lo que agrega burocracia y complejidad al análisis de datos.

La falta de automatización es una fuente de errores. Las facturas son, en general, ingresadas manualmente por personal de LATAM en diferentes lugares del mundo. Ciertos montos son agrupados posteriormente en conjuntos llamados cuentas contables (Ver Sección 2.2.3). Control de gestión recibe un nivel de agrupación de los datos tal que no es posible llegar al detalle de las facturas. Los eventuales errores que se pudieron haber cometido por el camino, son, en consecuencia, difíciles de detectar. Por otro lado, tampoco existe un protocolo definido de la forma de ingresar los datos de facturas al sistema. Ciertos individuos deciden, en el caso de poseer dos facturas por dos servicios brindados, ingresar el monto agregado de las dos operaciones, en lugar de ingresar una a la vez. Esto impide establecer un seguimiento de la cantidad de servicios o productos comprados o vendidos. La información, también depende de cada proveedor, que varía de país en país, lo que, en definitiva, ensucia los datos e impide establecer relaciones entre productos o servicios y montos.

## 7.3. Expectativas del área

Los análisis habituales, con 24 datos (o incluso 12) para cada ruta, correspondiendo a la cantidad de meses por el período de 2017 a 2018 son habituales en control de gestión. Los conceptos de Data Science, que comienzan a ser escuchados por diferentes medios, han hecho eco en el área. Sin embargo, los modelos que son implementados, debieron ser previamente explicados, aclarando y derribando ciertas expectativas. Por ejemplo, se solicitó una red neuronal sobre 24 observaciones, con resultados interpretables fácilmente, lo que escapaba de lo viable. Se debió buscar en conjunto simplificaciones para poder aumentar la cantidad de datos, así como verificar la pertinencia de realizar los modelos (Ver Sección 2.4) y decidir qué tipo de modelos se utilizarían, donde algoritmos de caja negra, como las redes neuronales, fueron descartados, por la complejidad en la interpretación.

## 7.4. Datos

Los datos corresponden a 56 columnas con 465 observaciones que corresponden a diferentes datos de rutas para el negocio doméstico chileno.

El período estudiado corresponde al año 2017 y 2018. Años anteriores no son estudiados puesto que hubo un cambio en la estructura contable que no es compatible con la actual.

Cada fila corresponde a los datos mensuales de alguna ruta (Ver Sección 5.4.1). Esta ruta se entiende como un viaje ida-vuelta. Cada variable corresponde a la suma o promedio, dependiendo de la naturaleza y disponibilidad en la fuente de datos de cada variable. Así, por ejemplo, para la ruta Santiago-Osorno, se presentan la cantidad de pasajeros mensuales.

Los datos son previamente filtrados eliminando valores erróneos, como rutas con pasajeros pero sin vuelos y situaciones similares.

A continuación, se presentan las columnas de la base de datos. Estas se clasifican en variables endógenas, que dependen totalmente de la operación, y variables exógenas, que están en función de factores externos, como por ejemplo, la situación económica. De igual forma, se controla por aeropuerto, que no se clasifica en ningún grupo, dado que las tarifas son fijadas por organismos externos a LATAM. Aunque pueden existir negociaciones, los precios no cambian por las variaciones de la operación pero la decisión de utilizarlos depende de LATAM.

Las variables endógenas escogidas son las utilizadas con mayor frecuencia en LATAM actualmente. Aunque dentro de las bases de datos es posible contabilizar al menos 30 más, estas no pueden ser utilizadas al nivel de detalle requerido, o bien, ya no son actualizadas por lo que no se cuenta con datos para los períodos analizados.

### 7.4.1. Variables endógenas

- **ST01 - Air time:** es una estadística que corresponde a las horas de vuelo comprendidas desde que un avión despega hasta que aterriza. Se utiliza el código ST01 para representarla en las bases de datos.
- **ST02 - ASK:** el indicador *ASK* se define como el producto entre el número de asientos y los kilómetros recorridos por un avión. El código empleado para identificarla es ST02. Este indicador es uno de los más utilizados en la industria para normalizar costos entre aviones diferentes. En la Figura 1.5 se utiliza *ASM*, que en lugar de kilómetros, se emplean millas.
- **ST04 - Block time:** la estadística *Block time* corresponde al tiempo que transcurre desde que un avión se encuentra en la losa del aeropuerto de origen esperando pasajeros, hasta que todos ellos desocupan el avión en el aeropuerto de destino. Se identifica con el código ST04.
- **ST05 - Cabin hours:** es una medida del tiempo del trabajo de los tripulantes de cabina. Se utiliza el código ST05 para esta variable.

- **ST08 - Fuel consumption:** el consumo de combustible de un avión es representado en esta variable, a través de cantidad de galones utilizados. Se identifica con el código ST08.
- **ST12 - Pasajeros transportados:** el indicador representado por el código ST12 corresponde al número de pasajeros transportados.
- **ST20 - Frecuencias por tramo:** las *Frecuencias por tramo* corresponden a las frecuencias de los vuelos. Por ejemplo, si en un día sólo se realiza un vuelo de Santiago a Lima, la frecuencia para esa ruta es uno. Si se pide sólo para el aeropuerto de despegue (aterrizaje), el valor corresponde a 0,5 (la ruta cumple una frecuencia cuando llega al aeropuerto de destino). Esta variable es identificada como ST20.
- **ST24 - Pasadas por posta nominal:** el número de veces que un avión pasa por un aeropuerto particular corresponde a las *Pasadas por posta nominal*. Su código es ST24.
- **ST21 - Pasadas equivalentes:** es un ajuste de la estadística anterior. Corresponde a las *Pasadas por posta nominal* por un factor, para representar el tamaño de los aviones involucrados en términos de cantidad de asientos. Se toma como base el modelo B767 de 221 asientos. Así, el factor se obtiene dividiendo el número de asientos de los aviones en estudio por 221. El código de esta variable es ST21.
- **ST61 - Kilómetros recorridos:** como su nombre indica, la variable Kilómetros recorridos representa la cantidad de kilómetros que recorre un avión. Su código es ST61.
- **A319:** variable que indica el número de aparatos A319 utilizados.
- **A320:** variable que indica el número de aparatos A320 utilizados.
- **A321:** variable que indica el número de aparatos A321 utilizados.
- **A330:** variable que indica el número de aparatos A330 utilizados.
- **A350:** variable que indica el número de aparatos A350 utilizados.
- **B747:** variable que indica el número de aparatos B747 utilizados.
- **B767:** variable que indica el número de aparatos B767 utilizados.
- **B777:** variable que indica el número de aparatos B777 utilizados.
- **B787:** variable que indica el número de aparatos B787 utilizados.
- **B789:** variable que indica el número de aparatos B789 utilizados.
- **Otros:** variable que indica el número de aparatos utilizados de un modelo diferente a los mencionados previamente.
- **Atrasos de despegue:** promedio del tiempo, en minutos, de atraso de los aviones respecto a la hora prevista de despegue.
- **Atrasos de aterrizaje:** promedio del tiempo, en minutos, de atraso de los aviones respecto a la hora prevista de aterrizaje.

#### 7.4.2. Variables exógenas

- **Temporada:** variable que indica la temporada del vuelo. El período de baja demanda en Chile se presenta en los meses de abril, mayo, junio, septiembre, octubre y noviembre. La alta engloba los meses de pleno verano y los de nevadas en centros de esquí [90].

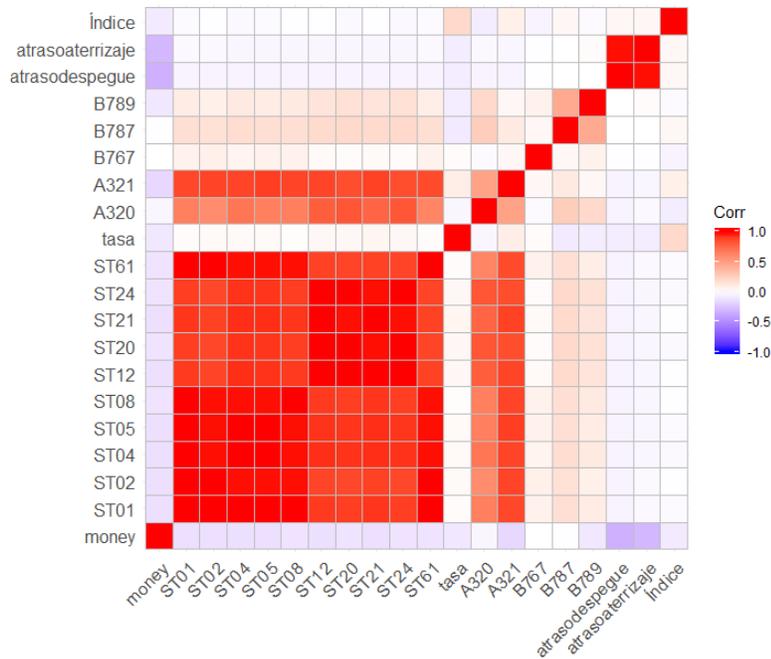


Figura 7.1: Correlograma de variables. La variable money corresponde al costo, tasa a la tasa de cambio USD/CLP e Índice al PIB chileno. Gráfico generado con el *package* ggcorrplot [56] de R.

- **Tasa de cambio USD/CLP:** En vista de que ciertos proveedores facturan en dolares, se incluye como variable en el modelo la tasa de cambio USD/CLP [51]. Corresponde al promedio mensual.
- **PIB nacional:** se incorpora el PIB mensual de Chile para evaluar la influencia de la situación económica del país en los costos [52].

### 7.4.3. Aeropuertos

Se incorporan dos variables que indican el aeropuerto de despegue y el de aterrizaje respectivamente. Además, para controlar por un aeropuerto en particular se incluyen variables binarias para cada aeropuerto indicando si la ruta en cuestión pasó o no por dicho aeropuerto. Ciertas infraestructuras aeroportuarias no se incluyen por ausencia o inconsistencias en los datos.

### 7.4.4. Análisis Exploratorio de Datos

Con respecto a tipos de aviones, se constata que varios aviones no vuelan en el negocio doméstico o tienen vuelos ocasionales, que se explican debido a reemplazos excepcionales. Así, no se consideran para el análisis los modelos A319, A330, A350, B747, B777 y ZZZZ.

