UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
ACADEMIA DE CIENCIAS AERONÁUTICAS
SANTIAGO – CHILE

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE VIABILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN SEGUNDO AEROPUERTO: CASO APLICADO A LA MACROZONA CENTRAL DE CHILE

AYRTONN DÍAZ M.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUÍA : SR. CRISTIAN CARVALLO G.
PROFESORA CORREFERENTE : SRTA. KAREN JARA J.

SEPTIEMBRE 2021

Agradecimientos

Quisiera dedicar estas líneas a todas las personas que de alguna forma u otra me apoyaron durante todo el proceso de elaboración y redacción de esta tesis. En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a la Virgen por escuchar las plegarias que surgieron durante estos tiempos difíciles para la sociedad, por la energía que me concedieron y por designar a un ángel guardián tan fiel.

Agradezco enormemente a mis padres Guillermo y Adelaida, y también a mis hermanos Ailann, Guillermo, Annabelle y Adelaida por su incondicional apoyo, motivación, guía y amor entregados hacia mí. Sepan que los tuve presente cada día dedicado a este trabajo.

A mis amigos Martín, Jorge y Ricardo quienes, pese a no poder coincidir demasiado por restricciones sanitarias y quehaceres académicos, les agradezco por apoyarme en todo momento de este proceso. Por esto mismo también agradezco a mis compañeros de Universidad, especialmente a Javier, Matías, Nicolás y Fabián. A mis amigos de Alborada, lugar donde he conocido a personas maravillosas, gracias por su entrega, su disposición a colaborar, sus sonrisas y por entender de que esta carrera no significa ser piloto comercial, ni ser la persona que dirige el tránsito de aviones en el aeropuerto.

Finalmente, quisiera dar las gracias a mis profesores guía y correferente. Les estoy infinitamente agradecido por el apoyo que me entregaron, su paciencia y comprensión en los momentos difíciles de este trabajo. Gracias a ambos por brindarme su ayuda siempre, ser grandes profesionales y guiarme a lo largo de todo el proceso, de principio a fin. También agradezco a los demás profesores de la Universidad, a la profesora Anamaría Arpea y al profesor Martín Potters por su apoyo académico y profesional.

A todas las personas aquí mencionadas directa e indirectamente, muchas gracias. Que Dios los bendiga, les deseo todo lo mejor en el futuro.

Resumen Ejecutivo

Durante el año 2018 el aeropuerto internacional Arturo Merino Benítez, el más importante en Chile, operó en su límite de 40 operaciones por hora en ambas pistas. En cuanto a la capacidad de pasajeros, la terminal está diseñada para 16 millones anuales y desde 2014 el total de pasajeros en el aeropuerto ha superado esa cifra. Una nueva terminal se inaugurará durante 2021 para aumentar la capacidad del aeropuerto a 30 millones anuales. La presente tesis surgió para corroborar la viabilidad del proyecto que busca construir un nuevo aeropuerto en la macrozona central de Chile. La investigación generó una hipótesis, que señalaba que se van a cumplir ciertas condiciones para el emplazamiento de un segundo aeropuerto en la mencionada zona, entre los años 2020 y 2035. Estas condiciones corresponden a dirección del viento predominante, orografía, cumplimiento de superficies limitadoras de obstáculos, conectividad e impacto ambiental.

El objetivo general del trabajo fue comprobar la viabilidad de emplazar un nuevo aeropuerto en la macrozona central. Los objetivos específicos del trabajo apuntaron a identificar dichas condiciones, pronosticar el año en que deberá operar el nuevo aeropuerto y corroborar el cumplimiento de las condiciones en las zonas estudiadas. La metodología utilizada fue de una investigación explicativa. Se recopiló información relativa a la normativa vigente de Chile, normativa internacional, estudios de localización, proyecciones de demanda y realidades internacionales relacionadas con el tráfico de pasajeros y conectividad entre los aeropuertos.

Luego se procedió a establecer una proyección del tráfico de pasajeros desde el 2020 hasta el 2035 según el comportamiento histórico. Considerando el atraso de 5 años que proyecta la IATA debido a la pandemia por el COVID-19, se esperan 42,1 millones de pasajeros al mismo ritmo de crecimiento hacia el final del horizonte de evaluación.

Las conclusiones obtenidas en esta investigación sostienen que tres de las cinco zonas evaluadas cumplen con los requisitos para localizar el nuevo aeropuerto. Mediante el modelo de Brown & Gibson, se recomienda emplazar el aeropuerto en la provincia de Maipo. Las principales ventajas del área corresponden a poder diseñar procedimientos de aproximación estándar, poco impacto a áreas pobladas y tener la mejor conectividad con Santiago, la capital del país.

Palabras clave: Aeropuerto de alivio, saturación de operaciones, emplazamiento, viabilidad.

Executive Summary

During 2018 Arturo Merino Benítez International Airport, the Chilean most important airport, operated at its maximum capacity of 40 operations per hour on both runways. In terms of passenger capacity, the terminal is designed for an amount of 16 million annually and since 2014 this quantity has been exceeded annually. A new terminal is set to open during 2021 to extend the airport's capacity to 30 million per year. This thesis is a viability analysis about the construction of a new airport for the central zone of Chile. The investigation led to a hypothesis regarding certain conditions for the new airport, and to acknowledge its accomplishment between 2020 and 2035. These viability conditions are prevailing wind, orography, obstacle clearance surfaces compliance, connectivity, and environmental impact.

The general objective was to verify that the conditions to build a new airport exist. This work specific objectives pointed at identifying such conditions, forecast the year in which the new airport shall begin operations and check the compliance of each condition in the studied zone. Explanatory investigation was the selected methodology. The information gathered was mainly about current regulations in Chile, international regulations, past location studies, passenger demand forecasts and international realities about traffic and connectivity between airports.

Then a projection of the airport traffic development was made, from 2020 to 2035 according to its historical behavior. Considering the 5-year delay that IATA has forecasted, the actual traffic level would be 42,1 million passengers maintaining the same growth rate to the end of the outlook.

The final interpretation in these preliminary results suggests that the airport can be constructed in three out of the five evaluation areas. The Brown & Gibson localization model recommends locating the new airport on the Maipo province, in Chile. The main advantages of this location are the capability to design standard approach procedures, low environmental impact on populated areas and the best connectivity with Santiago, the capital of Chile.

Keywords: Reliever airport, operational saturation, localization, viability.

Glosario

Aeródromo – “Es toda área delimitada, terrestre o acuática habilitada por la autoridad aeronáutica y destinada a la llegada, salida y maniobra de aeronaves en la superficie.” (DGAC, 2005).

Aeropuerto – “Aeródromo público que se encuentra habilitado para la salida y llegada de aeronaves en vuelos internacionales.” (DGAC, 2005).

AIP – Siglas en inglés para *Aeronautical Information Publication* (Traducido al español: Publicación de Información Aeronáutica.)

AMB – Siglas referidas al Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez de Santiago.

DAN – Normas aeronáuticas en Chile.

DAP – Dirección de Aeropuertos, organismo del MOP.

DAR – Reglamento aeronáutico en Chile.

DGAC – Dirección General de Aeronáutica Civil (Autoridad aeronáutica en Chile).

FAA – Siglas en inglés para *Federal Aviation Administration*, autoridad aeronáutica en los Estados Unidos de América (Traducido al español: Administración Federal de Aviación).

FAP – *Fixed Approach Point* (Traducido al español: Punto final de aproximación).

IAF – *Initial Approach Point* (Traducido al español: Posición incial de aproximación).

IATA – Siglas en inglés para *International Air Transport Association* (Traducido al español: Asociación Internacional del Transporte Aéreo).

IF – *Intermediate Approach Fix* (Traducido al español: Posición intermedia de aproximación).

JAC – Junta de Aeronáutica Civil (Autoridad aeronáutica en Chile).

MAPt – *Missed Approach Point* (Traducido al español: Punto de aproximación frustrada).

MOP – Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile.

NAMZC – Siglas utilizada por la DAP para referirse al Nuevo Aeropuerto de la Macrozona Central de Chile.

NM – Símbolo de la milla náutica (unidad de medida de longitud).

NPIAS – Plan Nacional de Sistemas Aeroportuarios Integrados (siglas en inglés de *National Plan for Integrated Airport Systems*) de la FAA.

OACI – Organización de Aviación Civil Internacional (Traducción al español de ICAO o *International Civil Aviation Organization*).

Índice General

Agradecimientos 2

Resumen Ejecutivo 3

Executive Summary 4

Glosario 5

Índice General 7

Índice de Gráficos 11

Índice de Tablas 13

Índice de Ecuaciones 14

Índice de Ilustraciones 15

Introducción 19

CAPÍTULO 1: Antecedentes Generales 1-20

1.1 Justificación del tema 1-20

1.2 Hipótesis 1-23

1.3 Objetivos 1-24

1.3.1 Objetivo General 1-24

1.3.2 Objetivos Específicos 1-24

1.4 Metodología 1-25

1.5 Alcance 1-28

CAPÍTULO 2: Estado del Arte 2-31

2.1 Antecedentes 2-31

2.1.1 Saturación de aeropuertos 2-32

2.1.1.1 Situación de AMB 2-33

2.1.1.2 Plan de mejora de capacidad de la DGAC 2-35

2.1.2 Ciudades extranjeras con más de un aeropuerto 2-35

2.1.2.1 Caso de Miami 2-36

2.1.2.2 Caso de Buenos Aires 2-38
2.1.2.3 Caso de Milán 2-42
2.1.2.4 Caso de Ciudad Real 2-46
2.1.2.5 Otros aeropuertos 2-48
2.1.3 Ámbito nacional 2-50
2.1.3.1 Aeropuerto Internacional La Araucanía 2-50
2.1.3.2 Nuevo Aeródromo Corporativo para la Región Metropolitana 2-52
2.1.3.3 Aeródromo de Viña del Mar 2-55
2.1.3.4 Aeródromo de Los Cerrillos 2-56
2.2 Marco teórico 2-58
2.2.1 Aeropuerto de alivio 2-58
2.2.2 Legislación chilena 2-60
2.2.2.1 DAR 14 2-60
2.2.2.2 Manual de Desarrollo Aeroportuario 2-62
2.2.2.3 DAN 14 2-64
2.2.3 Modelo Brown & Gibson 2-65
2.3 Propuesta metodológica 2-67
CAPÍTULO 3: Desarrollo 3-70
3.1 Definición de Zonas de Estudio y Variables 3-70
3.2 Definición del largo de pista 3-74
3.3 Proyección del tráfico de pasajeros en AMB 3-76
3.4 Variable 1: Dirección del viento predominante 3-81
3.4.1 Zona costera de Concón y Quintero 3-83
3.4.2 Cuenca sector Casablanca 3-84
3.4.3 Provincia de Maipo 3-85
3.4.4 Provincia de Talagante 3-87

3.4.5 Cuenca valle de Rancagua 3-88
3.5 Variable 2: Orografía 3-90
3.5.1 Zona costera de Concón y Quintero 3-90
3.5.1.1 Exclusión de la zona costera de Concón y Quintero 3-91
3.5.2 Cuenca sector Casablanca 3-93
3.5.3 Provincia de Maipo 3-94
3.5.4 Provincia de Talagante 3-96
3.5.5 Cuenca valle de Rancagua 3-97
3.6 Variable 3: Cumplimiento de superficies limitadoras de obstáculos 3-100
3.6.1 Cuenca sector Casablanca 3-102
3.6.1.1 Pista 04 3-102
3.6.1.2 Pista 22 3-104
3.6.1.3 Exclusión de la cuenca de Casablanca 3-104
3.6.2 Provincia de Maipo 3-105
3.6.2.1 Pista 36 3-105
3.6.2.2 Pista 18 3-107
3.6.3 Provincia de Talagante 3-108
3.6.3.1 Pista 22 3-109
3.6.3.2 Pista 04 3-110
3.6.4 Cuenca valle de Rancagua 3-112
3.6.4.1 Pista 18 3-113
3.6.4.2 Pista 36 3-114
3.7 Variable 4: Impacto ambiental 3-117
3.7.1 Provincia de Maipo 3-118
3.7.2 Provincia de Talagante 3-120
3.7.3 Cuenca valle de Rancagua 3-123

3.8 Variable 5: Conectividad con Santiago 3-125
3.8.1 Distancia en ruta 3-126
3.8.2 Tiempo de traslado 3-127
3.8.3 Proyectos de conectividad futura 3-128
3.8.3.1 Tren Valparaíso Santiago (TVS) 3-128
3.8.3.2 Tren Melipilla – Estación Central 3-129
3.9 Resultados finales 3-130
3.9.1 Resultados por Variables 3-130
3.9.2 Propuesta de localización 3-136
3.9.3 Recomendaciones finales 3-137
Conclusiones y Recomendaciones 139
Bibliografía 142
APÉNDICE A: Comparación de alternativas A-1
APÉNDICE B: Pronóstico de la IATA para el tráfico de pasajeros B-3
APÉNDICE C: Entrevista a expertos C-8
APÉNDICE D: Aerolíneas, aeronaves y destinos de AMB D-10
APÉNDICE E: Ratio de Saturación E-17
APÉNDICE F: Imágenes satelitales de AMB y otros aeropuertos F-20
APÉNDICE G: Operaciones anuales en casos extranjeros recopilados G-26
APÉNDICE H: Mapa de la Red Aeroportuaria de Chile H-30
APÉNDICE I: Localizaciones de las pistas preliminares del NAMZC I-31
APÉNDICE J: Metodología y largos de pista definidos por zona J-36
APÉNDICE K: Tabla resumen de estándares en la terminal de pasajeros según la DAP K-42
APÉNDICE L: Rutas de acceso y tarifas a las zonas del NAMZC L-43
APÉNDICE M: Modelo Brown & Gibson M-47
APÉNDICE N: Indemnización a comunidades afectadas N-51

Índice de Gráficos

Gráfico 1-1: Evolución y proyecciones del tráfico de pasajeros en AMB entre 2009 y 2020. 1-20

Gráfico 1-2: Esquema de la metodología. 1-26

Gráfico 2-1: Operaciones por hora en AMB durante diciembre de 2016..... 2-33

Gráfico 2-2: Operaciones por hora en AMB durante diciembre de 2018..... 2-34

Gráfico 2-3: Evolución del tráfico de pasajeros en el Aeropuerto Internacional de Miami entre el 2000 y 2020. 2-37

Gráfico 2-4: Evolución de pasajeros en el Aeropuerto Internacional de Fort Lauderdale-Hollywood entre el 2000 y 2020. 2-38

Gráfico 2-5: Evolución del tráfico de pasajeros del Aeropuerto de Ezeiza entre 2001 y 2020..... 2-39

Gráfico 2-6: Evolución de pasajeros en el Aeroparque Jorge Newbery entre 2001 y 2020..... 2-40

Gráfico 2-7: Composición del tráfico de pasajeros de 2019 en El Palomar. 2-40

Gráfico 2-8: Evolución de pasajeros en el Aeropuerto de Milán-Malpensa entre 2000 y 2020..... 2-43

Gráfico 2-9: Evolución de pasajeros en el Aeropuerto de Milán-Linate entre 2000 y 2020..... 2-44

Gráfico 2-10: Evolución de pasajeron en el aeropuerto de Bérgamo entre 2000 y 2020. 2-44

Gráfico 2-11: Desarrollo de la infraestructura aeroportuaria. 2-63

Gráfico 2-12: Esquema de la propuesta metodológica. 2-67

Gráfico 3-1: Requerimientos de pista para despegue de un Boeing 737-800. Ejemplo de un gráfico en un APM. 3-74

Gráfico 3-2: Tráfico y proyección de pasajeros entre 2005 y 2035 según su comportamiento pre-pamdemia. 3-78

Gráfico 3-3: Crecimiento anual de la canitdad total de pasajeros en AMB desde 2005 hasta 2035. 3-79

Gráfico 3-4: Crecimiento de la cantidad de pasajeros nacionales e internacionales en AMB desde 2005 hasta 2035..... 3-80

Gráfico 3-5: Predominancia de la dirección e intensidad del viento en la estación de Torquemada desde 2014 hasta 2020. 3-83

Gráfico 3-6: Predominancia de la dirección e intensidad del viento en Casablanca durante 2020 y hasta abril de 2021. 3-84

Gráfico 3-7: Procedencia de la dirección e intensidad del viento en Buin desde 2018 hasta abril de 2021. 3-86

Gráfico 3-8: Predominancia de la dirección e intensidad del viento en Talagante entre septiembre de 2016 y abril de 2021. 3-87

Gráfico 3-9: Predominancia de la dirección e intensidad del viento en Rancagua desde 2016 hasta 2020. 3-89

Gráfico B-1: Niveles de RPK globales 2019-2021. B-4

Gráfico B-2: Quema de liquidez, en billones de dólares (USD) por trimestre (2020 y 2021). B-5

Gráfico B-3: Crecimiento de los niveles de RPK nacionales en julio de 2021 con respecto al mes anterior. B-7

Gráfico B-4: Crecimiento de los niveles de RPK internacionales en julio de 2021 con respecto al mes anterior. B-7

Gráfico D-5: Clasificación de las actividades según su natualreza en AMB durante 2018. D-10

Gráfico D-6: Principales aerolíneas nacionales de pasajeros en AMB durante 2018. D-11

Gráfico D-7: Principales aerolíneas internacionales de pasajeros en AMB durante 2018. D-11

Gráfico D-8: Principales aerolíneas internacionales de carga en AMB durante 2018. D-12

Gráfico E-9: Distribución anual de pasajeros en AMB entre 2003 y 2018. E-19

Gráfico G-10: Evolución de las operaciones en el Aeropuerto Internacional de Miami entre el 2000 y 2020. G-26

Gráfico G-11: Evolución de las operaciones en el Aeropuerto de Ezeiza entre 2001 y 2020. G-27

Gráfico G-12: Evolución de las operaciones en el Aeroparque Jorge Newbery entre 2001 y 2020. G-27

Gráfico G-13: Composición de las operaciones de 2019 en El Palomar. G-28

Gráfico G-14: Evolución de las operaciones en el Aeropuerto de Milán-Malpensa entre 2000 y 2020. G-28

Gráfico G-15: Evolución de operaciones en el Aeropuerto de Milán-Linate entre 2000 y 2020..... G-29

Gráfico G-16: Evolución de operaciones en el aeropuerto de Bérgamo entre 2000 y 2020. ..... G-29

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Distnacias entre el centro de Miami y sus aeropurtos..... 2-37

Tabla 2-2: Orientación y dimensiones de las pistas en aeropuertos de MIiami. 2-38

Tabla 2-3: Orientación y dimensiones de las pistas en aeropueretos de Buenos Aires. 2-41

Tabla 2-4: Distancias entre el centro de Buenos Aires y sus aeropuertos. 2-41

Tabla 2-5: Orientación y dimensiones de las pistas en los aeropuertos de Milán. 2-45

Tabla 2-6: Distancias entre el centro de Milán y sus aeropuertos. 2-45

Tabla 2-7: Orientación y dimensiones de las pistas de aeropuertos en Madrid y Ciudad Real. 2-47

Tabla 2-8: Distancias entre el centro de Madrid y los aeropuertos. 2-47

Tabla 2-9: Réplica de la Tabla 1 del Informe de Emplazamiento. 2-51

Tabla 2-10: Anlálisis Ponderado de Variables Técnicas, según Etapas/Variables/Materias..... 2-53

Tabla 2-11: Definición Nivel de Servicio. 2-62

Tabla 3-1: Comparación de la exactitud de las proyecciones. 3-77

Tabla 3-2: Distancias desde Plaza de Armas (Santiago) y el aeropuerto de la ciudad (AMB) hacia las zonas propuestas para el NAMZC..... 3-127

Tabla 3-3: Tiempos de traslado en transporte público y privado hacia las zonas de estudio. 3-128

Tabla 3-4: Comparación de procedimientos en las zonas de estudio tentativas..... 3-133

Tabla 3-5: Medidas de preferencia de localización (MPL) para las tres zonas finales de estudio. 3-137

Tabla A-1: Inverisón necesaria y operación esperada para proyectos contingentes. A-1

Tabla E-2: Ratio de Saturación aplicado a pasajeros de AMB entre 2003 y 2018.....E-18

Tabla J-3: Largos de pista requeridos para el sector de Concón – Quintero. J-39

Tabla J-4: Largos de pista requeridos para el sector de Casablanca. J-39

Tabla J-5: Largos de pista requeridos para la provicia de Talagante. J-40

Tabla J-6: Largos de pista requeridos para la provincia de Maipo.....J-40

Tabla J-7: Largos de pista requeridos para la cuenca del valle de Rancagua.....J-41

Tabla K-8: Extracto de la tabla “Estándares de Planificación del Edificio Terminal de Pasajeros” (DAP, 2011)..... K-42

Tabla M-9: Valorización de los costos de nivelación del terreno en las zonas de estudio.....M-47

Tabla M-10: Valores del factor objetivo de cada zona.....M-47

Tabla M-11: Comparación entre factores subjetivos del modelo.....M-47

Tabla M-12: Comparaciones pareadas de Meterorología.....M-48

Tabla M-13: Comparaciones pareadas de Orografía.....M-48

Tabla M-14: Comparaciones pareadas de Espacio Aéreo.....M-48

Tabla M-15: Comparaciones pareadas de Impacto ambiental.....M-49

Tabla M-16: Comparaciones pareadas de Conectividad.....M-49

Tabla M-17: Estructura de las zonas y factores subjetivos con sus respectivas preferencias. M-49

Tabla M-18: Valores del factor subjetivo de cada zona.....M-50

Índice de Ecuaciones

Ecuación E-1: Ratio de Saturación.....E-17

Ecuación M-2: Cálculo de las medidas de preferencia de localización.....M-50

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1-1: Zonas propuestas por la DAP para la localización del NAMZC. 1-23

Ilustración 1-2: Objetivos de Desarrollo Sustentable propuesto por la ONU. 1-29

Ilustración 1-3: Límites y composición de la Macrozonona central de Chile. 1-30

Ilustración 2-1: Ubicación de los aeropuertos de Miami. 2-36

Ilustración 2-2: Ubicación de los tres aeropuertos de Buenos Aires. 2-42

Ilustración 2-3: Ubicación de los tres aeropuertos de Milán. 2-46

Ilustración 2-4: Aeropuerto de Ciudad Real, Madrid, España. 2-48

Ilustración 2-5: Imagen asociada al Plan Maestro del nuevo aeropuerto de Santa Lucía, México. 2-49

Ilustración 2-6: Plan de mejoramiento al aeródromo de Viña del Mar. 2-56

Ilustración 2-7: Imagen del Plan Maestro acutal de AMB contemplado para 2045. 2-61

Ilustración 3-1: Mapa de divisiones comunales y provinciales de la Región Metropolitana de Chile. 3-71

Ilustración 3-2: Rosa de los vientos con los respectivos grados sexagesimales e interpretaciones. 3-82

Ilustración 3-3: Curvas de nivel en la pista del aeródromo de Viña del Mar. 3-91

Ilustración 3-4: Umbral 05 de la pista ampliada del aeródromo de Viña del Mar. 3-92

Ilustración 3-5: Umbral 23 de la pista ampliada del aeródromo de Viña del Mar. 3-92

Ilustración 3-6: Curvas de nivel en el umbral 04 de la pista tentativa en Casablanca 3-93

Ilustración 3-7: Curvas de nivel en el umbral 22 de la pista tentativa en Casablanca. 3-94

Ilustración 3-8: Curvas de nivel en el umbral 18 de la pista tentativa en la Provincia de Maipo. 3-95

Ilustración 3-9: Curvas de nivel en el umbral 36 de la pista tentativa en la Provincia de Maipo. 3-95

Ilustración 3-10: Curvas de nivel en el umbral 22 de la pista tentativa en la Provincia de Talagante. 3-96

Ilustración 3-11: Curvas de nivel en el umbral 04 de la pista tentativa en la Provincia de Talagante. 3-97

Ilustración 3-12: Curvasd de nivel en el umbral 18 de la pista tentativa en el valle de Rancagua. 3-98

Ilustración 3-13: Curvas de nivel en el umbral 36 de la pista tentativa en el valle de Rancagua. 3-98

Ilustración 3-14: Zonas de protección para la pista 04 (de derecha a izquierda) en Casablanca. 3-103

Ilustración 3-15: Procedimientos definitivos para la pista 04 (de derecha a izquierda) en Casablanca. 3-103

Ilustración 3-16: Zonas de protección para la pista 22 (de izquierda a derecha) en Casablanca..... 3-104

Ilustración 3-17:Zonas de protección para la pista 36 (de izquierda a derecha) en la provincia de Maipo.. 3-106

Ilustración 3-18: Procedimientos definitivos de la pista 36 (de izquierda a derecha) en la provincia de Maipo. 3-107

Ilustración 3-19: Zonas de protección para la pista 18 (de derecha a izquierda) en la provincia de Maipo. 3-107

Ilustración 3-20: Procedimientos definitivos de la pista 18 (de derecha a izquierda) en la provincia de Maipo. 3-108

Ilustración 3-21: Zonas de protección para la pista 22 (de derecha a izquierda) en la provincia de Talagante. 3-109

Ilustración 3-22: Procedimientos definitivos de la pista 22 (de derecha a izquierda) en la provincia de Talagante. 3-110

Ilustración 3-23: Zonas de protección para la pista 04 (de izquierda a derecha) en la provincia de Talagante. 3-111

Ilustración 3-24: Procedimientos definitivos de la pista 04 (de izquierda a derecha) en la provincia de Talagante. 3-112

Ilustración 3-25: Zonas de protección para la pista 18 (de izquierda a derecha) en la cuenca del Valle de Rancagua. 3-113

Ilustración 3-26: Procedimientos definitivos para la pista 18 (de izquierda a derecha) en el Valle de Rancagua. 3-114

Ilustración 3-27: Zonas de protección para la pista 36 de izquierda a derecha) en el Valle de Rancagua... 3-115

Ilustración 3-28: Procedimientos definitivos para la pista 36 (de izquierda a derecha) en el Valle de Rancagua. 3-116

Ilustración 3-29: Humedales asociados al Río Maipo (al noroeste) y al río Angostura (al suroeste) en la provincia de Maipo..... 3-119

Ilustración 3-30: Imagen satelital de la provincia de Maipo con las áreas de riesgo, predios y umbrales tentativos de la pista (rombos en azul). 3-120

Ilustración 3-31: Humedales asociados al río Mapocho (al norte) y Maipo (al sur) en la provincia de Talagante. 3-121

Ilustración 3-32: Imagen satelital de la provincia de Talagante con las áreas de riesgo, predios y umbrales tentativos de la pista (rombos en azul). 3-122

Ilustración 3-33: Humedales asociados al Río Cachapoal y Estero Codegua en el valle de Rancagua. 3-123

Ilustración 3-34: Imagen satelital del valle de Rancagua con las áreas de inundación, zonas residenciales, incendios registrados y umbrales tentativos (rombos azules). 3-124

Ilustración B-1: Infografía de las tasas de crecimineto del tráfico de pasajeros y posterior recuperación por región..... B-6

Ilustración D-2: Principales destinos nacionales operados desde y hacia AMB en 2018. ..... D-13

Ilustración D-3: Principales destinos internacionales operados desde y hacia AMB en 2018. ..... D-14

Ilustración D-4: Composición de aeronaves por operaciones nacionales en AMB durante 2018..... D-15

Ilustración D-5: Composición de aeronaves por operación internacional en AMB durante 2018. ..... D-15

Ilustración F-6: Imagen satelital de AMB y sus alrededores en 1984. ..... F-20

Ilustración F-7: Imagen satelital de AMB y sus alrededores en 1994. ..... F-21

Ilustración F-8: Imagen satelital de AMB y sus alrededores en 2004. ..... F-21

Ilustración F-9: Imagen satelital de AMB (en azul) y sus alrededores en 2013. ..... F-22

Ilustración F-10: Imagen satelital de AMB y sus alrededores en 2017. ..... F-23

Ilustración F-11: Imagen satelital de AMB y sus alrededores en 2021. ..... F-23

Ilustración F-12: Imagen satelital del Aeropuerto Internacional Ministro Pistarini en 2021 (Buenos Aires, Argentina)..... F-24

Ilustración F-13: Imagen satelital del Aeropuerto de Milán-Malpensa en 2021 (Milán, Italia)..... F-25

Ilustración H-14: Red Aeroportuaria de Chile publicado el 5 de Mayo de 2020. ..... H-30

Ilustración I-15: Umbrales del aeródromo de Torquemada con el largo de pista corregido. I-31

Ilustración I-16: Umbrales tentativos del NAMZC en Casablanca. I-32

Ilustración I-17: Umbrales tentativos del NAMZC en la provincia de Maipo. I-33

Ilustración I-18: Umbrales tentativos del NAMZC en la provincia de Talagante.....I-34

Ilustración I-19: Umbrales tentativos del NAMZC al nororiente de Rancagua. I-35

Ilustración L-20: Trayecto desde Santiago hacia el emplazamiento en la Provincia de Maipo. L-44

Ilustración L-21: Trayecto desde Santaigo hasta el emplazamiento en la provincia de Talagante. L-45

Ilustración L-22: Trayecto desde Santiago hasta el emplazamiento en el valle de Rancagua.....L-46

Introducción

El Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez, que abastece a Santiago de Chile, ha presentado un crecimiento promedio anual de un 9,6% en términos de tráfico total de pasajeros desde el 2005 hasta el 2019. Ubicado en la zona central, es la principal terminal aérea en recibir vuelos internacionales y conectar con el resto del país con vuelos domésticos.

En 2019, Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile anunció la licitación de un estudio de prefactibilidad para la construcción de un segundo aeropuerto, que abasteciera no sólo a la ciudad de Santiago y la región donde ésta se encuentra, sino también a las dos regiones con las que limita al norte y sur de ella. De forma paralela, las ampliaciones del aeropuerto de Santiago están previstas para 30 millones de pasajeros de capacidad y con vistas a ser inauguradas durante 2021. Los 24,6 millones de pasajeros en 2019 ya superan la capacidad de la terminal previa a la ampliación.

Los objetivos del presente trabajo se evocan a tomar una postura frente a una hipótesis, la cual plantea que dentro de 15 años del inicio del trabajo (2020-2035) existirán las condiciones que hacen viable un nuevo aeropuerto en la zona, tales como meteorología, orografía, espacio aéreo favorable, conectividad y bajo impacto ambiental.

La metodología corresponde a una investigación explicativa que se enfoca en la recopilación de toda la teoría relacionada con normativa, estudios anteriores y experiencia internacional sobre la construcción de un nuevo aeropuerto para una ciudad. Lo siguiente es definir las zonas de estudio y corroborar las condiciones en forma de variables en dichas ubicaciones. Finalmente, se podrá tomar una postura frente a la hipótesis planteada, una vez evaluada cada zona propuesta.

Este trabajo posee un alcance descriptivo dada la naturaleza de la metodología a utilizar, recopilando información ya sea de Chile o del resto del mundo con casos similares. Se preferirá la recopilación de datos desde el año 2000 en adelante. Se abordarán contenidos relacionados con la normativa vigente, evaluación de proyectos aeroportuarios, gestión operacional de aeropuertos y gestión del espacio aéreo.

CAPÍTULO 1: Antecedentes Generales

1.1 Justificación del tema

Desde el 2003, el Aeropuerto Internacional AMB de Santiago ha experimentado un aumento en el flujo de pasajeros año tras año. El 2019 registró 24.630.742 pasajeros totales (55,3% de ellos nacionales y 44,7% internacionales), un aumento de 5,6% con respecto al año anterior (1.306.436 pasajeros adicionales). Correspondía al 17º año consecutivo en que se presentaba un aumento de esta cifra. Durante dicho año ya se estaban realizando obras de ampliación a la terminal para poder abastecer a 30 millones de pasajeros hacia 2021. Considerando el tráfico de 2019, se vaticinaba una saturación de la terminal para cuando estuviera lista la ampliación.

En el 2013 se realizó un anteproyecto referencial para dicha ampliación de AMB (STANTEC, 2013) aprobado por la DAP. Este llevó a la publicación de un informe que daba a conocer las proyecciones a largo plazo del tráfico de pasajeros del aeropuerto. En este informe también se comparaban las cifras calculadas con proyecciones anteriores.

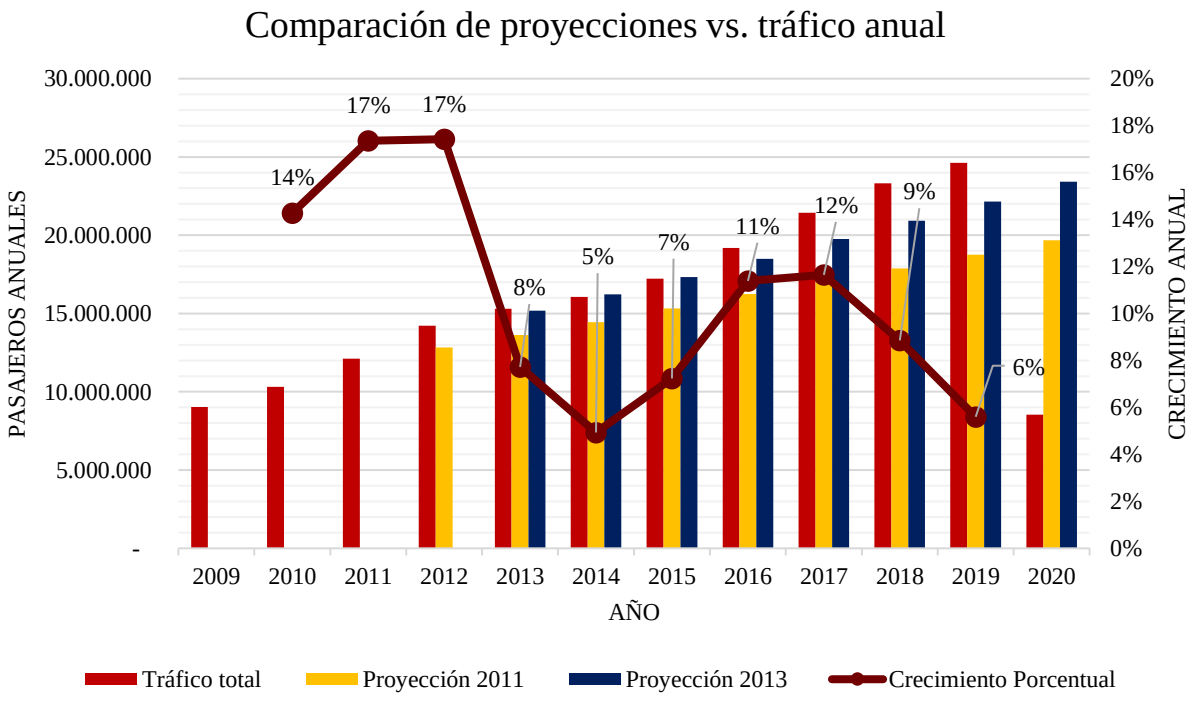

Gráfico 1-1: Evolución y proyecciones del tráfico de pasajeros en AMB entre 2009 y 2020.

Fuente: Elaboración propia, en base a datos obtenidos de la JAC y STANTEC.

En el Gráfico 1-1 se aprecia que la proyección más reciente (2013 en su naturaleza tendencial[1]) implicaba una mayor alza que la proyección anterior. El tráfico de pasajeros entre 2010 y 2019 aumentó a una tasa de 9,1% anual. En definitiva, la cantidad de viajeros que tuvo AMB fue mayor a cualquiera de las dos proyecciones hasta 2019.

Por un lado, se tiene que el tráfico de pasajeros superó a la cantidad anual diseñada de la terminal previa a las ampliaciones. Esto trae como consecuencia empobrecimiento de la calidad de servicio del aeropuerto, como mayores tiempos de espera y menor disponibilidad de servicios. Pero una saturación real del aeropuerto sucede cuando sus pistas están sobrepasadas en la capacidad de operaciones por hora que admiten. Esto provoca retrasos en la llegada y salida de vuelos, y es una restricción directa de la cantidad de vuelos que se pueden realizar y turistas que pueden llegar en las horas de mayor congestión. De acuerdo con la información entregada por la DGAC, las operaciones por hora han aumentado al igual que el tráfico de pasajeros como se observa en el Gráfico 2-1 y Gráfico 2-2. En una primera instancia se estima que, durante el 2018, hubo un día en donde el aeropuerto operó con su máxima capacidad de operaciones por pista[2].

En esta línea, el Ministerio de Obras Públicas de Chile anunció en septiembre de 2019 la licitación de un estudio de prefactibilidad para la construcción de un segundo aeropuerto que opere para la macrozona central del país (compuesta por la Región Metropolitana de Santiago, la Región de Valparaíso y la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins). La declaración mencionó que este aeropuerto, si bien se encuentra actualmente en las primeras instancias de evaluación, se apoyaría en otros proyectos de conectividad interregionales que se planean dentro de la macrozona central. Finalmente se anunciaron 5 lugares tentativos para ubicar la nueva terminal aérea. En la

---

[1] En el informe del 2013, también se publicaron proyecciones optimistas y pesimistas para el tráfico de pasajeros. Para efectos de comparación, se utilizó el escenario neutral, llamado "Tendencial". La Dirección de Aeropuertos se refiere a dicho estudio, advirtiendo que "En virtud de las proyecciones de Demanda realizadas por DAP, se puede concluir que la saturación del Aeropuerto AMB (…) ocurrirá cercana al año 2032 (70 op. / hora), anticipándose 13 años a la Adenda del Ant. Ref. 2013" (DAP, 2020).

[2] En cuanto al 2019, la DAP (2020) informa de 174.847 operaciones totales durante el año (compuesta de 93% de operaciones comerciales, 2,7% de carga y el 4,3% restante de aviación general), alcanzándose un máximo de 46 operaciones por hora.

actualidad el proyecto es un Estudio Básico iniciado en diciembre de 2020. El mismo contempla la actualización del Plan Maestro de AMB (donde se considera la construcción de una tercera pista para el aeropuerto), proyecciones de demanda para el actual y para el nuevo aeropuerto (denominado NAMZC), y un estudio de localización para este último a entregarse durante 2021.

Si bien ya está en marcha esta evaluación de la prefactibilidad, pueden existir otras alternativas que pueden conllevar a la misma solución, establecer un segundo aeropuerto para la macrozona central. Éstas se describen mejor en el apéndice A.

El presente trabajo busca corroborar que las zonas propuestas para la localización del nuevo aeropuerto cumplan con las condiciones de albergarlo. Constituye entonces a un primer acercamiento del proyecto mencionado, pudiendo ser la base para el posterior desarrollo del estudio en profundidad. Esta tesis está en función de que el mercado aeronáutico vuelva a los niveles que demandó el 2019 y que la situación de la industria aérea en Chile retome la normalidad de entonces, dado que no hay certeza de la reactivación de los vuelos[3]. De todas formas, la IATA ha comunicado reportes sobre la situación actual. Estas publicaciones dan cuenta de una recuperación general del mercado aéreo (con respecto a los niveles de tráfico de 2019) de pasajeros en el mediano plazo. El detalle de estos reportes se encuentra en el apéndice B: Pronóstico de la IATA para el tráfico de pasajeros.

Existen en el mundo ciudades con un sistema de 2 o 3 aeropuertos. Ejemplos de tales casos son Milán, Buenos Aires, y Miami. La primera construyó el segundo aeropuerto al poco tiempo de inaugurar el primero y ambas terminales poseen un nivel de tráfico similar a AMB, distribuyendo a un aeropuerto los vuelos nacionales y al otro los internacionales. Por lo tanto, la industria aérea no es ajena a la construcción de un segundo aeropuerto para abastecer la demanda en cierta zona o ciudad.

[3] Se debe recalcar que, al momento de la redacción de esta tesis y la recolección de datos e información, Chile se encuentra en estado de catástrofe y con restricciones en los vuelos internacionales y domésticos debido a la pandemia por el COVID-19.

1.2 Hipótesis

Con el constante crecimiento de pasajeros anuales que presentó AMB hasta 2019 y las especulaciones de las autoridades chilenas sobre la saturación de este aeropuerto, es necesario corroborar que existan zonas donde sea posible situar un nuevo aeropuerto. Considerando adicionalmente las proyecciones de la IATA para la recuperación del tráfico luego de 5 años a partir del 2020, y los horizontes de evaluación en estudios anteriores, la hipótesis que más se adecúa a este trabajo sería:

En el horizonte de 10 años entre 2025 y 2035, ¿existirán las condiciones necesarias para emplazar un segundo aeropuerto en la macrozona central de Chile?

Planteada la hipótesis, se busca verificar la existencia actual de condiciones básicas para la ubicación de un aeropuerto. Estas condiciones corresponden a la orografía, dirección de los vientos predominantes, resguardo requerido con las áreas de protección en el espacio aéreo, conectividad actual y proyectos de conectividad planificados, e impacto medioambiental en los alrededores. En cuanto al horizonte de tiempo, se proyectó la cantidad de pasajeros y operaciones para determinar el año en que sea factible mitigar la saturación de operaciones en AMB. Las zonas en donde se corroboraron las variables fueron aquellas propuestas por la DAP presentadas a continuación:

- ✓ 1. Zona costera región de Valparaíso, sectores Concón-Quintero
- ✓ 2. Cuenca sector Casablanca eje Ruta 68 Casablanca
- ✓ 3. Eje Ruta 5 sectores Linderos-Buin-Paine
- ✓ 4. Eje Ruta 78 sectores Isla de Maipo-Talagante-Peñaflor
- ✓ 5. Cuenca valle de Rancagua, eje Ruta 5 sectores Graneros-Rancagua-Requinoa-Rengo-Pelequén

Ilustración 1-1: Zonas propuestas por la DAP para la localización del NAMZC.

Fuente: Estudio Básico Actualización Plan Maestro AMB y Estudio Localización NAMZC (DAP, 2020).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Comprobar la viabilidad de emplazar un nuevo aeropuerto en la macrozona central, de acuerdo con las condiciones de las zonas propuestas y el pronóstico del tráfico de pasajeros y operaciones en el aeropuerto internacional Arturo Merino Benítez de Santiago de Chile.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones esenciales para que el emplazamiento de un nuevo aeropuerto sea viable en la macrozona central de Chile, a partir de la normativa chilena aplicable, estudios de localización de aeródromos en Chile y casos similares en otros países.
- Pronosticar el año en que deben comenzar las operaciones del nuevo aeropuerto para mitigar la saturación del Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez. Lo anterior mediante la proyección de pasajeros y operaciones, sujeto a la inauguración de proyectos complementarios de conectividad planificados para algunas zonas en estudio.
- Corroborar que la situación actual de los sectores considerados cumpla con los requerimientos cualitativos ya identificados, comparando las condiciones del primer objetivo con datos georreferenciados y demás información obtenida de las zonas a estudiar.

1.4 Metodología

El presente trabajo busca identificar las condiciones necesarias para que sea viable construir un segundo aeropuerto en la macrozona centro, establecer dichas condiciones en forma de variables y después evaluar el cumplimiento de ellas en las zonas de estudio. Para ello, la metodología más adecuada a la investigación corresponde a la Metodología Explicativa. Según el libro Metodología de la Investigación (Castañeda Jiménez, 2011), esta se define como la investigación de las causas del fenómeno en estudio. Esto implica necesariamente un trabajo en torno a una hipótesis e investigación principalmente teórica. El objetivo más importante de este tipo de metodología es "presentar, al menos parcialmente, las causas de la clase de hechos objeto del estudio, de tal manera que se puedan describir, predecir, controlar y reproducir (explicar)." (Castañeda Jiménez, 2011).

Luego, para verificar la hipótesis establecida, hará falta aportar la cantidad de evidencia suficiente para justificar una determinada interpretación. Algunas características de esta metodología son: mejora la comprensión del tema específico que trata, utiliza fuentes secundarias para la obtención de información para ampliar y equilibrar la comprensión, los autores pueden identificar las causas para posteriormente anticiparse a los cambios de éstas, y permite replicar otros estudios relacionados al tema con el fin de profundizar más u otorgar nuevos puntos de vista. Cuando se realiza una investigación explicativa, se tiene por objetivo el estudiar detalladamente la interacción del fenómeno. Por eso es importante tener la información necesaria para llevarla a cabo.

Por otra parte, entre los tipos de investigación explicativa que existen, el más acorde al trabajo es la investigación en publicaciones especializadas. Esta es uno de los medios de más fácil y rápido acceso a la información que existe para investigar lo que concierne a la hipótesis. La información puede provenir de bibliografía en internet, periódicos, libros, artículos académicos, estudios realizados o revistas especializadas, entre otras fuentes. El trabajo también posee un enfoque cualitativo a la hora de definir las variables y evaluarlas. En lo relativo a este tipo de investigación, los planteamientos cualitativos son "enfocados en variables lo más exactas y concretas posible. (…) El entendimiento del fenómeno se guía a través de ciertas dimensiones consideradas como significativas por estudios previos. Se orientan a probar teorías, hipótesis, y/o explicaciones, así como a evaluar efectos de una de las variables sobre otras." (Hernández Sampieri, y otros, 2010).

Teniendo en cuenta lo anterior, la metodología usada en este trabajo estará compuesta en cuatro partes, tal como se muestra en el siguiente esquema.

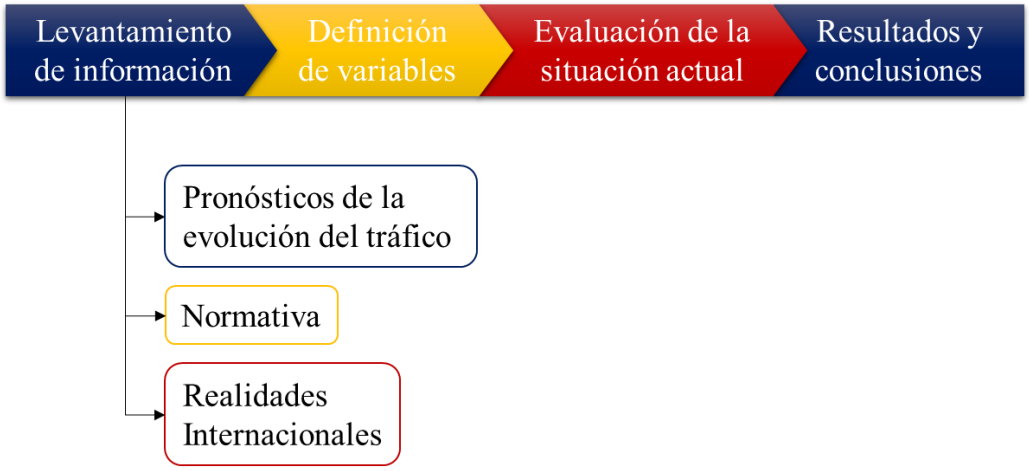

Gráfico 1-2: Esquema de la metodología.

Fuente: Elaboración propia en base a Metodologías de la Investigación (Castañeda Jiménez, 2011).

En principio se plantea investigar puntos clave tales como proyectos complementarios, normativa, estudios similares realizados en Chile e información acerca de los pronósticos de recuperación del tráfico. Cabe agregar que no existe una completa cobertura en materia de análisis o evaluación de un segundo aeropuerto para una ciudad, pero aun así se pueden desprender ciertos aspectos que contribuyan a completar la teoría de cómo analizar nuevas terminales. Por esta razón, se recopila información sobre la evaluación de proyectos aeroportuarios y planificación y diseño de aeropuertos específicamente. Asimismo, en lo relativo a las realidades internacionales, es decir aquellas ciudades fuera de Chile que tengan más de un aeropuerto, se averiguó acerca del nivel de tráfico de pasajeros que poseen, la cantidad de operaciones efectuadas, la lejanía de los aeropuertos que deban funcionar en conjunto, conectividad y distancia de estos a la ciudad. Algunos ejemplos de los casos mencionados son Miami, Buenos Aires y Milán. Otro aspecto para tener en cuenta es el caso de proyectos aeroportuarios que no tuvieron éxito. Se analizaron las razones de tal condición para obtener indicios de errores o factores que se ignoraron a la hora de escoger el emplazamiento.

El siguiente paso es la definición de las variables a partir de la información reunida. Se escogen las variables de mayor relevancia para corroborar en las zonas propuestas. Las variables se estudian de la normativa y las publicaciones revisadas. La información obtenida de los aeropuertos fuera de Chile también ayuda a crear variables acerca de la conectividad que se corroborará entre las zonas

y el actual aeropuerto AMB y también a fijar estándares en los tiempos de traslado hacia el nuevo aeropuerto y la distancia de Santiago. Se debe tener en cuenta adicionalmente la proyección de pasajeros a futuro del aeropuerto de Santiago. De esto se desprende el análisis sobre el año en que AMB necesitará del alivio que el nuevo aeropuerto le brinde en términos de operaciones. Mediante supuestos se obtendrán el nivel de pasajeros que tendrá el NAMZC una vez construido.

Posteriormente se deben corroborar las condiciones establecidas en cada una de las zonas propuestas por la DAP. Se informa sobre el cumplimiento de estas variables, o del grado de cumplimiento según sea el caso. En la etapa final, se presentan los resultados de cada zona y así se puede llegar a una conclusión sobre la hipótesis establecida.

1.5 Alcance

El alcance del presente trabajo posee una naturaleza descriptiva, la investigación depende de una amplia recopilación de datos, comparación con situaciones similares en otros países del mundo y experiencias en proyectos aeroportuarios de Chile. Además de la especificación de características y condiciones relacionadas a la construcción de una nueva terminal. También se engloba al concepto de la demanda de tráfico de pasajeros en la realización de este.

De manera complementaria, el proyecto del NAMZC está ligado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Chile se adscribió a estos objetivos el 2015 y propuso metas en donde la construcción del nuevo aeropuerto incide directamente. Por ejemplo, el objetivo específico 8.9 sobre "(…) elaborar y poner en práctica políticas encaminadas a promover un turismo sostenible que cree puestos de trabajo y promueva la cultura y los productos locales" (Secretaría Técnica ODS), también relacionado con el objetivo 12.b sobre la elaboración y aplicación de instrumentos con el fin de lograr turismo sostenible.

Para el cumplimiento de ambos objetivos, acorde al portal Chile Agenda 2030, Chile se ha propuesto metas como aumentar el "PIB generado directamente por el turismo en proporción al PIB total y a la tasa de crecimiento" y la "Proporción de empleos en el sector del turismo sostenible respecto del total de empleos del turismo" (Secretaría Técnica ODS).

Otra meta dentro del objetivo 8 corresponde al 8.2, el cual implica elevar el nivel de productividad económica mediante la innovación, diversificación, modernización tecnológica para sectores de mayor valor agregado. Según la IATA, el transporte aéreo en Chile aportó directamente $2.2 millones de dólares en valor agregado bruto durante 2019. Y tanto el sector del transporte como el turismo significó 2,8% del PIB aquel año, por lo que es un sector que se debe considerar en la meta.