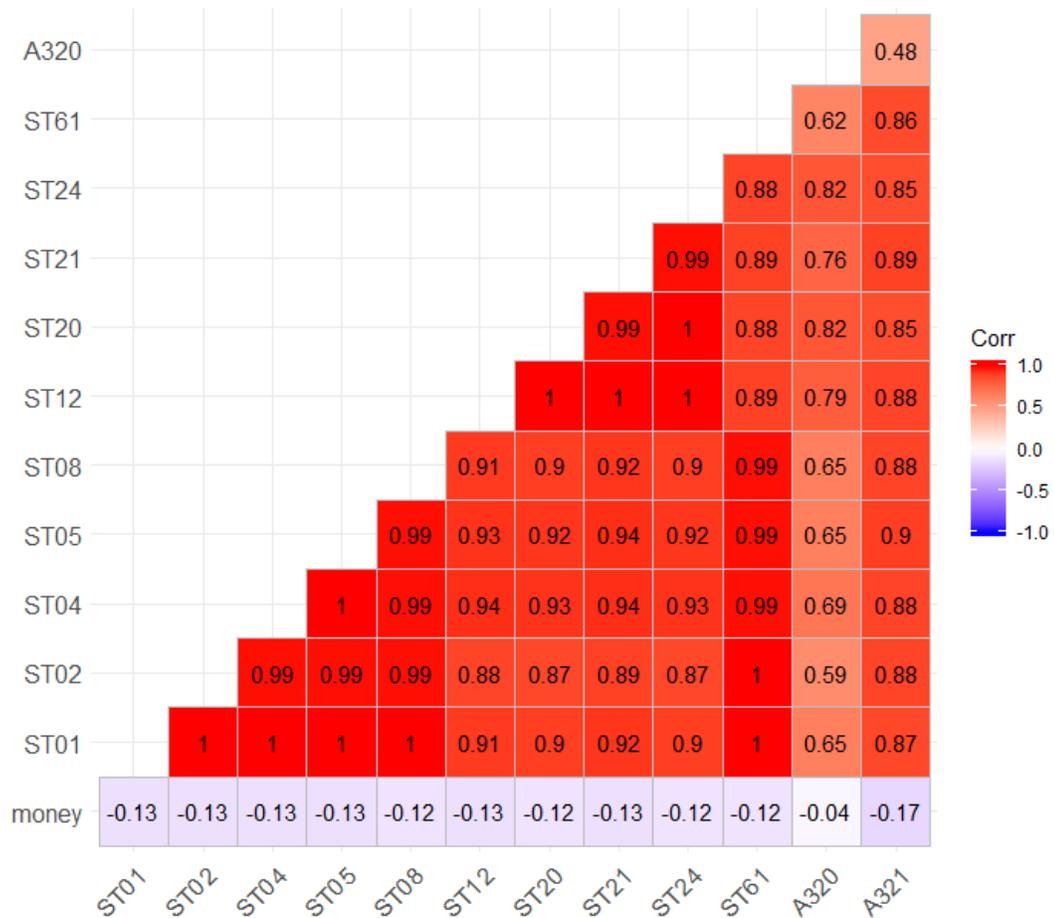


Figura 7.2: Correlograma de variables estadísticas. La variable money corresponde al costo *package ggcorrplot* [56] de **R**.

Analizando la Figura 7.1 se observa que las estadísticas poseen un nivel de correlación importante entre ellas, así como con los modelos A320 y A321. Por ello, se analizan individualmente. La Figura 7.2 muestra un correlograma analizando dichas variables particularmente.

Ciertas estadísticas poseen un nivel de correlación 1 o muy cercano a uno, que motivan a dejar una de todas. El grupo formado por ST01, ST02, ST04, ST05, ST08 y ST61 posee correlación 1. Salvo ST02, ST08 Y ST61, estas variables representan el tiempo de vuelo. ST08 corresponde al consumo de combustible, que es esperable que tenga una correlación elevada con el tiempo de vuelo, dado que a mayor tiempo de vuelo, mayor consumo de combustible. ST02 corresponde al producto de asientos disponibles por kilómetros. Es también esperable que los kilómetros recorridos y el uso de combustible estén altamente correlacionados. Naturalmente, se espera la misma conclusión para ST61, que corresponde a los kilómetros recorridos. Por lo tanto, se opta por dejar una de estas variables para los modelos. Se escoge ST02 por ser una estadística ampliamente en los sistemas internos de LATAM.

Las variables ST12, ST20, ST21 y ST24 también tienen correlación 1. ST20, ST21 Y ST24 representan la cantidad de trayectos de una ruta, por lo que es esperable que tengan una correlación elevada. ST12 corresponde al número de pasajeros. Esto indica que el número de

Modelo	MAPE Entrenamiento	MAPE Test
Modelo actual*	1,25	1,25
Regresión	3,66	2,53
SVM Radial	1,20	0,86
Random Forest	1,28	0,84
G.P. Radial	1,00	1,12

Tabla 7.1: Mejores modelos obtenidos con los cuatro algoritmos utilizados. Los otros resultados obtenidos de menor relevancia se encuentran en Anexos 7.5. \**La distinción entre entrenamiento y test no aplica para los valores del modelo actual.*

pasajeros varía según la oferta de vuelos (más trayectos, más pasajeros). Se opta por dejar la variable ST12 por ser la ocupada actualmente para el modelo de predicción de Variable Handling.

### 7.4.5. Conjunto de entrenamiento y test

Los datos se separan aleatoriamente en un conjunto de entrenamiento (75 % de los datos) y un conjunto de test.

## 7.5. Resultados de modelos

### 7.5.1. Resultados generales

La Tabla 7.1 muestra los resultados en términos de MAPE para los modelos con mejores resultados aplicados sobre la base de datos, tanto para el conjunto de entrenamiento como para test. La métrica MAE ha sido omitida por motivos de confidencialidad.

El modelo actual de LATAM tiene un MAPE de 1.25. Tanto SVM Radial, como Random Forest y G.P. Radial ofrecen mejores *performances* que el modelo actual de LATAM.

La regresión ofrece resultados peores que el modelo actual de LATAM. Sin embargo, su interpretabilidad es una de sus mayores ventajas, como es indicado en 5.5.1, lo que adquiere relevancia dentro de una óptica explicativa. Sin embargo, la incorporación de no-linearidades al modelo permite mejores resultados, lo que se evidencia con las mejores métricas para los otros algoritmos.

Para predicción, el resultado con mejor MAE y MAPE es *Random Forest*. Este modelo permite analizar el peso o importancia de cada variable en la construcción del modelo y, a diferencia de la regresión, incorpora relaciones no lineales.

Los resultados de *Random Forest* son complejos de interpretar 5.5.2, lo que es una desventaja dentro de una óptica explicativa y no meramente predictiva.

Tomando en cuenta lo anterior, se propone predecir (es decir, crear presupuestos) y establecer la importancia de las variables en el modelo mediante *Random Forest*. No obstante, la complejidad de interpretación de la tendencia de la influencia de las *features* en *Random Forest* motivan a utilizar la regresión, para cumplir con el requisito explicativo del presente trabajo. No obstante, se debe tener en cuenta que dichos resultados asumen un supuesto de linealidad que, para los datos estudiados, no entrega las mejores *performances*. De esta forma, los resultados de la regresión usados meramente con fines interpretativos, muy apreciados en el área de control de gestión.

Se presentan los resultados de la regresión para las variables significativas al 95 % y 90 %. Ver Tabla 7.2.

Se analiza la importancia de variables según *Random Forest*, que se encuentra en la Tabla 7.3. La forma de determinar la importancia está descrita en Marco Teórico, Sección 5.5.3.

En todos los algoritmos, los tiempos de ejecución no superan los 10 segundos. Particularmente para *Random Forest*, el tiempo de ejecución es de 0,97 segundos.

## 7.5.2. Análisis conjunto de *Random Forest* y regresión

En la Tabla 7.3 se observa que las dos variables más importantes para *Random Forest* son la inflación y la tasa de cambio USD/CLP. Esto indica que los costos de *Variable Handling* dependen de factores exógenos a la operación y que, por lo tanto, no se pueden mejorar mediante ella. La regresión (Tabla 7.2) indica que el incremento en una unidad de tipo de cambio hace aumentar los costos en 112,7 US\$ de una ruta doméstica nacional. Por otra parte, un aumento en un punto de inflación se traduce en un incremento de 1.407 US\$ para un mes en una ruta. La tendencia positiva entre costos y estas variables es esperada, dado que a mayor inflación, los precios suben y a mayor tasa de cambio, los servicios brindados en dolares son más caros.

La alta importancia de la tasa de cambio y la inflación indican también que disminuciones (aumentos) en costos pueden explicarse netamente por agentes exógenos y no debido a una mejor (peor) operación.

La tercera variable más importante para *Random Forest* es operacional y corresponde al número de pasajeros (ST12). Bajo la restricción del modelo actual de que una línea de costo debe ser explicada mediante una sola variable, esta es la más indicada según la tabla de importancia, que es la utilizada actualmente. La regresión indica que un pasajero adicional tendría un costo adicional de 1,1 US\$, resultado esperado dado que un pasajero adicional indica mayores servicios a entregar.

La quinta variable más importante es también una variable operacional, ASK (ST02), que corresponde al número de asientos multiplicado por los kilómetros recorridos. El coeficiente en la regresión corresponde a -89,50. El signo negativo puede explicarse por la existencia de “economías de pasada por aeropuerto” : a medida que un avión realiza más trayectos, recorre más kilómetros. Manteniendo el número de pasajeros constante, el costo por kilómetro resulta

Variable	Coficiente
Intercepto	-2,34e+05
Tasa USD/CLP	1,127e+02 [95 %]
Temporada Baja	-8,639e+03 [95 %]
Inflación (PIB)	1,407e+03 [95 %]
Atrasos de despegue	5,047e+02 [95 %]
ST02	-8,950e-01 [95 %]
ST12	1,117e+00 [95 %]
A320	-1,813e+02 [95 %]
A321	-1,069e+02 [90 %]
B789	1,499e+04 [95 %]
ato1 ANF	-1,826e+04 [90 %]
ato1 ARI	2,861e+04 [95 %]
ato1 BBA	1,751e+04 [95 %]
ato1 CJC	-1,705e+04 [90 %]
ato1 IQQ	1,371e+04 [90 %]
ato1 PUQ	3,846e+04 [95 %]
ato2 CCP	1,995e+04 [90 %]
ato2 LSC	1,554e+04 [90 %]
ato2 PMC	-1,934e+04 [95 %]
Atraso de despegue: atraso de aterrizaje	-4,182e+00 [95 %]
ST02:ST12	8,503e-06 [95 %]

Tabla 7.2: Resultados de regresión incluyendo variables significativas al 95 % y 90 %. Las variables iniciando por ato 1 o ato 2 corresponden a *dummies* que indican si la ruta utiliza el (los) aeropuerto(s) en cuestión. El aeropuerto de base es SCL. Los valores de los coeficientes pudieron haber sido modificados por motivos de confidencialidad. La regresión incluyendo variables no significativas se encuentra en Anexos 7.6.

menor.

En cuarto lugar se encuentra la variable A321 con 11,98 puntos de importancia. El A320 en posición novena con 7,2 puntos. Por otro lado, el B767 y el B789 tienen importancia cercana a 0 o incluso negativa, lo que indica que distorsionarlas no influye en el modelo o incluso lo mejora. Dado que un 99,95 % de los vuelos nacionales se realizan en A320 y A321 (Ver Sección 1.4), analizar los otros modelos puede parecer irrelevante, pero puede ser fuente de una oportunidad de reducción de costos si se detectan diferencias importantes. Sin embargo, la regresión indica la variable B767 no es significativa y la B789 significativa, pero con un aumento en los costos. Siendo un avión de mayores asientos y tamaño en consecuencia, este resultado es esperable. Por lo tanto, desde el punto de vista de los datos, no existen razones para intentar reemplazar un A320 o A321 por los modelos mencionados.