En lo concerniente a infraestructura, Chile tiene como meta disminuir las emisiones de CO_2 por unidad de valor añadido para el objetivo 9.4. Cabe destacar que el NAMZC forma parte de las intenciones de objetivo 9.1, referente al desarrollo de infraestructuras transfronterizas sustentables, de calidad, resilientes y fiables, aunque Chile no reporte ninguna meta propuesta al respecto. El siguiente objetivo que debe considerar es el 11.2. Conforme a las disposiciones de Chile, busca aumentar la proporción de personas que posean fácil acceso al transporte público.

Por último, y considerando la naturaleza societaria que poseen las grandes empresas que operan en aeropuertos de Chile, los objetivos 12.6 y 12.c buscan aumentar la cantidad de empresas que publiquen informes de sustentabilidad y disminuir la cuantía de los subsidios a combustibles fósiles por producción y desarrollo. En definitiva, el proyecto de construcción del NAMZC comprende a los objetivos 8, 9, 11 y 12 de los ODS.

Ilustración 1-2: Objetivos de Desarrollo Sustentable propuesto por la ONU.

Fuente: Chile Agenda 2030.

En otro ámbito, también existen distintos alcances geográficos y temporales dependiendo de dónde se obtenga la información. En primer lugar, para la recopilación de datos del tráfico de pasajeros en Chile, se tiene un alcance geográfico de la demanda que ha tenido el Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez de Santiago. En la sección 1.1 se menciona que la macrozona central de Chile está compuesta por las regiones Metropolitana, de Valparaíso y del Libertador General Bernardo O'Higgins, la Ilustración 1-3 presenta la zona en cuestión. En esta zona hay presencia de aeródromos pequeños, pero al ser de naturaleza privada o militar no se considerarán como parte del estudio. Con la excepción de aquellos que posean un proyecto en curso de ampliación y mejora para agregar la aviación comercial.

Ilustración 1-3: Límites y composición de la Macrozonona central de Chile.

Fuente: Ministerio de Obras Públicas.

El alcance temporal bajo el mismo ámbito consta de la recopilación de datos de tráfico entre los años 2000 y 2020. Se toma el año 2000 como referencia, pues es a la estadística más antigua registrada para los aeropuertos extranjeros, mientras que en el caso chileno corresponde a 2005 en adelante. El horizonte de evaluación comprende hasta el año 2035, que coincide con el término de la concesión de AMB por parte de Nuevo Pudahuel.

En segundo lugar, el alcance geográfico para el resto del mundo concierne a aquellos países donde la aviación tenga un nivel de tráfico similar al de AMB en Chile y cuenten con más de un aeropuerto en la ciudad a estudiar. A saber, Milán, Miami, Buenos Aires, Madrid o Berlín. Finalmente, como alcance temporal de estudios y normativa se considerará aquella vigente desde el 2005 principalmente. Al respecto, se indagará acerca de estudios llevados a cabo en todo el territorio de Chile desde el año mencionado.

CAPÍTULO 2: Estado del Arte

En el capítulo 2 se presentan los antecedentes referentes a la construcción de un segundo aeropuerto en el ámbito nacional e internacional. Además, se expone la situación en AMB durante 2020 y 2021 y estudios de localización anteriores llevados a cabo en Chile. Luego se muestra el marco teórico separado en dos ámbitos principales. El ámbito nacional muestra la normativa chilena vigente y el ámbito internacional lo relativo al concepto de aeropuerto de alivio. Un tercer punto muestra un modelo de localización utilizado en la evaluación de proyectos generales. En la propuesta metodológica se expone finalmente los pasos a seguir durante el desarrollo de la presente investigación.

2.1 Antecedentes

El aeropuerto de Santiago de Chile se puede considerar principalmente como un aeropuerto de destinos regionales. Junto con poseer vuelos domésticos, la terminal también ofrece destinos dentro de América y transoceánicos hacia Europa y Oceanía. La principal composición de aeronaves operantes son la familia Airbus 320 y Boeing 737. Más detalles sobre los destinos principales, aeronaves y aerolíneas que operaban hasta antes de la pandemia en el aeropuerto de Santiago se encuentran en el apéndice D: Aerolíneas, aeronaves y destinos de AMB.

El concesionario actual del aeropuerto, la Sociedad Concesionaria Nuevo Pudahuel S. A. se adjudicó la concesión el año 2015 con el objetivo de presentar su proyecto de ampliación del aeropuerto para el siguiente año. El número de pasajeros totales anuales del año 2015 fue de 17.230.567 (un 7,2% superior al año anterior). El último crecimiento registrado en el aeropuerto fue el 2019, alcanzando la cifra de 24.630.742 pasajeros equivalente a un crecimiento de 5,6% con respecto al año anterior.

Ahora bien, dentro normativa vigente uno de los principales aspectos a considerar es el Manual de Desarrollo Aeroportuario de la DAP. Es el documento que se señala las condiciones en términos de tráfico que se deben concretar para requerir obras de ampliación a alguna terminal aérea. Dichas obras son llevadas a cabo por el concesionario, a quién el MOP solicita realizar las ampliaciones correspondientes. Las condiciones son las siguientes:

1) “Que el número total de pasajeros internacionales embarcados en el Aeropuerto en la hora punta número treinta (H30) haya superado los 2.200 (dos mil doscientos) en un año calendario cualquiera, o bien que el número total de pasajeros domésticos embarcados en el Aeropuerto en la hora punta número treinta (H30) haya superado los 3.200 (tres mil doscientos) en un año calendario cualquiera, lo primero que ocurra.
2) Que la obra a licitar y su presupuesto oficial cuenten con las aprobaciones respectivas del MOP, DGAC, del Ministerio de Desarrollo Social y del Ministerio de Hacienda; así como también se cuente con la Resolución de Calificación Ambiental del proyecto emitida por la autoridad ambiental competente, si corresponde.” (DAP, 2011)

Ambas cifras se cumplieron para realizar las ampliaciones al aeropuerto desde el 2015. Ahora bien, los conceptos de hora punta serán definidos más adelante.

2.1.1 Saturación de aeropuertos

Según el Gráfico 1-1, se ha sobrepasado la capacidad de la terminal de pasajeros del aeropuerto de Santiago desde el 2013, debido a que las cifras de tráfico que presenta hasta 2019 superan los 16 millones para los que estaba diseñado el edificio. Esto sin considerar las obras de ampliación que se entregarán durante 2021. Aunque esto no implica una saturación total del aeropuerto, es una merma en el nivel de servicio entregado. La DAP por su parte, posee una medición de la saturación de la terminal propia. Los detalles de la situación de AMB hasta 2018 conforme a estos cálculos se encuentran en el anexo E: Ratio de Saturación. Tomando en cuenta el tráfico hasta antes de la pandemia por COVID-19 [4], la institución sostuvo en el Anteproyecto de la Actualización del Plan Maestro de AMB (DAP, 2020) que la saturación del aeropuerto en el 2045 se adelantaría 13 años.

Pero uno de los problemas que se prevé a la hora de expandir el aeropuerto es la orografía de la zona circundante. Parte de la Cordillera de la Costa ubicada al poniente de la terminal aérea impide

[4] La pandemia significó un estancamiento para el crecimiento del tráfico de pasajeros en AMB. Durante 2020 hubo 8.527.737 pasajeros transportados, representando una caída de -65% con respecto a 2019 (una diferencia nominal de 16.103.005 pasajeros).

utilizar las pistas paralelas de forma simultánea y, por consiguiente, que la capacidad de operaciones por hora del aeropuerto logre aumentar.

2.1.1.1 Situación de AMB

El Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez de Santiago de Chile, también conocido como AMB, posee dos pistas paralelas, ambas de orientaciones 17/35[5]. Conforme a la información publicada por la DGAC en el Manual AIP – Volumen I, el largo de las pistas corresponde a 3.750 metros por 55 metros de ancho para la pista 17L/35R y 3.800 metros de largo por 45 metros de ancho para la pista 17R/35L. La actual capacidad de las pistas es de 20 operaciones (aterrizajes o despegues) en el rango de una hora cada una (con 2 pistas, 40 operaciones por hora en total).

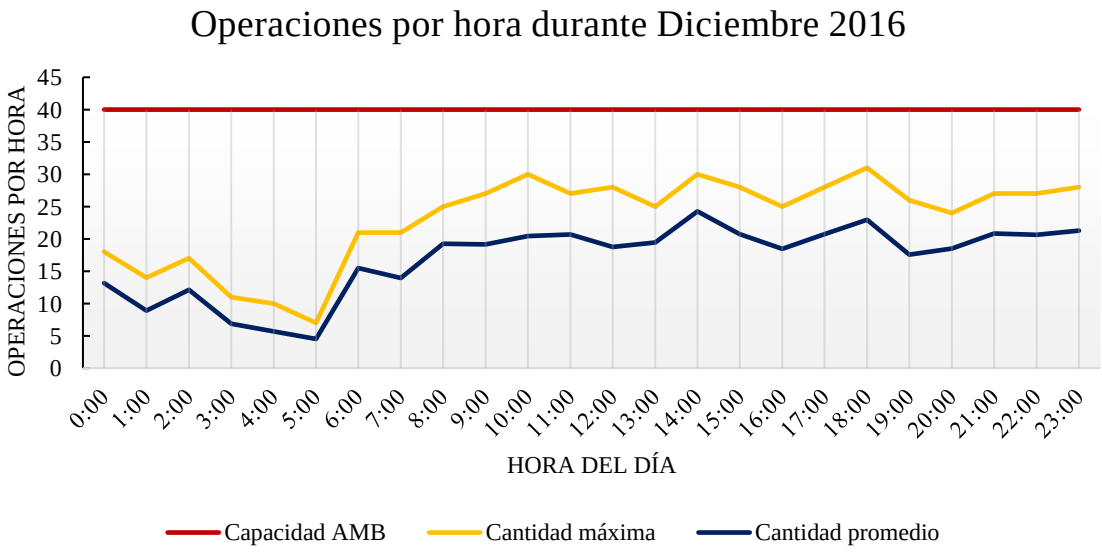

Gráfico 2-1: Operaciones por hora en AMB durante diciembre de 2016.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGAC.

[5] Se refiere a las orientaciones magnéticas en que están dirigidas las pistas del aeropuerto acorde a la terminología aeronáutica. La orientación se mide en grados según la rosa de los vientos. La orientación de las pistas de AMB corresponde a los 170º grados magnéticos y los 350º en la dirección contraria de la misma pista.

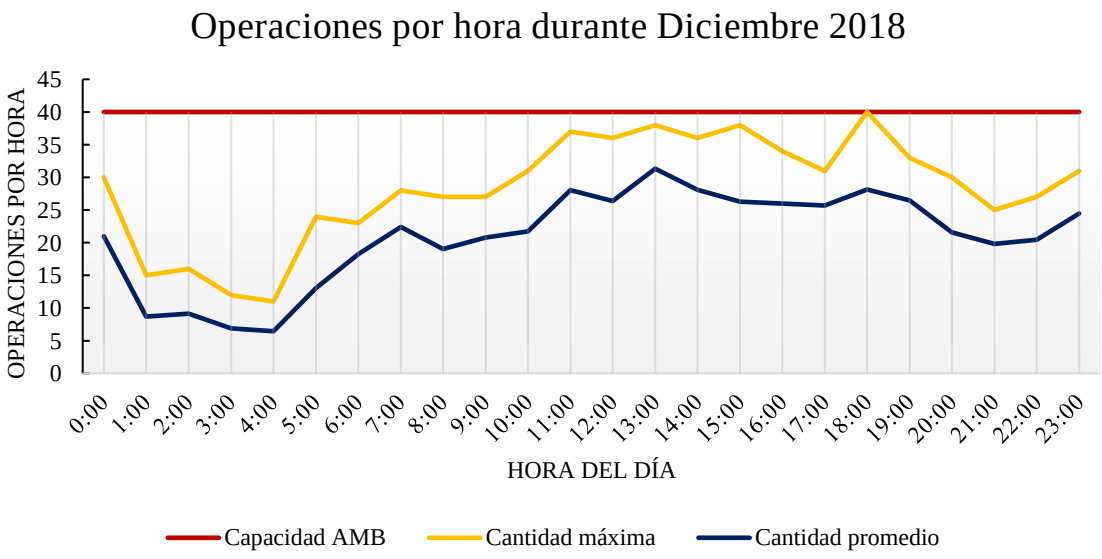

Gráfico 2-2: Operaciones por hora en AMB durante diciembre de 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGAC.

Los gráficos anteriores muestran la cantidad de operaciones ocurridas en tales fechas agrupadas conforme a la hora aproximada, vale decir, cantidad de operaciones que ocurrieron alrededor de cada hora del día. En las cifras promedio no se aprecia una saturación, pero durante diciembre de 2018 hubo un día en que el aeropuerto operó a su capacidad máxima de operaciones de pista (40 operaciones por hora). Esto ocurrió durante las 18:00 hora local de acuerdo con el Gráfico 2-2.

A lo anterior se suma el espacio disponible para las instalaciones. Actualmente el aeropuerto limita con barrios residenciales, y el crecimiento de la conurbación de Santiago puede complicar cualquier ampliación de infraestructura y aumento de capacidad de operaciones (debido a las restricciones de ruido que se puedan aplicar). Se adjuntan ejemplos en el apéndice F: Imágenes satelitales de AMB y otros aeropuertos, a modo de comparar la situación en Santiago con otras ciudades. Asimismo, se observa la evolución de las zonas urbanas de la ciudad cercanas al aeropuerto.

La construcción de un nuevo aeropuerto surge como solución al caso de aquella terminal que ya no posee espacio para crecer. Un ejemplo de ese escenario es Estados Unidos. Conforme a lo descrito por el NPIAS (FAA, 2018), el país cuenta con ciudades que son abastecidas por más de un aeropuerto (o redes aeroportuarias), cada uno destinado para un tipo de operación o aeronave distinta. Las redes aeroportuarias en ciudades norteamericanas poseen relativa importancia en la economía del país, implican una generación de empleo motivada por la operación de más de un

aeropuerto. Se distingue además la relación proporcional entre la presencia de un segundo aeropuerto y la población habitando un área cercana a éstos (se detalla que un 57,45% de la población de USA vive en un área dentro de 20 millas alrededor de un segundo aeropuerto o aeropuerto aliviador). Aquello conlleva a concentraciones de empleo en los terminales aéreos a lo largo de la nación.

2.1.1.2 Plan de mejora de capacidad de la DGAC

La DGAC envió una propuesta para la utilización simultánea de las pistas, implementando un sistema de dependencia entre éstas, con el fin de aumentar la capacidad de operaciones del aeropuerto desde 40 a más de 85 operaciones por hora, hacia 2023 o posterior. El plan consiste en la implementación de aproximaciones y salidas paralelas simultáneas, vigilancia de superficie y dirección en plataforma para las aeronaves con el fin de optimizar la utilización de la pista. Para ello, la DGAC considera apoyarse en modificaciones de cartas de navegación, requisitos de software para la toma de decisiones, vigilancia y otorgamiento de instrucciones a los operadores aéreos e implementación del sistema ILS CAT III B para la pista faltante. Esto involucra una coordinación con el concesionario de AMB, Nuevo Pudahuel, y las aerolíneas que mayoritariamente operan en el aeropuerto, producto del desembolso que las correspondientes medidas les significan a los actores. Entre el desglose está la capacitación que el personal de cada entidad deberá realizar, la implementación y mantención de los sistemas y la respectiva certificación que los fabricantes de aeronaves otorguen a los operadores para el empleo de las nuevas herramientas.

2.1.2 Ciudades extranjeras con más de un aeropuerto

En la realidad internacional, el concepto de un segundo aeropuerto no es ajeno. Es importante analizar aquellos casos de ciudades que han construido aeropuertos adicionales que ayuden a aliviar el tráfico del principal. Esta visión es la que el MOP tiene sobre el NAMZC, un aeropuerto que sirva para abastecer la creciente[6] demanda de pasajeros, que compita con AMB para poder acaparar más tráfico y crecer con el tiempo. Según cifras de la JAC, Santiago recibió a 24,6 millones de

[6] Comportamiento observado hasta 2019.

pasajeros el 2019. La estadística del Banco Mundial señala que, en el mismo año, Chile presentó una cantidad de vuelos per cápita de 1,12. Teniendo en cuenta lo anterior, existen otras ciudades fuera de Chile que, en uno de sus aeropuertos, posee un volumen similar de tráfico al de AMB, y que éstas poseen otra terminal aérea en la misma zona urbana o cercana a ella. A modo de profundizar en los ejemplos mencionados, se expondrán ciertos casos en los cuales una misma ciudad o zona urbana presenta más de una terminal aérea de vuelos comerciales que la abastece.

2.1.2.1 Caso de Miami

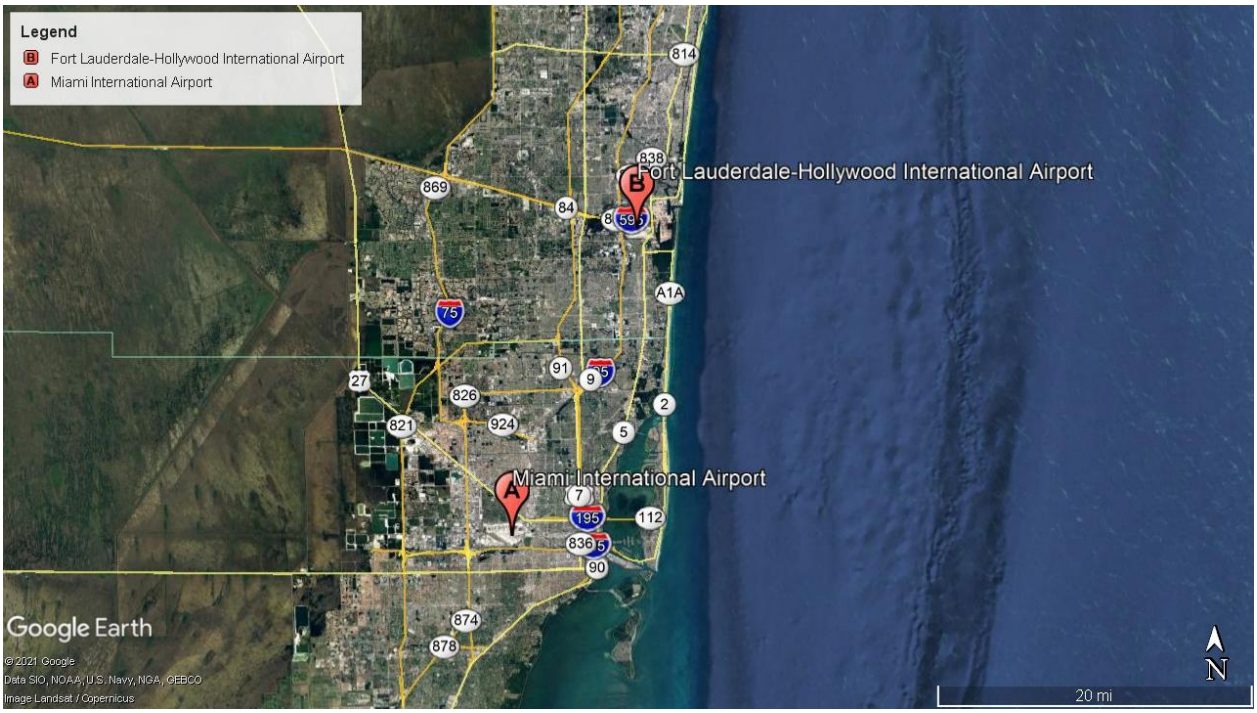

Ilustración 2-1: Ubicación de los aeropuertos de Miami.

Fuente: Google Earth Pro.

En el caso de Miami, el primer aeropuerto en construirse en la ciudad fue el Aeropuerto Internacional de Miami. Comenzó sus operaciones en 1928 por la aerolínea *Pan American Airways*. Un año después se inauguró en el condado de Broward el *Fort Lauderdale – Hollywood International Airport*, el segundo aeropuerto mediante el cual se llega a Miami. Con respecto a la primera terminal aérea, es la principal entrada internacional de la ciudad, mientras que la segunda opera mayoritariamente vuelos domésticos. El aeropuerto de Miami se ubica a 6,5 kilómetros del centro de la ciudad, mientras que el segundo se ubica a 40 kilómetros del mismo punto. A ambos

aeropuertos los separa una distancia de 50 kilómetros aproximadamente. Esto se visualiza mejor en la Tabla 2-1.

Distancias	*Miami Intl.*	*Fort Lauderdale - Hollywood Intl.*
Desde centro de la ciudad (kilómetros)	10,5	42,5
Desde *Miami Intl* (kilómetros)	-	45,9

Tabla 2-1: Distnacias entre el centro de Miami y sus aeropurtos.

Fuente: Elaboración propia en base a mediciones en Google Maps.

Según cifras del condado de Miami-Dade, en 2019 el aeropuerto de Miami acaparó 45,9 millones de pasajeros y 414 mil operaciones, mientras que el de Fort Lauderdale albergó a 36,7 millones de viajeros. Cabe agregar que Estados Unidos posee un índice de viajes per cápita de 2,82 conforme a la información del Banco Mundial. Esta cifra corresponde a más del doble que el mismo indicador en Chile.

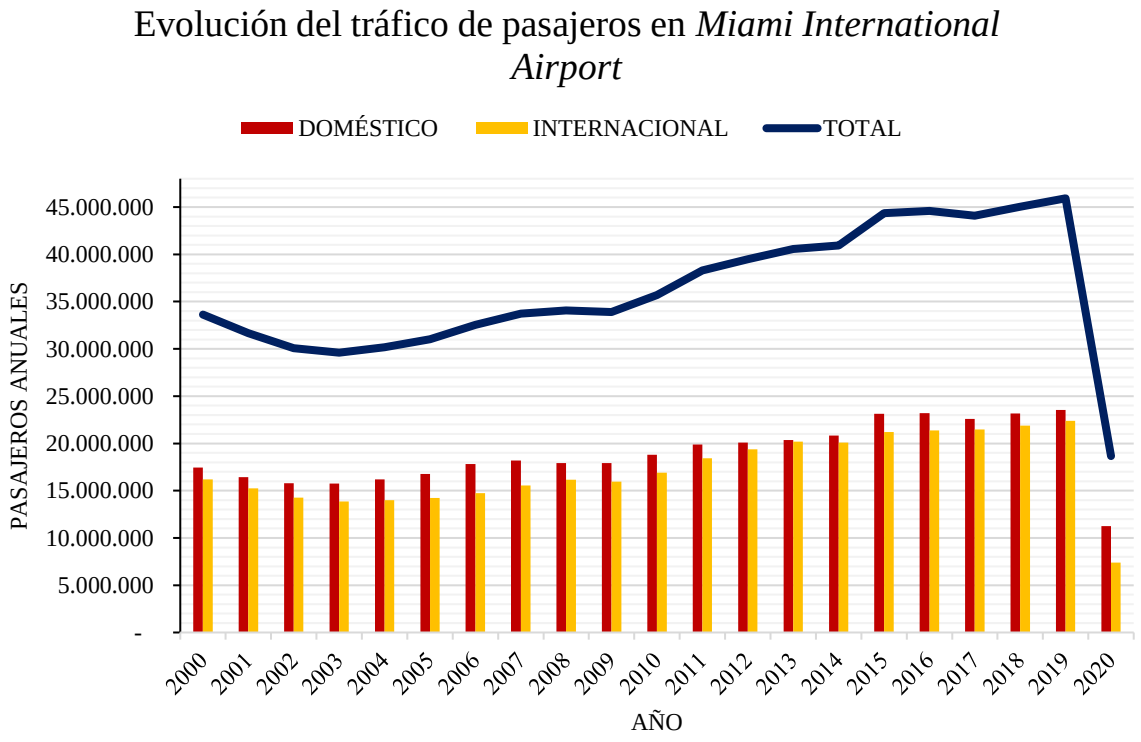

Gráfico 2-3: Evolución del tráfico de pasajeros en el Aeropuerto Internacional de Miami entre el 2000 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Miami-Dade Aviation Department.

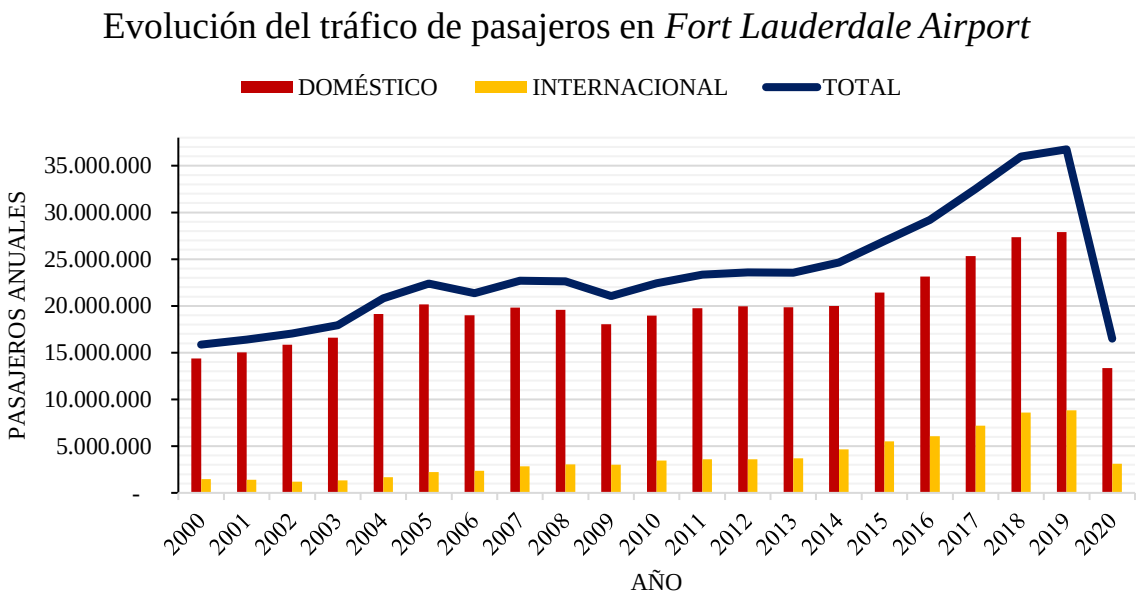

Gráfico 2-4: Evolución de pasajeros en el Aeropuerto Internacional de Fort Lauderdale-Hollywood entre el 2000 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Broward County Government.

En el apéndice G: Operaciones anuales en casos extranjeros recopilados, se muestra el nivel de operaciones en el aeropuerto internacional de Miami junto con los demás casos internacionales, en el mismo horizonte de tiempo recopilado. En cuanto a las pistas que posee cada aeropuerto de Miami y sus dimensiones, éstas se presentan en la Tabla 2-2 a continuación.

Aeropuerto	Pista	Largo (metros)	Ancho (metros)
Miami Intl	08L/26R	8.600	150
Miami Intl	08R/26L	10.506	200
Miami Intl	09/27	13.016	150
Miami Intl	12/30	9.360	150
Fort Lauderdale - Hollywood Intl	10L/28R	9.000	150
Fort Lauderdale - Hollywood Intl	10R/28L	8.000	150

Tabla 2-2: Orientación y dimensiones de las pistas en aeropuertos de MIiami.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Airport Master Record de la FAA.

2.1.2.2 Caso de Buenos Aires

El siguiente caso pertenece a Argentina. Este país cuenta con un índice de vuelos per cápita de 0,43 según el Banco Mundial, inferior al de Chile. Para el caso de Buenos Aires, capital de Argentina,

se tienen 3 aeropuertos operativos hoy en día. El principal de ellos conocido como el Aeropuerto Internacional ministro Pistarini de Ezeiza, abasteció a 12,7 millones de pasajeros durante el 2019 acorde a las cifras de la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC) de Argentina. Fue construido en 1945 y opera en la actualidad vuelos de carga y operaciones internacionales de pasajeros principalmente.

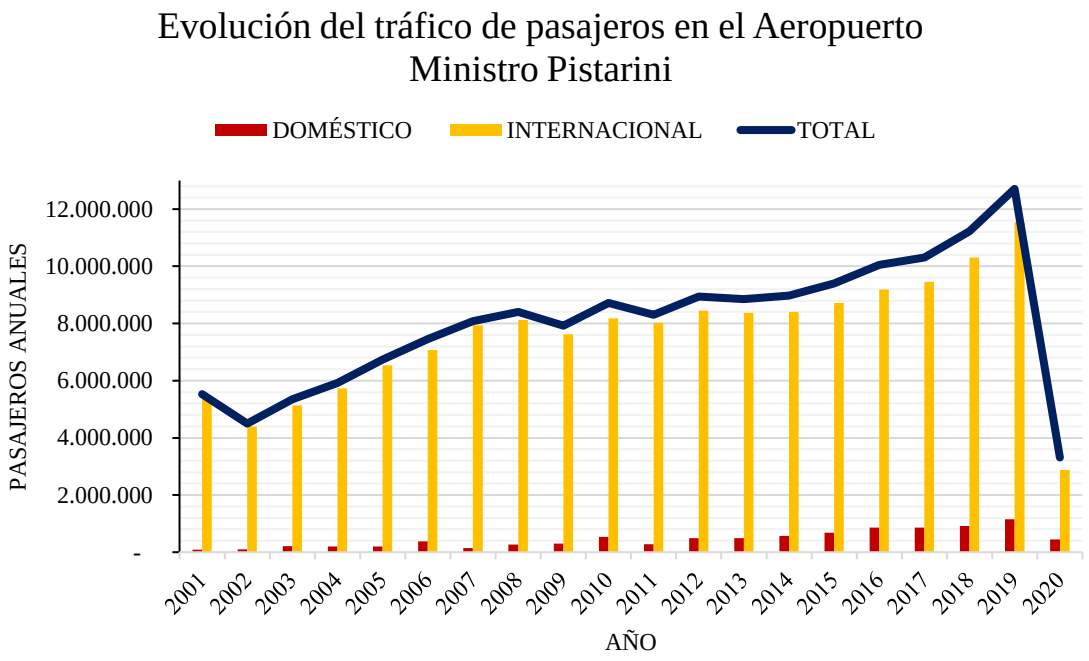

Gráfico 2-5: Evolución del tráfico de pasajeros del Aeropuerto de Ezeiza entre 2001 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ANAC.

El segundo aeropuerto es el Aeroparque Jorge Newbery, el cual fue construido en 1947. Este aeropuerto opera en su mayoría vuelos domésticos en Argentina, alcanzando en 2019 los 12,3 millones de pasajeros anuales.

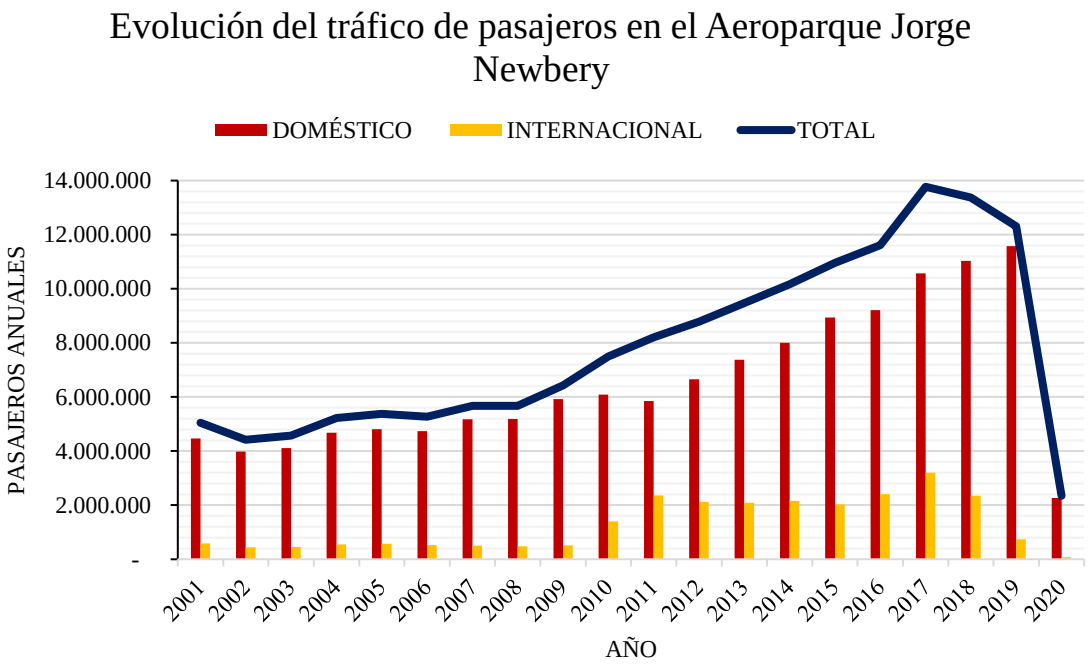

Gráfico 2-6: Evolución de pasajeros en el Aeroparque Jorge Newbery entre 2001 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ANAC.

Por último, está el aeropuerto El Palomar. Orientado en sus inicios exclusivamente para operaciones militares, desde el 2018 comenzó a admitir operaciones de aerolíneas de bajo costo (también llamadas aerolíneas Low-Cost) compartidas entre Flybondi y JetSMART.

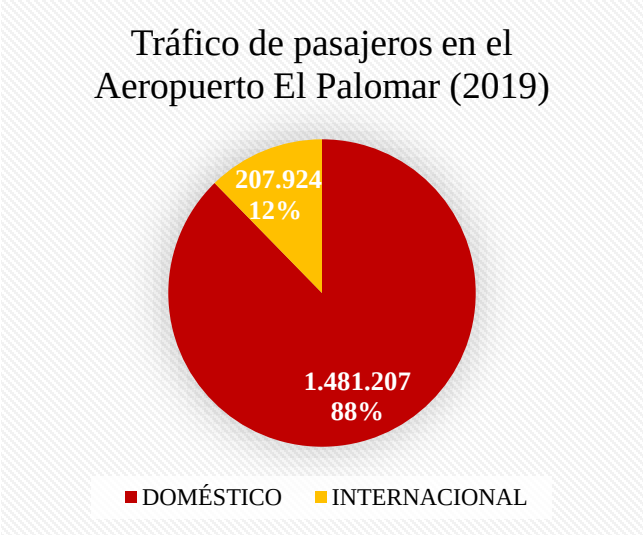

Gráfico 2-7: Composición del tráfico de pasajeros de 2019 en El Palomar.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ANAC.

La cantidad y dimensiones de las pistas de los tres aeropuertos expuestos anteriormente se resume en la Tabla 2-3 a continuación.

Aeropuerto	Pista	Largo (metros)	Ancho (metros)
Ezeiza	11/29	3.300	60
Ezeiza	17/35	3.105	45
Aeroparque	13/31	2.350	45
El Palomar	17/35	2.110	45

Tabla 2-3: Orientación y dimensiones de las pistas en aeropueretos de Buenos Aires.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la AIP Argentina.

En cuanto a la distancia medida desde el centro de Buenos Aires, esta se muestra en la Tabla 2-4 junto con las distancias hacia el aeropuerto de Ezeiza, que en este caso vendría siendo la principal terminal internacional.

Distancias	*Ezeiza*	*Aeroparque*	*El Palomar*
Desde centro de la ciudad (kilómetros)	31,9	12,0	26,3
Desde Ezeiza (kilómetros)	-	42,2	32,3

Tabla 2-4: Distancias entre el centro de Buenos Aires y sus aeropuertos.

Fuente: Elaboración propia en base a mediciones en Google Maps.

En la Ilustración 2-2 se muestra la ubicación de los tres aeropuertos y la ciudad. La marca superior derecha pertenece a la ubicación del Aeroparque Jorge Newbery. La superior izquierda es El Palomar y el aeropuerto más al sur corresponde a Ezeiza.

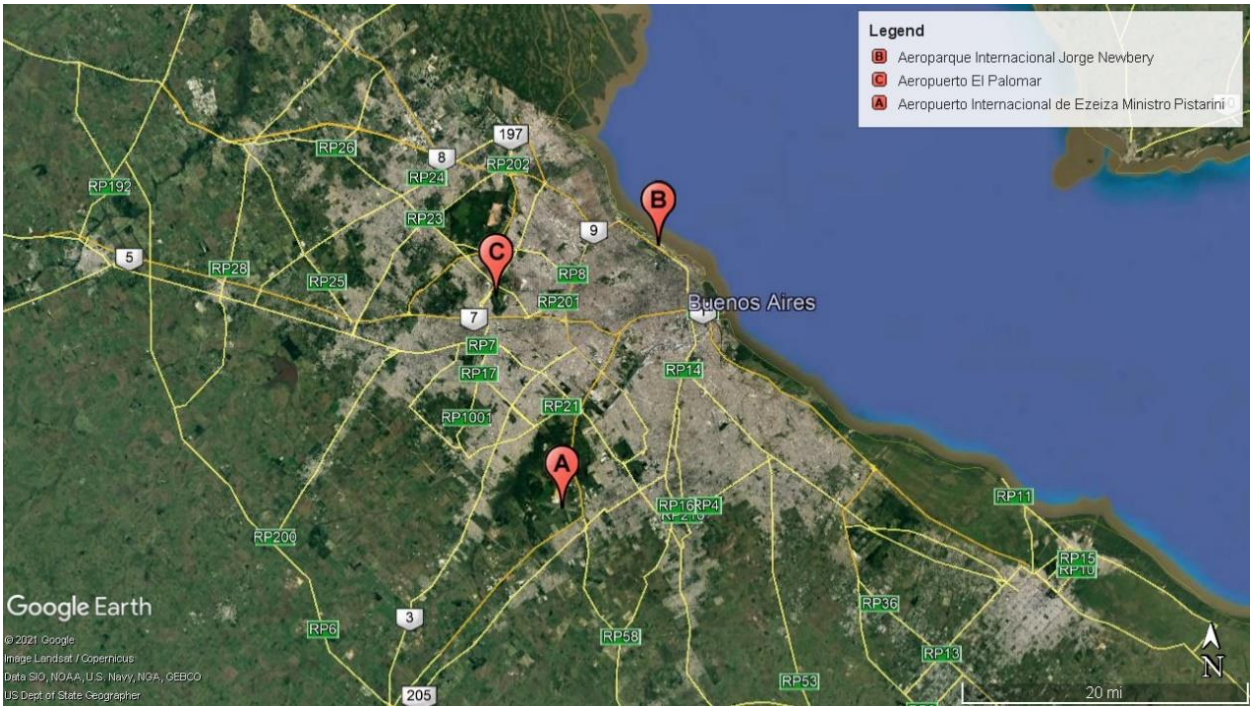

Ilustración 2-2: Ubicación de los tres aeropuertos de Buenos Aires.

Fuente: Google Earth Pro.

2.1.2.3 Caso de Milán

Milán es una ciudad europea con cuyos aeropuertos tienen niveles de tráfico similares a AMB. Ubicada en Italia, el país cuenta de acuerdo con el Banco Mundial, con un índice de vuelos per cápita de 0,46 en 2019, superior al de Argentina, pero inferior al de Chile. Similar al caso de Buenos Aires, posee tres aeropuertos. En este caso, dos de ellos exclusivos de Milán y un tercero compartido con la comuna de Bérgamo, ambas ciudades ubicadas en la región de Lombardía, Italia. Los aeropuertos tienen por nombres Aeropuerto de Milán-Malpensa, Aeropuerto de Milán-Linate y el Aeropuerto de Milán Bérgamo – Orio al Serio. El primero tuvo sus primeras operaciones en 1917, durante la década de 1930, se construyó el segundo aeropuerto de Milán, Linate. Por su parte, la terminal de Bérgamo fue construida en 1937. Milán-Malpensa es la principal entrada internacional de la ciudad, contando con 28,7 millones de pasajeros durante 2019 según cifras de Assaeroporti (Asociación de gestores aeroportuarios italianos).

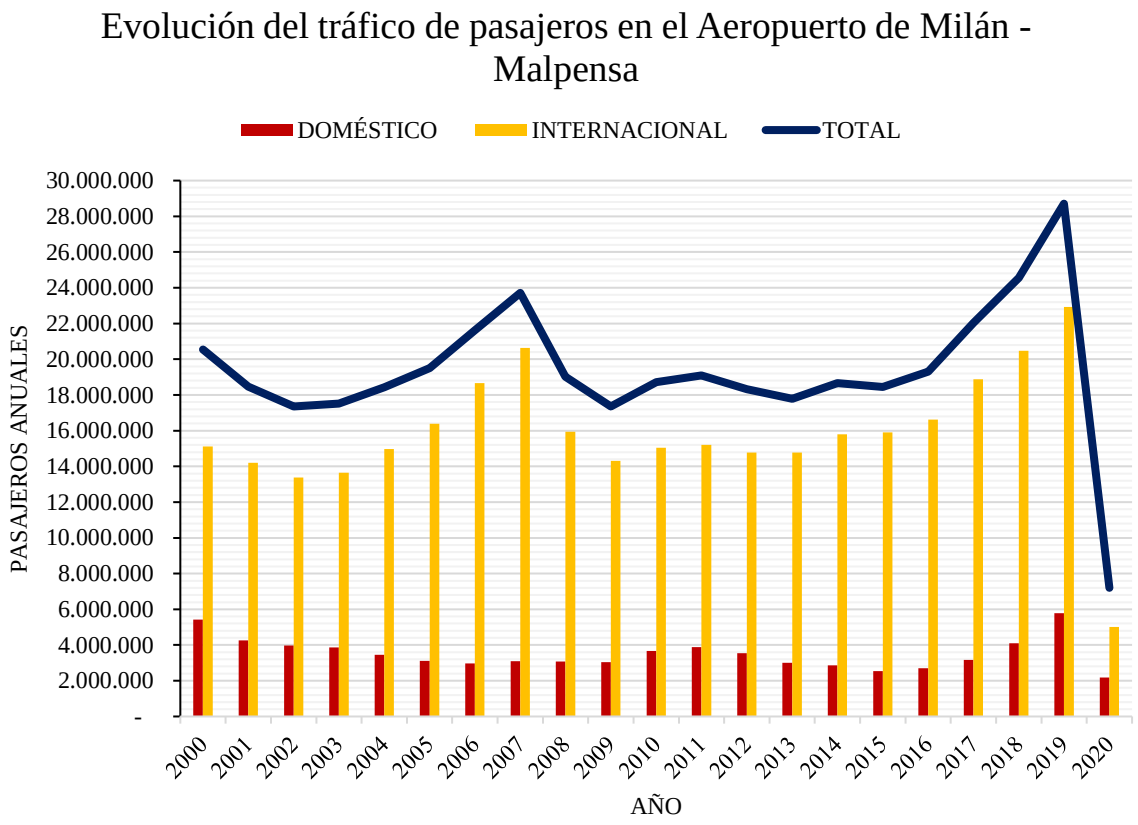

Gráfico 2-8: Evolución de pasajeros en el Aeropuerto de Milán-Malpensa entre 2000 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Associazione Italiana Gestori Aeroporti.

El segundo aeropuerto de Milán, Linate, abastece a la demanda de vuelos domésticos principalmente. Sus operaciones bordean los 9 millones de pasajeros anuales y el 2018 alcanzó 93.987 operaciones en ese año.

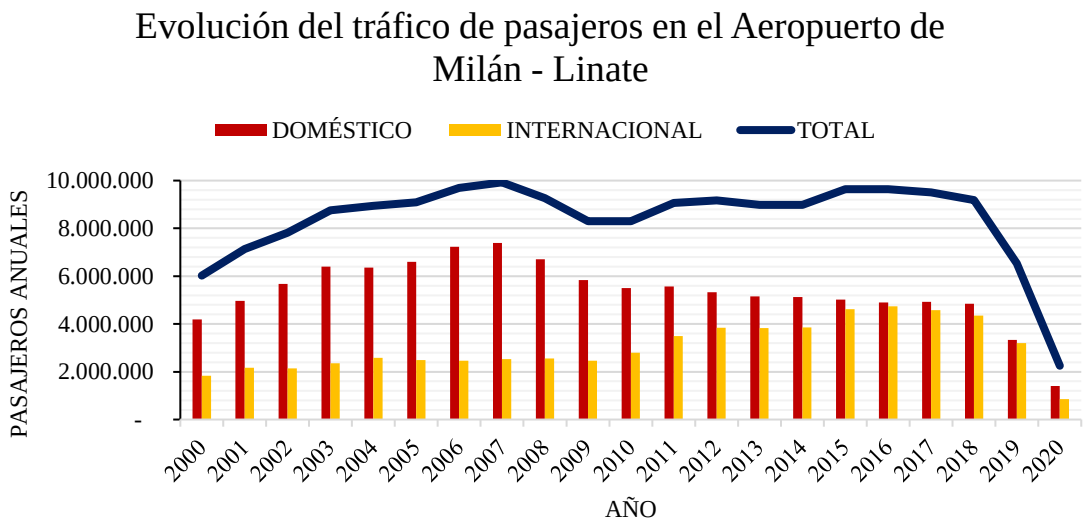

Gráfico 2-9: Evolución de pasajeros en el Aeropuerto de Milán-Linate entre 2000 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Associazione Italiana Gestori Aeroporti.

Por último, el aeropuerto de Bérgamo también posee un carácter internacional, pero en menor magnitud que Malpensa. Bérgamo registró en 2019 13,8 millones de pasajeros, mediante 93.285 operaciones.

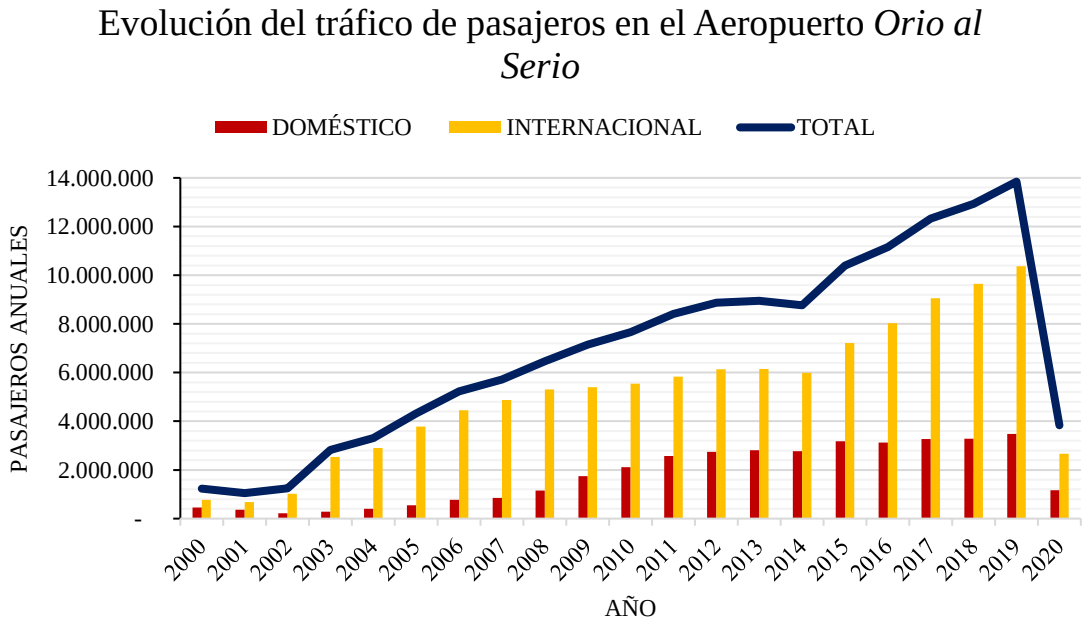

Gráfico 2-10: Evolución de pasajeron en el aeropuerto de Bérgamo entre 2000 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Associazione Italiana Gestori Aeroporti.

Las dimensiones de las pistas de cada uno de estos aeropuertos se compilaron en la Tabla 2-5 junto con la dirección de estas.

Aeropuerto	Pista	Largo (metros)	Ancho (metros)
Malpensa	17L/35R	3.920	60
Malpensa	17R/35L	3.920	60
Linate	18/36	2.442	60
Linate	17/35	601	22
Orio al Serio	10/28	2.937	45
Orio al Serio	12/30	778	18

Tabla 2-5: Orientación y dimensiones de las pistas en los aeropuertos de Milán.

Fuente: Elaboración propia mediante datos de SkyVector.

En lo relativo a las distancias, éstas se muestran en la Tabla 2-6 a continuación.

Distancias	*Malpensa*	*Linate*	*Orio al Serio*
Desde centro de la ciudad (kilómetros)	50,5	8,5	50,7
Desde Linate (kilómetros)	66,1	-	49,8

Tabla 2-6: Distancias entre el centro de Milán y sus aeropuertos.

Fuente: Elaboración propia mediante mediciones en Google Maps.

Linate es el más próximo al centro de la ciudad con 8,5 kilómetros. Milán-Malpensa y Orio al Serio de Bérgamo superan los 50 kilómetros al mismo. Entre los aeropuertos, los más distantes son Orio al Serio de Bérgamo y Malpensa por 91,4 kilómetros, pero la relativa lejanía pierde importancia por la razón de que ambos tienen tráfico internacional. Las distancias entre Linate y los demás dos aeropuertos son menores a 70 kilómetros.

En la Ilustración 2-3 se observa que el aeropuerto en el extremo oeste corresponde a Malpensa, el aeropuerto del extremo oriente es el de Bérgamo y el más centrado y cercano a Milán es el de Linate.

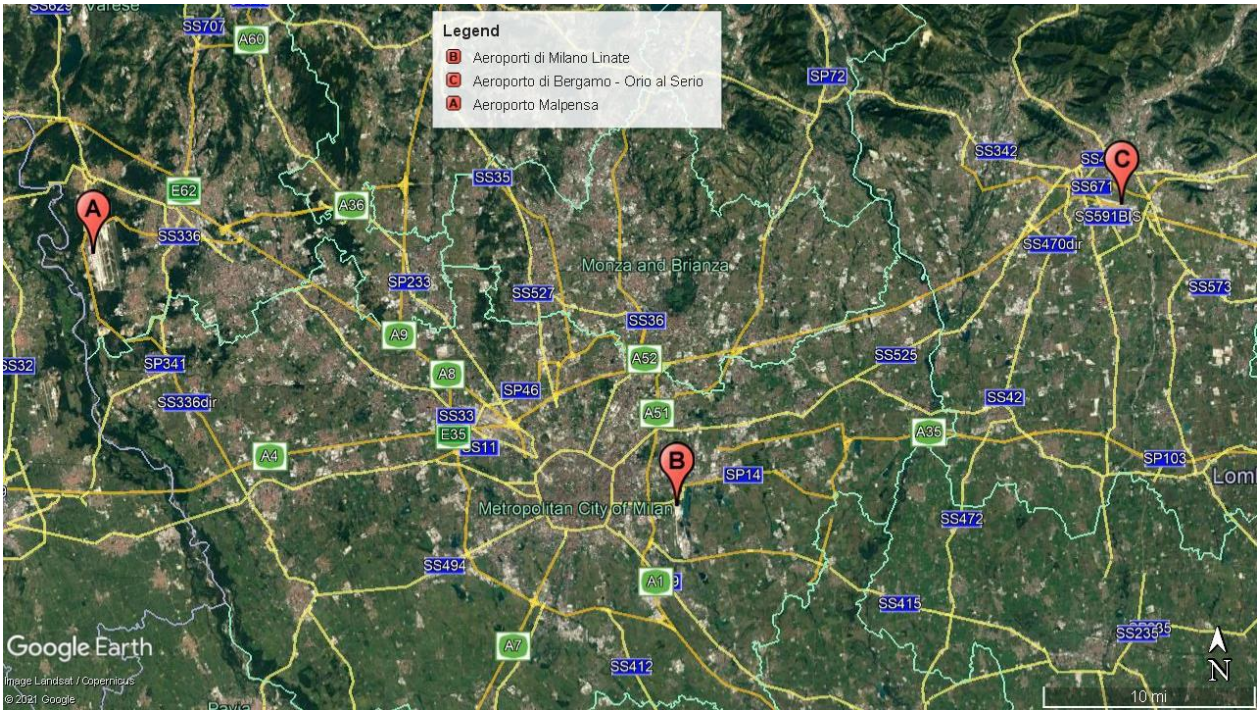

Ilustración 2-3: Ubicación de los tres aeropuertos de Milán.

Fuente: Google Earth Pro.

2.1.2.4 Caso de Ciudad Real

Si bien algunos casos anteriores muestran el éxito que ha tenido el tráfico de pasajeros en ciudades con más de un aeropuerto, también existen casos de claros fracasos al aplicar el mismo modelo. Específicamente el caso del Aeropuerto Central de Ciudad Real en España. El también denominado Aeropuerto Madrid Sur – Ciudad Real opera actualmente vuelos privados, pero en su inauguración en 2008 operaba comercialmente como los ejemplos vistos. La apertura de las instalaciones había sido previamente retasada debido a la omisión de la Declaración de Impacto Ambiental que la DGAC de España exige a los operadores.

Esta declaración mencionada, conforme a la legislación española, consta de elementos como la "Identificación, descripción, análisis y, si procede, cuantificación de los posibles efectos significativos directos o indirectos, secundarios, acumulativos y sinérgicos del proyecto sobre los siguientes factores: la población, la salud humana, la flora, la fauna, la biodiversidad, la geodiversidad, el suelo, el subsuelo, el aire, el agua, el medio marino, el clima, el cambio climático, el paisaje, los bienes materiales, el patrimonio cultural, y la interacción entre todos los factores

mencionados, durante las fases de ejecución, explotación y en su caso durante la demolición o abandono del proyecto." (Jefatura del Estado (España), 2013). La falta de esta declaración le significó al aeropuerto 3 meses de retraso para su inauguración en 2008. Y es que uno de los principales factores de la quiebra del aeropuerto según la ABC Toledo, fue la sustitución de la Zona de Especial Protección para las Aves. El aeropuerto está construido sobre una antigua zona de protección aviar. El gobierno decidió compensar dicha acción creando una nueva zona de protección, algo que no fue tomado de buena forma por los grupos ecologistas.

De manera análoga a los casos anteriormente vistos en esta sección, la Tabla 2-7 y la Tabla 2-8 presentan las características de las pistas y las distancias de estos dos aeropuertos respectivamente.

Aeropuerto	Pista	Largo (metros)	Ancho (metros)
Madrid - Barajas	14L/32R	3.500	60
Madrid - Barajas	14R/32L	3.988	60
Madrid - Barajas	18L/36R	3.500	60
Madrid - Barajas	18R/36L	4.179	60
Ciudad Real	10/28	4.000	60

Tabla 2-7: Orientación y dimensiones de las pistas de aeropuertos en Madrid y Ciudad Real.

Fuente: Elaboración propia mediante datos de ENAIRE.

Distancias	*Madrid - Barajas*	*Ciudad Real*
Desde centro de Madrid (kilómetros)	14,1	209,0
Desde Madrid - Barajas (kilómetros)	-	219,0

Tabla 2-8: Distancias entre el centro de Madrid y los aeropuertos.

Fuente: Elaboración propia en base a datos medidos en Google Maps y obtenidos de ENAIRE.

Este aeropuerto fue concebido como alternativa para el aeropuerto de Madrid – Barajas. Su pista tiene capacidad para recibir aviones Airbus A380. Pese a su eventual apertura, el aeropuerto no pudo subsistir más allá de 3 años. Sumado al motivo ambiental, las razones de la quiebra van desde la ampliación simultánea del aeropuerto de Madrid – Barajas (principal aeropuerto de la capital española), la crisis económica que afectó al país el 2008, hasta su considerada poca conectividad con Madrid según BBC News. Las ampliaciones que fueron inauguradas en Madrid-Barajas el 2006 permitieron que el aeropuerto albergara 70 millones de pasajeros anuales. Esto cumplió la misión de aliviar la saturación de operaciones que el aeropuerto de Ciudad Real iba a realizar. En consecuencia, hizo que las aerolíneas Low-Cost que en su momento prefirieran el aeropuerto de

Ciudad Real, dejaran de hacerlo. Pero esto no fue lo único que redujo el tráfico de pasajeros. La crisis financiera de 2008 en España se manifestó en reducciones en la cantidad de pasajeros aéreo en la mayoría de los aeropuertos españoles. En 2012, Madrid-Barajas transportó a 3,87 millones de pasajeros, una caída de 9,8% con respecto al año anterior.

Otro motivo del cierre del aeropuerto de Ciudad Real fue la conectividad y lejanía con Madrid. Se planeaba conectar al aeropuerto con una estación en la línea de tren de alta velocidad entre Sevilla y Madrid. Esto evitaría el movimiento de pasajeros por carretera, el cual demora cerca de dos horas desde Madrid. Pero hasta antes de la quiebra, sólo se alcanzó a construir el puente que conectaría al aeropuerto con la estación. Después de la quiebra, el aeropuerto tuvo que cerrar luego de que se abandonaran las operaciones comerciales y recomenzar sus operaciones bajo modalidad privada en 2019.

Ilustración 2-4: Aeropuerto de Ciudad Real, Madrid, España.

Fuente: ABC.es.

2.1.2.5 Otros aeropuertos

Otros ejemplos de ciudades como las mencionadas anteriormente pueden ser Río de Janeiro o Montreal. También existen proyectos en curso que apuntan a la construcción o potenciación de aeropuertos bajo el mismo esquema que los ejemplos mencionados. Tales son los casos de El Dorado II en Bogotá, Colombia, o el sistema de Santa Lucía-Ciudad de México, ambos en México.

Ilustración 2-5: Imagen asociada al Plan Maestro del nuevo aeropuerto de Santa Lucía, México.

Fuente: BBC.com.

En el caso de Montreal, Canadá, el primer aeropuerto que abasteció a la ciudad se encuentra actualmente sirviendo operaciones de aviación general. Fundado en 1928, el aeropuerto de Montreal Saint-Hubert Longueuil fue sucedido en 1941 por el Aeropuerto Internacional de Montreal–Trudeau, siendo éste el principal aeropuerto en términos de tráfico de la ciudad (20,3 millones de pasajeros anuales durante 2019). Hubo un tercer aeropuerto en la ciudad inaugurado en 1975, llamado Aeropuerto Internacional de Montreal-Mirabel. Si bien este aeropuerto transportó pasajeros en su momento, en la actualidad está orientado principalmente a operaciones de carga y en menor proporción a aviación general.

En el caso brasileño, el primer aeropuerto abierto en Río de Janeiro fue el aeropuerto de Jacarepaguá en 1927. Comenzando con operaciones nacionales e internacionales, actualmente sirve para operaciones de helicópteros. El siguiente aeropuerto construido fue Santos Dumont en 1936, actualmente siendo el receptor de la mayoría de las operaciones domésticas hacia o desde la ciudad con un volumen de tráfico de 9 millones en 2019. Por último, el actual Aeropuerto Internacional de Río de Janeiro/Galeão es el principal de la ciudad en términos de volumen de tráfico (13,5 millones en 2019 conforme a la información de la empresa administradora ANAC). Concebido para operaciones militares en el principio, se abrió la terminal para pasajeros en 1952 y actualmente abarca operaciones de carga e internacionales de pasajeros.

Los últimos ejemplos corresponden a los proyectos mencionados de Bogotá y Ciudad de México. En el primero, se discutió la construcción de un segundo aeropuerto, El Dorado II. Un proyecto que no puedo ver la luz y que la IATA distinguió la decisión de ampliar la terminal existente. En el caso mexicano, se planeaba la construcción de un nuevo aeropuerto, pero luego de un referéndum se prefirió la remodelación de otra terminal existente a 52 kilómetros y la construcción de un aeropuerto internacional en el lugar de una base militar a 32 kilómetros del aeropuerto de Ciudad de México. La finalidad del proyecto es crear un sistema aeroportuario para tener una conexión aérea a disposición en caso de emergencia, y al mismo tiempo, cubrir la demanda que el aeropuerto principal no puede.

2.1.3 Ámbito nacional

De la Red Aeroportuaria de Chile adjunta en este documento se puede desprender que, a diferencia de los ejemplos anteriores, Chile no tiene ninguna ciudad con más de un aeropuerto. En esta sección se exponen casos de figuras similares a las de un segundo aeropuerto en el país, como remodelaciones en aeropuertos cercanos o el cierre de un aeropuerto en la ciudad de Santiago. Pero más importante, estudios anteriores de localización que muestran precedentes para la presente investigación en términos de la metodología utilizada y condiciones evaluadas en ellos. Se analizará la posible aplicación de las variables encontradas al presente estudio.

2.1.3.1 Aeropuerto Internacional La Araucanía

El 2005 se publicó un estudio de localización para un nuevo aeropuerto en la ciudad de Temuco, en Chile. El objetivo fue seleccionar la ubicación del sucesor del aeródromo existente en la mencionada ciudad. De este estudio de localización titulado Anteproyecto Referencial Nuevo Aeropuerto IX Región (ARCADIS Geotécnica S.A., 2005), se desprenden 13 variables que fueron consideradas, las que se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 1 – Parámetros de Emplazamiento

Parámetro	Requisito
1. Accesibilidad Vial	Debe poseer factibilidad de accesibilidad vial, en lo posible cerca de buenas vías de comunicación.
2. Distancia a Temuco	Debe quedar a la menor distancia posible de Temuco. En informes de la DGAC se establece como límite máximo la distancia de 40 Km.

3. Orografía	El sitio debe ser, en lo posible, un terreno plano (movimiento de tierras mínimo), resistente, estable (no erosionable ni degradable), sin obstáculos, libre de exceso de rocas.
4. Geotecnia	El sitio debe tener una condición de resistencia que permita construir las obras proyectadas a un costo razonable.
5. Hidrología	El sitio debe ser drenable, sin obstáculos, libre de exceso de rocas, no sujeto a inundaciones.
6. Orientación	El sitio debe estar orientado de acuerdo a los vientos predominantes. El Oficio DGAC indicado en el Antecedente b), señala que la pista debe estar orientada magnéticamente dentro del rango 01/19 a 03/21 aproximadamente, conforme a la dirección principal en que soplan los vientos.
7. Nieblas, Aves, Centros Urbanos	El emplazamiento debe estar exento de posibilidad de formación permanente de nieblas, lejos de lugares donde aniden aves y de centros industriales o urbanos
8. Impacto a Comunidades Indígenas	El emplazamiento y accesos no debe afectar zonas restringidas o potencialmente conflictivas como podrían serlo comunidades Mapuches o zonas de disputa producto de reclamos de tierras o derechos por parte de esa etnia.
9. Meteorología	Condiciones meteorológicas adecuadas para operaciones aéreas seguras.
10. Valor Terrenos	Razonable de acuerdo a mercado.
11. Desarrollo por Etapas	El lugar debe permitir el crecimiento por etapas. Por definición el terreno a considerar en cada alternativa está calculado para albergar el aeropuerto en su capacidad final (pista de 3.200 m de largo)
12. Impacto Medioambiental	El sitio debe estar libre, en la medida de lo posible, de restricciones de tipo ambiental derivadas de asentamientos humanos, fauna, flora, paisaje, arqueología, empréstitos, vertederos, ruido y otros elementos que indique la normativa nacional.
13. Grandes Predios	Es recomendable que el emplazamiento se ubique en lo posible en grandes predios que faciliten los procesos de compra y/o expropiación.

Tabla 2-9: Réplica de la Tabla 1 del Informe de Emplazamiento.

Fuente: Anteproyecto Referencial Nuevo Aeropuerto IX Región (ARCADIS Geotécnica S.A., 2005).

Para el presente trabajo es factible replicar 7 de estas variables, aunque sin la misma profundidad con la que se realizó el estudio. Mediante datos obtenidos de la Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE) y otras herramientas, se pueden considerar las variables de Accesibilidad Vial, Distancia a Santiago, Orografía, Hidrología, Orientación, Impacto Medioambiental y Grandes Predios a las zonas propuestas por la DAP para la localización del NAMZC.

En el caso de las variables de Accesibilidad Vial y Distancia, se puede limitar los hallazgos a las carreteras existentes. Además, la variable Grandes Predios fue fundamentalmente binaria (en términos de respuesta, cumple o no cumple con espacio suficiente) y por lo visto, sujeta al juicio de los expertos a cargo del estudio.

Cabe destacar que otras variables podrían tener limitaciones en sus evaluaciones, tales como la Orografía, pues mediante la fuente mencionada y el programa Google Earth Pro (también utilizado en el estudio) se pueden identificar sólo el nivel de planicie que tiene el terreno y la presencia de aparentes obstáculos que hay en la zona para la operación aérea. También la Hidrología será restringida al aumento histórico de caudales y posibilidad de inundaciones dada la cercanía con sectores costeros y ríos. En cuanto a la Meteorología, esta no fue una variable decisiva dado que todas las alternativas del estudio de la Araucanía se ubicaban en una zona relativamente pequeña, de modo tal que las condiciones meteorológicas eran similares entre ellas. Mientras que el Impacto Ambiental se puede limitar a observar asentamientos humanos y potenciales exposiciones a niveles de ruido desfavorables. Esto deja fuera a puntos como sitios arqueológicos, vertederos, flora y fauna, entre otras consideraciones de la normativa ambiental chilena, como se indica en el estudio.

2.1.3.2 Nuevo Aeródromo Corporativo para la Región Metropolitana

En el año 2013 se publicó un estudio de localización para un aeródromo corporativo en la región Metropolitana de Chile. El aeródromo que cumplía tal función en aquel momento era el aeródromo Eulogio Sánchez ubicado en Tobalaba (Santiago de Chile). La terminal se encuentra en medio de la zona urbana, estando cerca de una saturación en términos operacionales. Además, AMB necesitaba limitar las operaciones de aeronaves pequeñas para dar paso a una mayor capacidad operacional de aviones comerciales de mayor tamaño. El estudio para el Nuevo Aeródromo Corporativo para la Región Metropolitana (también denominado NAC-RM) se basaba en el concepto mencionado de aeropuerto de alivio. Consistía en un nuevo aeródromo concebido para

operaciones no regulares, comerciales, no comerciales y operaciones privadas con determinada aeronave de diseño. En este estudio de localización del Nuevo Aeródromo Corporativo para la Región Metropolitana de Chile (AMEC - Cade Ingeniería y Desarrollo de Proyectos LTDA., 2013), se designaron las variables expuestas en la Tabla 2-10.

ETAPA	#	VARIABLE	SUB-VARIABLE
ETAPA 1 VARIABLES RELEVANTES OPERACIONALES Y NORMATIVAS	1	CONDICIONES METEOROLOGICAS (1)	Viento
	2	SUPERFICIES LIMITADORAS DE OBSTACULOS	SLO
			Obstáculos
	3	ESPACIO AÉREO (1)	procedimientos de aproximacion
ETAPA 2 VARIABLES DEL ENTORNO	4	CONDICIONES METEOROLOGICAS (2)	Visibilidad
			Nubosidad
	5	ESPACIO AÉREO (2)	procedimientos de aproximacion
			Analisis ENTRADAS /SALIDAS
	6	INTERFERENCIAS AERONÁUTICAS	con TMA Santiago.
			con rutas/aerovias TMA Santiago
			con rutas IFR - VFR
			en CTR Santiago
			Con areas especiales o restringidas
	7	CONFORMACION ESPACIO AÉREO	ADAPTACIONES AL ESPACIO AEREO ACTUAL
	8	ACCESIBILIDAD	Tiempo de Traslado - Tramo Urbano
			Tiempo de Traslado - Tramo Vía Concesionada o Red Ferroviaria
			Tiempo de Traslado - Tramo Vía Local
	9	CARACTERISTICAS Y TAMAÑO DEL PREDIO	Morfología del Terreno
			Propiedad
			Grado de Urbanización
	10	IMPACTO DE RUIDO	IMPACTO DE RUIDO
	11	ASPECTOS SOCIALES / COMUNITARIOS	Presencia de Población
			Presencia de Infraestructura de Servicios Básicos
			Presencia de población protegida con leyes especiales
			Carcaterización de actividades económicas- productivas
	12	ASPECTOS AMBIENTALES GENERALES	Medio Biótico
			Medio Físico
	13	EDAFOLOGÍA / CARACTERISTICAS SUELO	Suelo:Uso Normado del Suelo según PRMS y Planes Reguladores Comunales
			Potencial Productivo
			Drenaje superficial: Profundidad de niveles freáticos cercanos a la superficie
ETAPA 3 VARIABLE ECONÓMICA	14	COSTOS	Costos de Expropiación
			Costos de Construcción
			Costos de Emplazamiento

Tabla 2-10: Anlálisis Ponderado de Variables Técnicas, según Etapas/Variables/Materias.

Fuente: Estudio Básico Localización Nuevo Aeródromo Corporativo RM (AMEC - Cade Ingeniería y Desarrollo de Proyectos LTDA., 2013).

Este estudio presenta similitudes en las variables establecidas en comparación con el estudio para el Aeropuerto de La Araucanía. En cuanto al espacio aéreo y demás variables relativas a la operación como tal, se desglosó en 5 variables en este caso.

En cuanto a la posible factibilidad de utilizar ciertas de estas variables, se considera aquellas cuyos temas sean similares al anterior. Vale decir, todas las variables de la Etapa 1 correspondientes a las variables de Condiciones Meteorológicas, Superficies Limitadoras de Obstáculos y Espacio Aéreo, Accesibilidad, Características y Tamaño del Predio, Impacto de Ruido, Edafología y Aspectos Sociales/Comunitarios. Cada variable ponderó de manera diferente las subvariables que contenían, según el criterio del consultor.

En cuanto a las variables de Aspectos Ambientales Generales y Edafología/Características del Suelo, el consultor utilizó información específica, visitas al terreno y juicio en base a experiencia para realizar la evaluación. Al menos la metodología utilizada no será aplicada en el presente estudio dada la inaccesibilidad de información precisa. Sin embargo, es posible suplir esta falta por medio de la ya mencionada IDE del Ministerio de Bienes Nacionales de Chile o el Sitio de Información Territorial (SIT) del MOP, con información georreferenciada para cada zona propuesta por la DAP. Para la última variable mencionada correspondiente a los Aspectos Sociales/Comunitarios, todas las subvariables que componían este aspecto fueron evaluadas de acuerdo con un criterio propio utilizado por AMEC. Este criterio corresponde a categorizar las subvariables dentro de áreas circundantes alrededor del emplazamiento (llamadas *Buffers*). Estas áreas se diseñaban en circunferencias cuyos perímetros estuvieran a 300, 400, 500 y más de 500 metros de distancia de la zona estudiada.

Dentro de este estudio básico de localización, se consideró además al Aeródromo de Cerrillos como una alternativa para la aviación corporativa. Dentro de las conclusiones a las que se llegó en este ámbito, están la realización de un estudio de demanda para la utilización del aeródromo exclusivamente como helipuerto, estudiar las futuras inversiones en infraestructura que sean necesarias dentro de esta misma línea y se recomendó un estudio de gestión del espacio aéreo de la zona urbana de Santiago frente a la eventual operación del aeródromo.

Las conclusiones del estudio recomendaron emplazar el NAC-RM en la zona sur de Santiago. Específicamente fueron dos emplazamientos los que resultaron mejor evaluados, ubicados en Isla

de Maipo y Linderos[7]. Se consideraba que era de los pocos sectores donde se obtenía una relativa cercanía con el centro de la ciudad, y además existía espacio suficiente para la construcción de una terminal aérea.

2.1.3.3 Aeródromo de Viña del Mar

Dentro de la red aeroportuaria nacional, un aeródromo que está dentro de las zonas propuestas por la DAP para la localización del NAMZC es el aeródromo de Viña del Mar. También conocido como "Torquemada", se ubica en la comuna de Concón de la Región de Valparaíso, Chile. Este aeródromo se encuentra bajo la administración de la Armada de Chile, siendo utilizado principalmente para vuelos militares, y en menor medida de aviación general. Posee una pista de orientación 05/23 de 1.750 metros de largo por 30 metros de ancho según la AIP volumen I de la DGAC. Es parte de la red secundaria y militar de aeropuertos chilenos.

Si bien el lugar cuenta con dependencias públicas, e incluso para un club aéreo local, las proporciones de estos espacios son pequeñas en comparación con la superficie destinada a la aviación militar de la Armada de Chile. Esto da cuenta de que el aeródromo está diseñado para tal tipo de operación.

La DAP presentó en julio de 2020 una licitación de un anteproyecto referencial para la "Ampliación y Mejoramiento del Aeródromo de Viña del Mar". El objetivo de este proyecto (por el contrario del que vendría meses después, relativo al Plan Maestro de AMB y el NAMZC) es abrir a Viña del Mar, Valparaíso, Reñaca, Concón y demás ciudades próximas como destinos aéreos y conectarlas con otras ciudades del país mediante la misma vía, sin la necesidad de que Santiago sea ya una terminal intermodal. El estudio también abre la posibilidad de vuelos internacionales, pero lo deja sujeto al juicio del consultor.

Para efectos de vuelos comerciales, se contempla la construcción de una calle de rodaje paralela, mejorar la resistencia de la pista, ampliar su ancho y adaptar la plataforma para 2 posiciones de

[7] Correspondientes a ubicaciones dentro de la Provincia de Talagante y la Provincia de Maipo, respectivamente. Estas provincias pertenecientes a la Región Metropolitana de Chile son zonas de estudio de la presente tesis, y se encuentran expuestas en la Ilustración 3-1 más adelante.

estacionamiento de aeronaves clave C (por ejemplo, A320). Estos perfeccionamientos son la razón de por qué actualmente Torquemada no puede ser una alternativa a AMB.

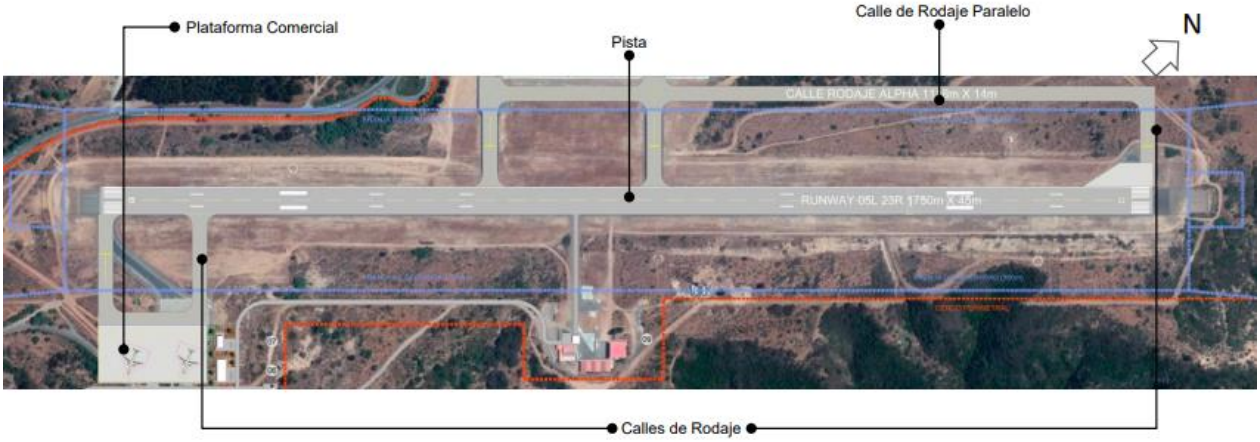

Ilustración 2-6: Plan de mejoramiento al aeródromo de Viña del Mar.

Fuente: DAP.

2.1.3.4 Aeródromo de Los Cerrillos

Inaugurado en 1934, este aeródromo fue la principal terminal aérea de Santiago de Chile hasta la inauguración del actual aeropuerto AMB (por aquel entonces llamado Aeropuerto de Pudahuel) en 1967. El aeródromo de Los Cerrillos finalizó sus operaciones el 08 de febrero del 2006.

Las razones detrás de su cierre no se encuentran totalmente claras[8]. Acorde a medios locales, había intenciones por parte del Estado en llevar a cabo proyectos inmobiliarios en zonas aledañas, por lo que las zonas de protección del aeródromo eran un impedimento. Santiago estaba creciendo en las cercanías, y el nuevo aeropuerto de Pudahuel estaba en condiciones para contener la demanda actual y proyectada (teniendo en cuenta las ampliaciones que se le aplicarían después) sin la necesidad de apoyarse en una segunda terminal, como lo hubiese sido Los Cerrillos. Ante la nula necesidad de contar con el aeródromo, éste representaba un obstáculo a proyectos inmobiliarios

[8] No hay documentos oficiales ni estudios que determinen razones técnicas de por qué se debió cerrar el aeródromo de Los Cerrillos. Luego de consultas a publicaciones online de diarios de la época, se llega a la conclusión que la decisión fue de índole político.

más que una oportunidad del desarrollo de la industria aérea. Por tal motivo, se decidió clausurar permanentemente a la terminal aérea.

Con este caso se acaban los antecedentes recopilados de saturación, estudios y ejemplos sobre la construcción de un nuevo aeropuerto a nivel nacional e internacional. En la siguiente sección se muestran los aspectos teóricos que engloban al tema estudiado. De manera similar a esta, presenta un enfoque internacional y nacional, refriéndose principalmente a normativa y literatura especializada.

2.2 Marco teórico

Una vez estudiados los antecedentes nacionales e internacionales del tema, se expone el marco teórico en torno al emplazamiento de un nuevo aeropuerto. En esta sección se abordan temas como el concepto de un aeropuerto de alivio, las principales normativas que existen en Chile al respecto y el modelo de localización que se utilizará para recomendar la mejor ubicación, acorde a los parámetros estudiados.

2.2.1 Aeropuerto de alivio

Pese a que existen diversas ciudades alrededor del mundo con más de un aeropuerto, no existe una teoría muy específica sobre qué condiciones deben existir para que sea factible emplazar uno adicional en un determinado sector. Sin embargo, es posible extraer información pertinente de libros sobre planificación y evaluación de proyectos aeroportuarios, con el fin de determinar aspectos clave a considerar en toda construcción de un aeropuerto. Ya sea el caso del primer aeropuerto de una ciudad o ampliaciones planeadas para uno existente.

En el libro *Strategic Airport Planning and Marketing* (Arsonval M., 2016), se mencionan una serie de factores que influyen en toda planificación de aeropuertos en cuanto a localización y selección, dentro de los que destacan:

1) "Acceso al área metropolitana adecuado.
2) Asegurar suficiente espacio aéreo y su acceso.
3) Suficiente extensión de tierra para las operaciones terrestres y futuras expansiones.
4) Condiciones meteorológicas y atmosféricas.
5) Disponibilidad de servicios públicos, tales como agua, electricidad y demás infraestructura.
6) Desarrollo del área circundante, lejos de zonas residenciales que estén densamente pobladas.
7) Accesibilidad terrestre para servicios al pasajero.
8) Características del suelo.
9) Obstáculos cercanos como árboles, montañas o edificios.

10) Topografía considerando la elevación del sitio y evitando inconvenientes." (Arsonval M., 2016).

Los factores citados comprenden fundamentalmente 4 áreas principales de la industria aérea, las cuales corresponden a accesibilidad al aeropuerto, espacio aéreo suficiente y libre de obstáculos, orografía y extensión de tierra, y por último las condiciones meteorológicas.

Por otro lado, existen condiciones que se deben determinar para que un aeropuerto tenga la capacidad de someterse a ampliaciones. La autora nombra en primer lugar a la elevación del terreno circundante, puesto que aquellas pistas ubicadas en la cima de un cerro en zonas montañosas o en valles se verán más perjudicadas al considerar ampliaciones. En segundo lugar, el crecimiento está sujeto a las condiciones meteorológicas, como lluvia, niebla o cualquier cambio atmosférico adverso debido a las condiciones estacionales prevalecientes. En tercer lugar, depende del desempeño o *Performance* de las aeronaves, dado que un aeropuerto debe ser definido para albergar a aviones de gran tamaño, o bien, construido pensando en aviones pequeños. El último factor influyente es el volumen del tráfico. El aeropuerto debe considerar el volumen presente y futuro del tráfico, el cual puede estar determinado por el número de pasajeros, operaciones de carga y las flotas de aviones planificadas.

Este libro utiliza el concepto de *reliever airport* para denominar a cierto tipo de aeropuertos en Estados Unidos, el cual se traduciría como "aeropuerto aliviador" o "aeropuerto de alivio". Estos aeropuertos o aeródromos son definidos como "aeropuertos designados por la FAA para aliviar la congestión en Aeropuertos de Servicios Comerciales y aportar con un mejor acceso de la aviación general a toda la comunidad. Estos pueden ser de propiedad pública o privada." (Arsonval M., 2016).

Tal como se menciona en el texto, la FAA posee una denominación explícita en su normativa a estos segundos aeropuertos. Dentro del reporte al congreso que se realiza periódicamente, el denominado NPIAS o Plan Nacional de Sistemas Aeroportuarios Integrados (en inglés *National Plan for Integrated Airport Systems*), se alude a este concepto.

Aparte de la definición dada anteriormente, el NPIAS evoca a que este tipo de aeropuertos se puede planificar acorde a una aeronave crítica, la cual no estaba prevista originalmente para el aeropuerto al que se pretende aliviar. Esto va de la mano con la definición del concepto, acerca de abrir paso

a la aviación general, pero bien se puede aplicar a aviones comerciales u aerolíneas con modelos y exigencias distintas al resto, como por ejemplo las LLC o los vuelos comerciales de carga.

En lo relativo al aeropuerto de alivio, esto ha sido la información recopilada en el ámbito internacional. La legislación chilena por su parte también posee normativa en lo que concierne al emplazamiento y construcción de un nuevo aeropuerto. Esta normativa se expondrá en la siguiente sección.

2.2.2 Legislación chilena

En el caso de Chile, dentro de la legislación vigente y aplicable a toda construcción de un aeródromo inciden principalmente la Dirección General de Aeronáutica Civil mediante sus decretos DAR 14 y DAN 14 y la Dirección de Aeropuertos del MOP a través del Manual de Desarrollo Aeroportuario. Éstas determinan el alcance que tienen los organismos públicos en calidad de autorización, fiscalización, (y cuando se requiere) planificación en la construcción de un aeródromo o aeropuerto nuevo. Para el caso de AMB, Nuevo Pudahuel fue el gestor de la ampliación actual regido bajo el plan maestro pertinente.

2.2.2.1 DAR 14

Se define en conformidad con en el Apéndice 2 de la DAR 14 (DGAC, 2005), que un Plan Maestro corresponde a una planificación a largo plazo de las ampliaciones y modificaciones que se contemplan para el aeropuerto o aeródromo, aumentando su capacidad de pasajeros. Estos planos son previamente aprobados por la DGAC y cada terminal aéreo posee su propio plan maestro. El aeropuerto de Santiago tiene una proyección que alcanza al 2045 para abastecer 45 millones de pasajeros.

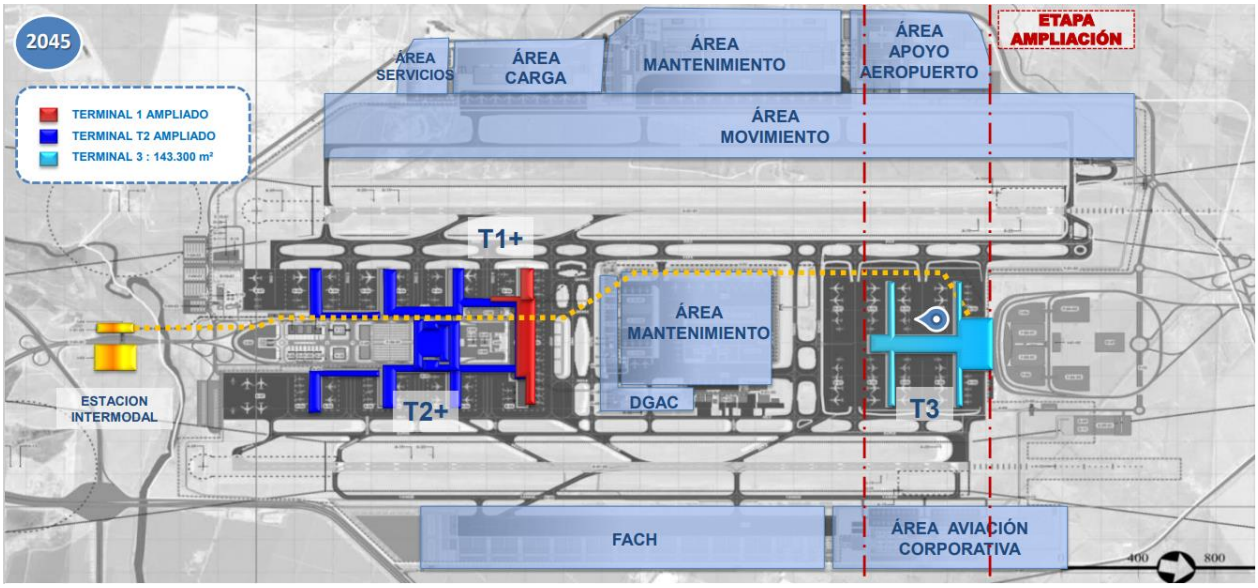

Ilustración 2-7: Imagen del Plan Maestro acutal de AMB contemplado para 2045.

Fuente: Estudio Básico Actualización Plan Maestro AMB y Estudio Localización NAMZC (DAP, 2020).

Ahora bien, Chile clasifica a sus aeropuertos y aeródromos en redes, de acuerdo con su grado de utilización. Se categorizan en la Red Primaria, la Red Secundaria y la Red de Pequeños Aeródromos. Aquellos aeródromos que no poseen una importancia relativa al país (no se encuentran en la red primaria) están administrados por la DGAC. Aeropuertos con aportes relevantes en términos de conectividad regional e internacional, como el aeropuerto de Santiago, se encuentran en la red primaria. Se muestra una imagen de la red en el anexo H: Mapa de la Red Aeroportuaria de Chile. También se debe destacar la presencia de aeródromos privados en Chile, los cuales no figuran en el mapa adjunto. En lo relativo a la administración de estos aeródromos, la autoridad chilena señala la posibilidad de que sean habilitados como aeródromos públicos, cumpliendo que:

a) "Su habilitación sea de interés general para la comunidad de zonas remotas, o aisladas, o de utilidad en casos de desastres naturales e inexistencia de otros aeródromos que satisfagan necesidades ineludibles de transporte aéreo en el área a servir.

b) Se cumpla con los requisitos técnicos establecidos en el presente Reglamento, apropiados para el tipo de aeronaves que se prevé harán uso del aeródromo.

c) Cuenten con una pista de un largo mínimo de 700 metros." (DGAC, 2005).

Lo anterior da cuenta de que existe una posibilidad de que los aeródromos bajo administración privada se habiliten como uso público, y por lo tanto se admitan vuelos comerciales como es de interés para el presente trabajo. Esta decisión recaerá exclusivamente en el Estado.

2.2.2.2 Manual de Desarrollo Aeroportuario

Por otro lado, existen conceptos definidos por la DAP que se deben definir para ampliar la comprensión del tema. En primer lugar, se habla en el Manual de Desarrollo Aeroportuario del Nivel de Servicio. Este término define la capacidad de suministro que posee alguna terminal aérea de satisfacer la demanda de pasajeros de esta. Para ello, se adjunta la tabla presente en el manual a continuación:

Definición Nivel de Servicio

Nivel de servicios		Flujos	Demoras	Confort
A	Excelente	Libres	No hay	Excelente
B	Alto	Estables	Muy pocas	Alto
C	Bueno	Estables	Aceptables	Bueno
D	Adecuado	Inestables	Aceptables	Adecuado
E	Inadecuado	Inestables	Inaceptables	Inadecuado
F	Inaceptable	Colapso de Sistema	Colapso de Sistema	Inaceptable

Tabla 2-11: Definición Nivel de Servicio.

Fuente: Manual de Desarrollo Aeroportuario (DAP, 2011).

Conforme a las disposiciones del manual, se define cada uno de los niveles como características cualitativas de los tiempos de espera y espacio disponible dentro de la terminal. Cada zona del edificio terminal de pasajeros de un aeropuerto posee estándares definidos por la DAP. Considerando el tráfico anual planificado para la terminal aérea, el edificio se construye con tal cantidad de espacio para satisfacer los estándares propuestos. Un ejemplo de los requerimientos definidos por la DAP se adjunta en el apéndice K: Tabla resumen de estándares en la terminal de pasajeros según la DAP. Los niveles de servicio expuestos en la Tabla 2-11 van desde el nivel de servicio F catalogado como inaceptable hasta un nivel de servicio A catalogado como excelente. El primero implica “Condiciones de flujo cruzados, sistema colapsado y cantidad de retrasos

inaceptable. Nivel de comodidad inaceptable". Mientras que el segundo corresponde a "Condiciones de flujo libre, sin retrasos. Nivel de comodidad excelente" (DAP, 2011).

Este concepto es esencial para determinar la calidad deseable del servicio a entregar una vez terminadas las obras (ya sean de ampliación o construcción). Se estableció un nivel de servicio C para toda ampliación o construcción de aeródromos pertenecientes a la Red Primaria como criterio por la DAP. Se destaca que AMB es un aeropuerto de la Red Primaria, y, por lo tanto, diseñado para otorgar un nivel de servicio C.

El siguiente concepto es el Año de Diseño. Se considera como el año tipo que se tiene en consideración a la hora de planificar la capacidad de las obras. Se planea, por lo tanto, que una vez terminadas las obras se tenga una capacidad ociosa (demanda por debajo de la capacidad), durante el año de diseño se alcance el nivel de tráfico para el cual está pensada la capacidad y hacia el término del horizonte de evaluación del proyecto, la capacidad se vea sobrepasada. Esto se visualiza mejor con la siguiente gráfica:

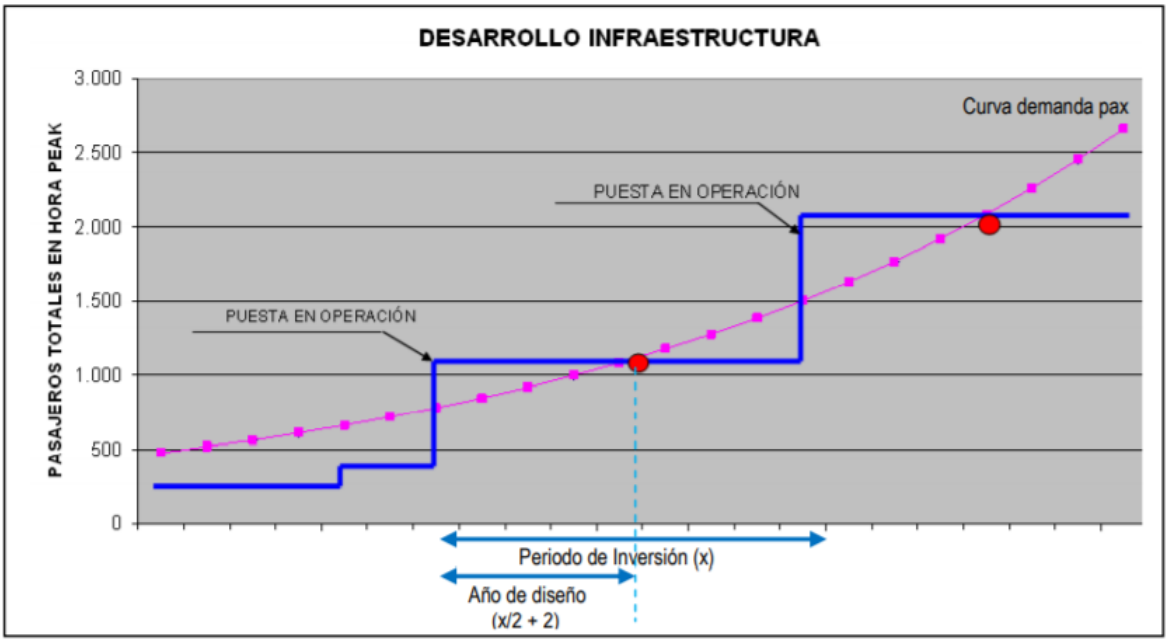

Gráfico 2-11: Desarrollo de la infraestructura aeroportuaria.

Fuente: Manual de Desarrollo Aeroportuario (DAP, 2011).

Se visualiza en el gráfico al nivel de tráfico de pasajeros como la curva punteada rosada y a la capacidad aeroportuaria como la línea azul. Bajo estas aclaraciones, el año de diseño podrá ser la mitad del período de concesión o la mitad del horizonte de diseño u evaluación más dos años.

El último concepto importante son los Pasajeros en Hora Punta (o denominados PHP). Consiste en ordenar en un año calendario aquellas horas móviles en donde se concentró la mayor cantidad de pasajeros en el aeropuerto. Así, se obtienen datos como los PHP1[9], correspondiente a la hora móvil de cierto año con la mayor cantidad de pasajeros albergados en el aeropuerto. Para el aeropuerto AMB, considerado como el más importante a nivel de Chile, se utiliza el estándar de PHP30 para calcular los tiempos de procesamientos necesarios. Para el resto de los aeropuertos y aeródromos de la red primaria se utiliza un nivel de PHP40, es decir, la cuadragésima hora móvil más congestionada de dicho aeropuerto en el año calendario.

Por ejemplo, se tiene que durante el 2019 el aeropuerto de Santiago recibió a 24,6 millones de pasajeros en total. Para calcular los PHP1 se estima la cantidad de pasajeros que hubo durante una hora del año, durante cualquier día del 2019, estimado mediante la cantidad de vuelos y pasajeros que arribaron y salieron del aeropuerto. Se ordenan de mayor a menor las cantidades obtenidas y la mayor o primera de estas cifras corresponde a la Hora 1 u hora más congestionada del aeropuerto. De esta forma se pudo haber llegado a que la cantidad de tráfico en la hora más congestionada del 2019 haya sido 4.000 pasajeros. La cifra de PHP1 sirve para realizar cálculos de la capacidad máxima que la plataforma de aeronaves deberá tener. Pero datos como que los PHP40 fueron 3.750, por ejemplo, y junto con el nivel de servicio deseado hacen posible la planificación y diseño de la terminal de pasajeros.

2.2.2.3 DAN 14

En otros aspectos para el marco teórico, existen reglamentaciones otorgadas por la autoridad aeronáutica chilena que rigen la habitación o diseños de aeródromos, fuera del ya estudiado Manual

[9] También se pueden denominar bajo el formato H01 u Hora 1. Si bien se refiere a la hora móvil dentro del año calendario más congestionada, también se mide en términos de pasajeros procesados. Otros ejemplos comunes: H30, H40 (trigésima y cuadragésima hora móvil más congestionada del año calendario, respectivamente).

de Desarrollo Aeroportuario de la DAP. Con respecto al diseño de aeródromos nuevos, la DGAC se refiere en la DAN 14 – 154 (DGAC, 2017) a las siguientes consideraciones:

a) "Se debe establecer la aeronave de diseño que determine la Clave de Referencia del aeródromo cuando se diseñe un aeródromo nuevo, se propongan ampliaciones o mejoramientos que sean aceptables a la DGAC.

b) El diseño debe estar acorde con el Plan Maestro del Aeródromo/Aeropuerto de acuerdo con lo estipulado en el Apéndice 2 - Diseño de Aeródromos de la presente Norma y aceptable a la DGAC.

c) Los requisitos arquitectónicos y relacionados con la infraestructura que son necesarios para la óptima aplicación de las medidas de seguridad de la aviación civil internacional se integrarán en el diseño y la construcción de nuevas instalaciones, así como las reformas a las instalaciones existentes en los aeródromos.

d) En el diseño de los aeródromos, se debe establecer un Plan de Uso del Suelo y Controles Ambientales que sean aceptables a la DGAC." (DGAC, 2017).

Se debe constatar que se menciona el plan maestro, concepto ya definido en esta sección, y una aeronave de diseño. Esta última consiste en aquel tipo de aeronave bajo el cual está planificada la construcción del aeródromo, un avión típico que se utilice en los vuelos regulares que se operarán en la terminal en cuestión.

Todo lo anterior comprende la normativa aplicable al tema. Resta por presentar un modelo de localización para que, al final de la evaluación del presente estudio, permita recomendar objetivamente la mejor ubicación acorde con las variables estudiadas.

2.2.3 Modelo Brown & Gibson

Según el libro Preparación y Evaluación de Proyectos (Sapag Chain, y otros, 2014), el modelo de Brown & Gibson se usa para clasificar a las alternativas, y finalmente recomendar aquella zona que resulte con la mejor puntuación. Este modelo proviene de la evaluación de proyectos generales y permite definir, por medio de factores objetivos y subjetivos, la preferencia de localización de una ubicación sobre las demás. Es un modelo que intenta objetivar la decisión, aminorando la presencia del juicio de los evaluadores en comparación con otros modelos de localización. Este

modelo consiste en 4 etapas. La primera de ellas es asignar un valor parcial tanto a los factores objetivos como a los subjetivos a considerar para la localización. También se debe constatar la preferencia que hay entre los factores subjetivos, en cada localización a evaluar. Luego se deben combinar todos los factores, determinando una ponderación relativa para éstos. De esta forma se obtiene la llamada medida de preferencia de localización (MPL). Se selecciona aquella alternativa de emplazamiento que obtenga la mayor medida de preferencia de localización.

2.3 Propuesta metodológica

Con el estado de la materia ya recopilado, y siguiendo el lineamiento presentado en la metodología, se presenta la propuesta a seguir durante el próximo capítulo en el Gráfico 2-12.

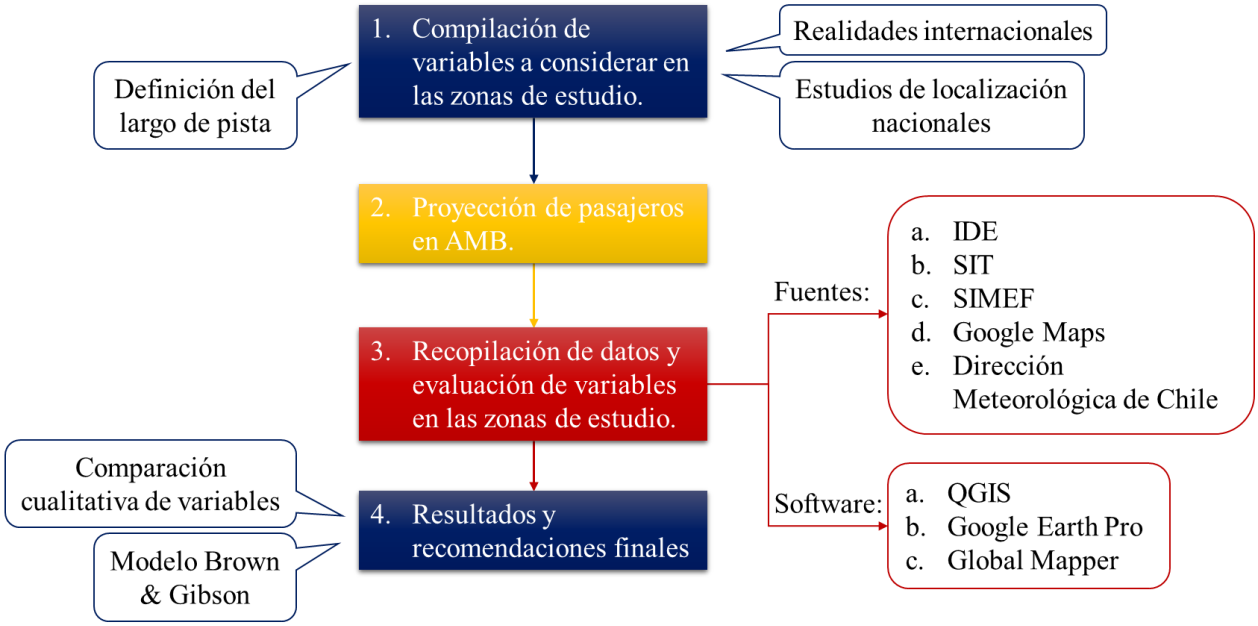

Gráfico 2-12: Esquema de la propuesta metodológica.

Fuente: Elaboración propia.

Esta propuesta está basada en los dos estudios de localización a los que se tuvo acceso, correspondientes al estudio del Nuevo Aeropuerto de la Araucanía, 2005 y el del Nuevo Aeródromo Corporativo de la Región Metropolitana del 2013. En los estudios existe una definición de las variables y las zonas de estudio al principio. Luego se recopilan los datos de cada una de las variables y finalmente se comparan las áreas propuestas para elegir la o las que más favorables resultan de emplazar el nuevo aeropuerto.

En cuanto a la propuesta metodológica, un primer paso es definir las variables a estudiar en las zonas propuestas, tal como se realizan en los estudios de emplazamientos expuestos. Esto es, identificar las variables operativas, geográficas, ambientales, y otras que tengan un impacto crítico en la construcción de aeropuertos nuevos en base a estudios anteriores. Considerando lo anterior, sumado a conclusiones hechas en base a las realidades internacionales y nuevas variables que puedan surgir como consecuencia de ubicar el aeródromo fuera de la conurbación de Santiago,

darán paso a la definición de las variables del presente estudio. Para llevar a cabo el posterior análisis, puede ser necesario tomar supuestos fundados. Tal como se dijo anteriormente, las alternativas de localización del NAMZC serán las propuestas por la DAP en la licitación revisada y expuestas en la Ilustración 1-1. En una última instancia, previa a la evaluación de variables y proyección, se debe definir el largo de pista para cada zona de acuerdo con la normativa recopilada.