En vista de lo anterior, se analiza el A320 y el A321. Es posible apreciar que ambos tienen tendencia negativa respecto al avión de base para la regresión, B767, que es un avión de mayor capacidad y que por tanto, transporta mayor cantidad de pasajeros (Ver Sección 1.4). El A320 es 74,4 US\$ dólares más barato que el A321, lo que es esperable dada la diferencia en tamaño y en pasajeros.

Variable	Importancia
Inflación (PIB)	19,93
Tasa USD/CLP	18,51
ST12	15,53
A321	11,98
ST02	11,92
Atraso de despegue	11,46
Atraso de aterrizaje	10,02
Temporada Baja	7,61
A320	7,21
ato2	5,49
B767	0,00
ato1	-0,97
B789	-1,12

Tabla 7.3: Importancia de variables provista por el *package randomForest* [16]. La variable ato1 o ato2 son variables categóricas que indican el aeropuerto de partida o llegada para una ruta determinada.

La sexta y séptima variable en orden de importancia corresponden a los atrasos de despegue y aterrizaje. Estas variables, también operacionales, pueden ser fuentes de oportunidades de reducción de costos. En efecto, la regresión indica que los atrasos de despegue tiene un costo adicional de 504,7 US\$ mensual por minuto promedio de atraso mensual para una ruta, lo que equivale a un 5,95 % de los costos de *Variable Handling* promedios. Considerando que el promedio de atrasos mensual de despegue es de 12,02 minutos, se lograría reducir los costos en un 53,15 % respecto al promedio de costos reduciendo en 3 minutos los atrasos. Esto sin contar la mejora de percepción de servicios por parte de los clientes debido a puntualidad en la operación.

Un minuto de atraso de despegue tiene un costo de 504,7 US\$. Se observa una leve disminución en los costos de -4,2 US\$ cuando un avión tiene un minuto de atraso de aterrizaje y de despegue, lo que resultaría finalmente en un costo de 500,5 US\$ adicional. Esto podría explicarse a una mejora en productividad de la tripulación durante las operaciones de aterrizaje y desembarque de pasajeros cuando un avión llega atrasado.

Se observa también un fenómeno de estacionalidad respecto a la temporada (Ver Sección 7.4.2). Según la regresión, una ruta puede ser 8,639 US\$ mensuales más económica en temporada baja, lo que es esperable, puesto que para las infraestructuras aeroportuarias, las operaciones con un menor número de pasajeros implica menor personal y logística más expedita que en períodos de alta ocupación. Es posible igualmente que existan dinámicas de oferta y demanda.

Los aeropuertos para *Random Forest* no son importantes en la construcción del modelo. La variable ato1 es negativa, lo que indica que una hipotética ausencia en el modelo es beneficioso para éste. La variable ato2 es la última a tener una importancia mayor que 0,00, lo que indica baja relevancia. Por lo tanto, dado los datos y el modelo, analizar los aeropuertos no pareciera ser crucial para explicar los costos.

### 7.5.3. Análisis por cuenta contable por aeropuerto

A pesar del bajo nivel de relevancia de los aeropuertos según *Random Forest*, se analiza la distribución de costos según las cuentas contables (Ver Sección 2.2.3) para las infraestructuras aeroportuarias significativas al 90 % estudiadas en la regresión (Ver Tabla 7.2). Este análisis no distingue vuelos nacionales e internacionales. Sin embargo, dado que los vuelos internacionales operan fundamentalmente a partir de SCL, el análisis puede considerarse doméstico para todos los aeropuertos salvo para este último.

La Tabla 1.1 muestra que, salvo por SCL, los costos de *Variable Handling* normalizados por la cantidad de pasajeros se reducen a tres cuentas contables; materiales e insumos de aeropuertos, señalética de aeropuertos y materiales para *handling*. Dentro de estas tres, la que representa la gran parte de los costos, con valores oscilando entre el 76 % y 100 %, es materiales e insumos de aeropuertos. De hecho, sin considerar BBA ni SCL, esta línea contable supera el 97 % del total de los costos. Por su parte, BBA y SCL tienen valores de 76,65 % y 15,96 %.

La Figura 7.3 compara los costos de *Variable Handling* por pasajero, por el período comprendido entre 2017 y 2018. Estos valores son normalizados dividiendo por el costo por pasajero más elevado, correspondiente al aeropuerto PUQ. Se aprecia que entre los dos aeropuertos más caros (PUQ, CCP) y los dos más baratos (CJC, ANF) la repartición entre diferentes cuentas contables (Ver Tabla 7.4) es similar, todas con un porcentaje superior al 97 % para materiales e insumos de aeropuertos y el porcentaje restante entre materiales para *handling* y señalética de aeropuertos.

SCL y BBA, los aeropuertos con distribuciones diferentes para las cuentas contables, se encuentran en posición tercera y octava de diez respectivamente. SCL, al poseer información respecto a vuelos tanto nacionales como internacionales, incorpora cuentas propias de este último negocio, como multas de inmigración. BBA posee un gasto en señaléticas de un 22,81 %, porcentaje bastante superior a los otros aeropuertos, cuyo porcentaje nunca sobrepasa los 0,6 %, sin embargo esto no pareciera encarecer los precios de *Variable Handling* dada su posición relativa respecto a los demás aeropuertos.

Excluyendo del análisis a SCL por tener una distribución se diferente, se aprecia que una gran parte de los costos son destinados a materiales e insumos de aeropuertos, por lo que una renegociación de los contratos respecto a esa cuenta contable podría traducirse en mejoras de costo para *Variable Handling*, especialmente en los aeropuertos más caros, donde es posible citar a PUQ, CCP y ARI.

De los 10 aeropuertos estudiados, el conjunto conformado por LSC, IQQ, PMC, quinto, sexto y séptimos en orden de precio poseen tarifas cercanas al 50 % respecto al aeropuerto más caro. Sin tomar los casos de infraestructuras más económicas (BBA, CJC, ANF), se podrían obtener reducciones considerables igualando los precios de los tres aeropuertos más caros, PUQ, CCP y SCL con respecto a los precios del grupo mencionado. Las eficiencias en precio serían de un 50 %, 42,23 % y 29,75 % respectivamente.

En definitiva, para una base de datos comprendiendo con información mensual de rutas



Figura 7.3: Costos de Variable Handling por pasajero normalizado por el costo más elevado (PUQ). Los valores en US\$ no son incluidos por motivos de confidencialidad. Fuente: datos internos de LATAM.

nacionales entre el 2017 y el 2018, el modelo con mejores resultados predictivos para costos de *Variable Handling* entre regresión, *Support Vector Machine* (SVM), procesos gaussianos y *Random Forest* es este último, que, además permite analizar la importancia de las variables en el modelo. Para fines meramente interpretativos se utiliza la regresión. Se constata que los costos dependen en alto grado de factores exógenos como tipo de cambio USD/CLP o inflación en PIB chileno. La tendencia de los costos es opuesta a la de estos indicadores. Se observan fenómenos de estacionalidad: en temporada baja los costos disminuyen. Dentro de las variables operacionales, el aumento de número de pasajeros (ST12) incrementa los costos. Por otra parte, la regresión indica la existencia de “economías de pasada por aeropuerto” dado el coeficiente de la variable ASK (ST02). Los aviones mayormente utilizados en negocio doméstico también influyen en los costos, en concordancia con su tamaño y dimensiones. Los atrasos de despegue aumentan los costos pero la existencia conjunta de atrasos de despegue y de aterrizaje tienen una leve disminución de costos, que no compensa los costos adicionales por atraso de despegue. Esta reducción de costos puede explicarse debido a una mejora operacional para disminuir el retraso. Una baja en los tiempos de atraso de despegue podría reducir los costos de *Variable Handling* en un 71,45%. Los aeropuertos tienen poca o nula importancia en el modelo según *Random Forest*. Aún así, se analiza el desglose por cuenta contable para aquellos con significancia superior al 90% en la regresión y se observa que la mayoría posee una distribución similar, a pesar de su precio por pasajero, donde materiales e insumos por aeropuertos es la distribución mayoritaria, sobrepasando un 97% en la repartición. Si se lograra tener precios como los de ANF, que es el más económico entre los estudiados, se podría reducir los costos de Handling en más de un 80% en el caso del aeropuerto más caro (PUQ).

## 7.6. Propuesta de modelo

### 7.6.1. Restricciones y potencial de los resultados

Los resultados, aunque permiten realizar reducciones en los costos y establecer una mejora considerable respecto al modelo actual (84 % versus 125 % en términos de MAPE), poseen tasas de error elevadas. Sin embargo, las restricciones iniciales del problema y la calidad cuestionable de los datos indican que, bajo condiciones más óptimas, el potencial futuro de los resultados es alto.

Los resultados son un incentivo para el área para mejorar su gestión de datos. Estos resultados son el puntapié inicial para los análisis de datos en control de gestión.

La propuesta presentada a continuación se enmarca dentro de este contexto: una solución con potencial a futuro, en un área donde las herramientas de análisis de datos son pioneras.

Diferentes otras vías pueden ser exploradas para la reducción de costos, cada una de las cuales puede merecer un estudio profundo. Estas opciones son analizadas en alcances.

### 7.6.2. Propuesta

Para realizar presupuestos mediante *Random Forest*, se propone una alternativa que tiene en cuenta la forma actual de creación de presupuestos (Ver Sección 2.2.3) para reducir el impacto asociado al cambio.

Para ello, se debe tener en cuenta todos los pasos necesarios para elaborar el modelo. Para cada uno de ellos, se propone una implementación.

- **Cargar datos necesarios para el modelo**

La solución propuesta requiere como inputs datos que actualmente pueden ser obtenidos mediante descargas de BEx (Ver Sección 2.2.3 y 5.2). Sin embargo, dichas consultas implican generalmente un solo *driver*, puesto que el modelo actual explica los costos a través de una sola variable. Ahora se requieren diferentes variables. Algunas de ellas pueden resultar nuevas para ciertos analistas.

Se propone crear una consulta predefinida en la que se encuentren todos los datos necesarios, en un formato fijo, de forma tal que baste descargarla para realizar las proyecciones.

- **Formar proyecciones mediante R**

Aunque actualmente las proyecciones son realizadas mediante Excel, la implementación de *Random Forest* es bastante más simple para un utilizador no experto en textbfR que en VBA de Excel.

Sin embargo, como la utilización de programas de interacción mediante código como R no es habitual en el área, se sugiere limitar el número de personas que deba aprenderlo para que no provoque un rechazo generalizado.

Basta un analista que se dedique a la creación de los presupuestos en **R**. Sin embargo se recomiendan tres para realizar trabajo en paralelo y reemplazar en caso de ausencias.

Se propone crear un código estándar el cual solo requiera cambiar el valor de ciertas variables iniciales para que, ocupando la base de datos descargada de BEx, realice las proyecciones. Estas pueden ser efectuadas fácilmente mediante la función `predict` que, además, entrega intervalos de confianza.

Se puede exportar los resultados a una planilla Excel.

Se prevee que el proceso descrito dure 30 minutos. Este proceso incluye la descarga de los datos y ejecutar el código.

Un pseudo-código tutorial de esta etapa se encuentra en Anexos 7.7.