El segundo paso es proyectar el tráfico de pasajeros y operaciones en AMB en el mediano y largo plazo. Lo anterior con vistas a manejar cifras que sirvan para evaluar la saturación que pueda darse a futuro. Se pretende proyectar los 10 años de horizonte desde 2025, establecidos en la hipótesis, mediante el comportamiento de la demanda estudiado con el software Microsoft Excel. Además, se pretende revisar modelos de proyección previamente validados. Bien se puede escoger un método para realizar el pronóstico, o bien se puede realizar la proyección de la demanda conforme al comportamiento histórico de ésta. Este último escenario se aplicaría en caso de no ser factible la aplicación de los modelos hallados. Esta parte del capítulo estará ligada a los escenarios que la IATA vaticine para la industria aeronáutica, de carácter mundial o regional, sobre su recuperación desde el 2020 en adelante. Finalmente, en el capítulo se concluirá en qué año será factible aliviar la cantidad de operaciones en AMB. En otras palabras, el año en que sea factible iniciar operaciones en el NAMZC. Esto puede ser un punto de comparación con aquellos años en que se pretenden inaugurar proyectos de conectividad de Santiago con las zonas en estudio.

El tercer paso consiste en la recopilación de información en torno a las variables definidas, el posterior procesamiento de los datos según sea requerido y los parámetros en los que se van a evaluar. Tal como se indica en el Gráfico 2-12, las principales fuentes de información corresponden a plataformas ministeriales de Chile como son el IDE, SIT – MOP, AIP de la DGAC, portales web como CIREN, SIMEF y de la Dirección Meteorológica de Chile. También son fuentes de información la base de datos sobre elevación del terreno en el software Global Mapper y artículos oficiales sobre proyectos complementarios de conectividad en la macrozona central. Por otro lado, el software utilizado para procesar los datos recopilados son el ya mencionado Global Mapper, Google Earth Pro, Quantum Geographic Information System (QGIS) y Microsoft Excel. En esta parte del capítulo, habrá variables que tendrán un mayor nivel jerárquico que las demás al momento de evaluar la factibilidad. Ya que ciertas condiciones pueden dictaminar inmediatamente que no es factible el emplazamiento, y no se necesita seguir corroborando a las demás. Por lo que las variables

se evaluarán en un orden de factibilidad, siendo este el orden en que serán expuestas las mismas. De esta manera, el análisis de los datos permite sacar conclusiones para continuar o detener la evaluación de cierta zona de estudio si incumple condiciones básicas.

Últimamente, el cuarto paso consta de exponer los resultados obtenidos. En primera instancia, se realizará un desglose de cada variable estudiada y se dará cuenta del grado de cumplimiento de las condiciones en cada sector. Esta última parte indicará la postura final sobre la hipótesis. A modo de realizar una recomendación para el emplazamiento final, se jerarquizarán las zonas de estudio conforme a su factibilidad mediante el método de Brown & Gibson. Esto permitirá establecer un orden de preferencia de los emplazamientos analizados, cuyas condiciones sean las más favorables.

Con esto finaliza el capítulo 2 correspondiente al estado del arte de la materia. En el siguiente capítulo se realizarán todos los pasos propuestos en esta sección y que finalmente permitirán tomar una postura frente a la hipótesis establecida al principio.

CAPÍTULO 3: Desarrollo

En el capítulo 3 del presente trabajo, indicado en la propuesta metodológica, el primer paso es definir las variables de acuerdo con la normativa, estudios y experiencia internacional recopilada. También se definirán las zonas y variables que se estudiarán en ellas. Estas variables para evaluar en las zonas de estudio se definieron como: la dirección de los vientos predominantes, el cumplimiento requerido con las áreas de protección, la orografía, la conectividad actual con Santiago y el impacto medioambiental en los alrededores. Un segundo paso es determinar el largo de pista, necesario para la medición de las variables. El tercer paso es realizar la proyección de pasajeros acorde a lo dispuesto en la propuesta metodológica. El cuarto paso del capítulo consta de exponer los resultados de la observación de las variables escogidas. Seguidamente, se comparan con su factibilidad según estándares requeridos y además entre sí. Finalmente se exponen los resultados obtenidos y se recomienda la mejor ubicación en base a la evaluación realizada. Cabe recordar que son 5 las zonas a estudiar a lo largo del capítulo, correspondientes a: la zona costera de Concón y Quintero, la cuenca de Casablanca a la altura de la comuna homónima, la provincia de Maipo, la provincia de Talagante y la cuenca del valle de Rancagua.

3.1 Definición de Zonas de Estudio y Variables

Siguiendo con los lineamientos de la propuesta metodológica, considerando los hallazgos en los antecedentes y el consejo de la DAP es que en esta sección se pretende definir cuáles serán las variables que se estudiarán en las secciones siguientes y en qué sitios se realizarán estas evaluaciones.

Comenzando por las zonas de estudio, éstas pertenecen a las mismas que publicó la DAP y están expuestas en la Ilustración 1-1. Se señala que se evaluará sólo un emplazamiento tentativo de la pista por cada zona de estudio. Estas zonas consisten en la zona costera de Concón y Quintero, la cuenca de Casablanca, la provincia de Talagante, la provincia de Maipo y la cuenca del valle de Rancagua. Las imágenes de los emplazamientos se presentan en el apéndice I: Localizaciones de las pistas preliminares del NAMZC, en donde además se incluyen las coordenadas de los umbrales tentativos de la pista.

Ilustración 3-1: Mapa de divisiones comunales y provinciales de la Región Metropolitana de Chile.

Fuente: Gobierno Regional Metropolitano de Santiago.

La macrozona central es un área muy grande como para poder abarcarla con el presente estudio. Se entiende de que las zonas propuestas por la DAP están estudiadas con antelación y por tal razón han sido electas. Por lo tanto, se pretende estudiar exclusivamente estas zonas de la macrozona central de Chile. En la Ilustración 3-1 se aprecia en color amarillo las comunas pertenecientes a la provincia de Maipo, y en anaranjado las pertenecientes a la provincia de Talagante. Hacia el noroeste se pueden distinguir las comunas de Concón y Casablanca de la Región de Valparaíso, en donde se encuentran otras 2 de las zonas de estudio definidas. Otro punto importante es que el estudio de localización del Nuevo Aeródromo Corporativo para la Región Metropolitana del 2013 incluye dos de las zonas propuestas por la DAP, que son la provincia de Talagante y la provincia de Maipo.

Un paso intermedio antes de estudiar las variables es definir el largo de la pista requerida, pero este punto se explicará más adelante. En lo relativo a las variables, estas se pueden agrupar en cinco áreas de evaluación. Los dos estudios de localización detallados en esta sección incorporan en su evaluación a estos cinco ámbitos. La lista de variables es la que sigue a continuación:

I. Meteorología: Dirección de los vientos predominantes.

II. Orografía: Desnivel del suelo.

III. Espacio Aéreo: Cumplimiento con las zonas de protección.

IV. Impacto medioambiental:

    i. Zonas de humedales.

    ii. Propiedad de los terrenos.

V. Conectividad con Santiago:

    i. Distancia en ruta.

    ii. Tiempo de traslado.

En primer lugar, se debe considerar la dirección del viento predominante para obtener la orientación tentativa de la pista y su factibilidad en caso de no cumplir la normativa exigida. La orografía comprende la segunda variable, necesaria para evaluar el terreno sobre el cual se pretende construir la pista del NAMZC. Ésta se rige bajo la normativa que se expondrá en la sección relativa a esta variable. Después, se debe evaluar el cumplimiento con las zonas de protección de los procedimientos estudiados. Esto se puede realizar una vez definidos los largos de pista, orientación y ubicación de los umbrales de la pista tentativa. De acuerdo con el texto de Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Infraestructura Aeroportuaria (Ministerio de Desarrollo Social y Ministerio de Obras Públicas, 2014), la geografía es el principal obstáculo en los proyectos aeroportuarios. Por esta razón las tres primeras variables tienen el mencionado orden, con el objetivo de cubrir obstáculos de la geografía chilena y definir en una primera instancia la posición y orientación de la pista.

La cuarta variable comprende al impacto ambiental, considerada en los estudios anteriores recopilados. Esta variable se compone de la evaluación de la presencia de humedales y la propiedad

de los terrenos a utilizar por el NAMZC. Acerca del primer criterio, es necesario tener en consideración la presencia de humedales en la ubicación tentativa de la pista, principalmente para evitar la construcción de esta y de la terminal de pasajeros sobre zonas de tierra inundadas. Otros aspectos por tener en consideración pueden ser las zonas protegidas según planes reguladores o el registro de incendios forestales[10], cuyas áreas también se buscará que no interfieran con la extensión de la pista. El segundo criterio busca minimizar la cantidad de terrenos utilizados por la pista. Se entiende que emplazar el aeropuerto en predios agrícolas zonas pobladas implica expropiar las tierras. Con respecto a estas últimas variables, son críticas para decidir la localización de la pista en el caso de poseer más de una opción dentro de la misma zona. En último lugar, se evalúa la accesibilidad y proyectos de conectividad. Como se vio con el caso de Ciudad Real y la experiencia internacional, se deben cumplir ciertos estándares o lejanía aceptable del nuevo aeropuerto con Santiago. También se debe considerar la capacidad de conexión que exista entre el NAMZC y AMB.

En la próxima sección, se definirá el largo de la pista dada la composición de las operaciones que tendrá el nuevo aeropuerto. Para esto se deben realizar supuestos relativos a la estructura del tráfico, y con la normativa relacionada se llega a una definición del largo tentativo de la pista para cada zona. Con esto se puede comenzar el estudio de las variables definidas en esta sección.

[10] En definitiva, estos factores adicionales se tendrán en cuenta para seleccionar la ubicación de la pista en la zona. Pero se debe aclarar que la detección de humedales es el principal objetivo de la variable.

3.2 Definición del largo de pista

La pista de los aeropuertos, tal como se indica en la DAR 14 de la DGAC, se planifica de acuerdo con la aeronave crítica para la cual se diseña el aeródromo. Esto es, aquel modelo de avión que propone una mayor exigencia en cuanto al largo de la pista para completar operaciones de aterrizaje y despegue satisfactoriamente. El largo de la pista se determina considerando la situación más adversa, donde la aeronave crítica necesite la mayor extensión posible. De esta manera, cada fabricante de aeronave publica un Manual de Planificación Aeroportuaria (también llamado por sus siglas en inglés APM, *Airport Planning Manuals*) en donde se detallan especificaciones de la aeronave tales como su peso máximo de despegue según diseño, el peso máximo de aterrizaje, y curvas de largo de pista versus peso de la aeronave tal como se muestra en el Gráfico 3-1.

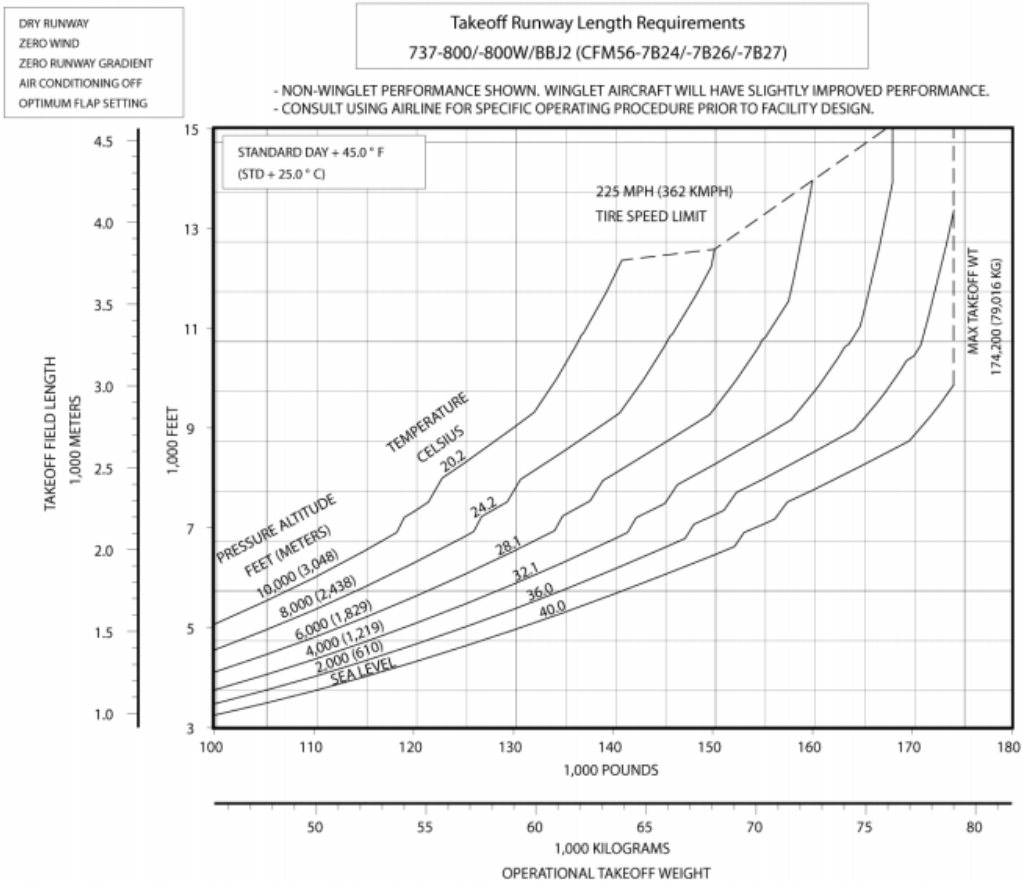

Gráfico 3-1: Requerimientos de pista para despegue de un Boeing 737-800. Ejemplo de un gráfico en un APM.

Fuente: 737 Airplane Characteristics for Airport Planning (Boeing Commercial Airplanes, 2020).

La FAA publicó el año 2005 la circular número 150/5325-4B titulado "*Runway Length Requirements for Airport Design"* (FAA, 2005). En el documento se expone una metodología para definir el largo para pistas de aterrizaje nuevas o existentes y con vistas a ampliaciones.

Teniendo en cuenta la normativa mencionada, el siguiente paso es suponer las operaciones que albergará el nuevo aeropuerto. Se considerarán las aeronaves que mayor exigencia de pista demandarán para poder definir el largo preliminar de la pista. Para efectos del presente estudio, se supondrá un tráfico de carácter regional para el NAMCZ con aeronaves de código OACI 4C. Esto pues implica la utilización de aeronaves de mediano alcance como la familia A320 o B737, y que conforme a lo expuesto en el apéndice D: Aerolíneas, aeronaves y destinos de AMB, son los que ocupan la mayor parte del tráfico del aeropuerto de Santiago. Por lo tanto, si parte de este tráfico se destina al NAMCZ, esto traerá consigo un alivio a la saturación de AMB. De esta manera, se escogen a los tres modelos de aeronave que más presencia tuvieron en AMB acorde a los datos de la DGAC en 2018, siendo éstos el Airbus A320, Airbus A321 y Boeing B737-800. Además, se considerarán a los mismos modelos en sus versiones más recientes, vale decir Airbus A320 NEO, Airbus A321 NEO y Boeing B737-8 MAX, dado que estas aeronaves están solicitadas a los fabricantes por parte de las aerolíneas que realizan los vuelos regionales. Así se obtienen los 6 modelos de aviones mencionados para evaluar, y se considerará como aeronave crítica aquella que presente el largo de pista más exigente.

Finalmente, tanto el detalle de la metodología utilizada, las suposiciones realizadas en los cálculos y los resultados de los largos de pista están adjuntos en el apéndice J: Metodología y largos de pista definidos por zona. De estos resultados, el mayor largo pertenece a Rancagua con 3.875 metros de pista y el menor al aeródromo de Torquemada con 3.557 metros. Estos largos coinciden con las dimensiones de pista que posee AMB, e incluso son similares a la pista más extensa de Buenos Aires, las pistas de Madrid-Barajas y las del aeropuerto de Malpensa en Milán. La aeronave crítica para el diseño corresponde al Boeing B737-800 en tres de los casos, mientras que el Boeing B737-8 MAX lo fue para las otras dos zonas.

3.3 Proyección del tráfico de pasajeros en AMB

Una vez definidas las variables y el largo de la pista para cada sector, se procede a realizar modelos de proyecciones por ajuste de acuerdo con los datos obtenidos de la JAC desde el 2005 hasta el 2019. Se comienza recopilando los pasajeros totales de dicho período de años y se aplican 11 modelos de proyección:

1) Media móvil de 3 años.
2) Media móvil de 5 años.
3) Alisamiento exponencial con $\alpha = 0{,}3$.
4) Alisamiento exponencial con $\alpha = 0{,}8$.
5) Ajuste lineal.
6) Ajuste polinómico de grado 2.
7) Ajuste polinómico de grado 3.
8) Ajuste polinómico de grado 4.
9) Ajuste polinómico de grado 5.
10) Ajuste polinómico de grado 6.
11) Ajuste exponencial.

Una vez realizados los ajustes y aplicados los modelos de proyección, se procede a calcular el coeficiente de correlación (R^2) y la desviación típica de los datos proyectados con respecto a las cifras reales. Según este par de índices se define el modelo escogido. Se tiene como prioridad el coeficiente de correlación, pues determina la exactitud del modelo aplicado con respecto a los datos reales, y a modo de complemento la desviación típica, dado que expone la desviación de los datos.

Aplicado el modelo, se procede a juntar tanto las deviaciones típicas de cada proyección con su respectivo coeficiente de correlación. Sin embargo, pese a que las proyecciones de ciertos ajustes polinómicos llegaron a ser las más cercanas a la realidad, se debieron descartar los ajustes polinómicos de grado 4, 5 y 6 pues sus proyecciones a largo plazo indicaban una baja de pasajeros. Esto se debe a que la naturaleza de las proyecciones polinómicas de tal magnitud de grados tiende

a poseer diversos mínimos y máximos locales. Lo anterior provoca que ocurran proyecciones de pasajeros a la baja si se sigue estos modelos hacia el horizonte de evaluación que posee el presente trabajo. Considerando lo anterior, se presenta la Tabla 3-1 que contiene las proyecciones restantes con sus respetivos índices a modo de comparación.

Mercado	Modelo	Desviación Típica	R^2
Nacional	Media móvil 3 años	1.683.501	97,61%
Nacional	Alpha 0,8	1.049.739	98,80%
Nacional	Ajuste Lineal	893.919	98,33%
Nacional	Ajuste Exponencial	694.231	97,54%
Nacional	**Ajuste Polinómico grado 2**	**383.530**	**99,15%**
Nacional	Ajuste Polinómico grado 3	401.902	99,15%
Internacional	Media móvil 3 años	1.256.918	93,78%
Internacional	Alpha 0,8	793.813	96,11%
Internacional	Ajuste Lineal	1.023.084	93,82%
Internacional	Ajuste Exponencial	523.128	97,38%
Internacional	Ajuste Polinómico grado 2	360.670	97,85%
Internacional	**Ajuste Polinómico grado 3**	**420.662**	**98,04%**

Tabla 3-1: Comparación de la exactitud de las proyecciones.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la JAC.

A partir de esta tabla, se concluye que en el mercado internacional se prefiere al ajuste polinómico de grado 3, dado su mayor coeficiente de correlación. Por otra parte, el mercado nacional está mejor representado por el ajuste polinómico de grado 2. En este mercado, los ajustes de grado 2 y 3 comparten similares coeficientes de correlación, por lo que toma relevancia la desviación típica de los modelos en este caso. Entonces, dado que la desviación típica del ajuste polinómico de grado 2 es menor, este modelo es el que queda escogido para la proyección.

De esta manera, una proyección desde 2020 a 2035 con los datos del tráfico de pasajero en AMB, sin considerar el comportamiento del tráfico a mediano plazo y tomando en cuenta el pronóstico de la IATA, da como resultado el Gráfico 3-2.

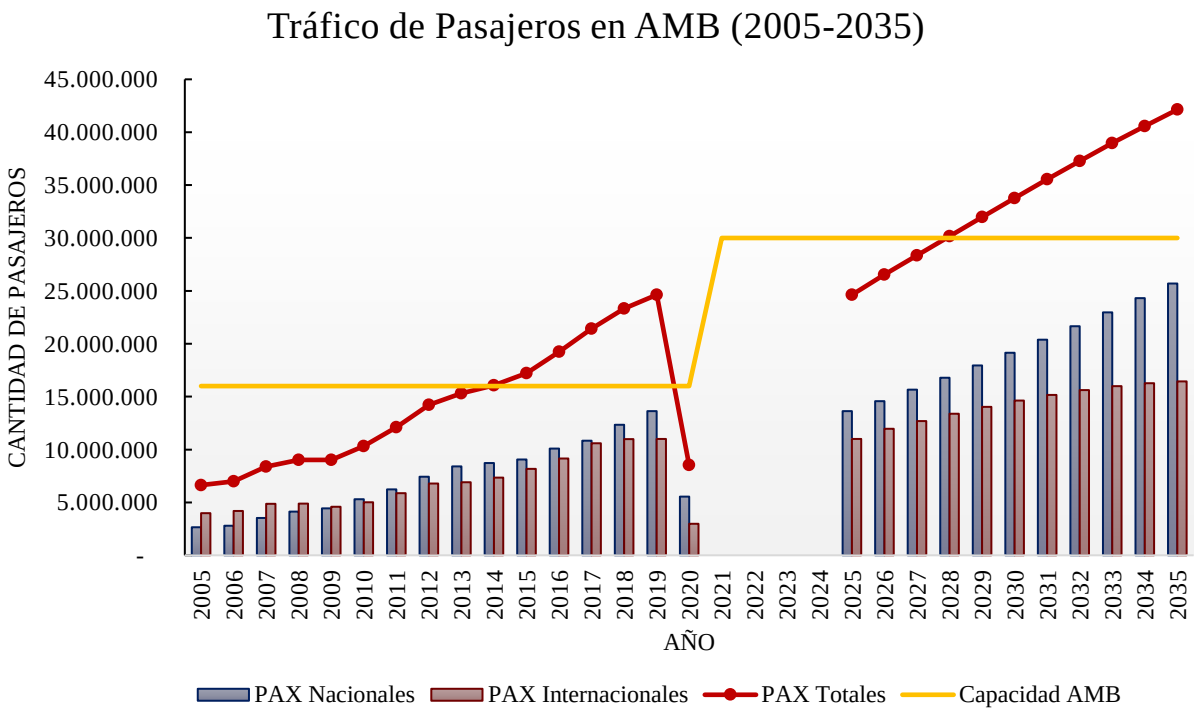

Gráfico 3-2: Tráfico y proyección de pasajeros entre 2005 y 2035 según su comportamiento pre-pamdemia.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la JAC.

Este gráfico muestra un escenario prontamente favorable para la construcción de un segundo aeropuerto, o al menos hasta antes de la pandemia por COVID-19. La capacidad de 30 millones de pasajeros de la terminal de AMB se encontraría saturada el año 2028, fecha en que la cantidad de pasajeros totales alcanza los 30.170.225. Por lo tanto, hasta antes de la pandemia previsiblemente se necesitaba de mayor capacidad que la planificada para cubrir la creciente demanda de pasajeros que venía mostrando AMB.

En cuanto al ritmo de crecimiento, este se puede apreciar de mejor manera en el Gráfico 3-3.

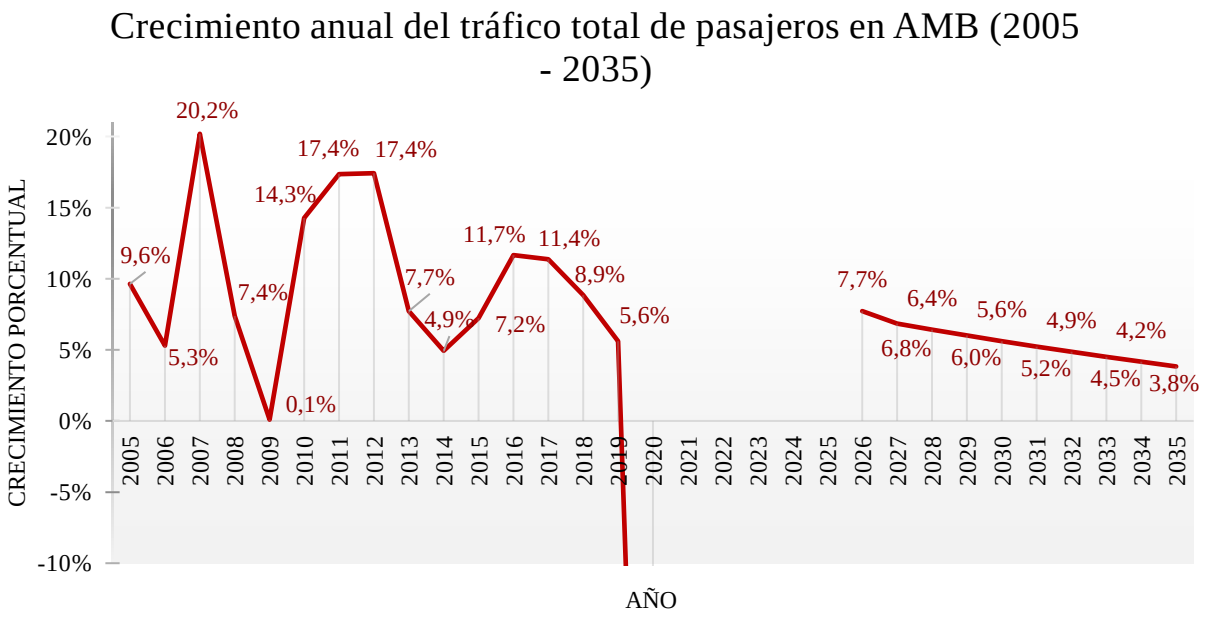

Gráfico 3-3: Crecimiento anual de la canitdad total de pasajeros en AMB desde 2005 hasta 2035[11].

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la JAC.

Se observa que el retorno a los niveles de tráfico del 2019 sucede junto con un crecimiento equivalente a 7,7% anual, el cual disminuye paulatinamente durante los siguientes años hasta llegar a un crecimiento más discreto de un 3,8% anual hacia 2035 con respecto a los pasajeros de 2034. El motivo de este decaimiento puede explicarse por las distintas tendencias de crecimiento que presentan los mercados nacionales e internacionales. Como se expone en el Gráfico 3-4, la demanda nacional se mantiene con un crecimiento constante entre un 6% y 7% anual desde el 2026. Por otra parte, la demanda internacional es la que disminuye de un 9% a un 5% anual en dos años, y continúa en la misma tendencia hasta alcanzar un crecimiento de un 1% anual en 2035 con respecto al año anterior.

[11] Entre los datos expuestos del Gráfico 3-3 y el Gráfico 3-4 se encuentra el porcentaje de decrecimiento durante 2020, sin embargo, éste escapa de los límites expuestos. En cuanto a la cantidad de pasajeros nacionales, la baja fue de un -56,3% anual con respecto al 2019. La misma variación en cuanto a los pasajeros internacionales consiste en -72,9%. Mientras que la variación en los pasajeros combinados corresponde a un -65,4% anual.

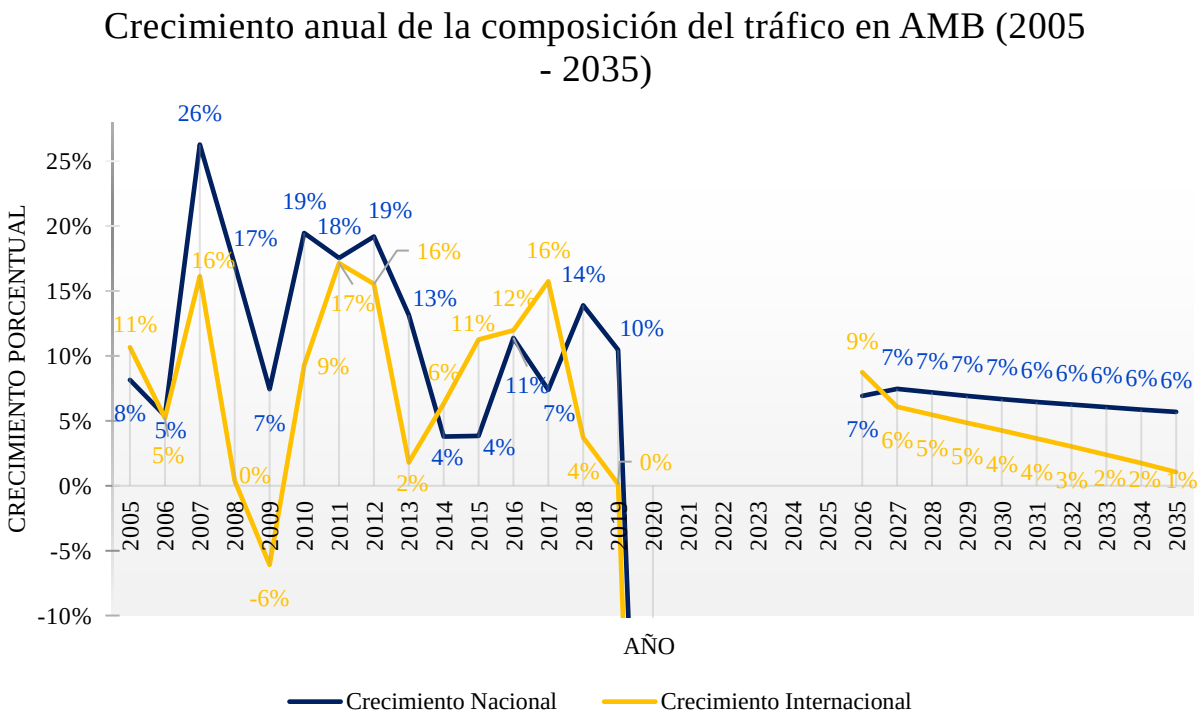

Gráfico 3-4: Crecimiento de la cantidad de pasajeros nacionales e internacionales en AMB desde 2005 hasta 2035.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la JAC.

Una vez finalizada la proyección de pasajeros, se comienza a trabajar en las condiciones para evaluar los emplazamientos, las cuales siguen en las próximas secciones.

3.4 Variable 1: Dirección del viento predominante

Conforme a lo dispuesto en la parte 1 del documento 9157 de la OACI, llamado *Aerodrome Design Manual* (OACI, 2006), se recomienda obtener mediciones en la dirección de viento de los últimos 5 años para evaluar la factibilidad de emplazar un aeródromo o aeropuerto en la zona a estudiar. De esta forma, el aeródromo se puede localizar en aquel lugar que presente un factor de usabilidad u ocupación de 95%. En otras palabras; dada una orientación de la pista, sólo un viento cruzado[12] de cierta intensidad hará que el aeródromo o aeropuerto quede inoperativo. Mientras que la intensidad a la cual deje de operar la terminal dependerá de las aeronaves que deseen realizar alguna operación de aterrizaje o despegue. En la medida que en los casos recopilados no se presenten más de un 5% de casos desfavorables (relacionados a la dirección e intensidades específicas de viento que hagan inhabilitar el aeródromo), entonces es factible el emplazamiento de la pista y en la dirección estudiada. El escenario ideal es orientar el sentido de la pista de manera que las aeronaves aprovechen el viento de frente durante la mayor parte del tiempo. Mediante la página web de la Dirección Meteorológica de Chile se obtuvieron datos de 5 estaciones meteorológicas ubicadas dentro de cada una de las zonas a estudiar. Se supondrá que el comportamiento del viento medido en las estaciones es equivalente para toda la zona correspondiente, para efectos de la orientación de la pista en el análisis de factibilidad de la variable 2 (cumplimiento de las superficies limitadoras de obstáculos).

Estas mediciones de la procedencia del viento fueron tomadas a 10 metros de altura en 4 de los casos en donde se contaba con estaciones con Plataforma Automática. En el caso de Casablanca, la comuna cuenta con dos estaciones meteorológicas convencionales, por lo que las mediciones fueron tomadas a 2 metros de altura. Además, no todas las estaciones meteorológicas cuentan con un registro de más de 5 años, por lo que se trabajó con la mayor cantidad de datos disponibles. Otro punto importante que señalar es el criterio para el cual calcular el factor de ocupación de la pista. Se supondrá que la utilización del nuevo aeropuerto será mayoritariamente por aviones A320 (dado el alivio que el NAMZC quiere dar a AMB), puesto que corresponden a aquel modelo de avión que

[12] Se refiere a viento cuya dirección es perpendicular al sentido de la pista, por ende, al de los aterrizajes y despegues. Se define como el viento más desfavorable para la operación aérea.

más utiliza AMB según el anexo D: Aerolíneas, aeronaves y destinos de AMB. Ahora bien, la ocupación del aeródromo es más restrictiva mientras más pequeño sea el campo de referencia de la aeronave[13]. De acuerdo con Airbus, el fabricante del A320, la familia de esta aeronave puede clasificarse con un número de clave 3 o 4 de referencia dependiendo de su peso de despegue. Un campo de referencia 3 implica que vientos de 13 nudos dejan inoperativo el aeropuerto según la OACI. Este valor es más restrictivo que la operación para aeronaves con número de clave 4. Por esta razón se evaluarán los datos recopilados para que la pista opere con aeronaves de clave 3.

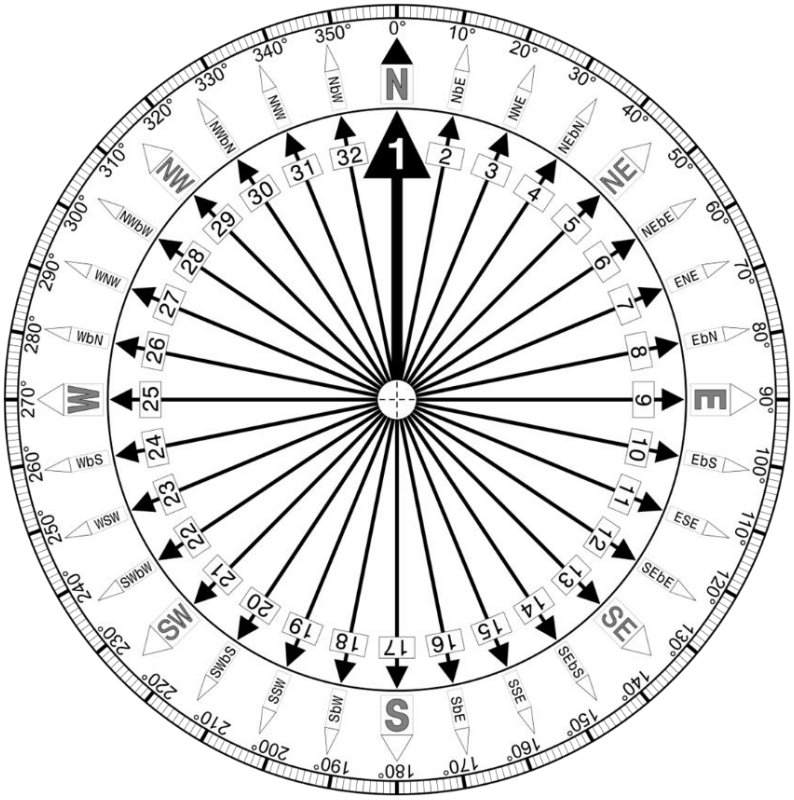

Ilustración 3-2: Rosa de los vientos con los respectivos grados sexagesimales e interpretaciones.

Fuente: Wikimedia Commons.

La Ilustración 3-2 muestra una Rosa de los Vientos, la cual marca las denominaciones que se utilizarán en esta parte del capítulo. A continuación, se presentan las medidas encontradas y graficadas para cada sector de la DAP.

[13] Definido como el largo de pista necesario para la operación de cierta aeronave. Se clasifican por números del 1 al 4 según la OACI.

3.4.1 Zona costera de Concón y Quintero

Correspondiente a la zona costera de la Región de Valparaíso en Chile, esta zona compuesta de las dos comunas de Concón y Quintero se encuentran 18 kilómetros y 33 kilómetros aproximadamente de Valparaíso, capital de la región y parte de la segunda conurbación más poblada de Chile según el Censo 2017. Esta región no posee un aeropuerto debido a la relativa cercanía que posee con Santiago, pero dentro de la zona que la DAP se ubica el ya mencionado Aeródromo de Viña del Mar o Torquemada. Esta terminal con proyectos de expansión sería la alternativa de emplazamiento del NAMZC en el área. Lo anterior implicaría un cambio en el proyecto de ampliación actual, que considera vuelos nacionales e internacionales, y hacia el Gran Valparaíso y comunas aledañas. Con relación al factor meteorológico, la estación meteorológica ubicada en Torquemada muestra los siguientes datos.

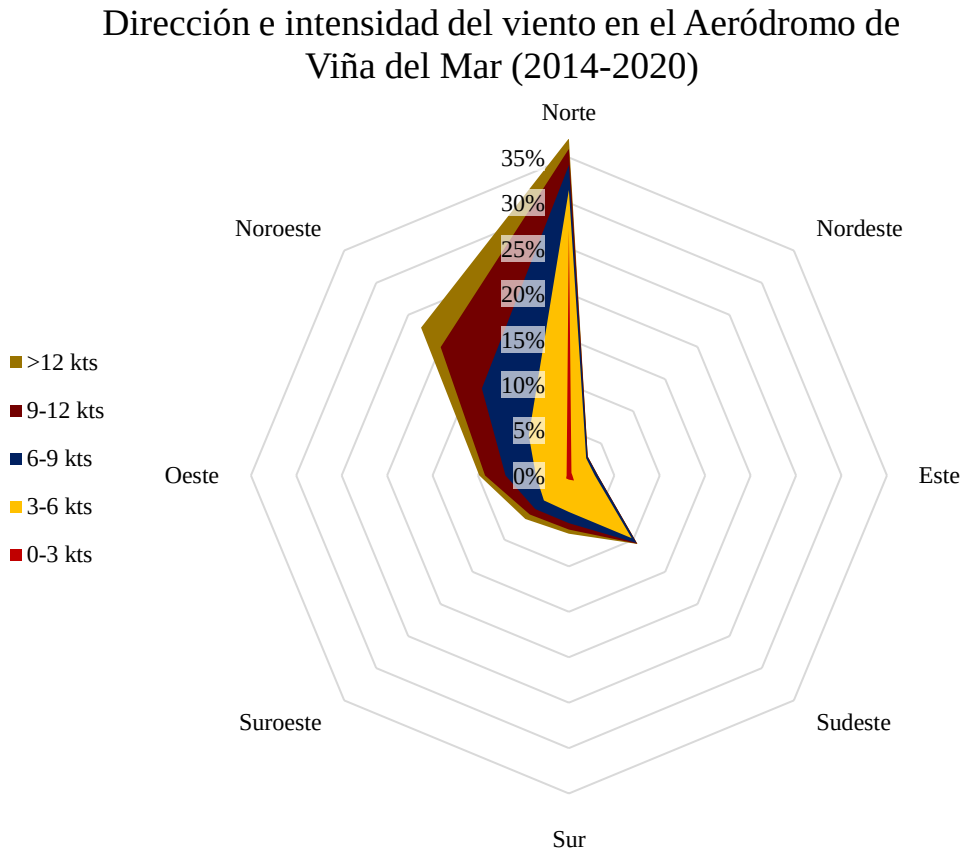

Gráfico 3-5: Predominancia de la dirección e intensidad del viento en la estación de Torquemada desde 2014 hasta 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Dirección Meteorológica de Chile.

El Gráfico 3-5 se presenta como una gráfica similar a la rosa de los vientos para exponer de mejor manera la predominancia en la dirección del viento. La dirección Norte comprende el 37% de la predominancia desde donde procede el viento, mientras que un 36% del tiempo predomina viento entre 3 y 6 nudos de intensidad (color amarillo). Cabe destacar que la orientación de las pistas en Torquemada es de 50º y de 230º en base a la denominación de sus pistas (Pista 05 y Pista 23 respectivamente según la DGAC). Lo recomendable conforme a los datos del gráfico anterior es que este aeródromo tenga pistas de orientación 36 y 18. Acorde a los datos recopilados, Torquemada cuenta con un factor de ocupación de la pista de un 97,81%, puesto que existieron 1.281 casos de viento desfavorable en una muestra de 58.533 observaciones entre 2014 y 2020.

3.4.2 Cuenca sector Casablanca

Este sector en estudio por la DAP contempla el eje de la ruta 68, autopista que conecta Santiago con Valparaíso, a la altura de la comuna de Casablanca. Según la estación meteorológica Casablanca – Casas del Bosque, los vientos mayoritariamente provinieron desde el norte. Esta estación solo posee datos de 2020 y parciales de 2021, por lo que se recogieron todos los datos disponibles de los meses completados (hasta abril de 2021), tal como se muestra en el Gráfico 3-6.

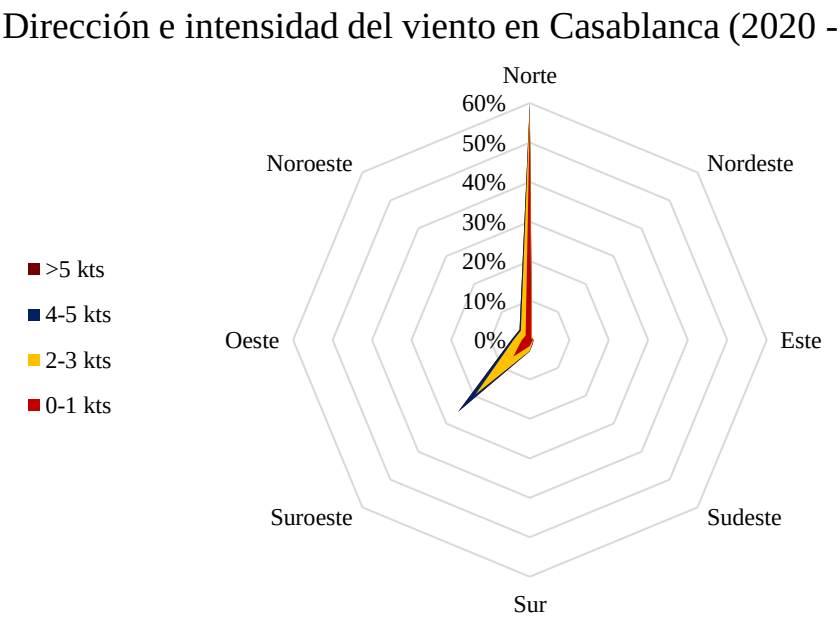

Gráfico 3-6: Predominancia de la dirección e intensidad del viento en Casablanca durante 2020 y hasta abril de 2021.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Dirección Meteorológica de Chile.

Se obtiene una predominancia de un 60% de viento desde la dirección Norte. Una pista en estas condiciones es viable en tanto los aviones operen hacia aquella dirección. Es decir, dado que el viento proviene desde el norte y va hacia el sur, las aeronaves tendrían viento de frente a su favor en cuanto despeguen y aterricen en la dirección de procedencia. En cuanto a la intensidad, los vientos entre 0 y 2 nudos predominan en un 71% de las observaciones. Existe un 25,8% de predominancia de los vientos desde el suroeste en la muestra recopilada, los cuales superan los 3, e incluso los 5 nudos de intensidad. Pese a lo anterior, dentro de la muestra de datos no se encontró ningún caso desfavorable en relación con la intensidad del viento. Si bien, esta ubicación es la que menor cantidad de datos posee, no hay otra estación meteorológica de donde sea posible obtener datos dentro de la zona de estudio. De acuerdo con la información expuesta, se sugiere que la dirección de la pista sea de orientación 36 principalmente, y 18 como pista inversa.

3.4.3 Provincia de Maipo

Este sector se compone del eje de la ruta 5, autopista que se dirige hacia el sur desde Santiago. La zona se ubica en la provincia de Maipo, en la ruta 5 a la altura de las comunas de Linderos, Buin y Paine. Se obtienen los datos de la estación meteorológica El Milagro, ubicada en Buin, la cual sólo cuenta con datos desde 2018, por lo que también se agregan las observaciones tomadas de lo que se lleva de 2021. Con todo lo anterior, se elabora el Gráfico 3-7.

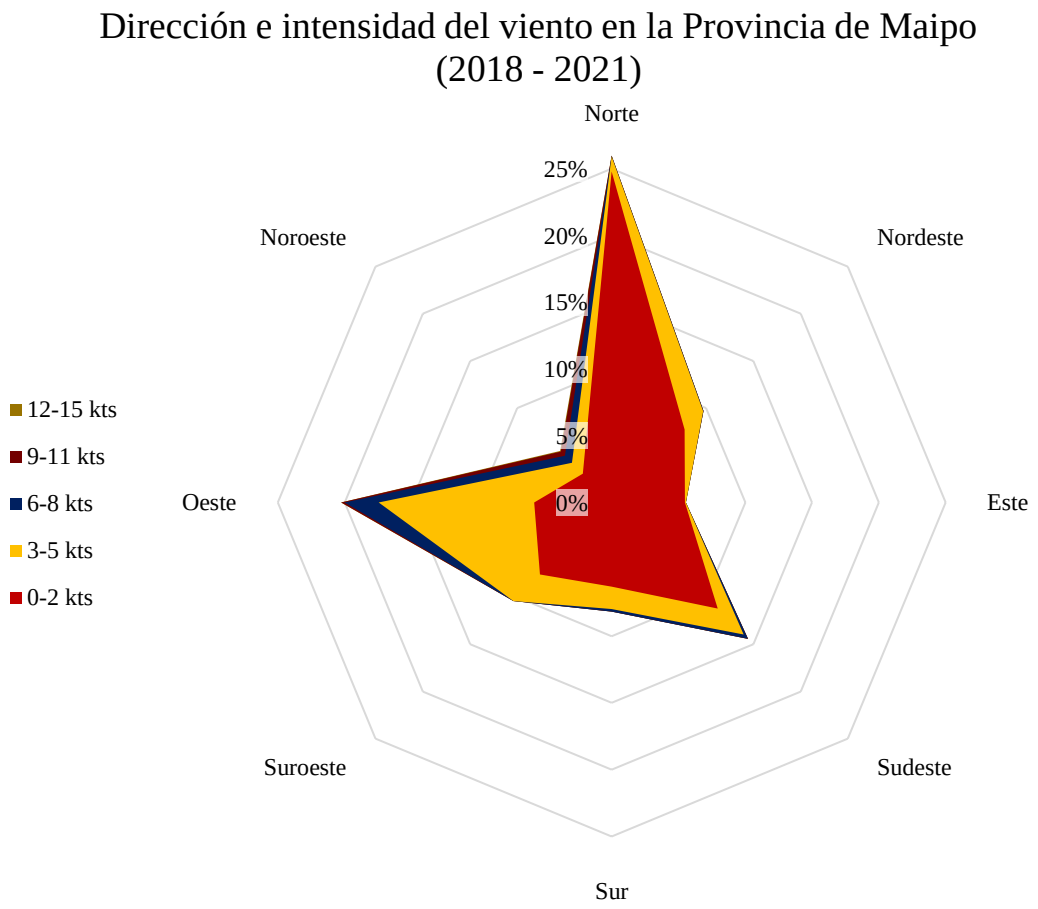

Gráfico 3-7: Procedencia de la dirección e intensidad del viento en Buin desde 2018 hasta abril de 2021.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Dirección Meteorológica de Chile.

Del gráfico se observa una predominancia del viento desde el norte, pero también desde el oeste y, en menor medida, desde el sudeste. El porcentaje de predominancia para cada dirección corresponde a 26%, 20% y 14% respectivamente. En cuanto a las observaciones de viento por sobre los 13 nudos, existieron 3 tomas en la muestra de 25.614 datos. La intensidad predominante son los vientos entre los 0 y 2 nudos en un 72% del tiempo observado. Lo anterior resulta en un porcentaje de ocupación de pista de un 99,99%. En cuanto a la orientación tentativa de la pista, esta zona presenta problemas si se plantea una orientación norte-sur puesto que existe un porcentaje del tiempo significativo con viento cruzado. Se recomienda orientar la pista en dirección 36 y 18, es decir, norte-sur, que es la dirección predominante durante la mayor cantidad de tiempo. Debido a que la predominancia no es demasiado clara en comparación al resto, cabe un margen de tolerancia si es necesario adecuar la orientación por otros factores. Por la orientación recomendada,

existe la posibilidad de experimentar viento cruzado en la zona, pero la intensidad de este, como se muestra en el Gráfico 3-7, no debería superar los 6 u 8 nudos. Por ende, no inhabilitaría las operaciones frente a un eventual emplazamiento del aeropuerto en la zona.

3.4.4 Provincia de Talagante

En la provincia de Talagante, la zona de interés de la DAP es el eje de la ruta 78, llamada la "Autopista del Sol" que conecta Santiago con comunas hacia el sur poniente. La altura de esta zona por la autopista es en los sectores de Isla de Maipo, Talagante y Peñaflor. De la estación meteorológica de Talagante se obtienen datos a partir de septiembre de 2016. Dado que no se alcanzan a completar los 5 años completos hasta 2020, se agregan los 4 primeros meses de 2021. De esta forma se obtuvieron los siguientes datos presentados en el Gráfico 3-8.

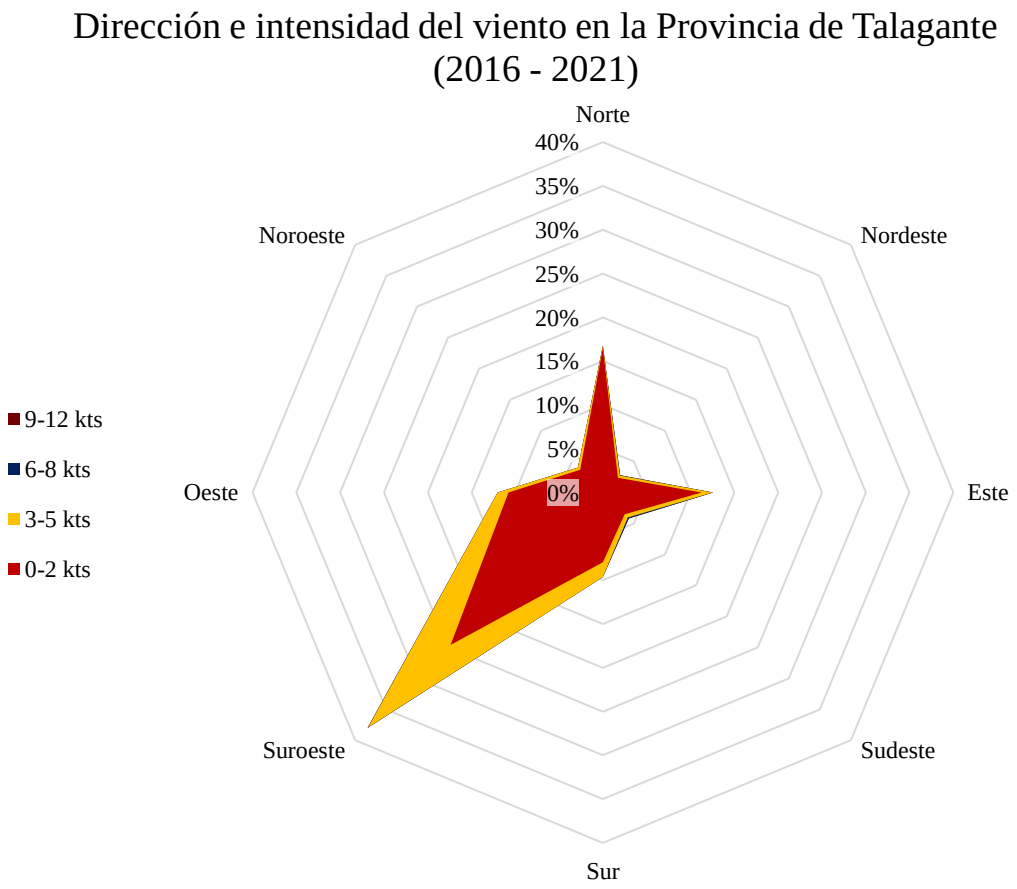

Gráfico 3-8: Predominancia de la dirección e intensidad del viento en Talagante entre septiembre de 2016 y abril de 2021.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Dirección Meteorológica de Chile.