- **Presupuestos en Excel**

Los resultados pueden ser finalmente trabajados por cualquier analista en un formato Excel para implementarlos en el formato requerido para los reportes habituales generados por control de gestión.

Los analistas, habituados a trabajar en Excel, realizan esta operación habitualmente, tardando alrededor de una o dos horas.

- **Verificación de resultados**

Para que el cambio sea gradual, se propone en una primera instancia que el modelo sirva como validador del modelo actual, controlando los resultados por los intervalos de confianza provistos por *Random Forest*.

Se propone un sistema de colores en la planilla Excel, que indique verde en caso de que el valor se encuentre dentro de los márgenes aceptados o rojo en caso contrario. De esta forma, los analistas puedan buscar las causas de la situación y puedan detectar errores rápida y simplemente, a diferencia de la verificación visual efectuada actualmente. El personal posee un conocimiento de Excel y VBA que les permite realizar esta operación sin problemas.

Los encargados de cada línea contable pueden realizar esta operación, que esta vez es simplificada, por lo que debería disminuir los tiempos y la complejidad propia de las tareas poco automatizadas.

- **Reiteración con nuevos *inputs***

A medida que se realicen actualizaciones de los *inputs* se pueden formar nuevas proyecciones, reiterando los pasos anteriores. Esta idea de versiones sigue la misma lógica del método actual.

- **Instauración definitiva de presupuestos en Excel**

Una vez que el método obtenga la aprobación del grupo, se propone realizar los presupuestos mediante *Random Forest*, abandonando el método actual, que es costoso en términos de tiempo de personal.

Se puede constatar que los pasos anteriores no son disruptivos con el funcionamiento habitual de control de gestión. Las diferencias se encuentran en la utilización del programa **R**. No obstante, las otras etapas se conservan. El nuevo procedimiento se puede evidenciar en la Figura 7.4. Este esquema muestra las similitudes con la forma actual de generar presupuestos, cuyos pasos se ilustran en la Figura 5.1.

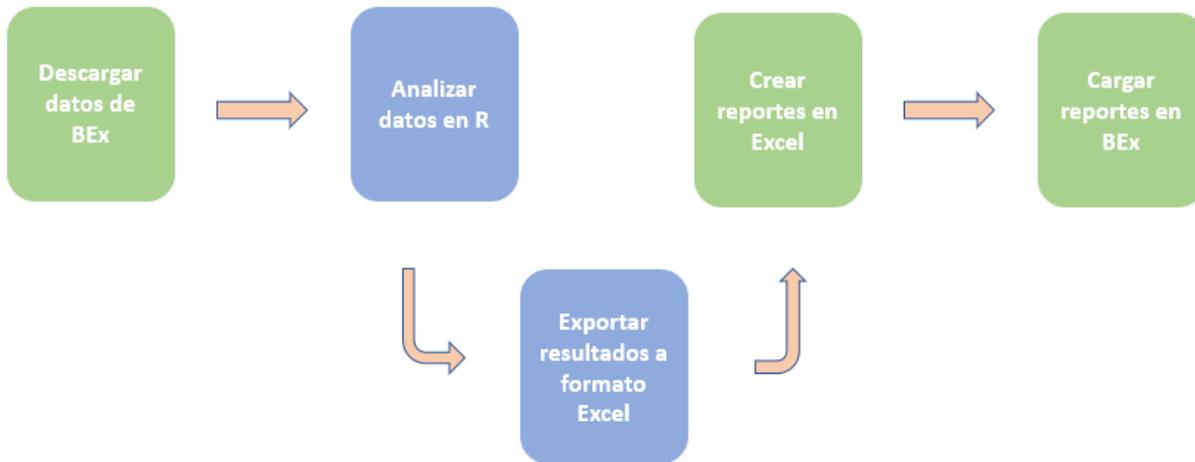


Figura 7.4: Las etapas de la propuesta de elaboración de presupuestos. Fuente: elaboración propia.

## 7.7. Impacto

El modelo propuesto permite disminuir los errores, medidos en MAPE, de 1,25 a 0,84. Una disminución de un 32,8% en la magnitud de los errores respecto al modelo actual que se traduce en mejoras en la asignación de recursos y planificación contable. La cifra puede seguir mejorando con el tiempo, a medida que la cantidad de datos aumente.

El modelo propuesto muestra que la línea de costo *Variable Handling* es muy dependiente de las variaciones económicas ilustradas por la importancia de la inflación nacional y la tasa de cambio USD-CLP. Estas variables no son incorporadas en el modelo actual, lo que impide tener en cuenta estas variaciones y da lugar a errores de interpretación. Por ejemplo, una baja en costos puede ser explicado por estos factores exógenos y no por mejoras en la operación. Un incremento en una unidad de tipo de cambio puede hacer aumentar los costos mensuales en 112,7 US\$ para una ruta según la regresión y un aumento en un punto de inflación podría traducirse en un adicional de 1.407 US\$ mensuales para una ruta.

El modelo advierte que es posible realizar mejoras operacionales para disminuir costos. Disminuyendo los atrasos constatados de 12,02 minutos a 9,02 se lograría reducir los costos en un 53,15% respecto al promedio de costos de *Variable Handling*, sin contar los beneficios de percepción del cliente por una mejor operación.

Además se constata una leve reducción de costos cuando un avión llega atrasado a un aeropuerto dado que despegó con retraso. Esto puede ser explicado por una mayor eficacia del personal cuando se encuentran en retraso, lo que muestra que existen oportunidades de mejora en las operaciones asociadas al aterrizaje y desembarque de pasajeros.

Aunque los aeropuertos que se encuentran en las últimas posiciones de importancia para *Random Forest*, se constatan oportunidades de reducción de costos. Analizando las cuentas

contables por las que está compuesta *Variable Handling*, Materiales e insumos por aeropuertos es aquella que se representa el mayor porcentaje del total, sobrepasando el 97 % de la repartición para todos los aeropuertos estudiados salvo dos. Además se identifican que existen diferencias en precios de un 80 % en *Variable Handling* por pasajero entre el aeropuerto más caro y el más barato. Si los aeropuertos tres más caros adoptaran tarifas de infraestructuras con precios intermedios, se lograrían reducciones de un 50 %, 42,23 % y 29,75 %.

Por otro lado, en vista del análisis de correlación, se puede afirmar que ocupar las variables ST01, ST02, ST04, ST05, ST08 y ST61 es equivalente, dada su correlación 1, así como ocupar las variables ST20, ST21 Y ST24. Diferentes líneas de costo son estimadas con alguna de estas. El hecho de que las variables mencionadas se encuentren dentro de las más utilizadas es una alerta, debido a la baja variabilidad entre ellas. Aunque se cree que estos factores son diferentes, no poseen diferencias para la predicción. más allá del ámbito interpretativo. Se recomienda utilizar otras variables con las que cuenta LATAM y/o actualizar las que se encuentran en desuso o no estén disponible al nivel de agregación requerido para el modelo. De esta forma, se podría aumentar la variabilidad de los *drivers* que componen el modelo.

Adicionalmente, el modelo propuesto para predecir costos, *Random Forest* tiene un tiempo de ejecución de 0,97 segundos. Tiempo considerablemente menor a las 360 horas de un analista para efectuar la misma labor (Ver Sección 2.2.4). La implementación del modelo propuesto permitiría a LATAM reducir el costo de oportunidad de un analista realizando presupuestos en 2.433,94 US\$, cifra que podría pagar los costos mensuales de *Variable Handling* de ciertos aeropuertos sin realizar ninguna mejora operacional. El modelo propuesto es extendible a las otras líneas de costo, lo que permitiría un ahorro en términos de costos de oportunidad de 243.394 US\$, correspondiente a las horas dedicadas por los analistas que trabajan en la elaboración de presupuestos. Esta cifra podría pagar los costos de *Variable Handling* de varios aeropuertos por todo un año.

Este trabajo constituye una de las primeras bases de Data Science en control de gestión. Los resultados, aunque mejores, tienen amplia posibilidad de mejora (84 % de error). Sin embargo, este resultado prueba, que, a pesar de todas las restricciones y suposiciones, estos análisis permiten describir la actividad entregando mejores resultados y utilizando diferentes variables propias del negocio, que pueden alertar sobre oportunidades de reducción de costos y también la prioridad de cada una en términos de influencia en los costos. Es un incentivo para LATAM a tener una mejor gestión de sus datos, para aprovechar el potencial de su información histórica y así, poder generar mayor valor a partir de estos en el futuro.

Ato	Cuenta	% por cuenta
SCL	Handling Pax por terceros	54,51 %
	Materiales e insumos de aeropuertos	15,96 %
	Uso de infraestructura de aeropuertos	12,15 %
	Multas de inmigración	13,30 %
	Multas por servicio	3,35 %
	Señalética de aeropuertos	0,47 %
	Materiales para handling	0,25 %
ANF	Materiales e insumos de aeropuertos	97,92 %
	Señalética de aeropuertos	1,92 %
	Materiales para handling	0,15 %
ARI	Materiales e insumos de aeropuerto	97,65 %
	Señalética de aeropuertos	2,28 %
	Materiales para handling	0,06 %
BBA	Materiales e insumos de aeropuerto	76,65 %
	Señalética de aeropuertos	22,81 %
	Materiales para handling	0,54 %
CJC	Materiales e insumos de aeropuertos	99,21 %
	Materiales para handling	0,41 %
	Señalética de aeropuertos	0,38 %
IQQ	Materiales e insumos de aeropuertos	99,64 %
	Señalética de aeropuertos	0,27 %
	Materiales para handling	0,09 %
PUQ	Materiales e insumos de aeropuertos	97,94 %
	Señalética de aeropuertos	1,63 %
	Materiales para handling	0,43 %
CCP	Materiales e insumos de aeropuertos	97,07 %
	Señalética de aeropuertos	1,45 %
	Materiales para handling	0,58 %
LSC	Materiales insumos de aeropuertos	99,52 %
	Señalética de aeropuertos	0,48 %
PMC	Materiales e insumos de aeropuertos	98,14 %
	Señalética de aeropuertos	1,67 %
	Materiales para handling	0,18 %

Tabla 7.4: Repartición de costos de cuentas contables de cada aeropuerto para la línea de costo *Variable Handling*. Los montos en US\$ no son informados por motivos de confidencialidad. Datos del 2017 al 2018. Fuente: datos internos de LATAM.

# Conclusión

En el mercado nacional doméstico, desde el 2015 se evidencia una irrupción del modelo de negocios *low-cost*, que ha ido *in crescendo* hasta la actualidad, tendencia que no es más que un ejemplo de un cambio a nivel mundial en la industria. Por otra parte, las autoridades han impulsado remodelaciones en las infraestructuras aeroportuarias, así como la reducción de las tasas de embarque, lo que es un aliciente a las compañías que siguen dicho modelo para operar en cielos chilenos.

La denominada estrategia “opuesta” de LATAM, con vuelos de larga distancia en modalidad *premium* y *low-cost* para el negocio doméstico nacional no ha sido suficiente para contrarrestar el avance de las bajo costo en términos de partes de mercado, con una disminución de un 73.99 % a un 59.86 %.