La predominancia es mayor comparada a la del Gráfico 3-7. Siendo el viento proveniente desde el suroeste el predominante en un 38% de la muestra. Nuevamente los vientos entre 0 y 2 nudos son los que ocurren la mayoría del tiempo, abarcando un 80,7% de los datos observados. De los 38.126 datos registrados, no hubo ningún registro de algún viento por sobre los 13 nudos. Por lo que el factor de ocupación de la pista es un 100%. Por último, con las observaciones examinadas, se sugiere que la dirección de la pista tenga orientaciones 22 y 04 para aprovechar el viento del suroeste. Mientras que la Pista 04 puede ser utilizada con vientos provenientes desde el norte y este.

3.4.5 Cuenca valle de Rancagua

La última zona corresponde a otro eje de la ruta 5, más al sur que la provincia de Maipo. El último sector comprende a la ciudad de Rancagua (ubicada a 80 kilómetros al sur de Santiago) y las comunas de Graneros, Requínoa, Rengo y Pelequén. Todas estas comunas ubicadas al sur de Rancagua, a excepción de Graneros ubicada al norte, comprenden el sector del eje de la ruta 5 que abarca esta zona propuesta por la DAP, siendo la más extensa de las ubicaciones a estudiar. La estación meteorológica de Rancagua otorga los siguientes datos graficados comprendidos en el horizonte de 5 años entre 2016 y 2020.

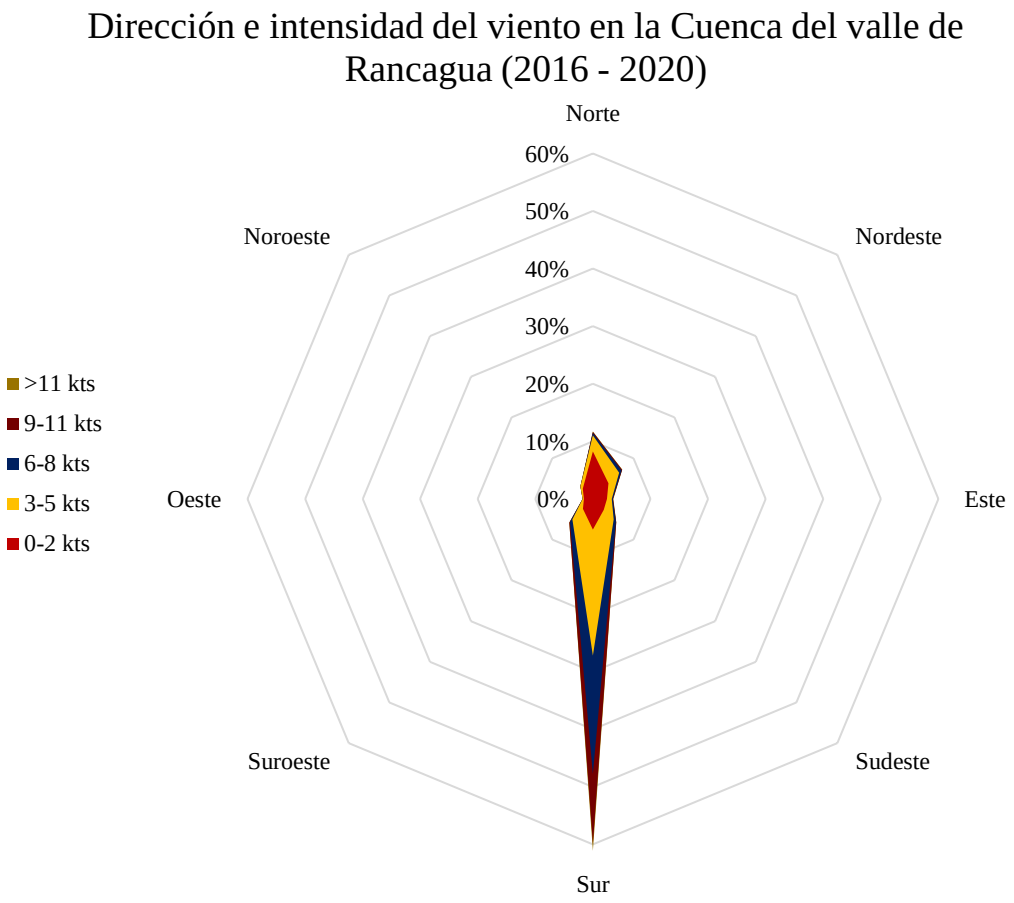

Gráfico 3-9: Predominancia de la dirección e intensidad del viento en Rancagua desde 2016 hasta 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Dirección Meteorológica de Chile.

La dirección predominante esta vez es desde el sur en un 61% del tiempo. En términos de intensidad, predominan los vientos entre 3 y 5 nudos en un 34% de la muestra. Se hallaron 88 observaciones de casos desfavorables de vientos por sobre los 13 nudos, del total de 40.238 en los 5 años estudiados. Lo anterior resulta en un porcentaje de ocupación de la pista de un 99,78% en total. Finalmente, se recomienda orientar la pista de direcciones 18 y 36, siendo la primera la pista principal dada la predominancia del viento desde el sur.

3.5 Variable 2: Orografía

Según el documento 9157 de la OACI *Aerodrome Design Manual* (OACI, 2006), existen normas que regulan el nivel de pendiente que deben presentar las pistas de aterrizajes. Se entiende que, idealmente, la pista no debe tener una pendiente longitudinal. En este aspecto del suelo, el manual recomienda que todo aeródromo o aeropuerto no debería tener una pendiente longitudinal superior a un 1% del largo su pista de aterrizaje. En términos de cálculo, primero se debe calcular la diferencia de altitudes entre el punto de altitud más alto y el punto de altitud más bajo a lo largo de la pista. La pendiente longitudinal es el cociente entre la diferencia calculada y el largo total de la pista. Esta división no debería superar el 1% para aeronaves de código OACI 3 o 4, el cual concuerda con los supuestos tomados para el presente caso.

En los siguientes apartados se encuentran los hallazgos relativos a esta variable en cada una de las zonas. Las pendientes fueron calculadas gracias al software Global Mapper mediante curvas de nivel trazadas cada 10 pies (equivalente a 3 metros aproximadamente). La curva de nivel más alta fue diferenciada con la más baja a lo largo de la pista[14] y el resultado fue divido con el largo de la pista corregido. El perfil de altitudes del suelo para cada zona sigue a continuación, con la pista preliminar marcada en color azul.

3.5.1 Zona costera de Concón y Quintero

La actual pista del aeropuerto de Torquemada posee 1.750 metros de longitud. Según las curvas de nivel calculadas por el software, el desnivel existente con ese largo es de 60 pies. De acuerdo con el largo de pista necesario para recibir vuelos regionales, la pista debería tener un largo de 3.557 metros. Considerando una ampliación a la pista existente (por lo tanto, manteniendo la orientación), el menor desnivel en términos de pendiente se obtiene ampliando principalmente hacia la dirección 23 o sur poniente. La pista ampliada junto con las curvas de nivel obtenidas se muestra en la Ilustración 3-3.

[14] Considerando un ancho de 45 metros recomendado para aeronaves 4C según el documento 9157 de la OACI.

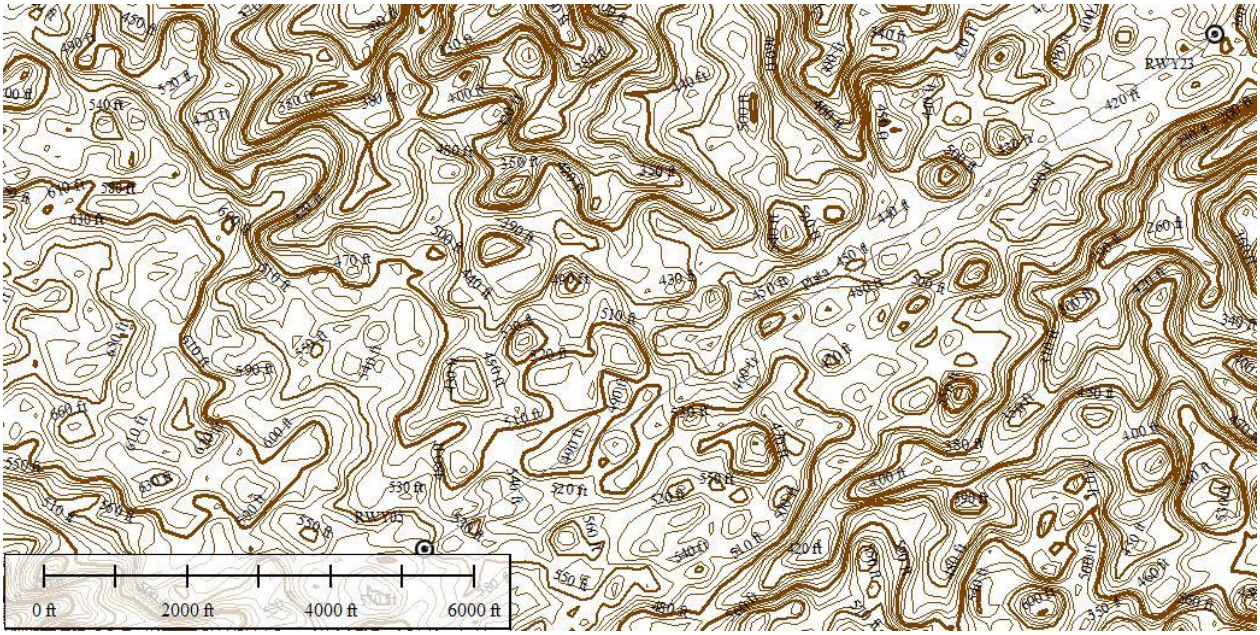

Ilustración 3-3: Curvas de nivel en la pista del aeródromo de Viña del Mar.

Fuente: Elaboración propia mediante Global Mapper.

La pista ampliada está proyectada sobre partes del suelo que alcanzan los 570 pies de máxima altitud. Mientras que el punto más bajo por donde pasa la pista se ubica a 400 pies. El desnivel que existe a lo largo de esta es de 170 pies (52 metro aprox.), representando una pendiente de 1,45%. Este porcentaje no cumple con el estándar recomendado por la OACI, por lo que la opción es ampliar más de un lado y menos del otro.

3.5.1.1 Exclusión de la zona costera de Concón y Quintero

En el extremo sur poniente que fue donde más se amplió la pista, se tiene en el umbral 05 una pendiente ascendente que, de seguir ampliándose, llegaría hasta los 600 pies de altitud (183 metros sobre el nivel del mar). Por el otro lado, el umbral 23 queda cerca de un declive en la elevación, descendiendo abruptamente desde los 400 hasta los 150 pies (desde 122 hasta 46 metros sobre el nivel del mar) en 377 metros longitudinales. La Ilustración 3-4 muestra el extremo sur poniente de la pista (umbral 05), y la Ilustración 3-5 muestra las curvas de nivel en el extremo nororiente (umbral 23).

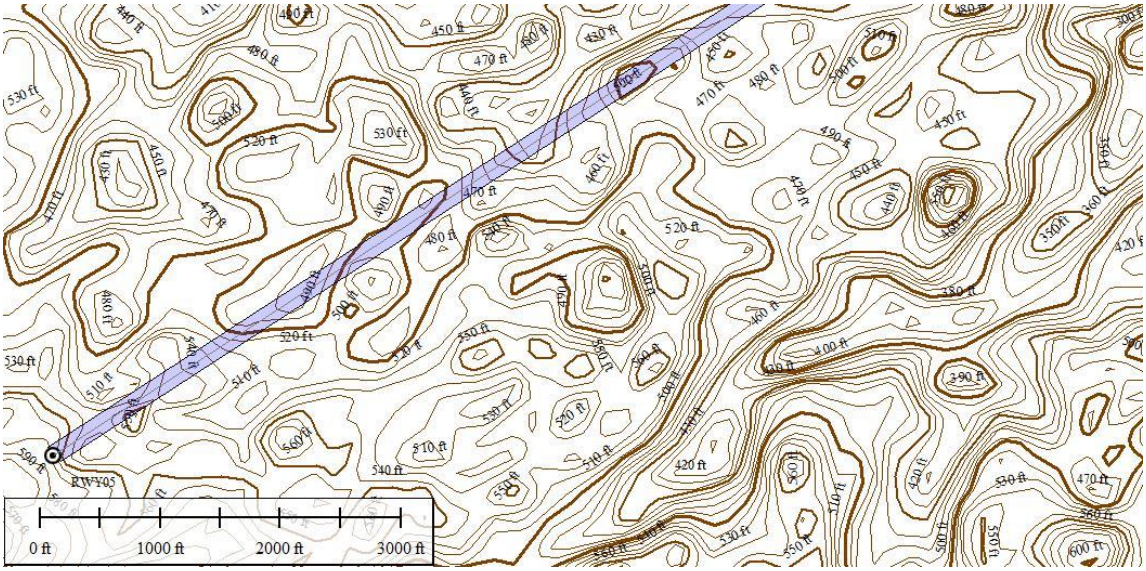

Ilustración 3-4: Umbral 05 de la pista ampliada del aeródromo de Viña del Mar.

Fuente: Elaboración propia mediante Global Mapper.

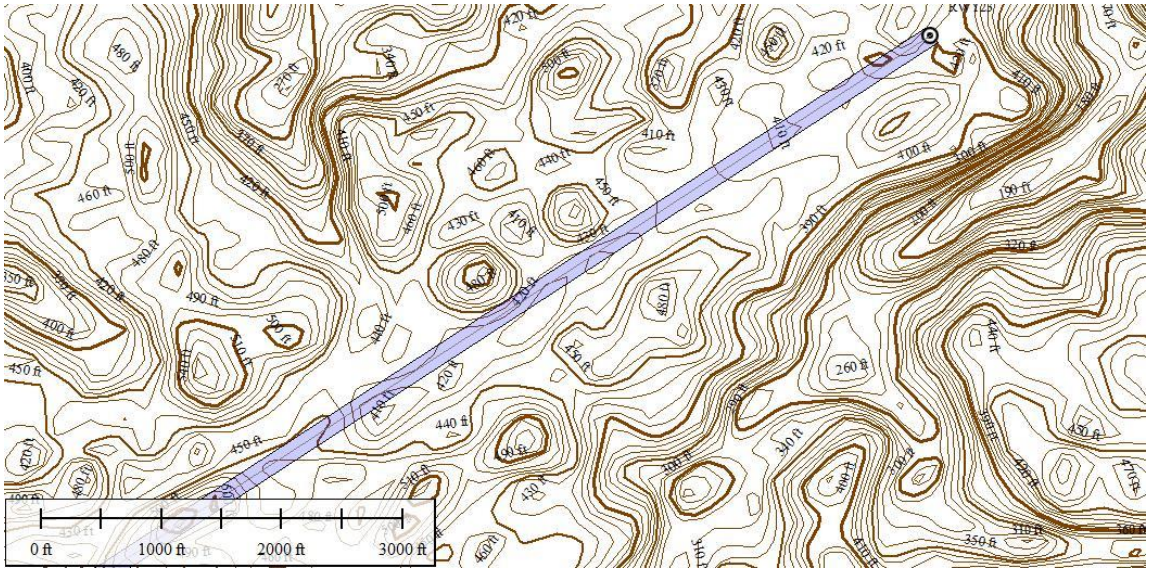

Ilustración 3-5: Umbral 23 de la pista ampliada del aeródromo de Viña del Mar.

Fuente: Elaboración propia mediante Global Mapper.

Por lo anterior, modificar las ampliaciones de la pista para cualquiera de los lados no es factible. Considerando que la orientación que tiene la pista en términos del terreno (es decir, sin considerar el viento favorable) es la óptima, el aeródromo de Viña del Mar no cumple con los requisitos de pendiente recomendados por la OACI. Por lo tanto, se decide descartar a la zona de Concón y Quintero del resto del análisis del estudio al no poder albergar una pista de aterrizaje por la

orografía de la zona, considerando el largo necesario que exigen las operaciones tentativas del NAMZC.

3.5.2 Cuenca sector Casablanca

La siguiente zona, la comuna de Casablanca, se encuentra inmersa en la Cordillera de la Costa de Chile. Esta comuna limita con la Región Metropolitana y la ciudad se encuentra ubicada en un valle formado por 4 cumbres distintas. La ubicación tentativa de la pista en esta zona está dentro de este valle. La orografía de la zona obliga a cambiar la orientación recomendada norte-sur en la sección 3.4.2 anteriormente. Debido a los cerros que rodean al valle, se propone una orientación hacia los 40º principalmente. Por lo tanto, la pista inversa queda orientada hacia los 220º. El largo de la pista para esta zona consiste en 3.575,3 metros.

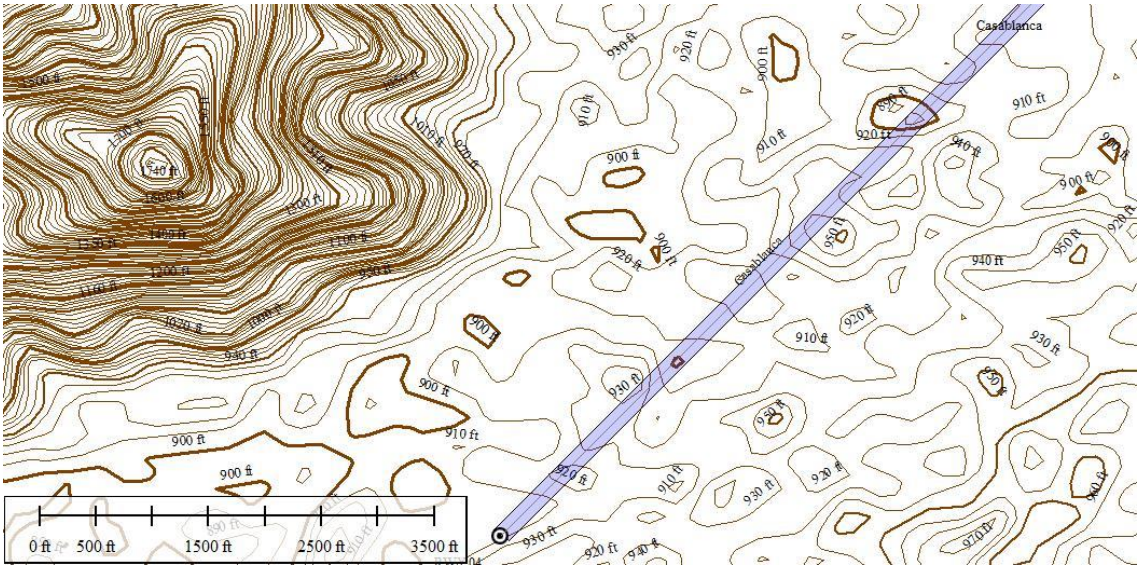

Ilustración 3-6: Curvas de nivel en el umbral 04 de la pista tentativa en Casablanca

Fuente: Elaboración propia mediante Global Mapper

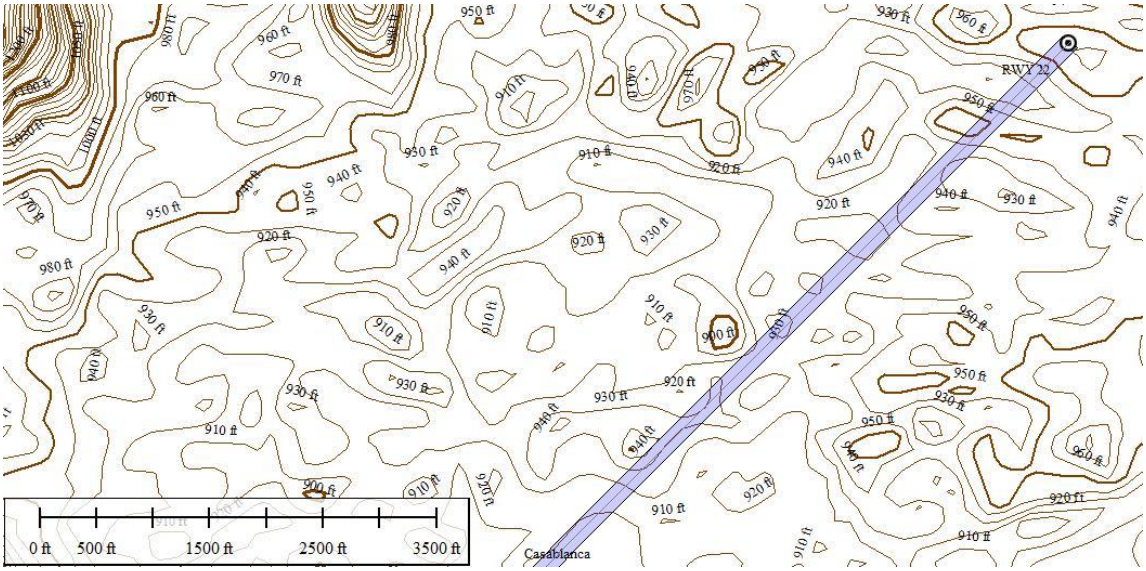

Ilustración 3-7: Curvas de nivel en el umbral 22 de la pista tentativa en Casablanca.

Fuente: Elaboración propia mediante Global Mapper

La máxima altitud registrada a lo largo de la pista tentativa fue de 90 pies. La mínima altitud corresponde a 890 pies. Lo anterior resulta en un desnivel de 70 pies (22 metros aproximadamente). Con el largo de la pista definido, el máximo desnivel admitido es de 110 pies, por lo que esta zona cumple con la recomendación de la OACI.

3.5.3 Provincia de Maipo

Esta zona se encuentra al norte de la llamada Angostura de Paine. Lugar donde la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Los Andes se aproximan. Uno de los cerros pertenecientes a dicha angostura, el cerro Challay, se ubica en la dirección en la que está orientada la pista tentativa. La pista posee 3.749 metros de largo, y la orografía correspondiente a lo largo de esta se observa en la Ilustración 3-8 e Ilustración 3-9.

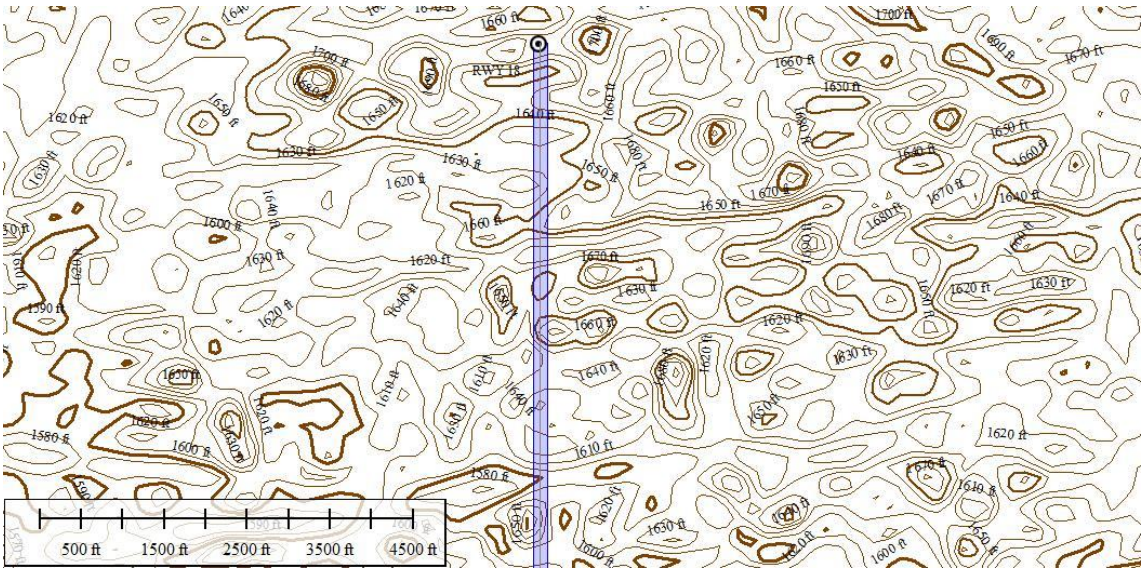

Ilustración 3-8: Curvas de nivel en el umbral 18 de la pista tentativa en la Provincia de Maipo.

Fuente: Elaboración propia mediante Global Mapper

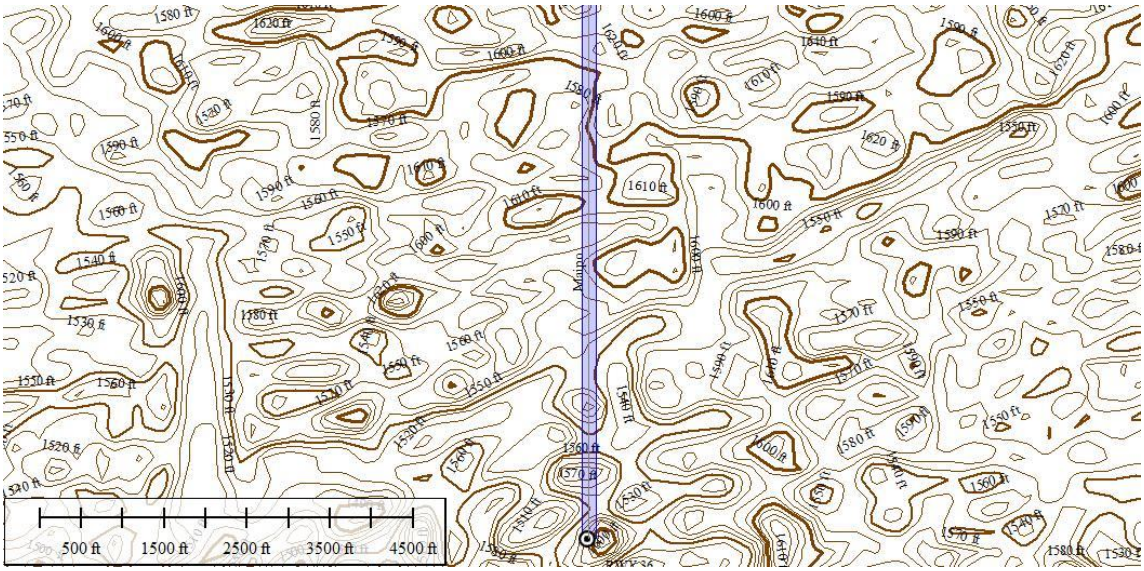

Ilustración 3-9: Curvas de nivel en el umbral 36 de la pista tentativa en la Provincia de Maipo.

Fuente: Elaboración propia mediante Global Mapper

La máxima altitud observada en esta ubicación tentativa fue de 1.670 pies. Por su parte, la mínima altitud fue de 1.550 pies. Lo anterior resulta en un desnivel encontrado de 120 pies (37 metros aprox.). Considerando la recomendación de la OACI y el largo de la pista, el máximo desnivel permitido es de 120 pies. Por lo tanto, esta ubicación cumple con los estándares recomendados por la OACI y hace factible el emplazamiento de una pista de aterrizaje. Esta variable fue determinante

en la elección del emplazamiento de la pista para esta provincia, puesto que permitió descartar otros dos emplazamientos tentativos que no cumplían con el desnivel admitido por la OACI.

3.5.4 Provincia de Talagante

La zona se encuentra rodeada por un cordón montañoso de la Cordillera de la Costa de Chile y los cerros De Chena y Longuén, los cuales encierran a las comunas de Peñaflor, Talagante e Isla de Maipo. Pese a lo anterior, existen terrenos de relativa planicie en los cuales se podría emplazar el NAMZC. Considerando los umbrales de pista expuestos en la Ilustración I-18 y el largo de pista correspondiente a 3.700 metros, se observan las curvas de nivel respectivas según el software Global Mapper.

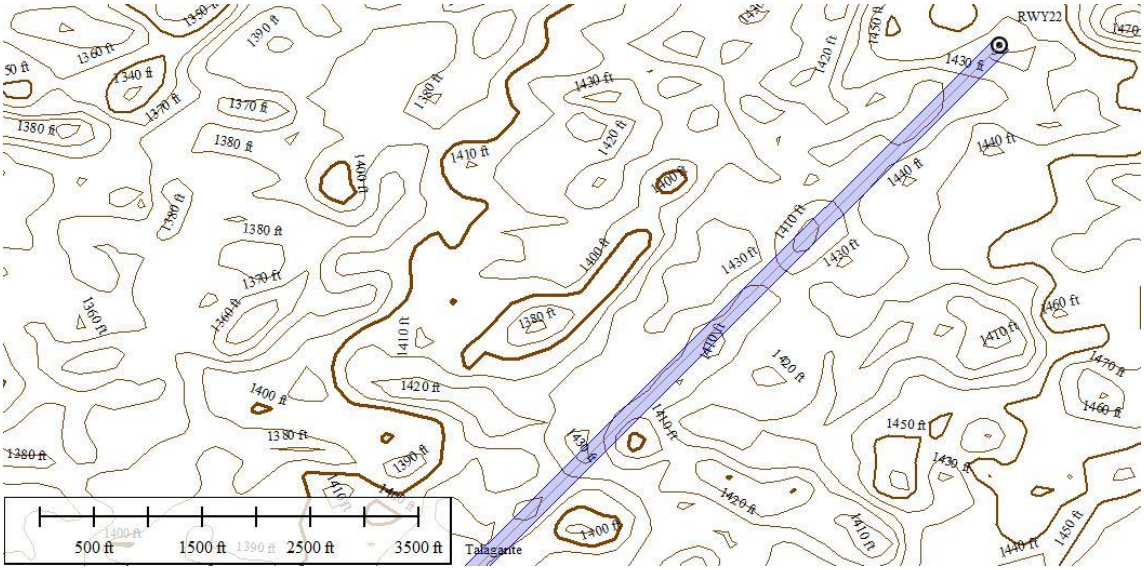

Ilustración 3-10: Curvas de nivel en el umbral 22 de la pista tentativa en la Provincia de Talagante.

Fuente: Elaboración propia mediante Global Mapper.

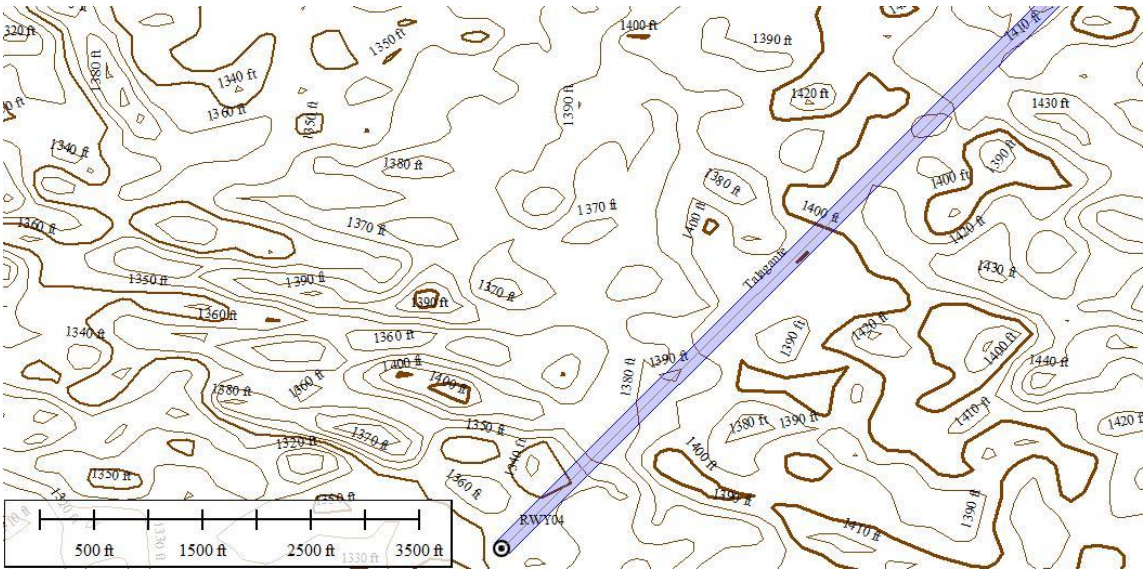

Ilustración 3-11: Curvas de nivel en el umbral 04 de la pista tentativa en la Provincia de Talagante.

Fuente: Elaboración propia mediante Global Mapper.

El punto de mayor altitud corresponde a 1.440 pies, mientras que la menor altitud registrada a lo largo de la pista tentativa es equivalente a 1.350 pies. Lo anterior da paso a un desnivel de 90 pies (unos 27 metros), el cual está acorde a la recomendación de la OACI y hace factible este emplazamiento para una pista de aterrizaje.

3.5.5 Cuenca valle de Rancagua

La última zona por evaluar pertenece a la cuenca del valle de Rancagua. Localizada en la depresión intermedia de Chile, este valle se encuentra formado por la Cordillera de la Costa por el poniente y la Cordillera de Los Andes por el oriente. La ubicación detallada en la Ilustración I-19 es de relativa planicie. Los cerros más próximos a ella son los de la Cordillera de Los Andes, ubicados tanto al este como al sur de la pista tentativa. Considerando el largo de pista correspondiente a 3.875 metros aproximadamente, con un ancho 45 metros, se muestran las curvas de nivel observadas gracias al software Global Mapper para su estudio.

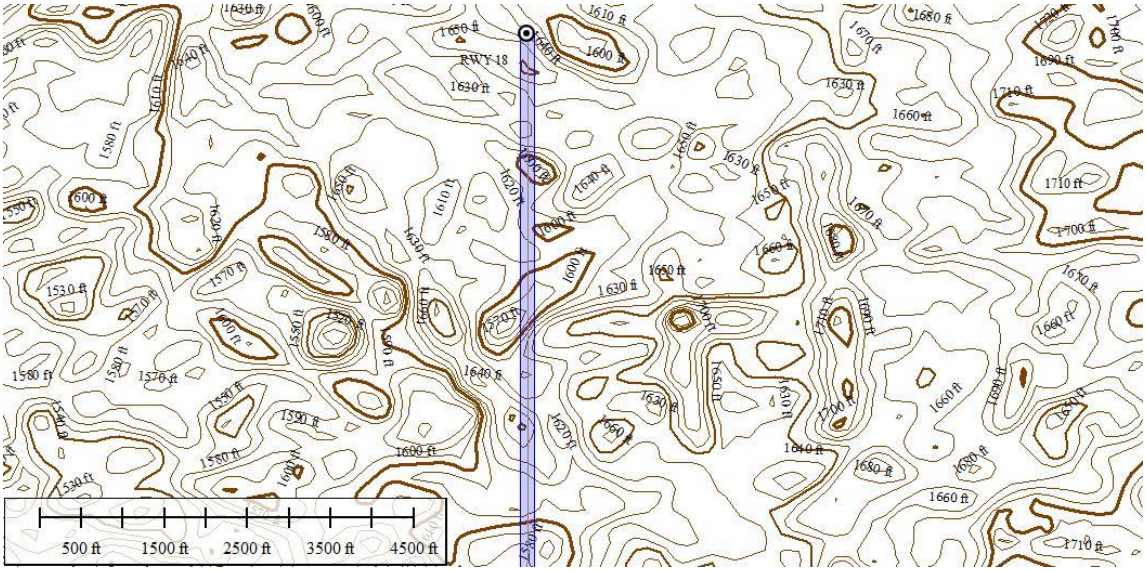

Ilustración 3-12: Curvasd de nivel en el umbral 18 de la pista tentativa en el valle de Rancagua.

Fuente: Elaboración propia mediante Global Mapper.

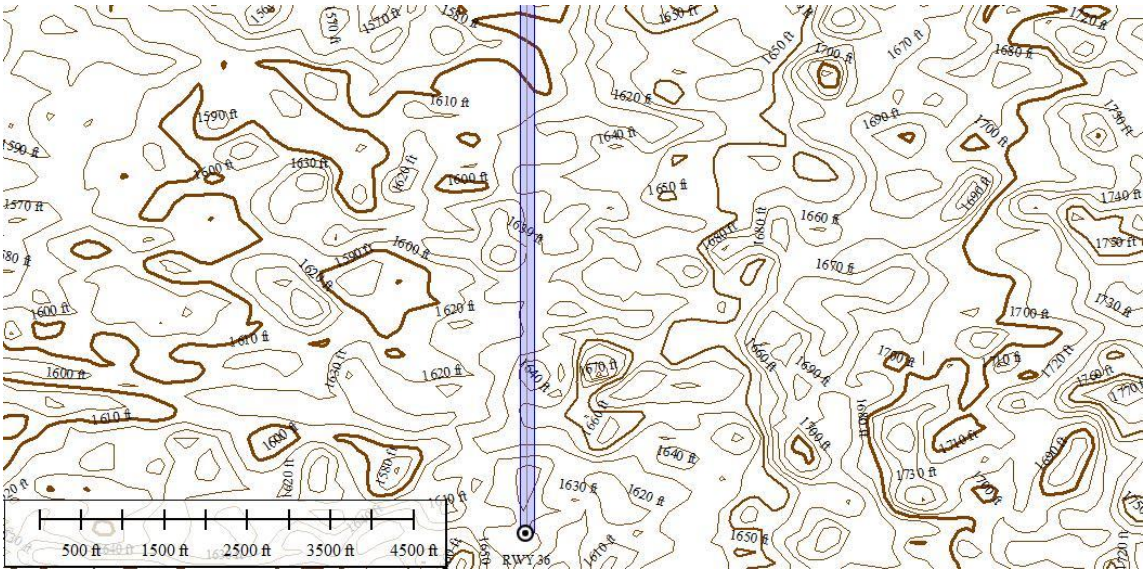

Ilustración 3-13: Curvas de nivel en el umbral 36 de la pista tentativa en el valle de Rancagua.

Fuente: Elaboración propia mediante Global Mapper.

Por el largo de pista definido para esta zona, el máximo desnivel recomendado por la OACI consta de 120 pies. De acuerdo con el tramo estudiado, la mayor altitud registrada por las curvas de nivel corresponde a 1.650 pies. Mientras que la menor altitud registrada es de 1.580 pies. Lo anterior conlleva a un desnivel de 70 pies (21 metros aproximadamente), lo que cumple con la indicación de la OACI, y por lo tanto hace factible el emplazamiento del NAMZC en esta zona. Cabe destacar

que esta variable definió el emplazamiento de la pista en el lugar indicado. Otras opciones estaban planificadas para los sectores oriente y poniente de la comuna de Requínoa de la Ruta 5 Sur. Pero en aquellas zonas, los desniveles encontrados superaron los 150 pies, por lo que estas fueron descartadas.

3.6 Variable 3: Cumplimiento de superficies limitadoras de obstáculos

En el libro de Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Infraestructura Aeroportuaria (Ministerio de Desarrollo Social y Ministerio de Obras Públicas, 2014), se describe que uno de los principales desafíos a la hora de emplazar un nuevo aeropuerto es que el espacio aéreo circundante sea el apropiado para realizar la actividad aérea deseada. La geografía de Chile dificulta el establecimiento de aeropuertos, exigiendo estudios que permitan el análisis y evaluación de los procedimientos de aterrizaje y despegue de las aeronaves acorde a las eventuales pistas. Dado que el país posee dos cordones montañosos y su relativa angostura presente en la zona de estudio, con la segunda variable del presente documento se pretende analizar la factibilidad del espacio aéreo para vuelos comerciales en las zonas propuestas por la DAP. De ser factible, se asumirá que otros puntos importantes que escapan al alcance del trabajo como la conexión de aproximaciones y salidas con rutas de vuelo inferiores o superiores, o la definición de circuitos de espera están estudiados por la entidad.

Para analizar la factibilidad del espacio aéreo en las zonas, se fijarán dos puntos que marcan ambos umbrales de pista[15]. Se estudiarán los procedimientos de aproximación final y aproximación frustrada, en ambos sentidos de la pista. Estos procedimientos no contemplan la construcción de virajes en la evaluación, pues el cálculo para las zonas de protección de estas maniobras complica la evaluación del procedimiento. Se evaluará el cumplimiento de las superficies limitadoras de obstáculos con el terreno obtenido de información en línea, en la versión 21 del software Global Mapper (ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data). Bajo esta misma línea, tampoco se considerarán construcciones o edificios que puedan interferir con el procedimiento, pues se supondrá que la geografía de las zonas es el obstáculo más complejo de superar. Por lo tanto, los procedimientos mostrados no pueden ser considerados como procedimientos oficiales. Las zonas de protección solamente dependerán del terreno, y no se tomarán en cuenta otros factores en su construcción como la visibilidad o conexión con las vías aéreas, etc. Estos factores son ajenos a la

[15] Esta definición de los umbrales (y por lo tanto de las direcciones) de las pistas se realizará acorde con la información obtenida de la variable 1. Asimismo, se tendrá en cuenta la corrección que se debe aplicar al largo de pista por concepto de temperatura (diferencia con la temperatura de referencia), altitud del emplazamiento y pendiente del terreno.

intención del presente trabajo que es verificar que el espacio aéreo cumpla con las superficies limitadoras de obstáculos tentativas, para luego suponer que el resto de las condiciones de espacio aéreo y procedimientos están estudiadas y son favorables.

La construcción de las zonas de protección se basa en las recomendaciones de la OACI en su documento 8168 denominado *PANS OPS* (OACI, 2014). En él se detallan aspectos clave para las consideraciones de esta variable, tales como los anchos de las zonas de protección y la altura con respecto a la aeronave. También la gradiente de descenso (5,2% o 2,98º en la aproximación final) y ascenso (2,5% o 1,43º en la aproximación frustrada), y los distintos mecanismos que dicta el propio documento para modificar estas zonas de protección en el caso de que alguna zona incumpla con las mismas. Se debe tener en consideración de que las gradientes mencionadas son las mínimas que exige la normativa, al mismo tiempo de ser las óptimas. Se añade que para aeronaves de tipo C o D acorde a la clasificación de la OACI, la gradiente de descenso no puede superar los 6.1% (equivalente a 3,5º), mientras que la gradiente de ascenso se puede ampliar a 3%, 4% o 5% con la aprobación de la autoridad aeronáutica del país. El manual recomienda que el largo óptimo del segmento de aproximación final sea de 5 millas náuticas (equivalente a 9,3 kilómetros), lo mismo para el segmento de aproximación inicial, por lo que el tramo total de aproximación se construye con 5 NM por cada uno de los 3 segmentos, 15 NM (27,8 kilómetros) en total. En caso de tener que construir un procedimiento de aproximación fuera del óptimo, se recomienda que el segmento de aproximación final no sea inferior a 3 NM (5,5 kilómetros), ni tampoco exceda las 10 NM (18,5 kilómetros). Para la aproximación frustrada, la evaluación de esta variable llega hasta la fase intermedia. Ésta se define como aquel punto en donde se puedan mantener 246 pies (o 75 metros) de altura mínimos con respecto al suelo por el resto del trayecto. Para evaluar tal condición, se posicionan puntos denominados “Ev. 15” y “Ev. 30”, los cuales son posiciones a 15 y 30 NM respectivamente del comienzo del ascenso de la aeronave cuando frustra la aproximación. Se escogen tales distancias pues pertenecen a las distancias donde anchos de las áreas de protección cambian de extensión. Adicionalmente, se consideran distancias suficientes para evaluar una aproximación frustrada. En cuanto a las especificaciones de la aeronave, se construirán procedimientos acordes a un avión categoría C de la OACI (correspondientes a aviones A321 que ocupan la mayor participación conforme al anexo D: Aerolíneas, aeronaves y destinos de AMB) y con especificación de navegación de precisión RNAV GNSS (cuya categoría es detallada como

RNP APCH según el manual de la OACI). Esta especificación es la utilizada por las aeronaves en vuelo por instrumentos en AMB.

3.6.1 Cuenca sector Casablanca

La primera zona en estudiar pertenece a la cuenca del sector de Casablanca. Como se mencionó anteriormente, esta zona se encuentra ubicada en un valle de la Cordillera de la Costa de Chile. Pese a no ser el único, el Cerro el Durazno representa un obstáculo para las operaciones de ambos sentidos de la pista. Este cerro posee una altitud de 4.520 pies y se ubica aproximadamente a 6 NM de esta. La pista principal está orientada hacia los 40º, con el fin de aprovechar la componente norte de la procedencia del viento en la zona. La altitud que se tiene como referencia del aeródromo tentativo es la correspondiente al punto más alto por que el que pasa la pista. Por lo tanto, se considera una altitud de 970 pies para efectos de cálculo. Además, el largo de la pista consta de 3.575,3 metros.

3.6.1.1 Pista 04

Debido a la relativa cercanía a los cerros del valle, las zonas de protección sólo pueden ofrecer una superficie limitadora de obstáculos a 2.656 pies de altitud, lo que equivale a 1.686 pies sobre el aeródromo (514 metros). Lo anterior consiste en una altura de decisión comparativamente alta con relación a los procedimientos de los otros aeródromos. En el diseño de los procedimientos estándar para la pista principal, se encontraron 4 vulneraciones a las zonas de protección en la aproximación frustrada. La vulneración más crítica pertenece a una ladera de un cerro llamado Chapa, ubicada a 21 NM aproximadamente del umbral. La vulneración corresponde a 920 pies. El Cerro el Durazno representa una vulneración de 774 pies, pero se ubica más próximo al umbral tentativo con 7,82 NM de distancia.

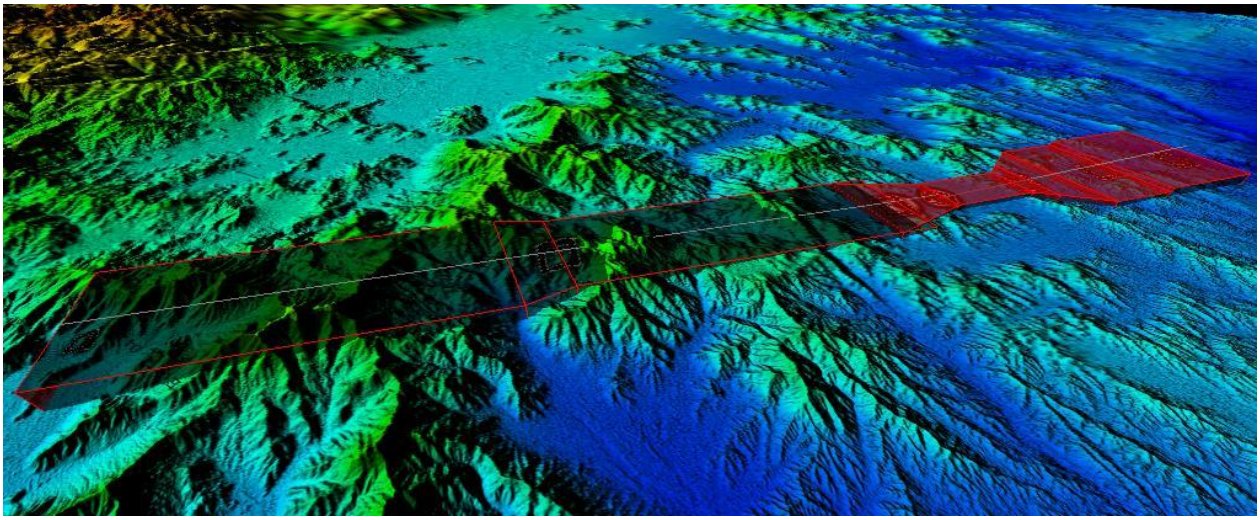

Ilustración 3-14: Zonas de protección para la pista 04 (de derecha a izquierda) en Casablanca.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

La solución consistió en adelantar el punto de aproximación frustrada (MAPt) 5.2 NM (9,6 kilómetros), y aumentar la gradiente de ascenso a 3,02% (equivalente a 1,73º). Con esto se evitó elevar aún más la superficie libre de obstáculos. El MAPt se adelantó toda la distancia permitida por la mencionada superficie. La gradiente de ascenso se definió de manera de poder superar al Cerro el Durazno, el cual exige una mayor gradiente de ascenso en comparación con el Cerro Chapa dada su mayor cercanía.

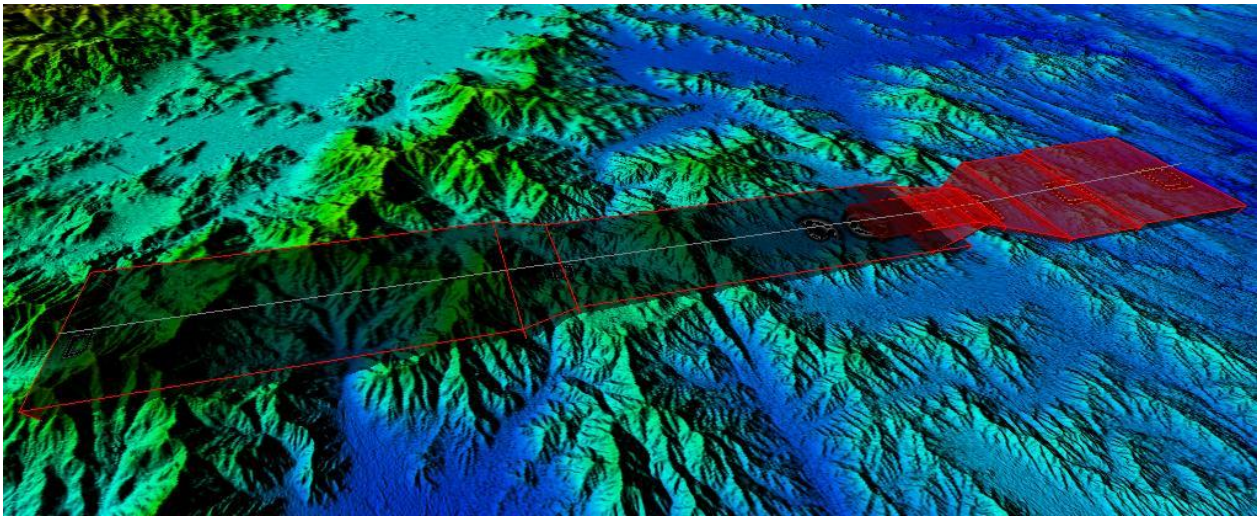

Ilustración 3-15: Procedimientos definitivos para la pista 04 (de derecha a izquierda) en Casablanca.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

3.6.1.2 Pista 22

Para el caso de esta pista, el procedimiento de aproximación estándar se vulneró por dos cerros en los tramos inicial y final. La vulneración más crítica pertenece a la del Cerro el Durazno, ubicado en el tramo inicial de la aproximación. La vulneración consiste en 1.932 pies de diferencia entre la altitud de la zona de protección y la cumbre del cerro. Si se calcula la gradiente de descenso que se necesita para sobrepasar el obstáculo, resulta en 10,74%, la cual supera la máxima recomendada de 6,1% según la OACI.

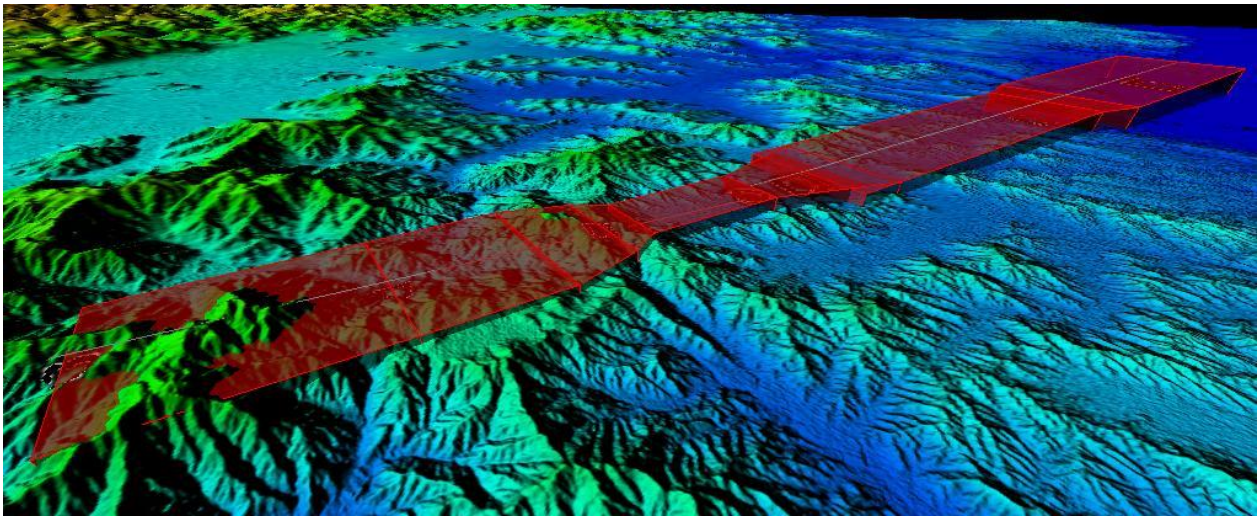

Ilustración 3-16: Zonas de protección para la pista 22 (de izquierda a derecha) en Casablanca.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

Dada la incompatibilidad con la normativa recomendada, se dispone que esta pista sólo admite operaciones hacia un sentido para aeronaves de categoría C o D conforme al criterio de la OACI.

3.6.1.3 Exclusión de la cuenca de Casablanca

Lo detallado anteriormente limita las operaciones frente a un posible emplazamiento, pues cuando la pista 04 no pueda utilizarse, el aeropuerto no podrá operar. Ahora bien, la cantidad de tiempo en que el aeropuerto no pueda estar operativo, en términos de las variables analizadas en el presente estudio, depende de la predominancia del viento vista en la sección 3.4.2 en el caso de Casablanca. De acuerdo con el gráfico presente, el viento proviene desde el suroeste en un 26% del tiempo aproximadamente. Lo anterior consiste en tener viento de cola para el procedimiento de aproximación a la pista 04, por lo que en tales casos se debería utilizar la pista 22 de Casablanca.

Sumado a esto, los vientos de mayor intensidad de la zona fueron registrados procedentes de la dirección mencionada. Por lo tanto, es posible afirmar que, con los datos recopilados, el aeropuerto no estará operativo en un 26% del tiempo si se decide el emplazamiento en Casablanca. Teniendo en cuenta que la muestra en esta zona es la que menor cantidad de años comprende, y que la variabilidad del viento puede cerrar el aeropuerto, es que se determina descartar el emplazamiento del NAMZC en Casablanca para futuras evaluaciones.

3.6.2 Provincia de Maipo

Esta zona de estudio se encuentra limitada al oeste con los cerros Longuén y De Chena, de 3.300 pies y 3.000 pies de altitud respectivamente. Al este se encuentra el cordón andino y al sur la angostura entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Los Andes. Esta pista tentativa fue orientada en dirección norte-sur para evitar que los cerros del poniente y del cordón andino interfirieran con los procedimientos de aproximación, siendo el Cerro Challay el único obstáculo ubicado en la dirección en la que se propone orientar la pista. La altitud de referencia del aeródromo fue considerada como el punto más alto de la pista, es decir, 1.670 pies de altitud.

3.6.2.1 Pista 36

Tal como se observó en la sección 3.4.3 de la variable meteorológica, esta zona da un margen de tres direcciones para orientar la pista, siendo que el viento provino desde el norte la mayor cantidad de tiempo en el período registrado. Considerando la orientación de la pista por conveniencia de espacio aéreo, la pista 36 debería ser usada principalmente para las operaciones en esta zona. Se construyeron los procedimientos estándar para esta pista, considerando una altitud libre de obstáculos de 2.306 pies (en términos de altura sobre la pista, ésta equivale a 640 pies o 195 metros aproximadamente). La única vulneración encontrada corresponde a la del cerro Challay, de 4.050 pies de altitud máxima, en el tramo de la aproximación intermedia.

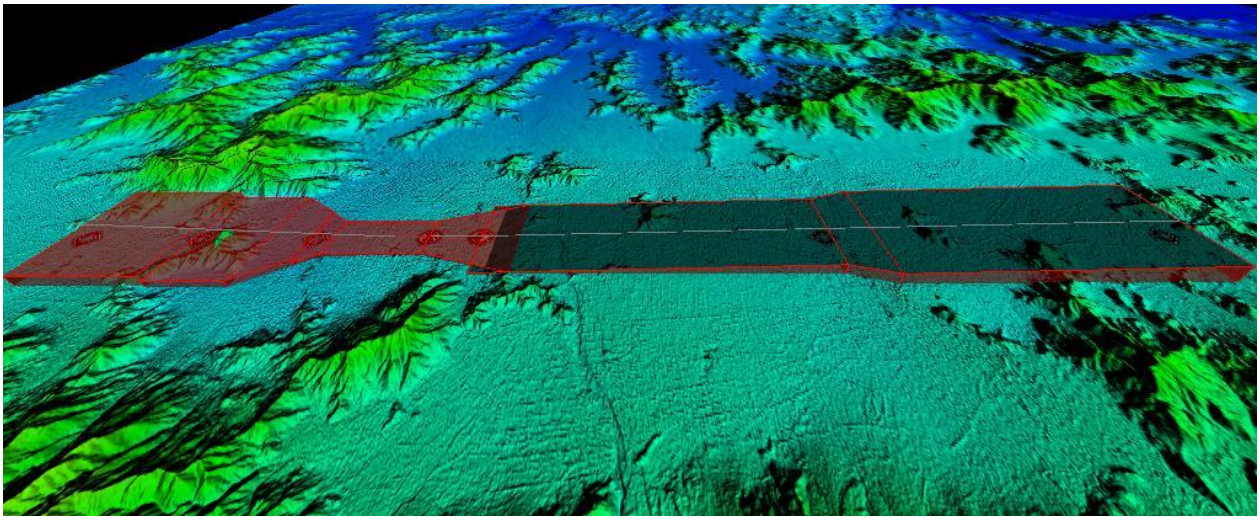

Ilustración 3-17:Zonas de protección para la pista 36 (de izquierda a derecha) en la provincia de Maipo.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

Se resolvió extender el tramo total de la aproximación, desplazando todos sus componentes (IAF, IF y FAP) en 8,1 NM (15 kilómetros) hacia el sur. Junto con eso, se añadió un nuevo punto de guía de descenso o también llamado *Stepdown Fix* (en inglés) para crear otra zona de protección al procedimiento y evitar que otros cerros del cordón andino pudiesen interferir[16]. El tramo total de aproximación resulta ser 18,41 NM (34 kilómetros) luego de las modificaciones al estándar. Otra opción correspondía a acortar el procedimiento a 13,12 NM y sortear el cerro sin la necesidad de añadir un *Stepdown Fix*. Pero se entiende que este último escenario se aplica cuando tampoco es factible extender la aproximación. Aparte de la modificación mencionada, no fue necesario aplicar ninguna otra corrección al procedimiento estándar.

[16] Sin la adición del Stepdown Fix, la altura de decisión subiría de 640 pies (195 metros) a 1.710 pies (521 metros) para poder superar los cerros cercanos al IF que vulneran las zonas de protección. Lo anterior, sin alterar la gradiente óptima de descenso.

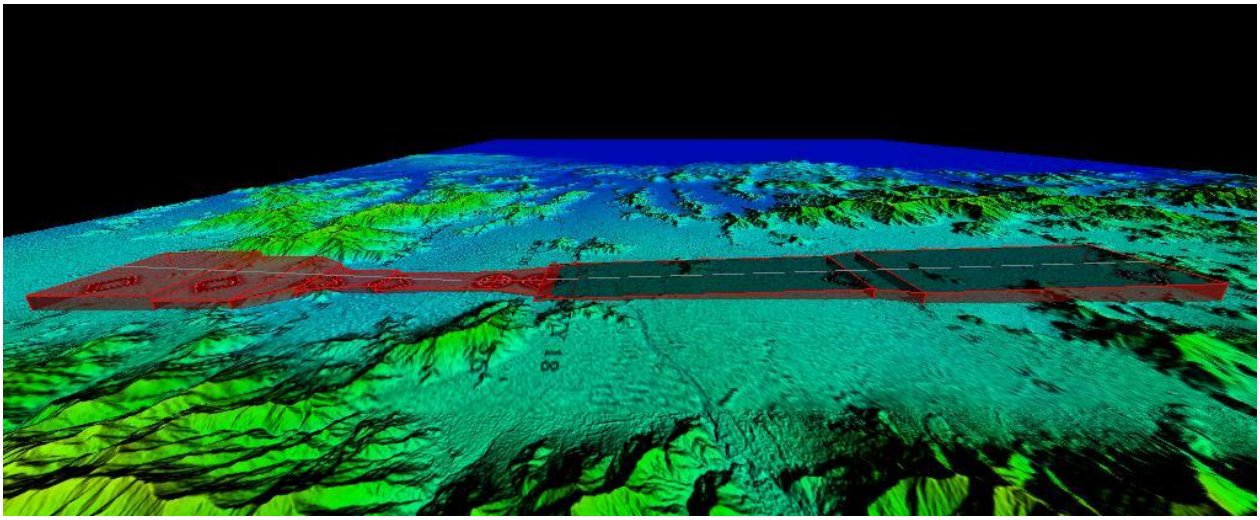

Ilustración 3-18: Procedimientos definitivos de la pista 36 (de izquierda a derecha) en la provincia de Maipo.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

3.6.2.2 Pista 18

En lo relativo a la pista 18, la inversa de la pista anterior, el procedimiento estándar percibió una vulneración en la aproximación frustrada. El Cerro Challay de la pista anterior constituye el obstáculo en cuestión, siendo el único obstáculo del terreno, con una vulneración al procedimiento de 628 pies. Inicialmente, la superficie libre de obstáculos se encuentra a 2.216 pies de altitud. En términos de altura sobre la pista, la superficie se encuentra a 546 pies (166 metros).

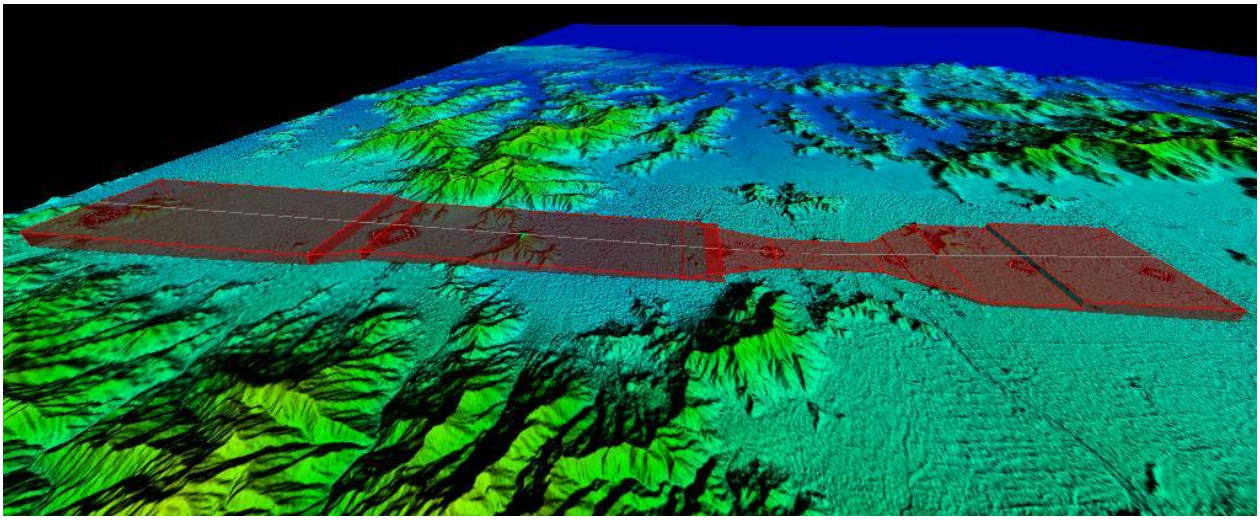

Ilustración 3-19: Zonas de protección para la pista 18 (de derecha a izquierda) en la provincia de Maipo.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

Para solucionar la vulneración, se resolvió adelantar el punto de aproximación frustrada (en inglés *Missed Approach Point* o MAPt) 1.57 NM (2,9 kilómetros) hacia el norte[17]. Junto con lo anterior, se eleva la superficie libre de obstáculos (y por ende la altitud de decisión) 390 pies. Por lo que la altitud de decisión queda a 2.606 pies. En términos de altura sobre la pista, se define a 940 pies sobre ella (287 metros). Otra opción puede ser aumentar la gradiente de ascenso a 2,9% (o 1,66º), pero se entiende de que esta opción no tiene prioridad si el aumento de la altura de decisión y la anticipación del MAPt no es significativa, como en este caso.

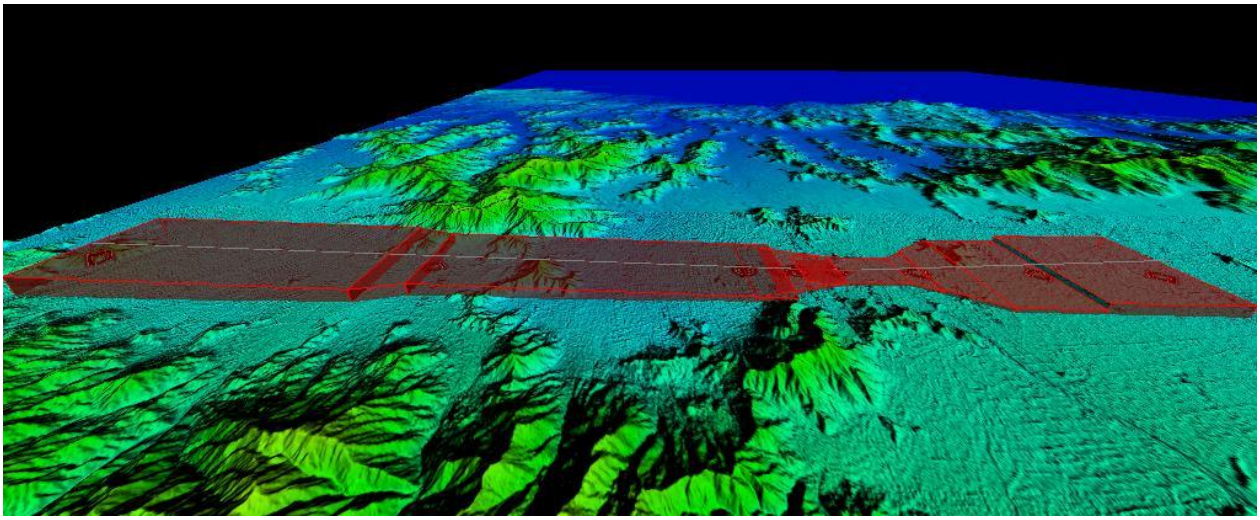

Ilustración 3-20: Procedimientos definitivos de la pista 18 (de derecha a izquierda) en la provincia de Maipo.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

La aproximación frustrada fue el único procedimiento que presentó vulneraciones, por lo que el resto de los factores concuerdan con el estándar de una aproximación.

3.6.3 Provincia de Talagante

La siguiente zona de estudio corresponde a la provincia de Talagante. Comprendiendo las comunas de Peñaflor, Talagante e Isla de Maipo, esta zona se encuentra rodeada por cerros pertenecientes a Cordillera de la Costa de Chile de altitudes de 4.300 y 6.700 pies que se encuentran en la dirección 22 hacia donde está orientada tentativamente la pista. En la otra dirección (04), se encuentra con el

[17] Este punto es donde comienza la aproximación frustrada y en procedimientos estándar de la normativa, se ubica sobre el umbral de la pista correspondiente al procedimiento.

cerro De Chena de 3.000 pies de altitud, el cual complica las operaciones no por su altura, si no por su cercanía. Otro cerro presente, el Longuén, es más alto que el anterior, pero la orientación de la pista y el hecho de estar ubicado en las proximidades no complica de ninguna manera las operaciones de esta. Como referencia a la altitud del aeródromo, se considera el punto más alto a lo largo de la pista, correspondiente a 1.440 pies de altitud. Por último, el largo de la pista tentativamente es de 3.700 metros.

3.6.3.1 Pista 22

Considerando la predominancia del viento en la primera variable, esta dirección es aquella desde donde el viento proviene la mayor parte del tiempo, por lo que corresponde a la pista que más se debería utilizar de resultar factible este electo. Una vez construidos los procedimientos, se encontraron vulneraciones a las zonas de protección exclusivamente de la aproximación frustrada. Los cerros anteriormente mencionados de la Cordillera de la Costa vulneraban las zonas de protección a altitudes de 4.360 y 6.230 pies. La mayor infracción pertenece al último caso, con una vulneración de 1.334 pies. Inicialmente, la superficie libre de obstáculos está a 2.150 pies de altitud o 710 pies (216 metros) de altura.

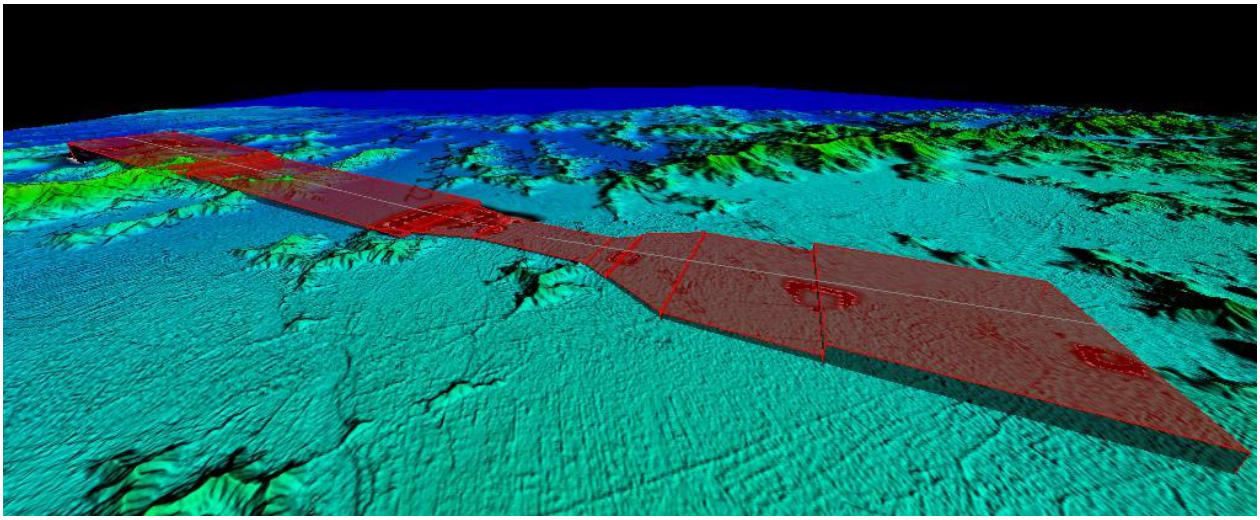

Ilustración 3-21: Zonas de protección para la pista 22 (de derecha a izquierda) en la provincia de Talagante.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

Se resolvió aumentar la gradiente de ascenso a 3,673% (equivalente a 2,1º) para superar el obstáculo más alto, y luego se aumentó la altitud de decisión a 2.188 pies (a 748 pies o 228 metros de altura con respecto a la pista) para superar el obstáculo más cercano.

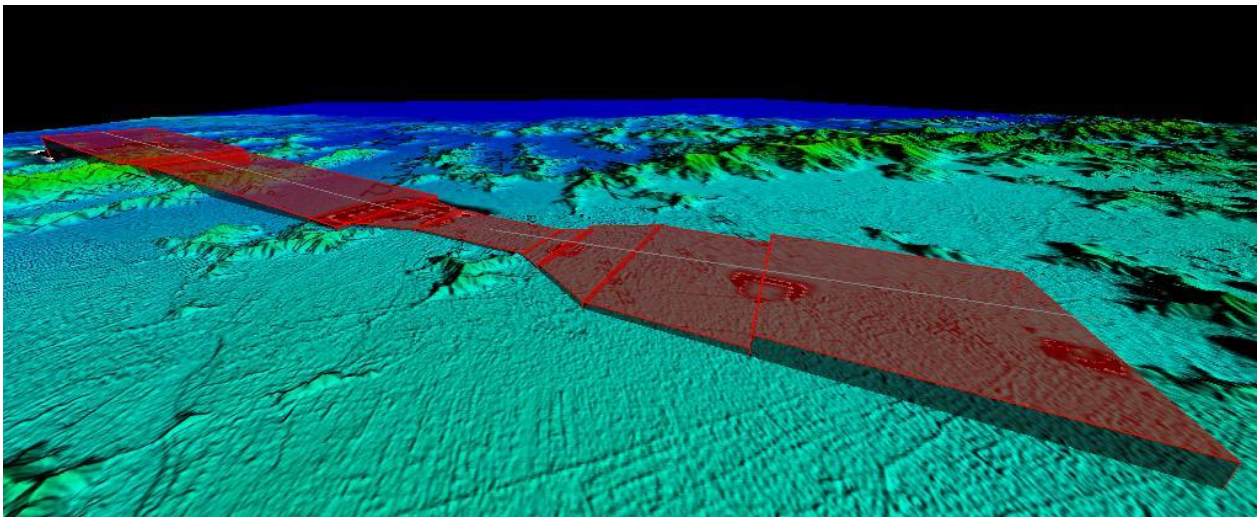

Ilustración 3-22: Procedimientos definitivos de la pista 22 (de derecha a izquierda) en la provincia de Talagante.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

3.6.3.2 Pista 04

Esta pista consiste en el sentido inverso de la anterior, y su utilización debería ser cuando el viento no sea favorable para el uso de la pista 22. Para este caso, el principal obstáculo fue la Cordillera de los Andes, en lo relativo a la definición del fin de la fase intermedia en la aproximación frustrada. Se encontraron obstáculos en ambos procedimientos. En la aproximación, los cerros de la Cordillera de la Costa interfirieron en el punto de aproximación intermedio. Mientras que los obstáculos encontrados en el procedimiento de aproximación frustrada fueron el Cerro de Chena y tres cumbres de la mencionada cordillera a 5.360, 13.700 y 15.580 pies de altitud. Inicialmente, la altitud de decisión correspondía a 1.780 pies. En términos de altura con respecto al aeródromo, ésta queda a una altura de decisión de 338 pies (103 metros).

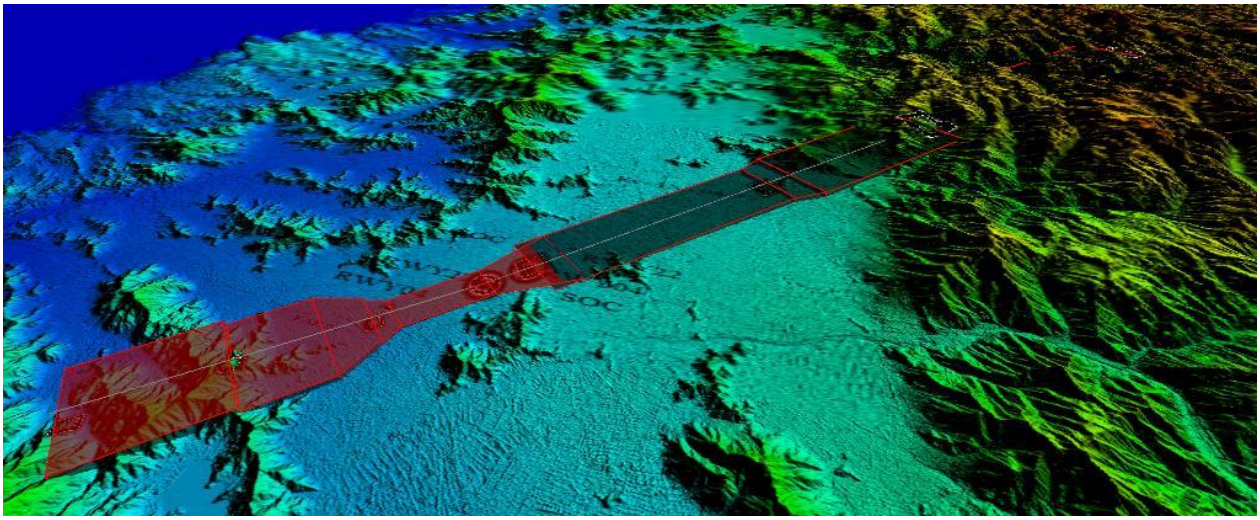

Ilustración 3-23: Zonas de protección para la pista 04 (de izquierda a derecha) en la provincia de Talagante.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

Para el caso de la aproximación, la solución fue mantener las 15 NM de largo del tramo, y modificar las distancias de los puntos de aproximación intermedio y final. Acercando el *Intermediate Fix* y alejando el *Final Approach Point* de la pista, se logró el cumplimiento deseado con las zonas de protección. Por otro lado, el gran inconveniente de la aproximación frustrada fue lograr una separación de 164 pies para terminar la fase intermedia del procedimiento. Como se describió, la altitud de la Cordillera de los Andes fue el principal obstáculo. Para poder corroborar la mencionada separación, se creó un punto de evaluación a 60 NM (111 kilómetros). El fin de esta nueva zona de protección es de evaluar que se cumpla la separación de los 50 metros o 164 pies entre el terreno y la aeronave para así terminar la fase intermedia de la aproximación frustrada, y, por ende, del estudio de la pista. La principal vulneración de las zonas de protección correspondía a la del cerro más alto con 6.160 pies de infracción. La solución a las 4 vulneraciones fue una combinación entre aumentar la gradiente de ascenso a 4,4903% (equivalente a una gradiente de 2,57º), mover el MAPt 0,912 NM (1,7 kilómetros) hacia atrás y elevar la altitud de decisión 1.060 pies.

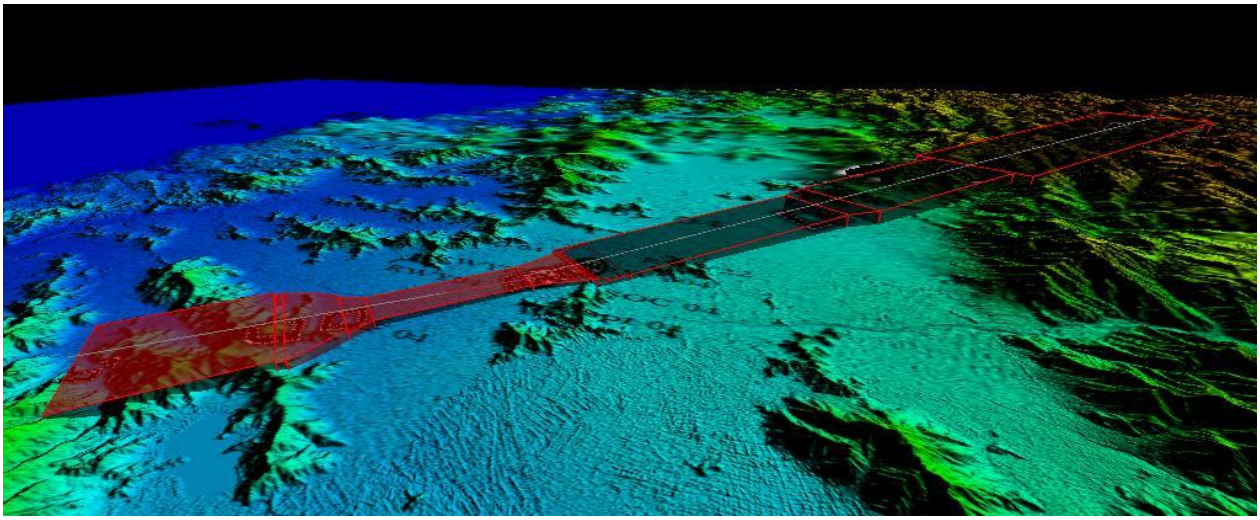

Ilustración 3-24: Procedimientos definitivos de la pista 04 (de izquierda a derecha) en la provincia de Talagante.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

Finalmente, la altitud libre de obstáculos terminó a 2.840 pies (en términos de altura de decisión, queda a 1.400 pies o 426 metros sobre la pista), el tramo de aproximación quedó reducido a 14,1 NM (21,1 kilómetros) aproximadamente, con el *Intermediate Fix* distanciándose 8,9 NM de la pista, y el *Final Approach Point* quedando a 6,85 NM (12,7 kilómetros) del umbral.

3.6.4 Cuenca valle de Rancagua

La última zona de evaluación pertenece a un valle conformado por la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Los Andes. La orientación de la pista se hizo acorde a lo recomendado por la variable meteorológica en la sección 3.4.5 de esta zona, esto permitió evitar cerros pertenecientes al último cordón montañoso mencionado, cuyas cumbres se ubican al este de la ubicación. Sin embargo, el cordón andino también posee montañas ubicadas directamente al sur del emplazamiento. Ellas fueron los principales obstáculos identificados en la evaluación de esta variable, llegando a alcanzar altitudes cercanas a los 8.300 o 9.900 pies con respecto al nivel del mar. Una de las cumbres más altas y cercanas a la ubicación, llamada Alto de Los Lirios, alcanza los 9918 pies de altitud (3.023 m. s. n. m.). Se considera que la altitud de referencia del aeródromo es 1.730 pies, siendo el punto de mayor altitud que atraviesa la pista. La longitud de esta es de 3.875 metros.

3.6.4.1 Pista 18

Considerando que el viento predominante proviene desde el sur, la pista 18 de esta ubicación preliminar pertenece a la pista principal en términos de operaciones. Una vez construidos los procedimientos estándar, se detectan vulneraciones en las zonas de protección de la aproximación frustrada exclusivamente. Las vulneraciones consisten en 3 cerros del cordón andino, cuyas cumbres o laderas interfieren con las áreas definidas. La vulneración más importante está definida por una cadena de cumbres cuya máxima altitud se registra en 8.290 pies, a una distancia de aproximadamente 18 millas náuticas de la pista. Por último, la superficie libre de obstáculos más baja en términos de altitud es de 3.140 pies, lo que se traduce a 1.410 pies (o 430 metros) de altura con respecto a la pista.

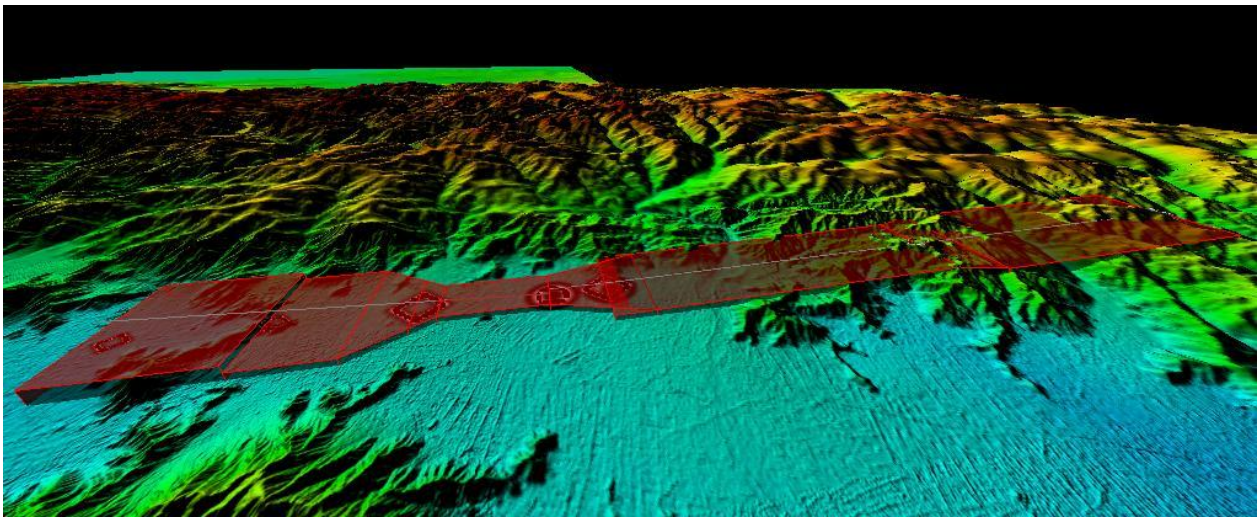

Ilustración 3-25: Zonas de protección para la pista 18 (de izquierda a derecha) en la cuenca del Valle de Rancagua.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

Dada la altitud de la superficie libre de obstáculos, es posible adelantar el punto de aproximación frustrada (MAPt) 4,3 NM (8 kilómetros aprox.) hacia el FAP. Considerando mantener la altura de decisión establecida, se necesita una gradiente de ascenso en la aproximación frustrada de 3,882% (equivalente a 2,22º). Por lo que, al ser un cambio aceptable en comparación con los demás procedimientos, se establece lo descrito anteriormente como solución a los obstáculos. Asimismo, se desplaza el Punto final de aproximación (FAP) y la Posición Intermedia de aproximación (IF) en 2,3 NM y 0,3 NM respectivamente, para poder establecer una distancia de 3 millas náuticas entre el FAP y el MAPt. Al mismo tiempo, se acorta el tramo de aproximación inicial con el fin de

mantener el largo del tramo total en 15 NM. De esta forma, la altura de decisión queda en los 1.410 pies iniciales.

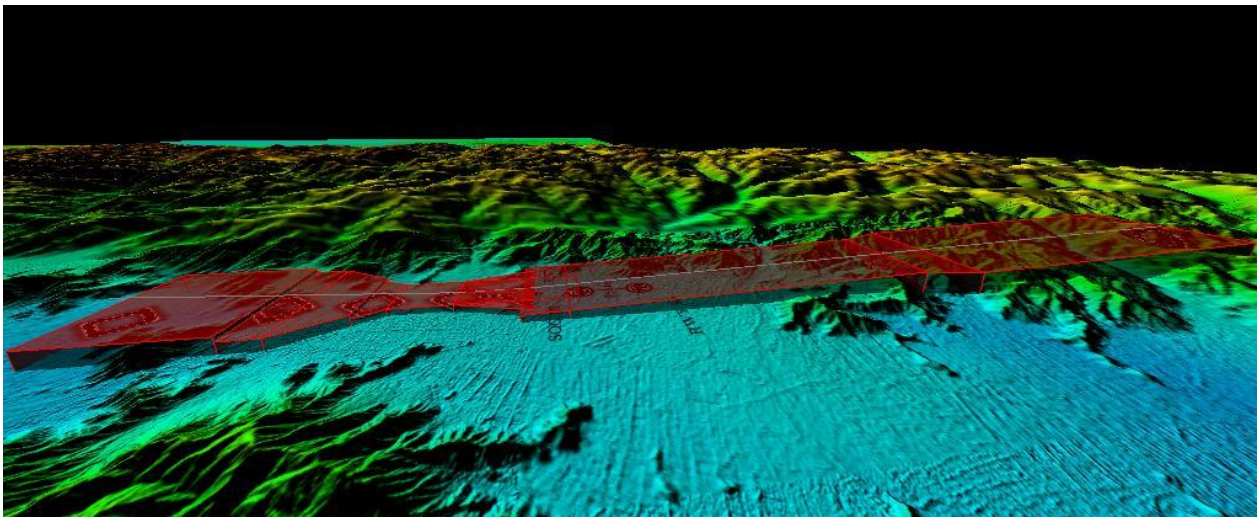

Ilustración 3-26: Procedimientos definitivos para la pista 18 (de izquierda a derecha) en el Valle de Rancagua.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

3.6.4.2 Pista 36

La pista en sentido contrario corresponde a la pista 36 de esta ubicación. Los cerros del cordón andino que en los procedimientos anteriores obstaculizaron la aproximación frustrada, para el caso de esta pista obstaculizan los segmentos inicial e intermedio de la aproximación. La superficie libre de obstáculos más baja que puede establecerse para esta pista queda a 2.880 pies de altitud. En términos de altura, la superficie puede establecerse a 1.150 pies (o 351 metros) sobre la pista preliminar. Se señala que el procedimiento de aproximación frustrada no presenta vulneraciones, por lo que este queda diseñado conforme al estándar expuesto al principio.

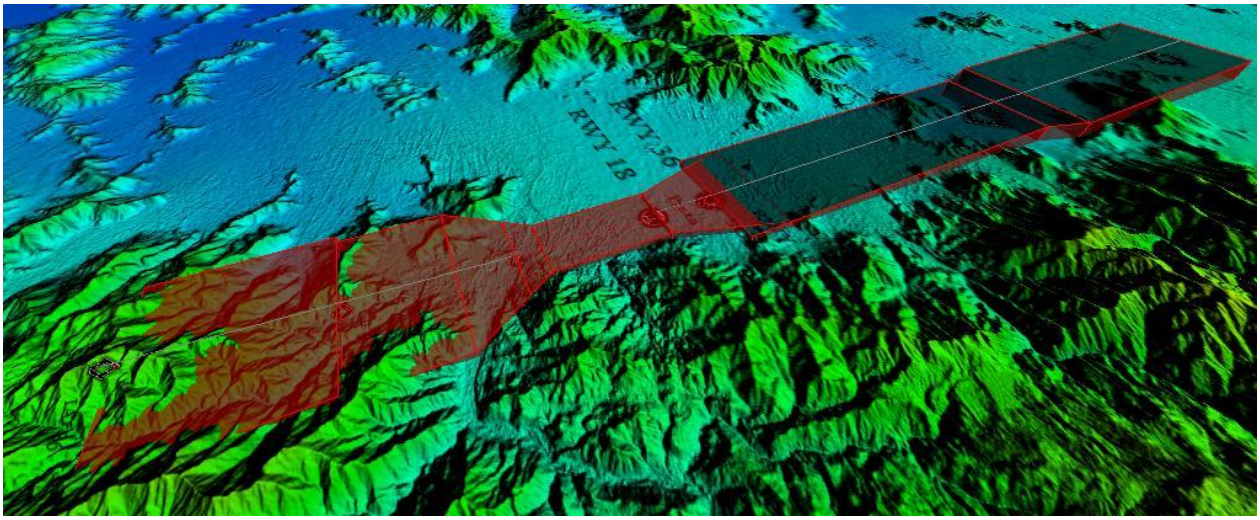

Ilustración 3-27: Zonas de protección para la pista 36 de izquierda a derecha) en el Valle de Rancagua.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

El obstáculo crítico en este procedimiento pertenece a un cerro de 5.240 pies de altitud. La vulneración que representa a las zonas de protección es de 1.810 pies. El cerro se ubica a 9 NM aproximadamente del umbral. Considerando los factores mencionados, resulta factible solucionar el incumplimiento acortando el procedimiento a 13,75 NM en total (25,5 kilómetros)[18], con la adición de una posición de descenso extra en el tramo intermedio de aproximación. La gradiente de descenso necesaria para que el procedimiento sea factible resulta en un 6,1% de descenso (equivalente a 3,5º), siendo esta gradiente la máxima permitida por normativa. Otra opción consiste en elevar la altura de decisión sobre el obstáculo, pero en el caso de optar por dicha solución, la superficie libre de obstáculos se ubicaría a 5.490 pies de altitud (3.760 pies o 1.146 metros de altura sobre la pista). Este caso es adverso para el procedimiento, consistiría en una altura de decisión más elevada que el resto de las definidas anteriormente. De esta forma, el procedimiento queda diseñado como se muestra en la Ilustración 3-28.

[18] En términos técnicos, la modificación consta de extender el tramo final de aproximación a 7,75 NM (14,3 kilómetros) y reducir los tramos intermedio e inicial a 3 NM (5,6 kilómetros) cada uno. El punto de descenso extra o *Stepdown Fix* queda ubicado a 9,9 NM (18,3 kilómetros) del umbral 36. La creación de este punto adicional ocurre con el fin de superar las cumbres menores del obstáculo principal que igualmente interfieren con el procedimiento estándar.

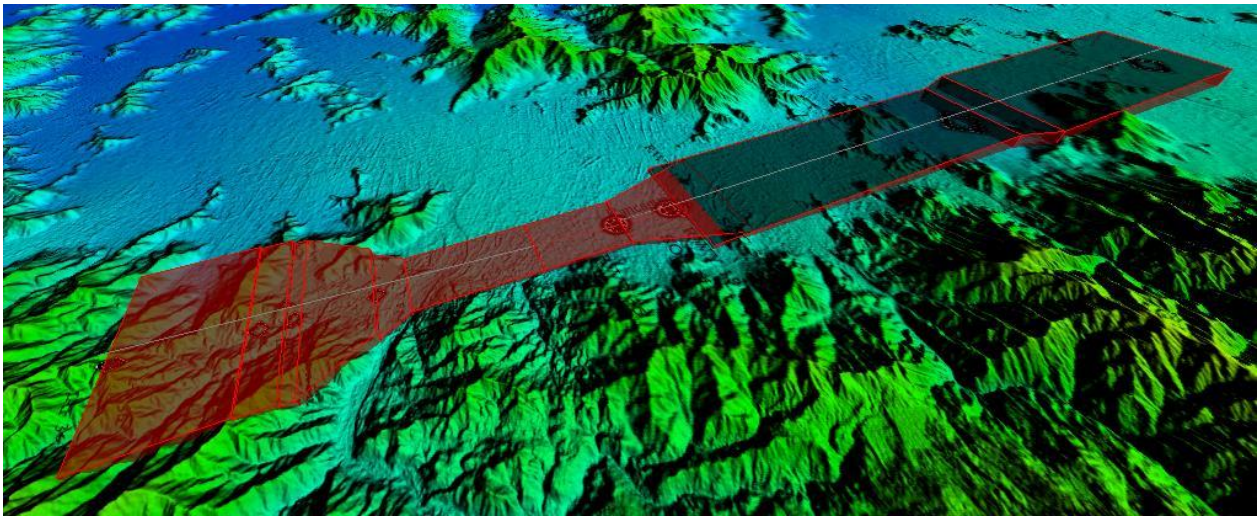

Ilustración 3-28: Procedimientos definitivos para la pista 36 (de izquierda a derecha) en el Valle de Rancagua.

Fuente: Elaboración propia mediante software Global Mapper.

Esta corresponde a la última zona de estudio, con lo que se finaliza la evaluación de la variable del espacio aéreo. Esta variable permitió descartar otro emplazamiento preliminar, por lo que tres de las zonas continúan en evaluación para el siguiente factor en evaluación.

3.7 Variable 4: Impacto ambiental

En esta variable se pretenden evaluar dos aspectos fundamentales del entorno de un aeropuerto, la presencia de humedales en los sitios de construcción y las zonas aledañas que puedan verse afectadas por el emplazamiento del aeropuerto, al realizar las expropiaciones debidas para su construcción. Es importante comenzar por evaluar si el terreno presenta zonas de humedales, puesto que son un obstáculo para la resistencia de las construcciones tales como la pista y el edificio terminal de pasajeros. Los estudios realizaron observaciones del suelo y catalogaban los esteros que atraviesan el terreno, incluyendo el cálculo del caudal.

Los estudios recopilados en la sección 2.1.3 consideran la hidrología o nivel de drenaje del suelo dentro de las variables que evaluaron. Se comienza por evaluar esta variable dado que es crítica a la hora de elegir el emplazamiento tentativo de la pista de aterrizaje. En este estudio, se observarán las zonas de terreno húmedo registrados solamente en la superficie. Para examinar la presencia de humedales, se tiene acceso al Sistema de Información Territorial del MOP, el cual por medio de un sistema de información geográfica llamado ArcGIS registra los humedales a lo largo de Chile. El software distingue entre humedales asociados a algún limite urbano y los que no están asociados. Con esto es posible detectar si para la construcción del NAMZC hay presencia de humedales o no en cada zona correspondiente. De manera complementaria a la información anterior, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile publicó en el IDE en julio de 2015 la zonificación georreferenciada del Plan Regulador Metropolitano de Santiago y Valparaíso, junto con los planes Reguladores Intercomunales de la región de O'Higgins. Estos archivos consisten en una interpretación del plano oficial del plan regulador para cada región mencionada. De estos planes se pueden obtener información sobre riesgos naturales y geofísicos observados en las zonas que abarcan.

Ahora bien, ambos estudios recopilados tomaban en cuenta el tamaño y propiedad de los predios en los cuales pretendían emplazar el aeropuerto respectivo. Se desprende de estos estudios que, para el proyecto, es favorable localizarse en predios de mayor tamaño relativo a los demás, y que la cantidad de propietarios de éstos sea la mínima posible. Gracias al portal del Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos (SIMEF), se tiene acceso a un visualizador de mapas mediante la aplicación web de ArcGIS. Parte de la información publicada forma parte de un

catastro realizado por la Corporación Nacional Forestal de Chile (CONAF) el 2013 titulado como "Recursos Vegetacionales y Usos de la Tierra RM". Con dicha capa de información georreferenciada, es posible visualizar los predios correspondientes a la Región Metropolitana de Chile y, por ende, a las zonas en las cuales se evalúa el emplazamiento del NAMZC. Se puede descargar dicha capa y procesar los datos en el software QGIS para calcular las superficie agrícola y habitacional que abarcará el área del nuevo aeropuerto. Lo que se pretende observar es la cantidad de predios afectados por la construcción de la pista. También será posible clasificar cuántos de los predios que finalmente se deberían expropiar pertenecen a zonas residenciales, según la información proporcionada por la CONAF. Otra capa de información proporcionada por el sitio corresponde al registro de la CONAF de incendios forestales ocurridos entre el 2010 y el 2018. Si bien esta información no es parte del objetivo de la variable, el registro aporta en la selección de ubicaciones para el aeropuerto dentro de cada zona. De acuerdo con los factores anteriormente mencionados, se proceden a evaluar la localización tentativa en cada una de las zonas de forma conjunta.

3.7.1 Provincia de Maipo

La zona de estudio presenta dos humedales asociados a límites urbanos, los cuales son producto de los ríos Maipo y Angostura. Además de ellos, se observan humedales no asociados a límites urbanos de menor tamaño, repartidos por los extremos norte, sudeste y poniente principalmente. En la zona propuesta para emplazar la pista no se observa terreno adverso de ningún tipo, como se expone en la Ilustración 3-29.

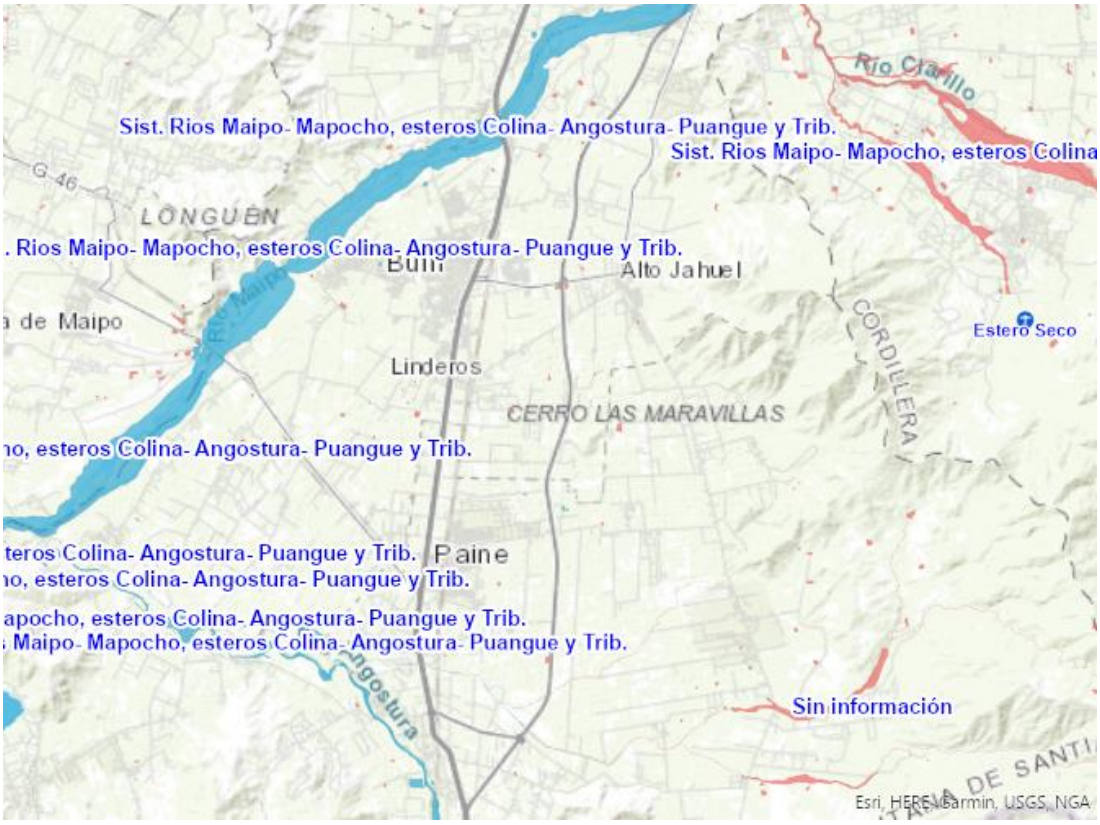

Ilustración 3-29: Humedales asociados al Río Maipo (al noroeste) y al río Angostura (al suroeste) en la provincia de Maipo.

Fuente: SIT ministerial del MOP

Conforme con la información del Plan Regulador Metropolitano publicada en el IDE, esta zona presenta áreas de riesgo de origen natural. Ellas consisten en zonas de inundación por napas freáticas según el artículo 8.2.1 del plan. Lo anterior significó un descarte de las zonas ubicadas al sur de la provincia por la presencia de estas áreas de riesgo. En la Ilustración 3-30 se visualizan estas zonas en color anaranjado, junto con los umbrales de pista tentativos expuestos como rombos azules.