LATAM cuenta con costos adicionales respecto a la competencia: una flota menos uniforme que implica incurrir en mayores sumas para formación y mantenimiento, así como un programa de fidelidad no existente en las otras compañías.

La experiencia internacional y el contexto nacional exigen a LATAM tener una mejor competitividad en costos para ofrecer tarifas interesantes a los clientes.

Se analizaron los datos contables mensuales de una de las líneas de costo operacionales más importantes: *Variable Handling*, durante el período 2017 al 2018 en el negocio doméstico chileno, para encontrar oportunidades de reducción de costos.

Asimismo, se estudió el modelo actual para explicar y predecir costos, que destaca por su simplicidad. Para una determinada línea contable, se escoge un determinado factor (*driver*), por ejemplo, el número de pasajeros, que debiese explicar dicha línea. Luego, se divide los costos de la línea para un período anterior por la cantidad constatada del *driver* para el mismo intervalo de tiempo, lo que da origen a un precio por pasajero (en el caso del ejemplo), que se pondera por la cantidad prevista del *driver* para el próximo período. Esto se realiza para las 300 rutas y 50 líneas de costo, lo que se traduce en 15.000 predicciones. Esta cantidad justificación de la sencillez del modelo.

La forma actual de explicar y predecir los costos, además de poseer una tasa de error elevada (125 % en MAPE), describe los costos como resultado de la interacción con una sola variable, lo que, en un operación con una gran cantidad de entes involucrados, es una suposición alejada de la realidad. Esto motiva la incorporación de otros factores que entreguen un mayor sentido al modelo y que permitan identificar oportunidades de reducción de costos.

Se escogieron diferentes variables para explicar los costos, que se pueden clasificar en ajenas a la operación, como lo es el tipo de cambio USD/CLP, la inflación o la temporada y directamente relacionadas con ella, como el número de pasajeros, los kilómetros recorridos, tipo de avión o el número de horas del personal a bordo. Dichos *drivers* operacionales se encuentran dentro de los más usados y con datos disponibles para los períodos analizados.

Se constató que, dentro de las variables operacionales utilizadas, el nivel de variabilidad es bajo. ST12, ST20, ST21 y ST24 tienen una correlación cercana a 1, así como ST01, ST02, ST04, ST05, ST08 Y ST61. Esto es una alerta para el sistema actual de modelamiento de costos, que, en vista de estas observaciones, explica la mayor parte de la actividad a partir de dos *drivers*, lo que prueba que los criterios de “buen sentido” carecen de justificación matemática en la mayoría de los casos.

Posteriormente se aplicaron modelos de regresión, *Procesos Gaussianos*, *Support Vector Machine* y *Random Forest*, métodos escogidos por no ser algoritmos de “caja negra”, como las redes neuronales, en miras del aspecto explicativo y no meramente predictivo de la misión.

Salvo la regresión, todos los modelos ofrecieron mejores resultados que el modelo actual, lo que muestra que la incorporación de no linealidades permite obtener mejores desempeños. Particularmente, *Random Forest* obtuvo para el conjunto de *test* un MAPE de 0,84, en comparación al 1,25 del modelo actual. Una implementación del modelo propuesto se traduciría en una mejora en la asignación de recursos de un 32,8%.

Dentro de los factores más importantes para *Random Forest* se encuentra la inflación nacional y la tasa de cambio USD-CLP, lo que muestra que posibles disminuciones en los costos podrían eventualmente explicarse por los vaivenes de la economía y no por una mejor gestión y viceversa. Le sigue la variable operativa de número de pasajeros, el modelo A321 y asientos por kilómetros.

La importancia de las variables arroja que los aeropuertos, así como las flotas B767 y B789, utilizadas excepcionalmente en el negocio doméstico, no son relevantes.

Dentro de una óptica meramente interpretativa se analizaron los resultados de la regresión. Las conclusiones, aunque limitadas por los supuestos de linealidad, pueden explicar el sentido del impacto de las variables en los costos.

Un incremento en una unidad de tipo de cambio puede hacer aumentar los costos mensuales en 112,7 US\$ para una ruta y un punto de inflación podría traducirse en 1.407 US\$ mensuales adicionales.

En aspectos operacionales, se concluyó que una mejora de 3 minutos para los atrasos de despegue, con media de 12,02 minutos, reduciría los costos en un 53,15% respecto al promedio de costos de *Variable Handling*, sin contar los beneficios asociados a una mejor percepción del cliente.

Además, se insta a verificar los procedimientos efectuados al desembarcar pasajeros cuando un vuelo presenta atraso de despegue, puesto que se constató que la interacción atraso despegue y aterrizaje producen una leve disminución de costos, probablemente explicado por

una mejora en la productividad del personal a bordo en situación de atraso.

A pesar de la baja importancia de los aeropuertos para *Random Forest*, se compararon los precios por pasajero para las infraestructuras en estudio y se identificaron diferencias considerables en precios. En términos de cuentas contables, la mayoría de los aeropuertos tiene una distribución similar, con un amplio porcentaje para la cuenta “materiales e insumos de aeropuertos”. Se recomienda una negociación sobre ese punto en los aeropuertos más caros. Analizando los precios de Variable Handling por pasajero, se identifican diferencias de precio cercanas a un 80 % entre el aeropuerto más caro y el más barato. Si las tres infraestructuras más caras (LSC, IQQ, PMC) tuvieran precios de aeropuertos de tarifas intermedias (BBA, CJC, ANF), se pueden obtener reducciones de un 50 %, 42,23 % y 29,75 % respectivamente.

Por otro lado, se propuso una implementación de un nuevo método de proyecciones utilizando *Random Forest*, que tiene en cuenta la forma actual de trabajar en el área de control de gestión. La solución entregada tiene potencial de mejora en el tiempo, dado el aumento natural de datos a medida que transcurre el tiempo, como la extensión a otras líneas contables. El algoritmo propuesto tarda 0,97 segundos en ejecutarse, lo que implicaría una reducción de costos considerable en 243.394 US\$ explicadas por las horas del personal. La cifra podría pagar los costos mensuales de *Variable Handling* de ciertos aeropuertos sin realizar ninguna mejora operacional. Además, permite describir la actividad a través de variables que pueden indicar oportunidades de reducción de costos e indica la importancia de cada variable, muy útil para priorizar las estrategias de reducción de costos.

El modelo propuesto, aunque tiene mejor desempeño que el actual, contiene todavía un error de 0,84 en términos de MAPE, lo que motiva la realización de nuevos estudios cuando se posea una mayor cantidad de datos. Además, se insta a actualizar e incorporar otras variables operacionales para explicar la actividad. Como fue mencionado, entre las variables más utilizadas actualmente se distinguen dos conjuntos con correlación muy cercana a 1. Esto resta variabilidad al modelo. Nuevas variables pueden alertar sobre estrategias no exploradas para la reducción de costos.

Aunque LATAM cuenta con información contable para un intervalo de tiempo mayor a 10 años, diferentes incongruencias a lo largo del tiempo impiden utilizar dichos datos para un intervalo de tiempo mayor al estudiado. El presente trabajo podría haber sido realizado a nivel de ruta, en lugar de asumir que todos los vuelos domésticos chilenos se comportan igual. El valor creado a partir de datos si se hubiera contado con una escala de tiempo más amplia sería probablemente más grande. Esto es un incentivo para mejorar la política de gestión de datos, cambiando la perspectiva de corto a largo plazo. Así, se podría aprovechar en mayor medida el potencial de las herramientas de Data Science, en un mundo actualmente *data-oriented*.



# Bibliografía

- [1] 24 horas. La guerra por los "Low Cost": Aerolíneas anuncian pasajes desde los \$6.990. <https://www.24horas.cl/economia/la-guerra-por-los-low-cost-aerolineas-anuncian-pasajes-desde-los-6990-2328436>, Marzo 2017. [En línea: consultado el 17-05-2019].
- [2] Aeronautical Repair Station Association. Positive Trade Balance, Growth Prospects for Global Maintenance. <http://arsa.org/market-assessment/>, Marzo 2017. [En línea: consultado el 16-05-2019].
- [3] Air France - KLM. Annual Report 2014. <https://www.airfranceklm.com/en/publications/annual-report-2014>, 2015. [En línea: consultado el 10-04-2019].
- [4] Airbus. A380 - Benefits to Airlines. <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a380/benefits-to-airlines.html>. [En línea: consultado el 16-05-2019].
- [5] América Retail. Argentina: JetSMART amplía la flota más nueva del continente con el primer avión matriculado en Argentina", month="Septiembre. <https://www.america-retail.com/argentina/argentina-jetsmart-amplia-la-flota-mas-nueva-del-continente-con-el-primer-avion-matriculado-en-argentina/>, 2018. [En línea: consultado el 10-07-2019].
- [6] Andreas Antoniou. The factors determining the profitability of international airlines: Some econometric results. *Managerial and Decision Economics*, 13(6):503–514, 1992.
- [7] Banco Interamericano de Desarrollo. Temas actuales para América Latina y el Caribe: Transporte Aéreo, regulación y economía. <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7607/Transporte-Aereo-Temas-Actuales-para-America-Latina-y-El-Caribe-Regulacion-y-Economia.pdf?sequence=13>, 2013. [En línea: consultado el 14-11-2018].
- [8] Rajiv D. Banker and Holly H. Johnston. An empirical study of cost drivers in the u.s. airline industry. *The Accounting Review*, 68(3):576–601, 1993.
- [9] BBC News. La aerolínea Latam suspende sus vuelos a Venezuela. [https://www.bbc.com/mundo/america\\_latina/2016/05/160530\\_venezuela\\_latam\\_aerolinea\\_suspende\\_vuelos\\_deuda\\_ps](https://www.bbc.com/mundo/america_latina/2016/05/160530_venezuela_latam_aerolinea_suspende_vuelos_deuda_ps), Mayo 2016. [En línea: consultado el 5-05-2019].