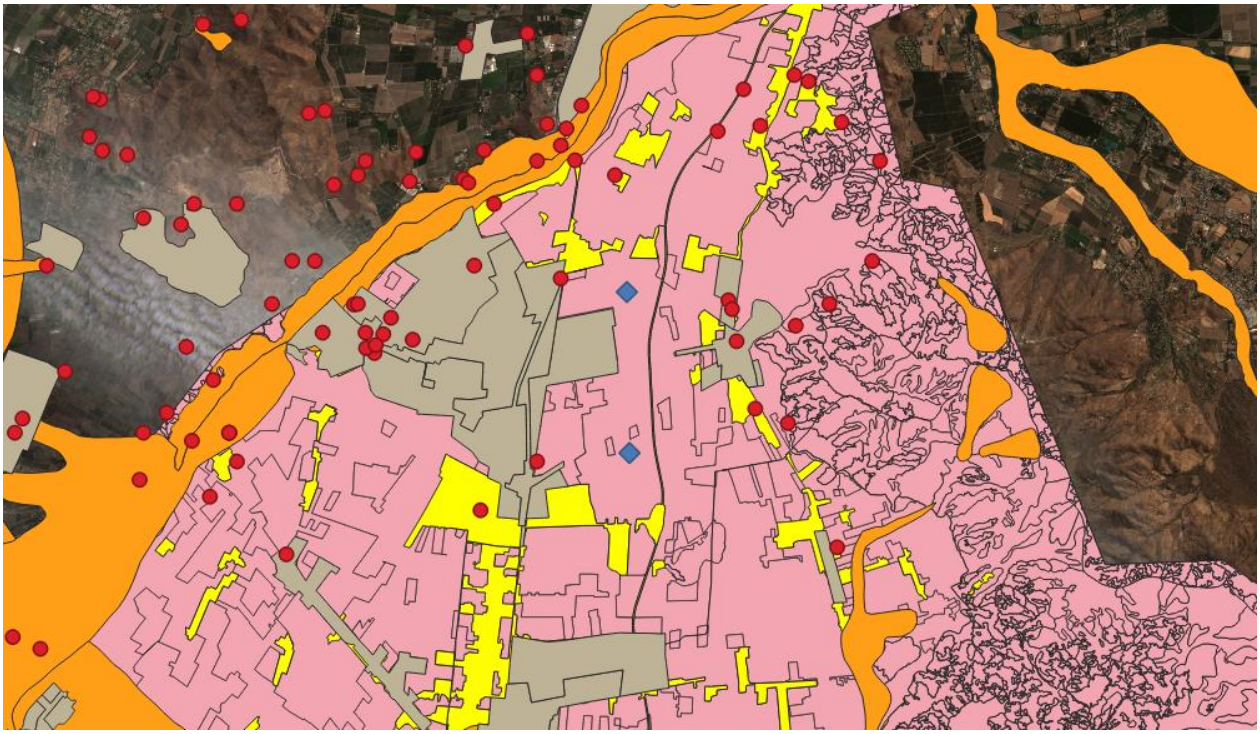

Ilustración 3-30: Imagen satelital de la provincia de Maipo con las áreas de riesgo, predios y umbrales tentativos de la pista (rombos en azul).

Fuente: Elaboración propia mediante QGIS, con imágenes de Landsat y datos del IDE y SIMEF.

Las áreas de riesgo de inundación están demarcadas y pintadas en color anaranjado, el registro de incendios forestales de la CONAF figura como puntos rojos en el mapa. Los predios están demarcados en color rosado y amarillo, siendo los predios resaltados en amarillo de carácter residencial. Los umbrales marcados como rombos azules corresponden a los mismos expuestos en la sección 3.1 del presente capítulo. La pista no abarca zonas residenciales en su localización, pero hay presencia de estas en ambas direcciones hacia las que se orienta la pista. Las áreas grises representan las ciudades cercanas. La zona al oeste de la pista es la ciudad de Buin, la zona ubicada al este pertenece al pueblo de Alto Jahuel y el área al sur de la pista, a la localidad de Paine.

3.7.2 Provincia de Talagante

Esta zona presenta cordones montañosos pertenecientes a la Cordillera de la Costa de Chile, y un par de cerros al oriente correspondiente al Cerro de Chena y Longuén que encierran a las comunas de Peñaflor, Talagante e Isla de Maipo. Al igual que en los sectores anteriores, se analizó esta variable antes de escoger un emplazamiento tentativo en la zona. Se considera que por la dirección del viento predominante se recomienda una orientación de la pista en los 220º y 40º en dirección

contraria. Por esta razón la extensión de tierra cercana a Isla de Maipo pareciera no ser tan factible en principio. En términos de la variable, en esta zona se ve la presencia de los ríos Mapocho y Maipo, lo que crea humedales asociados a límites urbanos. También se detectan pequeñas zonas de humedales no asociados a límites urbanos, pero la extensión de éstos no es significativa en las áreas de interés. En la Ilustración 3-31 se visualizan estos humedales.

Ilustración 3-31: Humedales asociados al río Mapocho (al norte) y Maipo (al sur) en la provincia de Talagante.

Fuente: SIT ministerial del MOP.

Ahora bien, de la información del Plan Regulador Metropolitano publicada en el IDE, se conoce de la existencia de zonas de inundación por napas freáticas y áreas de protección a cauces naturales y cuerpos de agua. Lo anterior significó un descarte de las zonas cercanas a Talagante e Isla de Maipo por la presencia de estas áreas de riesgo y protección. Por lo que el único emplazamiento que resulta factible, acorde a esta variable, son los predios ubicados al norte de la zona en un sector cercano a la comuna de Peñaflor. La Ilustración 3-32 reúne los datos mencionados anteriormente.

Se destaca que los umbrales tentativos de la pista en esta zona están marcados como rombos azules en la imagen satelital.

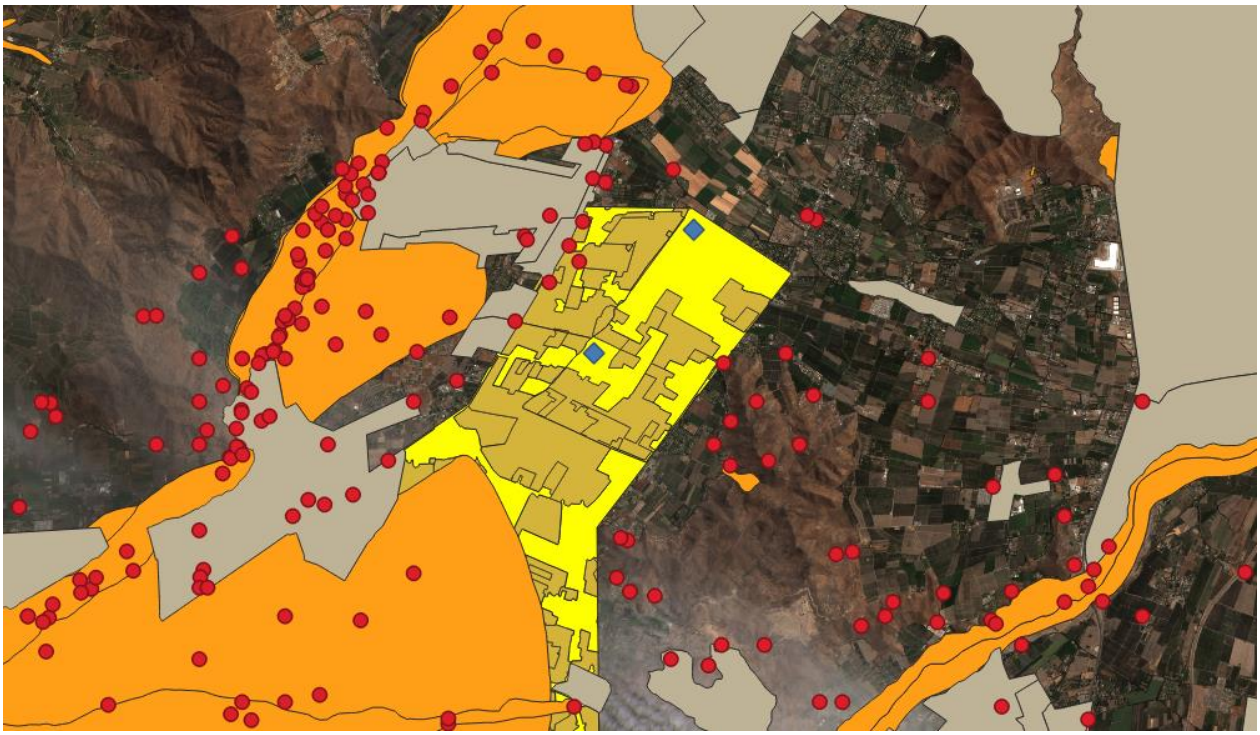

Ilustración 3-32: Imagen satelital de la provincia de Talagante con las áreas de riesgo, predios y umbrales tentativos de la pista (rombos en azul).

Fuente: Elaboración propia mediante QGIS, con imágenes de Landsat y datos del IDE y SIMEF.

Las áreas de protección y riesgo están demarcadas y pintadas en color anaranjado. Los predios están demarcados en café y amarillo, siendo los predios amarillos de carácter residencial y los de color café correspondientes a terrenos agrícola de la provincia. Los incendios forestales se visualizan como puntos rojos. Los umbrales preliminares marcados como rombos azules corresponden a los mismos expuestos en la Ilustración I-18 del documento.

Esta variable influyó en gran medida para la localización de la pista, puesto que descartó dos probables zonas, y solamente un grupo de predios resultó ser factible para el emplazamiento de la pista gracias a su extensión de aproximadamente 4 kilómetros de largo de norte a sur. Tal como lo muestra la Ilustración 3-32, el único emplazamiento factible según la presencia de humedales resulta ser el sector cercano a la comuna de Peñaflor. La pista abarca 4 predios, de los cuales dos pertenecen a recintos habitacionales.

3.7.3 Cuenca valle de Rancagua

Tal como se detalló anteriormente, la zona se encuentra en un valle central formado por la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Los Andes. De esta última provienen dos ríos correspondientes al Estero Codegua y el río Cachapoal. Entre ambos ríos, también está presente el Estero Machalí, con diversas ramificaciones en la zona oriente, ubicada entre las ciudades de Rancagua y Graneros. La visualización de los cuerpos de agua anteriormente nombrados se muestra en la Ilustración 3-33.

Ilustración 3-33: Humedales asociados al Río Cachapoal y Estero Codegua en el valle de Rancagua.

Fuente: SIT ministerial del MOP.

Considerando lo anterior, el Plan Regulado Intercomunal de Rancagua, obtenido del IDE, da cuenta de la existencia de riesgo por inundación de los caudales vistos anteriormente. Ello junto con los incendios forestales registrados por la CONAF pueden suponer un riesgo para la zona. Por lo que el emplazamiento fue elegido considerando los factores mencionados. Una visualización de estos riesgos se expone en la Ilustración 3-34 hecha mediante el procesador de información satelital QGIS.

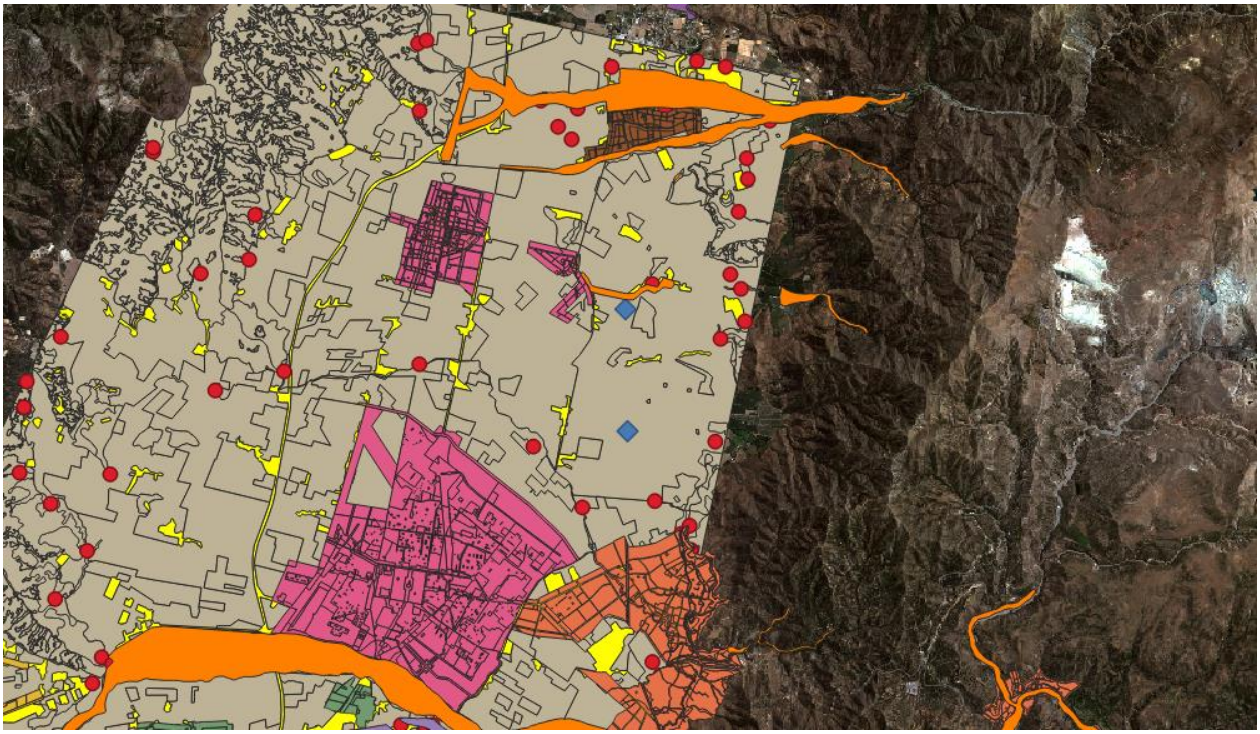

Ilustración 3-34: Imagen satelital del valle de Rancagua con las áreas de inundación, zonas residenciales, incendios registrados y umbrales tentativos (rombos azules).

Fuente: Elaboración propia mediante QGIS, con imágenes de Landsat y datos del IDE y SIMEF.

La ubicación de los umbrales está marcada con rombos azules en el centro de la imagen. Tal como se mencionó anteriormente, los puntos rojos indican los incendios forestales registrados por la CONAF. Las zonas demarcadas en color rosado pertenecen a las comunas de Rancagua y Graneros. Las zonas en terracota al sur comprenden a la comuna de Machalí, mientras que el sector septentrional en café pertenece a la comuna de Codegua. Las zonas y predios marcados en amarillo son áreas pobladas según el SIMEF, lo que también engloba a las autopistas Ruta 5 Sur y Ex Ruta 5. Los terrenos en color anaranjado ubicados al norte y sur, que recorren la imagen de izquierda a derecha marcan a las áreas de riesgo por inundación definidas en el plan regulador. El eventual emplazamiento en esta zona parece interferir con un área poblada pequeña ubicada al norte del umbral 18. La ubicación también supone una potencial restricción con las edificaciones presentes en la comuna de Machalí.

3.8 Variable 5: Conectividad con Santiago

La conectividad de todos los emplazamientos del NAMZC evaluados hasta ahora comprende el último factor por analizar en este estudio. Sus divisiones consisten en medir la distancia de los emplazamientos con respecto a un punto específico en la ciudad de Santiago de Chile, medir el tiempo del traslado desde ese punto por medio de transporte púbico y transporte privado. Finalmente, se pretende considerar a los proyectos de conectividad planificados hasta antes de la saturación de la nueva terminal de pasajeros. Este plazo fue observado en la sección 3.3 pertinente a la proyección de pasajeros de AMB.

Esta variable se planea evaluar en base a las consideraciones que se tuvieron en los estudios anteriores de localización del Anteproyecto Referencial Nuevo Aeropuerto de la IX Región (ARCADIS Geotécnica S.A., 2005) y el Nuevo Aeródromo Corporativo para la Región Metropolitana (AMEC - Cade Ingeniería y Desarrollo de Proyectos LTDA., 2013). Se mide la conectividad con Santiago (y no con el resto de las ciudades de la macrozona central de Chile como Valparaíso o Rancagua) ya que el NAMZC está planificado para ser un aeropuerto de alivio a AMB, el cual se ubica en la primera ciudad. Como parámetros para la medición de la distancia, se tendrán las referencias de los aeropuertos internacionales estudiados, los cuales fueron medidos de manera similar a la detallada en esta sección. Se medirá la distancia en ruta, tiempo del recorrido mediante transporte privado y mediante transporte público, de acuerdo con el sitio web de Google Maps y los planificadores web de la Empresa de Ferrocarriles del Estado (EFE), Metro de Santiago y de la Red Metropolitana de Movilidad. La distancia será medida y expuesta en kilómetros y el tiempo de traslado en minutos. A diferencia de la distancia, los tiempos de traslado se medirán en sus respectivas categorías (privado y público) y se compararán con los resultados de las demás zonas. Para medir el tiempo de traslado, se considerarán tres muestras horarias a diferentes horas del día. Las bitácoras de la DGAC del 2016, 2017 y 2018 señalan que las franjas horarias entre las 06:00 – 09:00 horas, entre las 12:00 – 15:00 horas y entre las 16:00 – 19:00 horas concentran el 70,1% de los despegues de operaciones de transporte de pasajeros durante el período de tiempo mencionado. Según esta información, se eligen marcas de clase para cada franja horaria, correspondiente a las 08:00, 14:00 y 18:00 horas respectivamente. Luego se considera que la hora

de llegada a la terminal debe ser con dos horas y media de anticipación[19]. Con estos datos se puede establecer la hora de llegada a la terminal en Google Maps, de tal forma que considere el tráfico habitual del trayecto, en los horarios definidos. En cuanto al día en que se asignará en Google Maps para la medición del tiempo, se seleccionarán aquellos con mayor cantidad de despegues de aviones de pasajeros realizados entre el 2016 y 2018. Se elegirá un día de invierno y otro en verano. Según las bitácoras de la DGAC, el 13 de julio es el día con más despegues en invierno, mientras que el 7 de diciembre corresponde a la misma cifra en verano. El tiempo de traslado que se registrará será el mayor proporcionado por el sitio web, por el camino más corto que se recomiende. El tiempo final será el promedio de las seis muestras obtenidas por zona. No se considerarán los tiempos de transbordo (tampoco los transbordos intermodales) en la medición del tiempo en transporte público. Se adjuntarán tablas con respecto a los tiempos y las distancias registradas. El punto de partida será la Plaza de Armas de Santiago, definido como el centro de Santiago en el estudio del aeródromo corporativo. Se escoge el centro de Santiago puesto que no hay un mercado más específico analizado en este estudio, por lo tanto, la población de toda la conurbación de Santiago puede utilizar el nuevo aeropuerto. En otras palabras, es el mismo mercado que abastece AMB, y de esta forma debe ser para poder aliviar la congestión del aeropuerto. Además de evaluar la conectividad actual, se tendrá en cuenta los proyectos de conectividad futura, lo cual favorecerá cualitativamente a la alternativa de estar planificados para entregarse antes del año 2028. Dicho año corresponde a la saturación proyectada de AMB según la sección 3.3 de este estudio.

3.8.1 Distancia en ruta

Tal como se expuso anteriormente, la distancia hacia las zonas propuestas de la pista se midió siguiendo los caminos existentes y disponibles en Google Maps. Estas distancias fueron medidas desde Plaza de Armas, definido como punto central de la ciudad de Santiago y desde el Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez (AMB) de la ciudad. Los resultados de las mediciones se presentan en la Tabla 3-2.

---

[19] Correspondiente a un promedio de las horas de anticipación para los vuelos de AMB. Las aerolíneas que operan en el aeropuerto piden 2 horas de anticipación para vuelos nacionales y 3 horas de anticipación para vuelos internacionales.

Zona de estudio	Distancia a Santiago (km)	Distancia a AMB (km)
Talagante	38,0	34,4
Maipo	38,0	42,5
Rancagua	85,1	89,6

Tabla 3-2: Distancias desde Plaza de Armas (Santiago) y el aeropuerto de la ciudad (AMB) hacia las zonas propuestas para el NAMZC.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Google Maps.

El detalle de los trayectos se encuentra en el apéndice L: Rutas de acceso y tarifas a las zonas del NAMZC. Los sectores más cercanos a la ciudad no superan los 40 kilómetros de distancia a ella, mientras que aquellos que se encuentran fuera de la Región Metropolitana de Chile se ubican a 80 kilómetros aproximadamente de Santiago. En términos de distancia a AMB, la zona más lejana corresponde al sector de Rancagua con casi 90 kilómetros de distancia.

Si estas cifras se comparan con las medidas en los casos internacionales observados, se encuentran similitudes en los dos primeros casos. Por ejemplo, las zonas más cercanas a la ciudad (Talagante y Maipo) comparten semejanza con la distancia en ruta al aeropuerto de Ezeiza en el caso de Buenos Aires (31,9 kilómetros), y con Fort-Lauderdale en el caso de Miami (42,5 kilómetros). En cuanto a al distanciamiento con el aeropuerto, los trayectos observados en Chile también se asemejan con los del caso de Miami (45,9 kilómetros entre los aeropuertos) y más aún con los de Argentina (42,2 kilómetros entre Aeroparque y Ezeiza y 32,3 kilómetros entre El Palomar y Ezeiza). La distancia a Rancagua no se asemeja a ningún caso estudiado. El ejemplo más similar es la distancia entre los aeropuertos de Milán-Linate y Milán-Malpensa (66,1 kilómetros).

3.8.2 Tiempo de traslado

En lo relativo al tiempo de traslado, éste fue medido para el traslado tanto en transporte público como en transporte privado. En todos estos casos se tomaron las muestras de los tiempos de acuerdo con los supuestos mencionados en la descripción de la variable. En materia del transporte público hacia las zonas, fue necesario tomar ciertos supuestos adicionales para registrar los tiempos. Por ejemplo, en el transporte público no hay alternativas para la franja horaria de la madrugada. Si hay un vuelo que comienza a las 8 de la mañana, la hora de presentación es a las 5:30 am. Se entiende de que la alternativa única en estos casos es transporte privado. Otra suposición es que, de localizar el aeropuerto en Talagante o Rancagua, se implementará consigo un servicio de buses de

acercamiento al aeropuerto. Los tramos que abarcaría este servicio son aquellos que, con el transporte público existente, no se logra cubrir. Un mayor detalle de los tramos y tarifas se especifica en el apéndice L: Rutas de acceso y tarifas a las zonas del NAMZC.

Zona de estudio	Tiempo en T. Privado (min)	Tiempo en T. Público (min)
Talagante	48,3	75,0
Maipo	43,3	45,0
Rancagua	81,7	99,0

Tabla 3-3: Tiempos de traslado en transporte público y privado hacia las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Google Maps.

Es lógico pensar que las zonas que resultaron ser más cercanas a Santiago se traduzcan en tiempos de traslado más bajos. Pero el traslado en transporte público a la ubicación en la provincia de Talagante demora 30 minutos más que el transporte público hacia la zona de Maipo. En la misma provincia de Talagante, la diferencia entre transporte público y privado es de casi 27 minutos. Algo similar ocurre con la zona del valle de Rancagua, cuya diferencia se puede explicar por la lejanía que representa la zona desde Santiago.

3.8.3 Proyectos de conectividad futura

En las secciones anteriores se ha expuesto sobre la conectividad existente hasta el momento de la redacción del presente trabajo. Sin embargo, hay proyectos que involucran el progreso de la conectividad entre la ciudad de Santiago y las zonas de estudio. Específicamente, se tratan del Tren Valparaíso – Santiago[20] y el Tren Melipilla – Estación Central[21].

3.8.3.1 Tren Valparaíso Santiago (TVS)

Buscando mejorar la conectividad entre Santiago y Valparaíso, se busca llevar a cabo la construcción y desarrollo de un tren rápido que conecte ambas ciudades en 45 minutos. El alcance de este proyecto con el emplazamiento del NAMZC es que las estaciones intermedias corresponden a Viña del Mar y Casablanca. Con este proyecto, Casablanca podría tener una opción real de

[20] Enlace del proyecto (revisado por última vez el 23/08/2021): http://www.trentvs.cl/proyecto.

[21] Enlace del proyecto (revisado por última vez el 23/08/2021): https://www.efe.cl/proyectos/alameda-melipilla/.

transporte hacia el posible lugar del NAMZC, en lugar de los buses de acercamiento asumidos para el traslado. El proyecto fue dado a conocer en junio de 2020 y estaba destinado a ser terminado en 2024, de ganar la licitación por la cual debía someterse. El 2021, el MOP congeló los estudios de las propuestas para realizar el proyecto y no se tiene claridad de la reanudación ni de la puesta en marcha de este.

3.8.3.2 Tren Melipilla – Estación Central

Este proyecto diseñado por la Empresa de los Ferrocarriles del Estado (EFE) fue aprobado en 2019 y la construcción de este comenzó a fines de 2020. El proyecto consiste en la construcción de una línea de tren desde Santiago hasta la ciudad de Melipilla. La relación del Tren Melipilla – Estación Central con el NAMZC es que como paradas intermedias considera a Peñaflor y Talagante. Ambas correspondientes a comunas que se ubican dentro de la provincia de Talagante. La primera es la más cercana a la ubicación preliminar del aeropuerto en la provincia, por lo que representa una opción de conectividad real como proyecto complementario al NAMZC. Además, el tren sustituye al bus de acercamiento supuesto en la sección anterior para completar el tramo de transporte público hacia el aeropuerto. El tiempo de viaje hacia Malloco (estación que se ubicaría en Peñaflor, por lo tanto, la más cercana a la ubicación preliminar NAMZC) es de 21 minutos. Por lo que al tiempo anterior sólo haría falta agregarle el tiempo de viaje en Metro de Santiago hacia la Estación Central.

Con este último punto se termina el análisis de la variable de conectividad a Santiago, como también se termina la evaluación de las zonas en base a las variables propuestas. En el siguiente capítulo, se resumirán los hallazgos encontrados por variable y se determinará qué zonas tienen condiciones para albergar un aeropuerto. Además, se realizará un análisis de localización relativo a estudiar qué zonas son más recomendables para el emplazamiento de acuerdo con las variables estudiadas en el presente trabajo. Esto comprende al último punto del desarrollo que se debe cubrir según lo propuesto.

3.9 Resultados finales

Como última parte del desarrollo, se exponen los resultados encontrados por cada variable en las zonas de estudio. Una vez realizada la evaluación, se descartan las zonas del sector costero de Concón y Quintero y el sector de Casablanca, dado que no cumplieron los requisitos requeridos por las variables de orografía ni de cumplimiento de las superficies de protección respectivamente. El detalle de la exclusión de estas zonas se encuentra en las secciones 3.5.1.1 y 3.6.1.3 de este documento. Por lo tanto, las tres zonas restantes fueron evaluadas con las 5 variables establecidas. En primera instancia, se describen el grado de cumplimiento de cada una de estas variables en las tres zonas de estudio.

Después de eso, se realiza una clasificación de las alternativas de localización según su factibilidad. Esto permite recomendar ciertas zonas para emplazar el NAMZC mediante el análisis de las variables estudiadas y otros factores objetivos. Se integra esta recomendación adicional dado que, como se publica en el libro Preparación y Evaluación de Proyectos (Sapag Chain, y otros, 2014), la decisión de localizar un determinado proyecto "es una decisión de largo plazo con repercusiones económicas importantes" (Sapag Chain, y otros, 2014). En el texto mencionado, se muestra el modelo Brown & Gibson presentado en el marco teórico del estudio, que es utilizado para estudios de localización en la evaluación de proyectos generales. Una vez decidida la zona recomendada, en tercera instancia se exponen los puntos a tener en consideración tanto favorable como desfavorablemente de la ubicación mejor evaluada.

3.9.1 Resultados por Variables

En este punto del estudio ya se puede determinar que existen tres zonas propuestas por la DAP que cumplen con las variables estudiadas. La provincia de Talagante, la provincia de Maipo y la cuenca del valle de Rancagua cumplen con las condiciones evaluadas en este trabajo. Por lo tanto, considerando la proyección de pasajeros de AMB, se puede afirmar que se cumplirán las condiciones necesarias para emplazar un segundo aeropuerto en la macrozona central de Chile, entre el 2025 y 2035, de acuerdo con la hipótesis planteada en la sección 1.2 del capítulo 1.

Ahora bien, siguiendo los lineamientos en que están confeccionados los estudios de localización analizados, se debe realizar una recomendación de la zona o las zonas que mejor desempeño poseen en la evaluación de las variables. Para esto, se procede a comparar las tres zonas factibles para

emplazar el NAMZC en conformidad con las variables evaluadas. Si bien, las variables fueron medidas en términos cuantitativos conforme a los estándares de cada una, estas mediciones se pueden interpretar como el grado de cumplimiento de una zona en comparación con otra en términos de cada variable. De esta manera es posible clasificar las zonas y concluir en cuál es más factible cumplir con las condiciones establecidas.

Comenzando por la primera variable. El viento predominante resultó factible para todas las zonas. En términos del factor de ocupación de la pista, todas las zonas superaron el 95% aunque con distinto porcentaje de cumplimiento. La provincia de Talagante tuvo un 100% de cumplimiento con este factor en los 5 años de observaciones recopiladas. La provincia de Maipo cumplió con un 99,99% del factor, en 3 años efectivos de muestras recogidas. La cuenca del valle de Rancagua también posee 5 años efectivos de observaciones, y cumple con 99,78% de factor de ocupación de pista. En cuanto a la variabilidad del viento, las diferencias entre las zonas se vuelven más sustanciales. La zona de Rancagua posee una mayor claridad del viento predominante, dado que, en los 5 años de muestra, el viento predominante tuvo procedencia desde el sur un 61% del tiempo. Le sigue la provincia de Talagante, cuya procedencia del viento fue principalmente desde el suroeste un 38% del tiempo. Finalmente, la provincia de Maipo posee una mayor variabilidad con respecto a las demás, producto de que la procedencia norte del viento ocurrió un 26% del tiempo, como también se registró vientos desde el oeste y desde el sudeste un 20% y 14% del registro respectivo. Estas direcciones distan unas de otras de manera equivalente, lo que tiene implicancias como utilizar ambos sentidos de pista según la dirección del viento, por ejemplo. Además, los vientos provenientes del oeste tienden a tener intensidades mayores a 5 nudos. Por lo que existe la posibilidad de que se cancelen las operaciones en la zona producto de vientos superiores a 13 nudos, los cuales tienden a provenir desde el oeste y noroeste. Con estos datos se puede concluir que la primera preferencia en esta variable recae en el emplazamiento en Rancagua. La provincia de Talagante, por lo tanto, queda como la alternativa en segunda preferencia y finalmente la provincia de Maipo le sigue como última opción.

La segunda variable concierne a la orografía de las ubicaciones. En esta variable, el único punto de comparación estudiado es el desnivel que posee la pista preliminar en cada ubicación. Las tres zonas de estudio que se analizan cumplen con el máximo desnivel recomendado por la OACI para los largos de pista correspondientes. Ahora bien, la provincia de Maipo posee un desnivel de 120

pies (37 metros aprox.) a lo largo de su pista, el cual es el máximo admitido en la variable. Las otras zonas cumplen el desnivel permitido con mayor holgura. La provincia de Talagante presenta un desnivel longitudinal de 90 pies (27 metros), mientras que la cuenca del valle de Rancagua tiene 70 pies (21 metros) de desnivel longitudinal en la pista preliminar. Tomando en cuenta lo anterior, la ubicación que tiene preferencia en esta variable corresponde a la zona de Rancagua en primer lugar, luego la provincia de Talagante, y en última preferencia la provincia de Maipo.

La tercera variable pertenece al cumplimiento de las superficies de protección de los procedimientos tentativos de aproximación final y aproximación frustrada. Esta variable es la que posee la mayor cantidad de aristas a evaluar si se quiere comparar las zonas de estudio. Los puntos por comparar son: la altura de decisión del procedimiento con respecto a la altitud de la pista, el largo total del procedimiento de aproximación, la separación del punto de aproximación frustrada (MAPt) con respecto al umbral de pista y las gradientes de ascenso y descenso. Algunos criterios se pueden comparar con la desviación que obtuvieron en las zonas respecto al estándar por normativa. Por ejemplo, el caso óptimo es que la posición del MAPt sea sobre el umbral de la pista evaluada, que el tramo total de la aproximación mida 15 millas náuticas[22], y que las gradientes de descenso y ascenso correspondan a 5,2% y 2,5% respectivamente. Por su parte, la altura de decisión será un aspecto que se comparará directamente entre las alternativas. La Tabla 3-4 muestra un resumen de los resultados de la evaluación de esta variable, en los casos de las tres zonas de estudio de localización preliminar.

[22] En caso de no coincidir con la distancia óptima, se preferirá aquellos procedimientos que extiendan la distancia por sobre los que la reduzcan. Se entiende que una mayor distancia significa una menor exigencia para la tripulación y la aeronave con respecto a un tramo de menor distancia que el óptimo.

Criterio	Talagante Umbral 22	Talagante Umbral 04	Maipo Umbral 36	Maipo Umbral 18	Rancagua Umbral 18	Rancagua Umbral 36
Altura de decisión (ft)	748	1.400	640	940	1.410	1.150
Distancia de APCH (NM)	15,00	14,10	18,41	15,00	15,00	13,75
Separación del MAPt (NM)	-	0,90	-	1,57	4,30	-
Gradiente de Descenso	5,1%	5,1%	5,1%	5,1%	5,1%	6,1%
Gradiente de Ascenso	3,7%	4,5%	2,5%	2,5%	3,9%	2,5%

Tabla 3-4: Comparación de procedimientos en las zonas de estudio tentativas.

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la altura de decisión, las más bajas corresponden a la de la provincia de Maipo. La altura de la pista inversa de esta zona (umbral 18) es mayor que la de la pista principal de la provincia de Talagante (umbral 22). Pero el umbral 04 de Talagante tiene una altura un 49% más grande que la primera, y un 87% mayor a la principal de Talagante. Rancagua es la zona que posee las alturas de decisión más elevadas, teniendo en cuenta que la primera y tercera mayor altura pertenecen a la zona. Con respecto al largo del tramo total de aproximación (nombrado como “Distancia de APCH” en la Tabla 3-4), La provincia de Maipo presenta una longitud estándar y otra más extensa, la provincia de Talagante tiene un tramo de longitud estándar y otro más reducido que el estándar. En cuanto a Rancagua, la pista principal (umbral 18) posee una longitud estándar, mientras que la otra posee el tramo más corto de todas las opciones. El tercer criterio es la separación entre el MAPt y el umbral de pista respectivo. Las tres alternativas poseen el MAPt sobre el umbral en uno de los procedimientos de cada una. En Talagante, el MAPt separado se encuentra a 0,9 millas náuticas, mientras que, en la provincia de Maipo, el MAPt se separa por 1,57 millas náuticas en el procedimiento del umbral 18. En el procedimiento del umbral 18 de Rancagua, el MAPt se encuentra separado por 4,3 millas náuticas. Por último, con respecto a las gradientes de ascenso y descenso, la segunda gradiente varió del estándar únicamente en un procedimiento de la zona de Rancagua. En cuanto a la gradiente de ascenso, la provincia de Maipo mantuvo la gradiente estándar en ambos de sus procedimientos, mientras que la zona de Rancagua también mantuvo la gradiente estándar para la pista 36. La provincia de Talagante presentó la mayor gradiente de ascenso, siendo de un 4,5% aproximadamente. La zona de Rancagua presentó una pendiente de

3,9% aproximadamente para la pista 18, la cual es menor a la pista inversa de la provincia de Talagante (umbral 04) pero mayor que la de la pista principal (umbral 22).

Teniendo en cuenta los resultados de la evaluación expuestos anteriormente, la provincia de Maipo surge como la zona predilecta en lo relativo a esta variable. Esta zona resulta ser más parecida a los procedimientos estándar en 3 de los 5 criterios expuestos. La separación entre el MAPt y el umbral es el único criterio por el cual preferir la provincia de Talagante por sobre la de Maipo. Además, la gradiente de descenso se considera sólo como criterio apto para discriminar a la zona de Rancagua, pues las demás mantuvieron la gradiente estándar en la aproximación. Posteriormente, correspondería ubicar a la provincia de Talagante en segundo lugar de preferencia. La zona de Rancagua queda desplazada al tercer lugar de prioridad, dado que la gradiente de ascenso es el único criterio de los 5 que hace preferir esta zona por sobre la de la provincia de Talagante.

Una vez analizados los resultados de la variable del espacio aéreo, la cuarta variable por comparar concierne al impacto ambiental. Los resultados concedidos por evaluación de las zonas muestran que las tres cumplen el requisito de no ocupar zonas de humedales o zonas de riesgo o protección ambiental. Las ubicaciones de las pistas también están libres de registros de incendios forestales. Por lo tanto, sólo existe un método de discriminar las alternativas, correspondiente a los sectores residenciales que atraviesan las pistas en cada zona. Otro factor determinante puede ser la cercanía con ciudades cercanas, que impacte negativamente por el ruido de las operaciones aeroportuarias[23]. Para realizar dicha observación, se deben examinar si algunas ciudades interceptan una extensión imaginaria del eje longitudinal de la pista. Analizando las zonas de estudio, el eje de pista de Rancagua está dirigido hacia ciudades ubicadas en al norte (Codegua) y sur (Machalí) de la pista, por lo que podrían resultar afectadas por el potencial ruido del aeropuerto. La pista de la provincia de Talagante se ubica en grandes predios comparados con el resto de las alternativas, pero

[23] Si bien, esta no fue una variable que se consideró en el presente estudio, se tiene información de la DAP que el área perjudicada por el ruido de un aeropuerto consta de una extensión longitudinal de la pista, más que la extensión lateral de esta. Por lo que, para distinguir una mejor alternativa, se debe poner atención a aquellas ciudades que interfieran con una extensión imaginaria del eje de la pista. Se realiza este análisis para contar con un criterio adicional al momento de definir las preferencias en lo que concierne al impacto ambiental.

pertenecen a zonas catalogadas como residenciales en su mayoría. La pista en la provincia de Maipo se ubica paralelamente a la ciudad de Buin, y no atraviesa zonas residenciales. La extensión de su eje alcanza pequeñas zonas pobladas. Considerando lo anterior, los mejores resultados provienen del último emplazamiento expuesto, la provincia de Maipo. A la zona anterior le sigue la cuenca del valle de Rancagua, dado que la construcción de la pista tampoco interfiere con zonas habitacionales, pero el impacto del ruido podría alcanzar a las ciudades de Codegua y Machalí. La provincia de Talagante queda en tercer lugar de preferencia, dado que su emplazamiento implica necesariamente la expropiación de terrenos y predios al sudeste de la ciudad de Peñaflor, estando catalogados como zonas pobladas.

Finalmente, la Conectividad con Santiago comprende la última variable por comparar las alternativas. En lo relativo a la distancia desde las localizaciones hacia Santiago y AMB, hay una clara preferencia en favor las provincias por sobre la cuenca del valle de Rancagua. La distancia hacia Santiago es equivalente entre las provincias de Talagante y Maipo, y esta distancia representa un 45% de la distancia entre la localización en el valle de Rancagua y Santiago. Con respecto a la distancia a AMB la proporción se mantiene similar, aumentando las distancias desde AMB a la provincia de Maipo y Rancagua, pero acortándose con la provincia de Talagante. Con respecto al tiempo de traslado, el traslado en transporte privado sigue la misma tendencia que las distancias en cuanto a ser favorables para las provincias, con tiempos de 48 y 43 minutos de traslado hacia las provincias de Talagante y Maipo respectivamente, a diferencia de los 82 minutos de demora hacia el valle de Rancagua. Pero las diferencias en tiempo de traslado en transporte público se hacen considerables. En la provincia de Maipo, sólo demora 2 minutos más que en transporte público (45 minutos). El transporte público a Talagante corresponde a 30 minutos más que el de la provincia de Maipo, y a su vez, el transporte público a Rancagua 24 minutos más que hacia la provincia de Talagante. Al momento de decidir las preferencias, es notorio que el emplazamiento en Rancagua queda como última prioridad. Y dado que el tiempo de traslado en transporte público representa la mayor de las diferencias, se le otorga mayor predilección al emplazamiento en la provincia de Maipo, por sobre el de la provincia de Talagante, en cuanto a la variable de conectividad con Santiago.

Con esto finalizan los resultados por variables, para dar paso a la clasificación de las alternativas en la siguiente sección según el método mencionado anteriormente.

3.9.2 Propuesta de localización

En la sección anterior se expusieron los resultados de las zonas en cada variable estudiada. A modo de resolver objetivamente qué zonas tuvieron mejor desempeño, se interpretarán los resultados expuestos en la sección 3.9.1 como preferencias subjetivas del modelo de Brown & Gibson. La aplicación del modelo fue hecha acorde a lo presentado en el libro Preparación y evaluación de proyectos (Sapag Chain, y otros, 2014). El texto aclara que, en términos de factores objetivos, generalmente se consideran costos asociados a la localización. Si bien, en el presente estudio no se consideraron factores económicos, existe una manera de simplificarlos. El sitio web Habitissimo[24] publica los precios promedios, mínimos y máximos de trabajos de nivelación de tierra por provincia. De acuerdo con los factores supuestos para definir el largo de pista, el terreno escogido se debe nivelar para que la pista del aeropuerto tenga nula pendiente longitudinal. Por esta razón, y considerando que la pista del aeropuerto consiste en más de 170.000 m^2, es que se asumirá que los costos de nivelar el terreno corresponden al precio más alto registrado en la página web. Producto de que este factor económico del modelo consiste en una suposición hecha fuera del foco del presente trabajo, es que los factores subjetivos tendrán una mayor ponderación relativa que el factor objetivo. A juicio del evaluador, se estima que los factores subjetivos se valorarán más que los factores objetivos en relación veinte a uno.

En cuanto a la preferencia entre las variables subjetivas, tendrá primera prioridad el cumplimiento de las superficies de protección. Tal como se dijo en la Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Infraestructura Aeroportuaria (Ministerio de Desarrollo Social y Ministerio de

---

[24] Correspondiente a una página web hecha para solicitar presupuestos de trabajos como movimiento de tierras, pozos y nivelaciones de terreno. Los enlaces (revisados por última vez el 23/08/2021) cuentan con datos de los precios promedios realizados en ciertas provincias de Chile. Estos datos son el precio promedio, más bajo y alto que han costado la nivelación de los terrenos en cada provincia. Se aclara que la zona de Rancagua pertenece a la provincia de Cachapoal. Para efectos del cálculo del modelo Brown & Gibson, se considerará el precio máximo publicado para cada zona, en pesos chilenos.

Provincia de Maipo: $4.500.000 https://www.habitissimo.cl/presupuesto/nivelar-terreno/maipo.

Provincia de Talagante: $10.000.000 https://www.habitissimo.cl/presupuesto/nivelar-terreno/talagante.

Provincia de Cachapoal (Rancagua): $10.000.000 https://www.habitissimo.cl/presupuesto/nivelar-terreno/cachapoal.

Obras Públicas, 2014), la geografía en Chile es compleja y se le debe poner especial atención en términos de localización de infraestructura. Por la misma razón, se opta por la orografía en segundo lugar. En tercer lugar, se propone la dirección del viento, ya con esta variable se completan los tres primeros lugares con variables determinantes para el emplazamiento y operatividad de un aeropuerto. Por último, se propone que exista indiferencia entre las variables restantes, siendo estas el impacto ambiental y la conectividad con Santiago.

Con respecto a las preferencias de la zona, éstas fueron señaladas en la sección 3.9.1 anterior a esta. En dicho apartado, se constata la preferencia que hay entre un emplazamiento y otro por cada variable estudiada. Cabe destacar que, si bien las ponderaciones o preferencias entre una zona y otra se hacen a juicio del evaluador, el juicio está fundado en razones cuantitativas y cualitativas objetivas a partir de los resultados obtenidos en las secciones anteriores del capítulo.

En el apéndice M: Modelo Brown & Gibson se detallan los pasos realizados en la construcción del modelo. Los resultados finales se exponen en la Tabla 3-5 a continuación:

MPL Talagante	0,300
MPL Maipo	0,371
MPL Rancagua	0,329

Tabla 3-5: Medidas de preferencia de localización (MPL) para las tres zonas finales de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3.9.3 Recomendaciones finales

A raíz de los resultados de la sección anterior, se escoge a la provincia de Maipo como recomendación principal para el emplazamiento del NAMZC. La cuenca del Valle de Rancagua queda como recomendación en una segunda instancia. El principal factor que logró que la provincia de Maipo tuviera una mayor medida de preferencia de localización es la factibilidad del espacio aéreo. Esta variable es la que mayor relevancia toma de las 5, y la mejor evaluada fue la provincia de Maipo. Los demás puntos fuertes de esta zona con mayor puntaje son los de menos relevancia, como el impacto ambiental, la conectividad con Santiago y el precio de la nivelación del terreno. Por otro lado, el punto más desfavorable es la orografía, la cual puede complicar la construcción de la pista.

La cuenca del Valle de Rancagua destaca en el resto de las variables, siendo la predominancia de los vientos y la orografía. En los demás factores, se mantiene como la última opción, con la excepción del impacto ambiental donde posee la segunda preferencia.

Se sugiere estudiar ambas localizaciones. El principal desafío de la provincia de Maipo es lograr un precio de nivelación del terreno tan barato en comparación con las demás alternativas, considerando que es la zona que mayor desnivel del suelo presenta. Pero en términos cualitativos, es la mejor zona para diseñar los procedimientos de aproximación. Lo cual es un beneficio según la normativa estudiada. La cuenca del Valle de Rancagua presenta variaciones importantes en 4 de los 5 aspectos de diseño de los procedimientos de aproximación con respecto al estándar. Siendo éstos los que más se alejan del estándar en comparación con las demás alternativas. La otra variable peor catalogada corresponde a la conectividad con Santiago, debido a que tanto sus distancias en carretera como los tiempos de traslado son los mayores registrados entre las zonas. Por tal razón, el gran desafío de esta segunda recomendación es simplificar los procedimientos de aproximación y aproximación estándar. Dicho de otro modo, diseñarlos con una menor exigencia. Otro punto que se recomienda considerar es la disminución del tiempo en traslado hacia la zona en transporte público y privado. Finamente, tanto la provincia de Maipo como la zona de Rancagua tuvieron buenas evaluaciones en relación con el impacto ambiental. Los terrenos utilizados para el emplazamiento preliminar corresponden a terrenos agrícolas, los cuales se recomienda expropiar para llevar a cabo el proyecto. Esto no fue materia de estudio y se recomienda seguir investigando este ámbito. Según el anexo N: Indemnización a comunidades afectadas, tanto las propiedades habitacionales como los terrenos agrícolas identificados en este estudio poseen implicancias en los costos de la expropiación.

Con estas sugerencias se finaliza el capítulo 3 del presente trabajo, terminando el desarrollo de este y completando los pasos planteados en la propuesta metodológica. El siguiente apartado comprende las conclusiones de la tesis, se plasma la postura sobre la hipótesis y se realizan las recomendaciones y reflexiones finales sobre el tema abordado.

Conclusiones y Recomendaciones

Inicialmente, se concluye del presente trabajo que la hipótesis planteada al inicio queda confirmada en tres de las zonas de estudio. La hipótesis consiste en la ratificación de condiciones para emplazar un segundo aeropuerto en la macrozona central de Chile. Evaluadas 5 variables definidas en base a estudios anteriores, normativa y experiencia internacional, se llega a la conclusión de que las zonas de la provincia de Talagante, Maipo y la cuenca del valle de Rancagua poseen estas condiciones para albergar el NAMZC. La puesta en servicio de este aeropuerto puede ser necesaria en 2028, una vez se alcance la capacidad de demanda de pasajeros diseñada para las ampliaciones del aeropuerto de Santiago (AMB).

Los objetivos del trabajo, relacionados a comprobar la viabilidad del emplazamiento, fueron cumplidos de manera satisfactoria para establecer una postura frente a la hipótesis. El primer objetivo específico tiene relación con la determinación de las variables esenciales. Si bien, se logró mediante la revisión de estudios anteriores y normativa, los casos internacionales sólo aportaron para la definición de distancias aceptables entre los aeropuertos y la ciudad. Además, las variables definidas en este estudio representan un 35% de las variables consideradas en los estudios de localización. Se considera aceptable tal cumplimiento al tratarse de un estudio básico llevado a cabo por un investigador, en comparación con estudios realizados por consultores privados, con equipos de trabajo, metodologías definidas y mayor cantidad de fuentes de información. El segundo objetivo específico está relacionado con la proyección de pasajeros anuales realizada en AMB. Se tenía en cuenta que los proyectos complementarios de conectividad iban a influir en la factibilidad temporal del emplazamiento. Pero al tener sólo dos proyectos anunciados, además de estar paralizados por la contingencia nacional, se concluye que ellos no influyen en gran medida sobre la fecha para requerir la construcción del nuevo aeropuerto.

La metodología utilizada dio buenos resultados para comprender la teoría que envuelve al tema y su posterior desarrollo. Una vez confirmada la hipótesis establecida, se puede concluir que el alcance seleccionado ha permitido reunir información clave para la comprensión del tema y la construcción del estado del arte. Esta información fue geográfica y temporalmente idónea. Por otro lado, este estudio da cuenta del aporte que tiene el proyecto a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Tal como se expone en el alcance del documento, la construcción del nuevo aeropuerto

significa una inversión en una industria que genera un valor agregado a la economía del país. Según la IATA, la industria aérea y del turismo aportó $2,8 millones de dólares en valor agregado bruto al PIB de Chile, por lo que cabe la posibilidad de cumplir con el aumento de PIB en el sector y la promoción de turismo sustentable. También contribuye en la generación de empleo de la industria y aumenta la proporción de personas con acceso al transporte. Estos puntos los cubren 4 objetivos de desarrollo, los cuales son: Trabajo decente y crecimiento económico, Industria, innovación e infraestructura, Ciudades y comunidades sostenibles y Producción y consumo responsable.

En cuanto al segundo capítulo del estudio, se concluye que la construcción de un segundo aeropuerto es nueva para el marco legal chileno. Comparada la norma chilena con la estadounidense, no se posee la experiencia necesaria, y por lo tanto no hay normativa específica al respecto de aeropuertos de alivio. En el caso de ciudades con más de un aeropuerto en otros países del mundo, la nueva terminal es la que termina acaparando la mayor parte del tráfico, y la demanda se distribuye de manera definida entre éstos (entre vuelos nacionales e internacionales). El caso de Chile corresponde a un plan inverso, pues se desea deja a AMB como el principal aeropuerto. En Chile, además, hay un aeródromo operativo que se está dentro de las zonas propuestas por la DAP para la localización del NAMZC, correspondiente al aeródromo de Viña del Mar. En cuanto a otra terminal ubicada en Santiago, el ex aeródromo de Los Cerrillos, los estudios y percepciones establecen que no es posible una reapertura por los proyectos inmobiliarios llevados a cabo en las cercanías.