- [10] BBC News. Accidente de avión en Etiopía: Boeing se desploma en bolsa tras sufrir dos siniestros en solo 5 meses. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47527552>, Marzo 2019. [En línea: consultado el 16-05-2019].
- [11] Cristóbal Bennett. Caracterización de la estructura del mercado aéreo en América Latina. Master's thesis, Universidad de Chile, Facultad de Economía y Negocios, Santiago, Chile, 2013.
- [12] Maria Berrittella, Luigi La Franca, and Pietro Zito. An analytic hierarchy process for ranking operating costs of low cost and full service airlines. *Journal of Air Transport Management*, 15(5):249 – 255, 2009.
- [13] BioBioChile. Aviones v/s buses: la caída en las tasas de embarque acelera la guerra de precios rebajados. <https://www.biobiochile.cl/noticias/economia/tubolsillo/2018/10/04/aviones-vs-buses-la-caida-en-las-tasas-de-embarque-acelera-la-guerra-de-precios-rebajados.shtml>, Octubre 2018. [En línea: consultado el 17-05-2019].
- [14] BioBioChile. Emirates llega a Chile: compañía ofrece tarifas especiales para vuelos de Santiago a Dubai. <https://www.biobiochile.cl/noticias/economia/actualidad-economica/2018/07/06/emirates-llega-a-chile-compania-ofrece-tarifas-especiales-para-vuelos-de-santiago-a-dubai.shtml>, Julio 2018. [En línea: consultado el 5-05-2019].
- [15] Riedmiller, Martin Blum, Manuel. Electricity Demand Forecasting using Gaussian Processes. *Trading Agent Design and Analysis: Papers from the AAAI 2013 Workshop*, 2013.
- [16] Breiman, L. Manual On Setting Up, Using, And Understanding Random Forests V3.1, 2012.
- [17] Brian Pearce. The economics of airline financial performance and wider economic benefits. <https://www.iata.org/publications/economics/Reports/Presentations/ICAO%20Paris%206%20April%202018.pdf>, Abril 2018. [En línea: consultado el 17-05-2019].
- [18] Brooks-Bartlett, Jonny. Probability concepts explained: Bayesian inference for parameter estimation. <https://towardsdatascience.com/probability-concepts-explained-bayesian-inference-for-parameter-estimation-90e8930e5348>, 2018. [En línea: consultado el 17-06-2019].
- [19] Alexander Brüggem and Levin Klose. How fleet commonality influences low-cost airline operating performance: Empirical evidence. *Journal of Air Transport Management*, 16(6):299 – 303, 2010.
- [20] C. Cabello. LATAM pierde siete puntos de participación en dos años por arremetida de low cost. <https://www.america-retail.com/chile/chile-latam-pierde-siete-puntos-participacion-arremetida-low-cost/#>, Enero 2018. [En línea: consultado el 9-11-2018].

- [21] Cerem - International Business School. Estudia tu entorno con un PEST-EL. <https://www.cerem.es/blog/estudia-tu-entorno-con-un-pest-el>, Mayo 2017. [En línea: consultado el 5-05-2019].
- [22] Chambers J.M. and Hastie, T.J. *Linear Models*. Wadsworth Brooks/Cole, Pacific Grove, California, 1992.
- [23] Chew Lian Chua, Hsein Kew, and Jongsay Yong. Airline code-share alliances and costs: Imposing concavity on translog cost function estimation. *Review of Industrial Organization*, 26(4):461–487, Jun 2005.
- [24] Claudio Ramírez y Luis Musquiz. Latam buscaría crear aerolínea en Chile para ingresar a negocio low cost. <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=459845>, Abril 2018. [En línea: consultado el 9-11-2018].
- [25] CNN Business. Airlines rake in \$27 billion in customer fees,. <https://money.cnn.com/2013/09/19/news/companies/airline-fees-billions/index.html>, Septiembre 2013. [En línea: consultado el 12-04-2019].
- [26] Datos Macro. Expansión, PIB de Chile. <https://datosmacro.expansion.com/pib/chile>. [En línea: consultado el 17-05-2019].
- [27] Georgios Drakos. How to select the Right Evaluation Metric for Machine Learning Models: Part 1 Regression Metrics. "<https://towardsdatascience.com/how-to-select-the-right-evaluation-metric-for-machine-learning-models-part-1-regression-metrics-3606e25beae0/>", 2019. [En línea: consultado el 29-06-2019].
- [28] Grzegorz Dudek. Short-term load forecasting using random forests, 01 2015.
- [29] Semana Económica. Latam Airlines fortalece su estrategia opuesta a las low cost con renovación de cabinas y flota. <http://semanaeconomica.com/article/sectores-y-empresas/turismo/305895-latam-airlines-fortalece-su-estrategia-opuesta-a-las-low-cost-con-renovacion-de-cabinas/>, Agosto 2018. [En línea: consultado el 15-11-2018].
- [30] El Mercurio. Firmas de buses operarían tramos más cortos para enfrentar arremetida de aerolíneas lowcost. <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=409388>. [En línea: consultado el 21-08-2019].
- [31] El Mercurio Inversiones. Low cost lleva a Latam a crecer en 110 mil pasajeros en un año. <http://www.elmercurio.com/Inversiones/Noticias/Analisis/2018/03/23/Low-cost-lleva-a-Latam-a-crecer-en-110-mil-pasajeros-en-un-ano.aspx>, Marzo 2018. [En línea: consultado el 18-04-2019].
- [32] El Mostrador Mercados. Latam siente la presión: entra al negocio de vuelos low cost para el mercado doméstico y de paso le complica la vida a Sky Airlines. <https://www.elmostrador.cl/mercados/2016/11/10/latam-siente-la-presion-y-entra-al-negocio-de-vuelos-low-cost-para-el-mercado-domestico/>, Noviembre 2016. [En línea: consultado el 9-11-2018].

- [33] Emol. Ranking internacional ubicó a Latam como la "mega aerolínea" más puntual del mundo en 2018. <https://www.emol.com/noticias/Economia/2019/01/04/933113/Ranking-internacional-ubico-a-Latam-como-la-mega-aerolinea-mas-puntual-del-mundo-en-2018.html>. [En línea: consultado el 11-07-2019].
- [34] Emol. Sky Airline comienza a operar toda su flota con aviones Airbus tras retirar su último Boeing. <https://www.emol.com/noticias/economia/2013/09/30/622167/sky-airline-reemplaza-su-ultimo-avion-boeing-y-toda-su-flota-opera-con-equipos-airbus.html>, Septiembre 2013. [En línea: consultado el 10-07-2019].
- [35] Emol. Infografía: Cómo será el nuevo aeropuerto de Pudahuel, el terminal aéreo más grande de Chile . <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2017/08/11/870571/Infografia-Como-sera-el-nuevo-aeropuerto-de-Pudahuel-el-terminal-aereo-mas-grande-de-Chile.html>, Agosto 2017. [En línea: consultado el 5-05-2019].
- [36] Emol. Sindicato asegura que terminó la huelga en Latam. <https://www.emol.com/noticias/Economia/2018/04/26/904047/Sindicato-confirma-fin-a-la-huelga-en-Latam-Era-lo-mas-certero-pero-no-logramos-lo-que-pediamos.html>, Abril 2018. [En línea: consultado el 17-05-2019].
- [37] Diario Estrategia. SKY renueva su flota y proyecta una rebaja del 20% en el valor de sus pasajes. <http://www.diarioestrategia.cl/texto-diario/mostrar/1200682/sky-renueva-flota-proyecta-rebaja-20-valor-pasajes>, Octubre 2018. [En línea: consultado el 10-07-2019].
- [38] Xiaowen Fu and Hangjun Gavin Yang. *Airport–Airline Arrangements: An Interpretive Review of Industry Practices and Recent Studies*, pages 97–122. 09 2017.
- [39] Miguel Gaspar. TAP-Facing the low-cost competition. Master's thesis, Universidad Católica Portuguesa, Lisboa, Portugal, Junio 2015.
- [40] David W. Gillen, Tae Hoon Oum, and Michael W. Tretheway. Airline cost structure and policy implications: A multi-product approach for canadian airlines. *Journal of Transport Economics and Policy*, 24(1):9–34, 1990.
- [41] Lara Gitto and Leo Fulvio Minervini. The performance of european full service airlines after liberalisation: An econometric analysis. *Rivista di Politica Economica*, 97:105–122, 01 2007.
- [42] Mark M. Hansen, David Gillen, and Reza Djafarian-Tehrani. Aviation infrastructure performance and airline cost: a statistical cost estimation approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(1):1 – 23, 2001.
- [43] Tim Hazledine. Pricing, competition and policy in australasian air travel markets. *Journal of Transport Economics and Policy*, 44(1):37–58, 2010.
- [44] Jake Hoare. How is Variable Importance Calculated for a Random Forest, 2019. [En línea: consultado el 29-06-2019].

- [45] HostelTur. Transformación de Sky Airline en low cost aumentará el flujo entre Chile y Argentina. [https://www.hosteltur.com/lat/164400\\_transformacion-sky-airline-low-cost-aumentara-flujo-chile-argentina.html](https://www.hosteltur.com/lat/164400_transformacion-sky-airline-low-cost-aumentara-flujo-chile-argentina.html), Septiembre 2015. [En línea: consultado el 07-04-2019].
- [46] Hoy x Hoy. Anuncian nueva rebaja de tasas de embarque en aeropuertos desde julio. <https://www.soychile.cl/Santiago/Politica/2019/04/01/588725/Anuncian-nueva-rebaja-de-tasas-de-embarque-en-aeropuertos-desde-julio.aspx>, Abril 2019. [En línea: consultado el 5-05-2019].
- [47] IATA - International Air Transport Association. Vision 2050. [https://www.iata.org/pressroom/facts\\_figures/Documents/vision-2050.pdf](https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/Documents/vision-2050.pdf), 2011. [En línea: consultado el 12-04-2019].
- [48] IATA - International Air Transport Association. Fuel Servicing Guidelines. <https://www.iata.org/publications/store/Pages/fuel-efficiency-guidelines.aspx>, 2019. [En línea: consultado el 17-05-2019].
- [49] Indeed. Salarios para empleos de Analista de control de gestión en Chile. <https://www.indeed.cl/salaries/Analista-de-control-de-gestion-Salaries>, 2019. [En línea: consultado el 02-07-2019].
- [50] Ingeniero de millas. Los detalles de las nuevas cabinas Business y Economy de Latam. <https://ingenierodemillas.com/2019/01/02/los-detalles-de-las-nuevas-cabinas-business-y-economy-de-latam/>, Enero 2019. [En línea: consultado el 16-05-2019].
- [51] Investing. USD/CLP - Dólar estadounidense Peso chileno. <https://es.investing.com/currencies/usd-clp-historical-data>, 2019. [En línea: consultado el 19-06-2019].
- [52] Investing. USD/CLP - Dólar estadounidense Peso chileno. <https://es.investing.com/currencies/usd-clp-historical-data>, 2019. [En línea: consultado el 19-06-2019].
- [53] JAC-Junta Aeronáutica Civil. Estadísticas históricas. <http://www.jac.gob.cl/estadisticas/estadisticas-historicas/>. [En línea: consultado el 19-04-2019].
- [54] JAC-Junta Aeronáutica Civil. Informes de reclamos del transporte aéreo. <http://www.jac.gob.cl/wp-content/uploads/2018/05/INFORME-ANUAL-DE-RECLAMOS-DEL-TRANSPORTE-AEREO-2017.pdf>, 2018. [En línea: consultado el 10-04-2019].
- [55] JJ. MAE and RMSE - Which Metric is Better? <https://medium.com/human-in-a-machine-world/mae-and-rmse-which-metric-is-better-e60ac3bde13d>, 2016. [En línea: consultado el 19-06-2019].
- [56] Alboukadel Kassambara. *ggcorrplot: Visualization of a Correlation Matrix using 'ggplot2'*, 2019. R package version 0.1.3.

- [57] Kernel SVM. Support Vector Machine Regression. <http://kernelsvm.tripod.com/>. [En línea: consultado el 17-06-2019].
- [58] Kho, Julia. Why Random Forest is My Favorite Machine Learning Model. <https://towardsdatascience.com/why-random-forest-is-my-favorite-machine-learning-model-b97651fa3706>, 2018. [En línea: consultado el 16-06-2019].
- [59] Sungil Kim and Heeyoung Kim. A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*, 32(3):669 – 679, 2016.
- [60] Knagg, Oscar. An intuitive guide to Gaussian processes. "https://towardsdatascience.com/an-intuitive-guide-to-gaussian-processes-ec2f0b45c71d", 2018. [En línea: consultado el 17-06-2019].
- [61] Koehrsen, Will. An Implementation and Explanation of the Random Forest in Python. <https://towardsdatascience.com/an-implementation-and-explanation-of-the-random-forest-in-python-77bf308a9b76>, 2018. [En línea: consultado el 16-06-2019].
- [62] KPMG International Cooperative. Radiografía digital del Control de Gestión en España. <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/es/pdf/2018/06/radiografiadigital-control-gestion-espana.pdf>. [En línea: consultado el 15-08-2019].
- [63] La Cultura del Marketing. Herramientas claves en un Plan de Marketing (II). <https://laculturadelmarketing.com/herramientas-claves-en-un-plan-de-marketing-ii-5-fuerzas-de-porter/>. [En línea: consultado el 17-05-2019].
- [64] La Nación. Jóvenes chilenos cada vez viajan más. <http://lanacion.cl/2017/07/18/jovenes-chilenos-cada-vez-viajan-mas-estudio-revela-que-el-53-lo-hace-dos-veces-al-ano>, Julio 2017. [En línea: consultado el 16-05-2019].
- [65] La Tercera. LAN y TAM completan su fusión y dan origen a Latam Airlines Group. <https://www.latercera.com/noticia/lan-y-tam-completan-su-fusion-y-dan-origen-a-latam-airlines-group/>, Junio 2012. [En línea: consultado el 02-04-2019].
- [66] La Tercera. Latam lanza modelo con 4 opciones de tarifas para vuelos en Chile. <https://www.latercera.com/noticia/latam-airlines-lanza-nuevo-modelo-4-opciones-tarifas-vuelos-chile/>, Mayo 2017. [En línea: consultado el 12-04-2019].
- [67] La Tercera Negocios. Dirección General Aeronáutica otorga autorización a JetSmart para iniciar operaciones en Chile. <https://www.latercera.com/noticia/dga-otorga-autorizacion-linea-aerea-jetsmart-iniciar-operaciones-chile>, Junio 2017. [En línea: consultado el 07-04-2019].
- [68] LAN. La compañía. <http://lan.com>. [En línea: consultado el 9-11-2018].

- [69] LATAM Airlines Group. Estrategia. <http://www.latamairlinesgroup.net/phoenix.zhtml?c=251289&p=irol-strategy>. [En línea: consultado el 12-12-2018].
- [70] LATAM Airlines Group. Flota. [https://www.latam.com/es\\_cl/conocenos/nuestra-flota/](https://www.latam.com/es_cl/conocenos/nuestra-flota/). [En línea: consultado el 11-07-2019].
- [71] LATAM Airlines Group. LATAM Cargo. <https://www.latamcargo.com/>. [En línea: consultado el 09-07-2019].
- [72] LATAM Airlines Group. LATAM Pass. [https://www.latam.com/es\\_cl/latam-pass/](https://www.latam.com/es_cl/latam-pass/). [En línea: consultado el 09-07-2019].
- [73] LATAM Airlines Group. LATAM Pass. [https://www.latam.com/es\\_cl/latam-pass/](https://www.latam.com/es_cl/latam-pass/). [En línea: consultado el 17-05-2019].
- [74] LATAM Airlines Group. LATAM Travel. [https://www.latam.com/es\\_cl/latam-travel/](https://www.latam.com/es_cl/latam-travel/). [En línea: consultado el 09-07-2019].
- [75] LATAM Airlines Group. Organigrama. <http://www.latamairlinesgroup.net/phoenix.zhtml?c=251289&p=irol-govmanage2>. [En línea: consultado el 12-11-2018].
- [76] LATAM Airlines Group. Memoria 2016. <http://memoria2016.marketinglatam.net/>, 2017. [En línea: consultado el 5-05-2019].
- [77] LATAM Airlines Group. Memoria 2017. <http://memoria2017.marketinglatam.net/es/nuestra-empresa/estrategia/2.php>, 2018. [En línea: consultado el 14-11-2018].
- [78] LATAM Airlines Group. Memoria Integrada 2018. <https://memoriaintegrada2018.marketinglatam.net>, 2019. [En línea: consultado el 17-05-2019].
- [79] Lufthansa Group. Annual Report 2014. <https://investor-relations.lufthansagroup.com/fileadmin/downloads/en/financial-reports/annual-reports/LH-AR-2014-e.pdf>, 2015. [En línea: consultado el 10-04-2019].
- [80] Benny Mantin and J.-H.E. Wang. Determinants of profitability and recovery from system-wide shocks: The case of the airline industry. *J.Airl. Airpt. Manag.*, 2:1-33, 05 2012.
- [81] Mehtap Akgüç, Miroslav Beblavy y Felice Simonelli. Low-Cost Airlines, Bringing the EU closer together. <https://www.ceps.eu/ceps-publications/low-cost-airlines-bringing-eu-closer-together>, 2018. [En línea: consultado el 18-05-2019].
- [82] Meyer, David. Support Vector Machines, 2018.
- [83] David J Nicol. The influence of aircraft size on airline operating costs. *Omega*, 6(1):15 - 24, 1978.
- [84] Patel, Savan. SVM (Support Vector Machine) - Theory. <https://medium.com/machine-learning-101/chapter-2-svm-support-vector->

- machine-theory-f0812effc72, 2017. [En línea: consultado el 15-06-2019].
- [85] Publimetro. Guerra de las aerolíneas por el low cost: surcando los aires de Chile .<sup>a</sup> la europea. <https://www.publimetro.cl/cl/noticias/2018/11/15/nuevo-escenario-de-las-low-cost-surcando-los-aires-de-chile-a-la-europea.html>, Noviembre 2018. [En línea: consultado el 17-05-2019].
- [86] Pulso. <http://portal.nexnews.cl/showN?valor=NDIwSTIyODNWMDIxMzgwMzIyNzYzMzQ2ODMzMzMI>  
<http://portal.nexnews.cl/showN?valor=NDIwSTIyODNWMDIxMzgwMzIyNzYzMzQ2ODMzMzMDkyMzM4NjAxO>  
 [En línea: consultado el 21-08-2019].
- [87] Pulso. Bloomberg: Latam Airlines disfruta su mejor condición financiera desde el 2012. <http://www.pulso.cl/empresas-mercados/bloomberg-latam-airlines-disfruta-mejor-condicion-financiera-desde-2012/>, 2017. [En línea: consultado el 9-11-2018].
- [88] Pulso. Cómo se redistribuyó el mercado de vuelos domésticos en Chile tras la arremetida low cost. <https://www.latercera.com/pulso/noticia/arremetida-las-low-cost-latam-pierde-11-puntos-mercado-rutas-nacionales/399001/>, Noviembre 2018. [En línea: consultado el 16-05-2019].
- [89] Pulso. Se desata la guerra de precios para viajar en avión: pasajes cuestan menos de \$ 1.000. <https://www.latercera.com/pulso/noticia/se-desata-una-verdadera-guerra-precios-aerolineas-pasajes-desde-800-mas-tasas/499942/>, Enero 2019. [En línea: consultado el 17-05-2019].
- [90] Roa, Andrés. Cómo aprovechar la temporada baja para conocer Chile. <https://www.comparaonline.cl/blog/seguros/viajes/2014/06/como-aprovechar-la-temporada-baja-para-conocer-chile/>, 2014. [En línea: consultado el 19-06-2019].
- [91] RStudio Team. *RStudio: Integrated Development Environment for R*. RStudio, Inc., Boston, MA, 2016.
- [92] Megan Smirti Ryerson and Mark Hansen. Capturing the impact of fuel price on jet aircraft operating costs with leontief technology and econometric models. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 33:282 – 296, 2013.
- [93] SAP. SAP Business Explorer. [https://help.sap.com/doc/saphelp\\_nw73ehp1/7.31.19/en-US/5b/30d43b0527a17be10000000a114084/frameset.htm](https://help.sap.com/doc/saphelp_nw73ehp1/7.31.19/en-US/5b/30d43b0527a17be10000000a114084/frameset.htm). [En línea: consultado el 11-07-2019].
- [94] SCAN. JetSmart duplicará la flota para sus rutas en Chile durante el 2019. <https://www.scan.cl/2019/01/21/jetsmart-duplicara-la-flota-para-sus-rutas-en-chile-durante-2019-scan-inteligencia-de-mercado-clientes-incognitos-estudios-de-mercado-inteligencia-competitiva-calidad-de-servicio-b2b/>, Enero 2019. [En línea: consultado el 10-04-2019].
- [95] Scikit Learn. Gaussian Processes. <https://scikit-learn.org/stable/modules/>

gaussian\_process.html. [En línea: consultado el 17-06-2019].

- [96] SCL Econometrics. Estudio comparado de los resultados de acuerdos aéreos liberales de Chile y la Región. <http://www.jac.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/ESTUDIOS-008-ESTUDIO-COMPARADO-DE-LOS-RESULTADOS-DE-ACUERDOS-AÉREOS-LIBERALES-DE-CHILE-Y-LA-REGIÓN-2007.pdf>, Diciembre 2007. [En línea: consultado el 17-11-2018].
- [97] Hannu Seristö and Ari P.J. Vepsäläinen. Airline cost drivers: cost implications of fleet, routes, and personnel policies. *Journal of Air Transport Management*, 3(1):11 – 22, 1997.
- [98] Haseeb Shafique, Umair y Qaiser. A comparative study of data mining process models (kdd, crisp-dm and semma). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 12:2351–8014, 11 2014.
- [99] Statinfer. SVM Advantages, Disadvantages and Applications. <https://statinfer.com/204-6-8-svm-advantages-disadvantages-applications/>, 2019. [En línea: consultado el 16-06-2019].
- [100] Statistics How To. Mean absolute percentage error (MAPE). <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/mean-absolute-percentage-error-mape/>, 2017. [En línea: consultado el 19-06-2019].
- [101] William M. Swan and Nicole Adler. Aircraft trip cost parameters: A function of stage length and seat capacity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(2):105–115, 2006.
- [102] Telegraph. Low-cost airlines have come a long way. But who will win the battle? <https://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/transport/10454522/Low-cost-airlines-have-come-a-long-way.-But-who-will-win-the-battle.html>, Noviembre 2013. [En línea: consultado el 11-04-2019].
- [103] Teletrece. Latam renueva oferta de tarifas para vuelos domésticos y competir con aerolíneas low cost. <http://www.t13.cl/noticia/negocios/latam-renueva-oferta-tarifas-vuelos-domesticos-y-competir-aerolineas-low-cost>, Mayo 2017. [En línea: consultado el 7-04-2019].
- [104] The Economist. Legacy vs low-cost carriers. Spot the difference. <https://www.economist.com/gulliver/2013/03/26/spot-the-difference>, Marzo 2013. [En línea: consultado el 11-04-2019].
- [105] Tromben, Carlos. Fusión de LAN y TAM: ¿Quién dijo que iba a ser fácil? <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/multilatinas/fusion-de-lan-y-tam-quien-dijo-que-iba-ser-facil>, Junio 2015. [En línea: consultado el 02-04-2019].
- [106] Wenbin Wei and Mark Hansen. Cost economics of aircraft size. *Journal of Transport Economics and Policy*, 37:279–296, 05 2003.

- [107] Wikistat. Régression linéaire multiple ou modèle gaussien. <http://wikistat.fr/pdf/st-m-modlin-regmult.pdf>, 2016. [En línea: consultado el 15-06-2019].
- [108] Barber, D. Williams, C.K.I. Bayesian classification with Gaussian processes. . *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998.
- [109] Robert J. Windle. The world's airlines: A cost and productivity comparison. *Journal of Transport Economics and Policy*, 25(1):31–49, 1991.
- [110] Alireza Zendehboudi, M.A. Baseer, and R. Saidur. Application of support vector machine models for forecasting solar and wind energy resources: A review. *Journal of Cleaner Production*, 199:272 – 285, 20128.
- [111] Joost Zuidberg. Identifying airline cost economies: An econometric analysis of the factors affecting aircraft operating costs. *Journal of Air Transport Management*, 40:86 – 95, 2014.

# Anexos

## Anexo A: MAPEs de modelos

Modelo	MAPE Entrenamiento	MAPE Test
Regresión	3.59	2.48
SVM Radial	1.20	0.86
SVM Linear	1.43	1.12
SVM Polynomial	1.82	1.32
SVM Sigmoid	3.18	2.10
Random Forest	1.32	0.89
G.P. Radial	1.00	1.12
G.P. Polynomial	1.00	2.41
G.P. Linear	1.00	2.41
G.P. Tanh	0.99	33.66
G.P. Laplacian	1.00	1.32

Tabla 7.5: MAPE para modelos aplicados sobre las bases de datos tanto para el conjunto de entrenamiento como para el conjunto de test. Para SVM y G.P. (Procesos Gaussianos) se indica el kernel utilizado.

## Anexo B: Resultados de regresión

Variable	Coefficiente
Intercepto	-2,336e+05
Tasa USD/CLP	1,127e+02 [95 %]
Temporada baja	-8,639e+03 [95 %]
Inflación (PIB)	1,408e+03 [95 %]
Atrasos de despegue	5,047e+02 [95 %]
Atrasos de aterrizaje	-1,473e+02
ST02	-8,950e-01 [95 %]
ST12	1,117e+00 [95 %]
A320	-1,813e+02 [95 %]
A321	-1,069e+02 [90 %]
B767	-1,981e+03
B789	1,499e+04 [95 %]
ato1 ANF	-1,826e+04 [90 %]
ato1 ARI	2,861e+04 [95 %]
ato1 BBA	1,751e+04 [95 %]
ato1 CCP	-6,395e+03
ato1 CJC	-1,705e+04 [90 %]
ato1 CPO	4,676e+03
ato1 IQQ	1,371e+04 [90 %]
ato1 LSC	5,326e+03
ato1 MHC	2,338e+03
ato1 PMC	-9,611e+02
ato1 PUQ	3,846e+04 [95 %]
ato2 CCP	1,995e+04 [90 %]
ato2 LSC	1,554e+04 [90 %]
ato2 PMC	-1,934e+04 [95 %]
ato2 PUQ	5,778e+03
ato2 ZAL	3,675e+03
ato2 ZCO	2,699e+03
Atraso de despegue: atraso de aterrizaje	-4,182e+00 [95 %]

Tabla 7.6: Resultados de regresión. Se indica el nivel de significancia al 90 % y 95 %. Las variables con niveles más bajos de significancia no tienen indicado un porcentaje. Las variables iniciando por ato 1 o ato 2 corresponden a *dummies* que indican si la ruta utiliza el (los) aeropuerto(s) en cuestión. Los valores de los coeficientes pueden ser modificados por motivos de confidencialidad.

## Anexo C: Propuesta de tutorial para código en R

Este tutorial debe entenderse como un pseudo-código y no una versión definitiva, que debe tener en cuenta posible manipulaciones a la base de datos de la futura consulta en BEx que contiene todas las variables necesarias para realizar los modelos.

Se aconseja la instalación de **R** Studio [91] para la interfaz de código.

### Instalar librerías necesarias

Para el funcionamiento del código presentado, se requiere utilizar las siguientes librerías:

- randomForest
- MLmetrics
- readr
- readxl

Si estas no están instaladas, se puede realizar fácilmente mediante la opción de **R**Studio mediante mediante la opción *Install* del menú Package, tal como muestra la Figura 7.5:

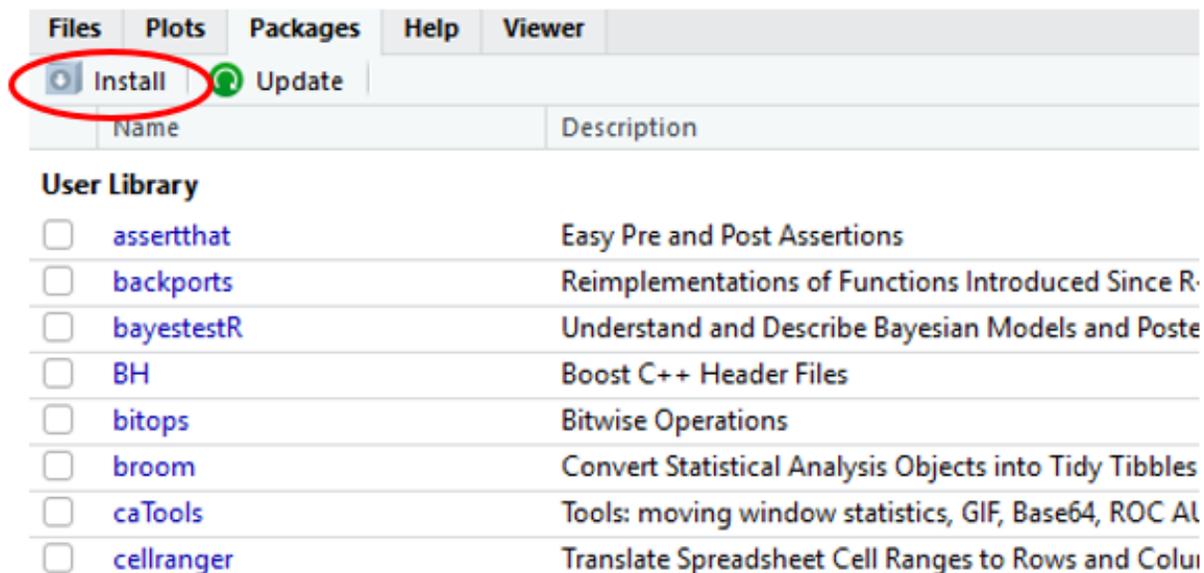


Figura 7.5: Como instalar un nuevo *package* en **R**Studio. Fuente: elaboración propia.

## Llamar a las librerías en R

Cuando se cuente con los *packages* instalados, en el código deben ser llamados antes de haber utilizado cualquier función asociadas a estos. Para ello, se emplea la función `library()`.

```
library(randomForest)
library(MLmetrics)
library(readr)
library(readxl)
```

## Descargar la base de datos de BEx

A través de la intranet de LATAM se puede acceder a BEx y descargar la consulta predefinida creada para la realización de presupuestos, en formato csv. Se deben descargar los datos históricos para entrenar el modelo y los datos para el próximo período.

## Cargar los datos en RStudio

La carga de datos se puede realizar mediante la función `read.csv()`. Se cargan las bases de datos para entrenar el modelo y los datos para el próximo período, lo que se traduce en el siguiente código (los acentos son omitidos por compatibilidad):

```
#Importar datos para entrenamiento
datos=read.csv("nombre_archivo.csv")

#Importar datos periodo siguiente
datos_ppto=read.csv("nombre_archivo_2.csv")
```

## Creación de conjuntos de *train* y *test* para los datos históricos

Para evitar *overfitting* en el modelo planteado, se compara los MAPEs para un conjunto *train* y *test* para los datos históricos. Se descarta la posibilidad de *overfitting* cuando el MAPE de *train* y *test* son similares.

La creación de estos conjuntos se puede realizar mediante las siguientes líneas:

```
# 75% para train y 25% para test
smp_size <- floor(0.75 * nrow(datos))

set.seed(123) #semilla de aleatoridad fija
train_ind <- sample(seq_len(nrow(datos)), size = smp_size)

# Conjuntos train y test
train <- datos[train_ind, ]
```

```
test <- datos[-train_ind, ]
```

## Modelo *Random Forest*

*Random Forest* incorpora un componente de aleatoridad en el algoritmo. Es por ello que se propone realizar iteraciones del modelo para encontrar aquel que tiene mejores métricas (MAPE) para test.

En el código presentado a continuación, la variable `money` corresponde al costo, `tasa` al tipo de cambio, `temp` a la temporada, `Indice` a la inflación en PIB chileno. Las demás variables reciben los nombres habituales.

```
mejor_metrica=10000
for(i in range(1,100)){
  modelo <- randomForest(money~
                        tasa+
                        temp+
                        Indice +
                        atrasodespegue +
                        atrasoaterrizaje +
                        atrasodespegue:atrasoaterrizaje+
                        ST02 +
                        ST12 +
                        A320 +
                        A321+
                        B767+
                        B789+
                        ato1+
                        ato2 ,
                        data=train ,
                        importance=TRUE)

  p <-predict(mod, test)

  #Dado el componente aleatorio de Random Forest ,
  #se escoge aquel con mejores
  #resultados para test

  if(MAPE(p, test$money)<mejor_metrica){
    modelo_definitivo=modelo
  }
}
```

Para escoger el modelo seleccionado, se procede a descartar la posibilidad de *overfitting*, comparando los valores de MAPE para *train* y *test*.

```
MAPE(modelo_definitivo$predicted , train$money)
```

```
p <-predict(modelo_definitivo , test)
MAPE(p, test$money)
```

Se puede observar la importancia de las variables en el modelo mediante la función `importance`.

```
# Importancia de variables
importance(modelo_definitivo)
```

## Elaboración de presupuestos

Después de haber verificado el correcto desempeño de *Random Forest*, se realizan las proyecciones con la base de datos para el próximo periodo.

```
#Presupuestos
ppto=predict(modelo_definitivo , datos_ppto)
```

Este resultado se puede exportar en diferentes formatos para su posterior manipulación en Excel, de la forma habitual en control de gestión.

## Regresión

A pesar que la regresión es el modelo con peor desempeño (Ver Tabla 7.1), se propone su utilización con fines meramente interpretativos de la influencia de la tendencia de las variables. Sin embargo, no se deben utilizar sus resultados para predicción salvo que las métricas evolucionen a su favor en el futuro.

```
# Regresion
regresion <- lm(money~
                tasa+
                temp+
                ' ndice ' +
                atrasodespegue +
                atrasoaterrizaje +
                atrasodespegue:atrasoaterrizaje+
                ST02 +
                ST12 +
                A320 +
                A321+
                B767+
                B789+
                at01+
                at02 ,
                data=train
                )
```

```
p_reg<-predict(lm, test)

#Comparativo MAPE para descartar overfitting
MAPE(regresion$fitted.values, train$money)
MAPE(p_reg, test$money)

#### Resultados regresion
summary(regresion)
```