El tercer capítulo comenzó con la recopilación de las variables de otros estudios de localización. A la hora de definir los parámetros para este estudio, se creó una figura del tipo de operaciones que recibiría el nuevo aeródromo de la macrozona central. Se consideró albergar vuelos regionales con aeronaves de mediano alcance, lo que ya supondría un alivio importante a las operaciones de AMB. Para efectos de la normativa y la definición del largo de pista, se consideraron aeronaves de clase 4C según la clasificación de la OACI. Estas aeronaves conforman el 67% de las operaciones de transporte de pasajeros nacionales en AMB, y el 53% en el transporte internacional.

En cuanto a la proyección del tráfico de pasajeros, AMB ha tenido un sostenido crecimiento en estos últimos años (9,1% anual equivalente) hasta antes de la pandemia de COVID-19. Se estima que el tráfico volverá a los niveles habituales en el mediano plazo. También se expone que, durante el 2018, las pistas de AMB operaron al límite de operaciones por hora. Es probable que, de

localizarse cerca en una segunda ciudad, el NAMZC atraiga demanda por vuelos hacia y desde la segunda ciudad, adicional a la esperada hacia Santiago. Pero la estimación de tales efectos son materia para otro estudio, distinto al foco del presente.

Sobre las variables encontradas, estas corresponden a un buen punto de partida para analizar los emplazamientos probables. Hay ciertas variables que tomaron más relevancia que otras. Específicamente, las relacionadas con la meteorología (dirección predominante de los vientos), la orografía del suelo y el cumplimiento de las superficies limitadoras de obstáculos. En cuanto a la variable de viento predominante, todas las alternativas cuentan con un factor de ocupación de pista mayor al 95%. La orografía descartó la ampliación de la pista del aeródromo de Viña del Mar por incumplir el máximo desnivel permitido en el terreno. La verificación de las zonas de protección en el espacio aéreo permitió descartar la zona de Casablanca, puesto que sólo se podría operar en una de las direcciones de la pista. De la muestra recogida en la variable del viento predominante se observó una variabilidad importante en el viento en Casablanca, un 25,8% del tiempo en la dirección desfavorable. Adicionalmente, las intensidades registradas en la dirección crítica son las de mayor intensidad. La restricción de las operaciones en esa dirección de la pista podría ser más frecuente aún, dado que la información recopilada no comprende el horizonte de tiempo recomendado de 5 años. Por estas razones se opta por el descarte del sector. El impacto ambiental fue decisivo para el emplazamiento de alguna de estas zonas por las áreas de riesgo de inundación y el registro de áreas pobladas del SIMEF. Mientras que la conectividad estuvo acorde a los ejemplos internacionales expuestos con la excepción de la zona del Valle de Rancagua. Todo lo anterior fue resumido en los resultados finales, recomendando localizar el NAMZC en la provincia de Maipo como primera preferencia, y en la cuenca del Valle de Rancagua como segunda.

Finalmente, en esta tesis se ha usado el conocimiento entregado por la Universidad Técnica Federico Santa María en materias como Planificación y Diseño de Aeropuertos, Evaluación de Proyectos Generales, Gestión y Operación de Aeropuertos, Gestión del Espacio Aéreo y Teledetección Satelital. Una forma de continuar la tesis sería realizar evaluaciones al impacto del ruido, considerando la actual evaluación de ruido de AMB como parámetro, por ejemplo, o los costos de expropiaciones del terreno o indemnizaciones a las comunidades afectadas. Otros ejemplos de factores que se pueden sumar corresponden al nivel de visibilidad de la zona por niebla e interferencias aeronáuticas presentes en las localizaciones.

Bibliografía

24 Horas. 2020. Construcciones en aeropuerto Nuevo Pudahuel estarían listas para fines del 2021. *Nacional.* [En línea] 09 de Agosto de 2020. [Citado el: 10 de Agosto de 2020.] https://www.24horas.cl/nacional/construcciones-en-aeropuerto-nuevo-pudahuel-estarian-listas-para-fines-del-2021-4377480.

ABC Toledo. 2006. Ecologistas dice que la ZEPA de Torrijos justifica el aeropuerto de forma «torticera». *Sitio web de ABC Toledo.* [En línea] 23 de Agosto de 2006. [Citado el: 19 de Julio de 2021.] https://www.abc.es/espana/castilla-la-mancha/toledo/abci-ecologistas-dice-zepa-torrijos-justifica-aeropuerto-forma-torticera-200608230300-1422981238245_noticia.html.

Administración Nacional de Aviación Civil Argentina. 2021. Tablas Movimientos y Pasajeros 2001-2019. *Estadísticas.* [En línea] 2021. [Citado el: 21 de Abril de 2021.] https://datos.anac.gob.ar/estadisticas/.

Administración Nacional de Aviación Civil. 2021. Tabla Movimientos y Pasajeros 2019 - 2021. *Estadísticas.* [En línea] 2021. [Citado el: 21 de Abril de 2021.] https://datos.anac.gob.ar/estadisticas/.

AENA. 2021. Estadísticas de tráfico aéreo. *Sitio web de Aena.* [En línea] Aena SME S.A., 2021. http://www.aena.es/csee/Satellite?Language=ES_ES&c=Page&cid=1113582476721&pagename=Estadisticas%2FEstadisticas&periodoInforme=Anual.

AIP Argentina. 2021. SABE Aeroparque Jorge Newbery. *AD 2. Aeródromos.* [En línea] 17 de Junio de 2021. [Citado el: 15 de Julio de 2021.] http://ais.anac.gov.ar/descarga/aip-608229c0e68ad.

—. 2021. SADP El Palomar. *AD 2. Aeródromos.* [En línea] 17 de Junio de 2021. [Citado el: 15 de Julio de 2021.] http://ais.anac.gov.ar/descarga/aip-608229fa3a0c3.

—. 2021. SAEZ Ezeiza/Ministro Pistarini. *AD 2. Aeródromos.* [En línea] 25 de Marzo de 2021. [Citado el: 15 de Julio de 2021.] http://ais.anac.gov.ar/descarga/aip-60822a11b1877.

Airbus S.A.S. 2005. *A320 AIRCRAFT CHARACTERISTICS - AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING.* Technical Data Support and Services, Customer Services. Francia : s.n., 2005. Plan de mantenimiento y operaciones en aeropuerto.

—. 2005. *A321 AIRCRAFT CHARACTERISTICS - AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING.* Technical Data Support and Services, Customer Services. Francia : s.n., 2005. Plan de mantenimiento y operaciones en aeropuerto.

Álvarez, Mauro. 2019. Los Ángeles recibirá vuelos nacionales durante 2020. [En línea] 12 de Octubre de 2019. [Citado el: 31 de Mayo de 2020.] https://www.diarioconcepcion.cl/ciudad/2019/10/12/los-angeles-recibira-vuelos-nacionales-durante-2020.html.

AMEC - Cade Ingeniería y Desarrollo de Proyectos LTDA. 2013. *Estudio Básico Localización Nuevo Aeródromo Corporativo RM.* Santiago : Dirección de Aeropuertos, 2013. Vol. I.

ARCADIS Geotécnica S.A. 2005. *Anteproyecto Referencial Nuevo Aeropuerto IX Región.* s.l. : DAP, 2005. págs. 6-46, Informe de Emplazamiento - Analisis Cualitativo.

—. 2006. *Estudio de Alternativas.* s.l. : DAP, 2006. págs. 10-16, Informe de Expropiaciones.

—. 2006. *Estudio de Emplazamiento Alternativa Pelales.* s.l. : DAP, 2006. págs. 16-20, Informe de Expropiaciones.

Arsonval M., Emmy. 2016. *Strategic Airport Planning and Marketing.* Chennai : Notion Press, 2016. págs. 20-27. ISBN 978-1-945926-00-6.

Associazione Italiana Gestori Aeroporti. 2021. Statistiche. *Página web de Associazione Italiana Gestori Aeroporti.* [En línea] 2021. [Citado el: 21 de Abril de 2021.] https://assaeroporti.com/statistiche/.

Banco Mundial. 2021. Índices del desarrollo mundial. *Banco de datos.* [En línea] 26 de Abril de 2021. [Citado el: 27 de Abril de 2021.] https://databank.bancomundial.org/reports.aspx?source=2&series=IS.AIR.PSGR&country=CHL#.

Boeing Commercial Airplanes. 2020. 737. *Airplane Characteristics for Airport Planning.* [En línea] Septiembre de 2020. [Citado el: 21 de Julio de 2021.] http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/737_RevA.pdf.

—. 2021. 737 MAX. *Airplane Characteristics for Airport Planning.* [En línea] Febrero de 2021. [Citado el: 21 de Julio de 2021.] http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/737MAX_RevF.pdf.

Camilo. 2019. Alcalde Krause se reúne con director Aeronáutica Civil General para gestionar vuelos nacionales en Los Ángeles. *Noticias Municipalidad.* [En línea] Losangeles.cl, 08 de Julio de 2019. [Citado el: 10 de Agosto de 2020.] https://www.losangeles.cl/alcalde-krause-se-reune-con-director-aeronautica-civil-general-para-gestionar-vuelos-nacionales-en-los-angeles/.

Castañeda Jiménez, Juan. 2011. *Metodología de la Investigación.* [ed.] Ricardo Martín Del Campo Mora. Segunda. Guadalajara : McGraw-Hill, 2011. págs. 75-78. Universidad de Guadalajara. ISBN: 978-607-15-0326-8.

Cid Victoriano, Alejandra O. 1997. *Principios Generales de Expropiaciones y Procedimientos para Obras Viales a Cargo del Ministerio de Obras Públicas.* Concepción : Universidad Técnica Federico Santa María, 1997. págs. 24-35, Trabajo para optar al título profesional de Técnico Universitario en Construcción Civil.

DAP. 2020. Consultoría Anteproyecto Referencial Ampliación y Mejoramiento Aeródromo Viña del Mar. *Ficha de licitación.* [En línea] Julio de 2020. [Citado el: 31 de Marzo de 2021.] https://www.mercadopublico.cl/Procurement/Modules/RFB/DetailsAcquisition.aspx?qs=3AUNwuhv5MKdtVLJFEuTEw==.

—. 2020. Estudio Básico Actualización Plan Maestro Aeropuerto Arturo Merino Benítez de Santiago y Estudio de Localizaicón Nuevo Aeropuerto Macrozona Centro. *Ficha de licitación.* [En línea] 15 de Septiembre de 2020. [Citado el: 31 de Marzo de 2021.] https://www.mercadopublico.cl/Procurement/Modules/RFB/DetailsAcquisition.aspx?qs=7VohR9FyKf8k+4HJATbTRw==.

—. 2011. *Manual de Desarrollo Aeroportuario.* Segunda. Santiago : s.n., 2011. pág. 126.

DGAC. 2017. *Diseño de Aeródromos.* Primera. Santiago : s.n., 2017. pág. 662.

—. 2021. Lista de Aeródromos Terrestres V-W. *Manual AIP Vol. I (Chile).* [En línea] 22 de Abril de 2021. [Citado el: 22 de Junio de 2021.] https://aipchile.dgac.gob.cl/dasa/aip_chile_con_contenido/ais/3%20AD%20Parte%203/AD%203%20Relacion%20AD/vAD%203.9-11.1-%20AD%20PUB%20PVT%20MIL%20V-W.pdf.

—. 2021. Manual AIP - CHILE. *Volumen I.* [En línea] 22 de Abril de 2021. [Citado el: 23 de Junio de 2021.] https://aipchile.dgac.gob.cl/dasa/aip_chile_con_contenido/ais/AIP-CHILE%20VOL%20I/AIP%20Completo%20con%20AMDT%2051%2022%20Abril%202021/AIP%20CHILE%20VOL%20I%20completo%2022%20abr%202021.pdf.

—. 2019. *Plan de implantación de operaciones simultáneas en pistas 17L y 17R del aeropuerto Arturo Merino Benítez.* Sub-departamento Servicios de Tránsito Aéreo. Santiago : s.n., 2019. pág. 6, Publicación AIS. AIC NR 11/2019.

—. 2021. Red Aeroportuaria. *Sitio web de la DGAC.* [En línea] 5 de Marzo de 2021. [Citado el: 03 de Abril de 2021.] https://www.dgac.gob.cl/aeropuertos/red-aeroportuaria-nacional/red-aeroportuaria/.

—. 2005. *Reglamento de Aeródromos.* Segunda. Santiago : s.n., 2005. pág. 211.

—. 1974. *Reglamento Tasas y Derechos Aeronáuticos.* Santiago : s.n., 1974. pág. 38.

Dirección General de Concesiones. 2020. *Segunda Concesión Aeropuerto Arturo Merino Benitez.* [En línea] Santiago, Chile : s.n., 2020.

Dirección General de Obras Públicas. *Proyecto de concesión Aeropuerto Arturo Merino Benítez de Santiago.* Santiago : s.n.

Dirección Meteorológica de Chile. Mapa de Estaciones. *Servicios Climáticos.* [En línea] DGAC. [Citado el: 7 de Mayo de 2021.] https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/informacion/mapaDeEstaciones/.

ENAIRE. 2020. Servicio de Información Aeronáutica. *AIP España.* [En línea] 30 de Enero de 2020. [Citado el: 15 de Julio de 2021.] https://aip.enaire.es/AIP/#END.

Equipo Plataforma Urbana. 2011. Acerca del fallo judicial por terrenos del ex aeródromo Los Cerrillos. *Chile.* [En línea] Plataforma Urbana, 08 de Diciembre de 2011. [Citado el: 01 de Abril de 2021.] https://www.plataformaurbana.cl/archive/2011/12/08/acerca-del-fallo-judicial-por-terrenos-del-ex-aerodromo-los-cerrillos/.

FAA. 2005. Advisory Circular No 150/5325-4B. *Runway Length Requirements for Airport Design.* [En línea] 1 de Julio de 2005. [Citado el: 21 de Julio de 2021.] https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_150_5325-4B.pdf.

—. 2005. Miami Area Airports. *Miami Florida Airports.* [En línea] 2005. [Citado el: 21 de Abril de 2021.] https://www.florida-map.org/airports-miami.htm.

—. 2018. *National Plan of Integrated Airport Systems 2019-2023.* U.S. Department of Transportation. 2018. pág. 62, Reporte de la Secretaría de Transportes al Congreso de los Estados Unidos.

Fernández, Oriana. 2020. Aeródromo de Peldehue entraría en operaciones a fines de 2020. *Nacional. Obras Públicas.* [En línea] La Tercera, 17 de Enero de 2020. [Citado el: 9 de Julio de 2020.] https://www.latercera.com/nacional/noticia/aerodromo-peldehue-entraria-operaciones-fines-2020/977078/.

—. 2020. MOP licita diseño del primer aeropuerto en la comuna de Concón. *Nacional. Quinta región.* [En línea] La Tercera, 19 de Julio de 2020. [Citado el: 2021 de Marzo de 31.] https://www.latercera.com/nacional/noticia/mop-licita-diseno-del-primer-aeropuerto-en-la-comuna-de-concon/YFBMNKTEVFB5TO3MQCO3P3CWUY/.

Fort Lauderdale-Hollywood International Airport. 2021. FLL Historical Airport Traffic. *STATISTICS.* [En línea] 2021. [Citado el: 21 de Abril de 2021.] https://www.broward.org/Airport/Business/about/Pages/Statistics.aspx.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. Datos Geográficos. *Sitio web del Gobierno Regional Metropolitano.* [En línea] [Citado el: 13 de Julio de 2021.] https://www.gobiernosantiago.cl/datos-geograficos/.

González O., Paulo C. 2011. *Formulación de propuestas para aumentar la capacidad de operaciones en AMB.* Ingeniería en Aviación Comercial, UTFSM. Santiago : s.n., 2011. pág. 140, Memoria.

Harter, Pascale. 2012. The white elephants that dragged Spain into the red. *BBC.* [En línea] BBC News, Spain, 26 de Julio de 2012. [Citado el: 19 de Julio de 2021.] https://www.bbc.com/news/magazine-18855961.

Hernan, Patricio. 2016. Edificación en ex aeropuerto de Cerrillos: plusvalías a través de decisiones administrativas. *Blog y Opinión. Noticias.* [En línea] El Mostrador, 19 de Enero de 2016. [Citado el: 02 de Abril de 2021.] Edificación en ex aeropuerto de Cerrillos: plusvalías a través de decisiones administrativas.

Hernández Sampieri, Roberto, Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio, María del Pilar. 2010. *Metodología de la Investigación.* [ed.] Marcela I. Rocha Martínez. Quinta. México D.F. : McGraw-Hill, 2010. págs. 361-369. ISBN: 978-607-15-0291-9.

IATA. 2021. 2020 Caída Histórica de Demanda de Viajes Aéreos. *IATA Press Releases.* [En línea] 03 de Febrero de 2021. [Citado el: 26 de Marzo de 2021.] https://www.iata.org/contentassets/9acb79cb3f2a4243af09f822c72f4355/2021-02-03-02-sp.pdf.

—. 2021. 2021 - 2039 Current Trends. *Tourism Economics Air Passenger Forecasts.* [En línea] Mayo de 2021. [Citado el: 1 de Septiembre de 2021.] https://www.iata.org/contentassets/e938e150c0f547449c1093239597cc18/pax-forecast-infographic-2020-final.pdf.

—. 2021. Air travel rebounded in July, but risks are rising. *Air Passenger Market Analysis.* [En línea] Julio de 2021. [Citado el: 1 de Septiembre de 2021.] https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-passenger-monthly-analysis---july-2021/.

—. 2021. Continúa Quema de Liquidez durante el COVID-19. *IATA Press Releases.* [En línea] 24 de Febrero de 2021. [Citado el: 26 de Marzo de 2021.] https://www.iata.org/contentassets/c8eaaaaa44e84da8a40f78abc8d1e187/2021-02-24-01-sp.pdf.

—. 2019. La importancia del transporte aéreo para Chile. *El valor de la aviación en Chile.* [En línea] 2019. [Citado el: 17 de Mayo de 2021.] https://clac-lacac.org/wp-content/uploads/2020/11/DO-ES-19espCHI-2.pdf.

—. 2020. La recuperación se retrasa ante el continuo bloqueo de los viajes internacionales. *IATA Press Releases.* [En línea] 29 de Septiembre de 2020. [Citado el: 26 de Marzo de 2021.] https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-09-29-02/.

—. 2021. Tráfico de pasajeros se dispara en julio, pero lejos de alcanzar niveles pre-COVID. *IATA Press Releases.* [En línea] 1 de Septiembre de 2021. [Citado el: 2 de Septiembre de 2021.] https://www.iata.org/contentassets/57e9e5f77a5b4a8187c328d40bea1477/2021-09-01-01-sp.pdf.

IDE Chile. 2021. Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile - Inicio. *Sitio web de la IDE.* [En línea] Ministerio de Bienes Nacionales (Chile), 2021. https://www.ide.cl/.

JAC. Estadísticas históricas. *Sitio web de la JAC.* [En línea] [Citado el: 5 de Julio de 2020.] http://www.jac.gob.cl/estadisticas/estadisticas-historicas/.

—. 2020. Informes del número de operaciones realizadas en los aeropuertos y aeródromos de Chile. *Estadísticas históricas.* [En línea] 2020. [Citado el: 10 de Agosto de 2020.] http://www.jac.gob.cl/informes-del-numero-de-operaciones-realizadas-en-los-aeropuertos-y-aerodromos-de-chile/.

Jara, Karen y Zalazar, Camila. 2020. *Entrevista en la DAP sobre proyecto del NAMZC y ampliación de AMB.* Santiago, 10 de Noviembre de 2020.

Jefatura del Estado (España). 2013. Legislación consolidada. *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.* [En línea] 11 de Diciembre de 2013. [Citado el: 22 de Septiembre de 2020.] https://www.boe.es/eli/es/l/2013/12/09/21/con. BOE-A-2013-12913.

Libertad y Desarrollo. 2005. Cerrillos-Portal Bicentenario: ¿Decisión Técnica o Capricho? *Temas Públicos N° 754 de Libertad y Desarrollo.* [En línea] Chicureo.com, 26 de Diciembre de 2005. [Citado el: 10 de Agosto de 2020.] http://chicureo.com/cronica/noticias_generales/2005/12/cerrillos_lyd.shtml#arriba.

Miami International Airport. 2021. Traffic Reports - Yearly. *Airport Statistics.* [En línea] 2021. [Citado el: 21 de Abril de 2021.] http://www.miami-airport.com/airport_stats.asp.

Ministerio de Agricultura de Chile, INFOR, CIREN & CONAF. 2013. Plataforma Simef. *Visualizador de Mapas.* [En línea] 2013. https://simef.minagri.gob.cl/herramientas/visualizador-de-mapas.

Ministerio de Desarrollo Social y Ministerio de Obras Públicas. 2014. *Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Infraestructura Aeroportuaria.* Santiago : s.n., 2014. pág. 171.

Molina O., Macarena X. 2011. *Estudio de localización para aviación general ubicada en Aeropuerto Arturo Merino Benítez.* Universidad Técnica Federico Santa María. Santiago : s.n., 2011. pág. 164, Memoria para optar al título de Ingeniero en Aviación Comercial.

Monasterio Blanco, Fernanda. 2019. El MOP inicia los estudios de un segundo aeropuerto para Santiago. *Economía.* [En línea] 20 de Septiembre de 2019. [Citado el: 30 de Mayo de 2020.] https://www.pauta.cl/economia/gobierno-encargara-estudio-segundo-aeropuerto-Santiago.

MOP. 2021. Red Aeroportuaria Nacional - Humedales. *Sistema de Información Territorial - MOP.* [En línea] ArcGIS, 2021. [Citado el: 18 de Mayo de 2021.] https://sitministerial.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=f219bb4493c94322b7b62742c39e81a8.

Muñoz, José. 2019. Para el 2020 se espera que finalicen las obras de refacción en el aeródromo de Los Ángeles. *Región del Bío Bío.* [En línea] Biobiochile.cl, 12 de Octubre de 2019. [Citado el: 10 de Agosto de 2020.] https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-del-bio-bio/2019/10/12/para-el-2020-se-espera-que-finalicen-las-obras-de-refraccion-en-el-aerodromo-de-los-angeles.shtml.

Newmyer, David A., y otros. 2007. *The importance of Reliever Airports in the USA.* Department of Aviation Management and Flight, Southern Illinois University Carbondale. Carbondale : s.n., 2007. pág. 16.

OACI. 2006. Doc 9157 - Aerodrome Design Manual. *Part 1 - Runways.* Tercera. 2006, Vol. 1, 2, págs. 13-36.

—. 1993. Manual de la Atmósfera Tipo de la OACI. *Tercera edición.* [En línea] 1993. [Citado el: 27 de Julio de 2021.] http://www.aviationchief.com/uploads/9/2/0/9/92098238/icao_doc_7488_-_manual_of_icao_standard_atmosphere_-_3rd_edition_-_1994.pdf.

—. 2014. PANS OPS. Doc 8168. *Aircraft Operations. Construction of Visual and Instrument Flight Procedures.* Sexta. Montréal : s.n., 2014, Vol. II, págs. 111-675.

Pezoa Fuenzalida, Mario. 2018. *Macrozona Central de Chile. Tendencias y desafíos de su crecimiento urbano.* Santiago : UC, 2018. pág. 37, Proyecto FONDECYT.

QuestionPro Inc. 2021. ¿Qué es la investigación explicativa? *Investigación de Mercado.* [En línea] 2021. [Citado el: 13 de Abril de 2021.] https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-

explicativa/#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20explicativa%20se%20llevaba,una%20peque%C3%B1a%20cantidad%20de%20informaci%C3%B3n..

Ramón Vilarasau, Diana. 2012. El tráfico aéreo español entra en recesión. *Sitio web de Hosteltur.* [En línea] Hosteltur, 14 de Mayo de 2012. [Citado el: 19 de Julio de 2021.] https://www.hosteltur.com/184120_trafico-aereo-espanol-entra-recesion.html.

Sapag Chain, Nassir, Sapag Chain, Reinaldo y Sapag Puelma, José Manuel. 2014. *Preparación y Evaluación de Proyectos.* [ed.] Marcela I. Rocha Martínez. Sexta. Santiago : McGraw-Hill, 2014. págs. 151-159. 978-607-15-1144-7.

Secretaría Técnica ODS. Chile Agenda 2030. *Objetivos de Desarrollo Sostenible.* [En línea] Ministerio de Desarrollo Social. [Citado el: 17 de Mayo de 2021.] http://www.chileagenda2030.gob.cl/.

SkyVector. *Airports in Lombardia, Italy.* [En línea] [Citado el: 15 de Julio de 2021.] https://skyvector.com/airports/Italy/Lombardia.

Sociedad Concesionaria Nuevo Pudahuel S.A. 2016. El Proyecto. *Sitio web Nuevo Terminal | Nuevo Pudahuel.* [En línea] 2016. [Citado el: 22 de Junio de 2020.] https://www.nuevopudahuel.cl/TerminalInternacional/el-proyecto.

STANTEC. 2013. *Anteproyecto Referencial Ampliación y Mejoramiento Aeropuerto Arturo Merino Benítez de Santiago.* Santiago : s.n., 2013. pág. 40, Actualización Informe Demanda.

U.S. Department of Transportation. 2021. Fort Lauderdale - Hollywood International Airport. *Airport Master Record.* [En línea] 17 de Junio de 2021. [Citado el: 15 de Julio de 2021.] https://www.airportiq5010.com/5010ReportRouter/FLL.pdf.

U.S. Department of Transpotation. 2021. Miami International Airport. *Airport Master Record.* [En línea] 17 de Junio de 2021. [Citado el: 15 de Julio de 2021.] https://www.airportiq5010.com/5010ReportRouter/MIA.pdf.

U.S. Geological Survey. 2021. GloVis - Home. *USGS Global Visualization Viewer Web site.* [Online] U.S. Department of the Interior, 2021. https://glovis.usgs.gov/.

Yeo, Ghikm-Lay. 2018. Airlines welcome Bogota expansion over new airport (en inglés). *News. FlightGlobal.* [En línea] FlightGlobal, 27 de Noviembre de 2018. [Citado el: 03 de Abril de 2021.] https://www.flightglobal.com/airlines-welcome-bogota-expansion-over-new-airport/130434.article.

APÉNDICE A: Comparación de alternativas

A modo de dar un entendimiento general en estas primeras instancias, se procede a buscar algunas cifras a modo de comprender la magnitud del desembolso fiscal o privado en estos casos. En la indagación se consideraron tres opciones principalmente: La ampliación del aeropuerto de Santiago, la construcción de un aeródromo y la ampliación de un aeródromo pequeño respectivamente. Estas tres medidas pueden ser solución para dar abasto a la demanda de pasajeros que se prevé desde el gobierno. Teniendo en cuenta que el número de pasajeros que albergó AMB en 2019 fue 24.630.742 y que la capacidad de la terminal antes de la ampliación es de 15 millones para un nivel de servicio C[25], es que el aeropuerto de Santiago se considera con falta de capacidad durante ese año. A continuación, se adjunta una tabla con los datos mencionados. Las cifras corresponden a valores en UF[26]:

	Inversión (UF)	Capacidad (Pasajeros)	N° Operaciones 2019	UF por Operación
Ampliación SCL por NP	14.980.000	30.000.000	174.847	85,7
Construcción A. Peldehue	432.374	-	12.359	35,0
Ampliación A. de Los Ángeles	39.295	58.500	4.804	8,2

Tabla A-1: Inverisón necesaria y operación esperada para proyectos contingentes[27].

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Nuevo Pudahuel, Dirección de Aeropuertos, JAC y BDE del Banco Central de Chile.

La inversión de la ampliación de SCL (Código IATA de AMB) por parte de la Concesionaria Nuevo Pudahuel (NP) correspondió a 22.625.767,39 UF en el 2015. La cifra de la construcción del

[25] Para la comprensión de tal nivel de servicio, referirse a la Tabla 2-11 del Marco teórico.

[26] Siglas para Unidad de Fomento, moneda de cuenta chilena reajustable a la inflación.

[27] La cifra de capacidad del aeródromo de Los Ángeles corresponde a los pasajeros que tuvo la aerolínea JetSMART (comprometida a volar hacia Los Ángeles, Chile) durante febrero 2020 a un aeropuerto de similar tamaño como es el de Puerto Natales, cifra que se extrapoló a una cantidad anual. El número de operaciones de Peldehue fue calculado como el 30% de las operaciones que tuvo el aeródromo Eulogio Sánchez durante 2019, al cual pretende aliviar según autoridades chilenas.

aeródromo en la localidad de Peldehue corresponde a la inversión inicial del proyecto[28]. Finalmente, se considera en la tercera opción la ampliación hecha al aeródromo de la ciudad de Los Ángeles (Chile) anunciada el año 2019.

La inversión realizada en Nuevo Pudahuel le significa al aeropuerto de Santiago aumentar su capacidad de pasajeros de 15 millones anuales a 30 millones. Esta ampliación es 52 veces más costosa que la construcción del aeródromo en Peldehue, que a su vez es 12 veces más costoso que la ampliación del aeródromo pequeño en Los Ángeles.

Por último, la última columna de la tabla muestra un índice correspondiente a la relación entre el monto invertido en la ampliación o construcción y la cantidad de operaciones totales del año 2019 en cada terminal. En otras palabras, por cada operación realizada en 2019 se invirtió tal cantidad de UF. Esto muestra en un primer acercamiento que la ampliación del aeródromo es la alternativa más eficaz en cuanto a la utilización de la inversión. Otro aspecto que se desprende de esta columna es que la ampliación del aeródromo de Los Ángeles resulta 4 veces más económica que la construcción del aeródromo de Peldehue, en términos de las UF invertidas por operación que cada uno tuvo.

[28] El aeródromo sufrió complicaciones con su orientación y localización posterior al comienzo de las obras. Lo que exigió una mayor inversión en el proyecto. La cifra que se necesita precisar es la de una inversión necesaria para construir un aeródromo desde cero, por lo tanto, se utiliza la inversión inicial como referencia (Fuente: La Tercera).

APÉNDICE B: Pronóstico de la IATA para el tráfico de pasajeros

Mediante un comunicado en el mes de julio de 2020, Alexandre de Juniac (entonces CEO de la IATA) dejó entrever que los niveles de RPK[29] globales que se alcanzaron en 2019, se alcanzarían durante 2024[30]. Y que serán los vuelos domésticos o nacionales los que se recuperarán con mayor fuerza que los internacionales o de más larga distancia.

Se llega a la conclusión de que los vuelos nacionales sólo corresponden a una tercera parte de los vuelos que en 2019 componían la oferta global. Dada las restricciones impuestas por los países respectivo a sus fronteras, la temporada de verano parece no aportar a la recuperación de la industria aérea. Se insta además a los gobiernos a abrir las fronteras e incorporar protocolos de sanidad propuestos por la OACI para el transporte de pasajeros, de tal manera de otorgarles seguridad a éstos al viajar y fomentar la recuperación de la confianza y los viajes.

El comunicado del 3 de febrero de 2021 (IATA, 2021) empeoró el panorama. No detallando números más allá del corto plazo, la IATA anunció que el comienzo de 2021 trajo una desestimación de sus proyecciones anteriores. Como se muestra en el siguiente, el nivel de RPK proyectados para el 2021 decreció.

---

[29] Siglas en inglés para *Revenue Passenger per Kilometre*, indicador de pasajeros transportados en la industria aérea (Traducido al español: Pasajeros-Kilómetro Rentados).

[30] Esto ya correspondía a un cambio desalentador, pues inicialmente la IATA apuntaba a 2023 como el año donde el tráfico de pasajeros alcanzaría la recuperación de los niveles de 2019.

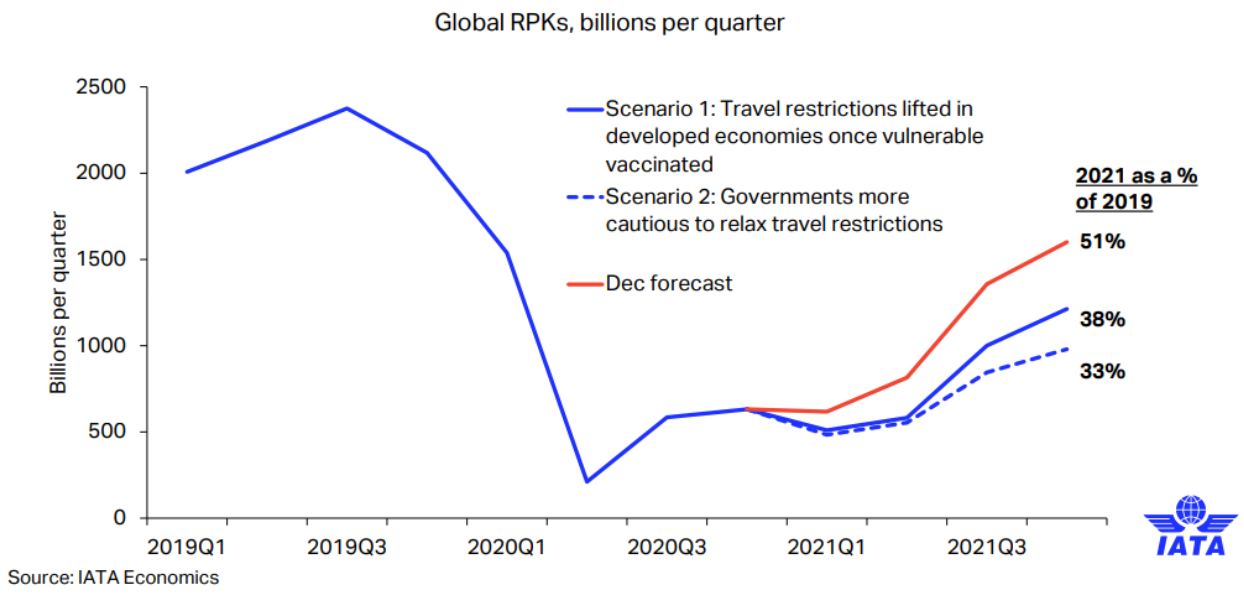

Gráfico B-1: Niveles de RPK globales 2019-2021.

Fuente: Presentación IATA Economics, Airline industry cash burn now expected to continue through 2021.

Si bien este gráfico no corresponde a una predicción directa de los pasajeros que volarán a nivel mundial, utiliza la unidad de RPK en la cual la cantidad de pasajeros se encuentra implícita.

Existen dos escenarios en el reporte, en el cual se explica: "En 2021, IATA prevé una mejora del 50,4% en la demanda de 2020, que situaría a la industria al 50,6% de niveles de 2019, un pronóstico que puede verse seriamente amenazado si aumentan las restricciones de viaje en respuesta a las nuevas variantes del virus. Si tal escenario se materializa, la mejora de la demanda podría limitarse a solo un 13% sobre los niveles de 2020, dejando a la industria en el 38% de los niveles de 2019." (IATA, 2021)

A finales del mismo mes, la IATA también anunciaba que el balance de flujo de caja para las aerolíneas sería positivo para 2022, un escenario peor al anterior que anunciaba que dicho hito tendría lugar a finales de 2021.

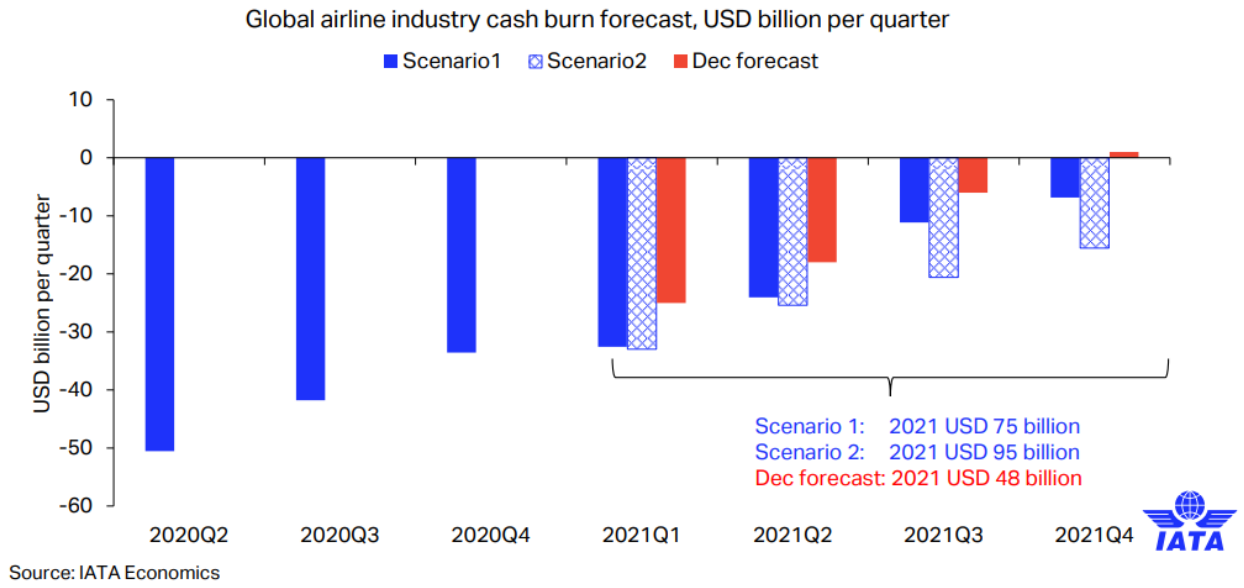

Gráfico B-2: Quema de liquidez, en billones de dólares (USD) por trimestre (2020 y 2021).

Fuente: Presentación IATA Economics, Airline industry cash burn now expected to continue through 2021.

Esta gráfica muestra la comparación en los distintos pronósticos realizados en cuanto a la liquidez de las aerolíneas. La IATA prevé estos datos dada la baja de pasajes reservados a comienzos de 2021 y que este retraso en la recuperación del tráfico les significará a las aerolíneas entre 75 y 90 billones de dólares (USD).

Con las proyecciones mencionadas, la IATA aún sostiene que se alcanzarán los niveles de tráfico que preocupaban a las autoridades en la zona en el mediano plazo, sólo que con el retraso correspondiente a la recuperación del crecimiento. En una infografía (IATA, 2021) publicada por la entidad en mayo de 2021, se muestran las proyecciones de recuperación del tráfico a nivel global y regional.

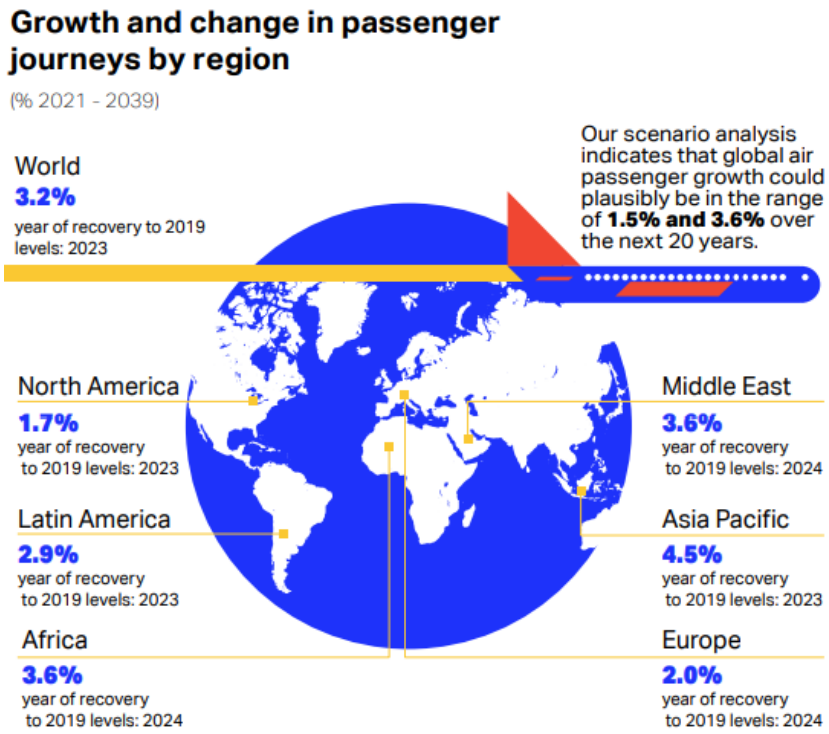

Ilustración B-1: Infografía de las tasas de crecimineto del tráfico de pasajeros y posterior recuperación por región.

Fuente: IATA/Tourism Economics Air Passenger Forecasts (IATA, 2021).

En su comunicado más reciente, la IATA da conocer una recuperación de los niveles de tráfico en julio, pero aún por debajo de los niveles pre pandémicos a nivel global. Se muestran gráficas de las tasas de crecimiento observadas en el tráfico nacional e internacional de los mercados más importantes acorde a la entidad.

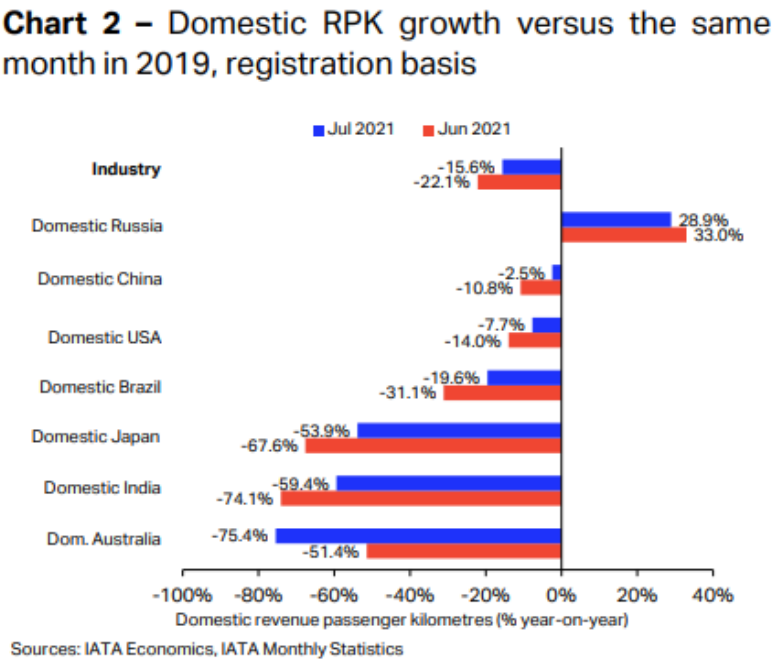

Gráfico B-3: Crecimiento de los niveles de RPK nacionales en julio de 2021 con respecto al mes anterior.

Fuente: Air travel rebounded in July, but risks are rising (IATA, 2021).

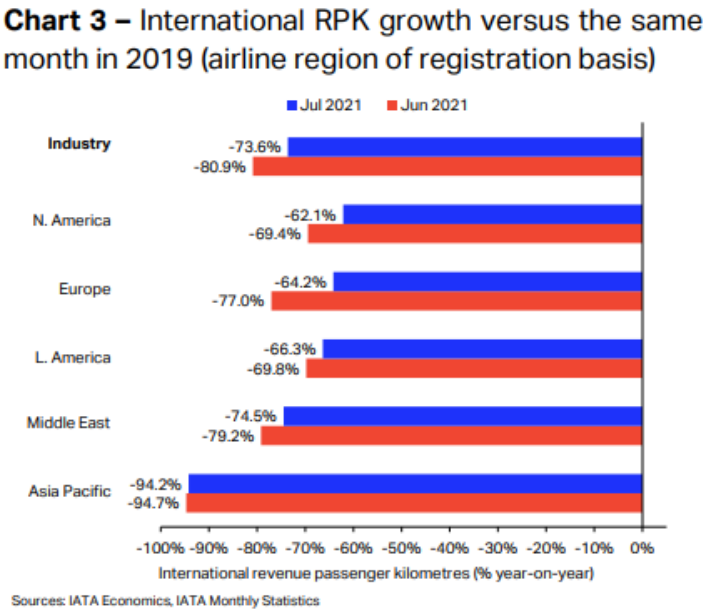

Gráfico B-4: Crecimiento de los niveles de RPK internacionales en julio de 2021 con respecto al mes anterior.

Fuente: Air travel rebounded in July, but risks are rising (IATA, 2021).

APÉNDICE C: Entrevista a expertos

Pregunta 1: ¿Cuál considera usted que es la razón principal para la construcción del Nuevo Aeropuerto de la Macrozona Central?

Respuesta (Jara, y otros, 2020): El aumento de las operaciones en el Aeropuerto Arturo Merino Benítez. Lo anterior se traduce en un aumento en la demanda de pasajeros. Lo crítico no es el colapso de la terminal propiamente tal. Dado el crecimiento de la demanda, es posible que en el futuro el área de movimiento no sea capaz de absorber el crecimiento de las operaciones.

Se consideraba que AMB no se estaba colapsando. Pero la demanda proyectada superó lo proyectado años atrás. En el área de movimiento no hay problemas actualmente, todavía se tiene holgura. Se consideraba que para 2032 ocurriría el colapso del área de operaciones, tomando en cuenta tanto operaciones comerciales y de aviación general en hora punta. El colapso del área de movimientos también se preveía hacia 2037, considerando sólo operaciones comerciales. Estos corresponden a escenarios pre-pandemia.

Pregunta 2: ¿Cuál proyecto en curso (relativo a transportes o medio ambiente) considera crítico para la construcción del NAMZC?

Respuesta: Lo primordial es que el NAMZC tenga buena conectividad, pero no se puede determinar algún proyecto que sea de carácter complementario y crítico para el nuevo aeropuerto. Existen otros proyectos en desarrollo, pero van en beneficio de AMB, el más importante es el Tren ligero para 2027, el cual pretende conectar el aeropuerto con Santiago, Enea y la red de Metro (sería independiente a este último).

Pregunta 3: ¿Poseen una proyección de la demanda de pasajeros propia, algún estimado en porcentaje anual? ¿O consideran que el pronóstico de la IATA es lo más certero?

Respuesta: A este momento, se ocupa lo que dice la IATA. Aún se es muy pronto para una proyección de la demanda. Parte del estudio de prefactibilidad es realizar una proyección de la demanda.

Pregunta 4: ¿Qué opinión poseen respecto de la construcción de una tercera pista en AMB? ¿Es viable junto con nuevas ampliaciones?

Respuesta: En la actual licitación de Estudio de Prefactibilidad se considera el caso. En el plan maestro actual de AMB no se contempla una tercera pista, si no una nueva calle de rodaje paralela. Esta versión del plan maestro se analizó hace 10 años.

Pregunta 5: ¿Cuál es su visión acerca de la factibilidad social del NAMZC?

Respuesta: En términos de cantidad de pasajeros, se abarcará más demanda de la actual de AMB.

Pregunta 6: ¿Qué características del entorno deben existir para que se concrete la construcción del NAMZC?

Respuesta: El punto más crítico es la factibilidad técnica, específicamente la localización. La geografía es la más complicada para encontrar lugares. En segundo lugar, la meteorología, en términos de vientos predominantes. La condición ideal es tratar de que sean en una misma dirección la mayor parte del año. Ambos aspectos van de la mano. Lo que más crítico es juntar ambas condiciones.

Otro punto importante corresponde a la expropiación de terreno. Esto de acuerdo con el nivel de urbanización que posea el terreno.

Pregunta 7: ¿Qué composición estiman que tenga el NAMZC (sólo destinado a carga, vuelos nacionales, aerolíneas Low-Cost)?

Respuesta: No existe claridad, sólo se cree que la carga se quedaría en AMB, al igual que los centros de mantenimiento de las aerolíneas. Se debe esperar los resultados del estudio. Las empresas de carga ya están establecidas en el aeropuerto Arturo Merino Benítez. Dadas las complicaciones que existen en plantear un traslado de las instalaciones dentro del aeropuerto, es difícil que se puedan “mudar” a otro aeropuerto.

Además, 60% de la carga en Chile se mueve en operaciones comerciales, por lo que un aeropuerto de vuelos netamente cargueros pareciera no ser viable. Por último, se han hecho hartas inversiones en las empresas de carga que aún no se rentabilizan en AMB.

APÉNDICE D: Aerolíneas, aeronaves y destinos de AMB

De acuerdo con la información de la bitácora de la DGAC 2018, se obtienen los siguientes gráficos que dan cuenta de la composición de cada aspecto en AMB. Estos gráficos se obtuvieron a partir de la cantidad de operaciones realizada en cada categoría durante el año mencionado.

En el transcurso de 2018, 167.161 operaciones tuvieron lugar en AMB. La gran mayoría de éstas correspondió a operaciones de transporte de pasajeros, siendo un 43% de vuelos internacionales y el restante 57% de vuelos domésticos o nacionales. Las otras actividades principales, aunque en menor proporción, fueron operaciones de transporte de carga[31], particulares (vuelos con fines privados) y de ambulancia aérea. El de talle de las proporciones se especifica con el siguiente gráfico.

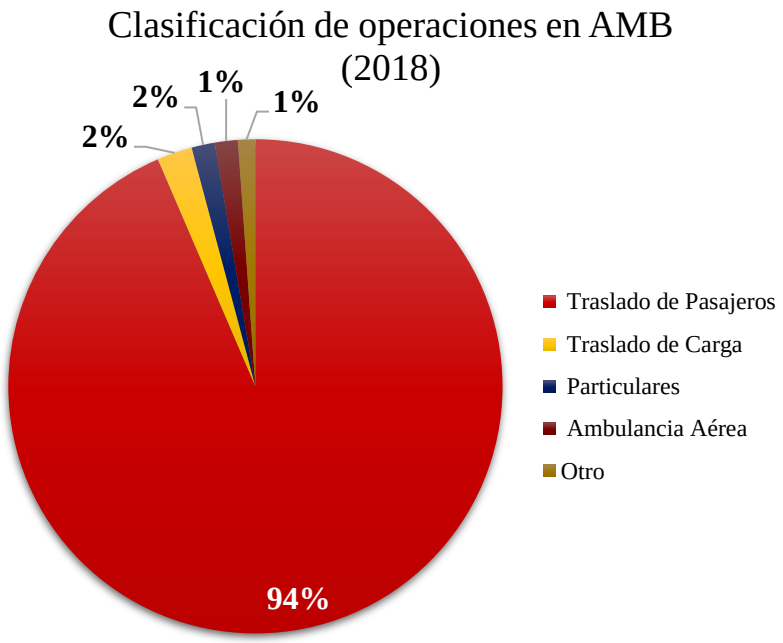

Gráfico D-5: Clasificación de las actividades según su natualreza en AMB durante 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGAC.

[31] Correspondientes a operaciones de transporte exclusivo de carga. En Chile (incluyendo a operaciones en AMB), la carga también se distribuye en los vuelos de transporte de pasajeros.

En segundo lugar, las principales aerolíneas comerciales que operaron en el aeropuerto, tanto de carga como de pasajeros, que volaron rutas dentro y fuera de Chile, fueron las siguientes:

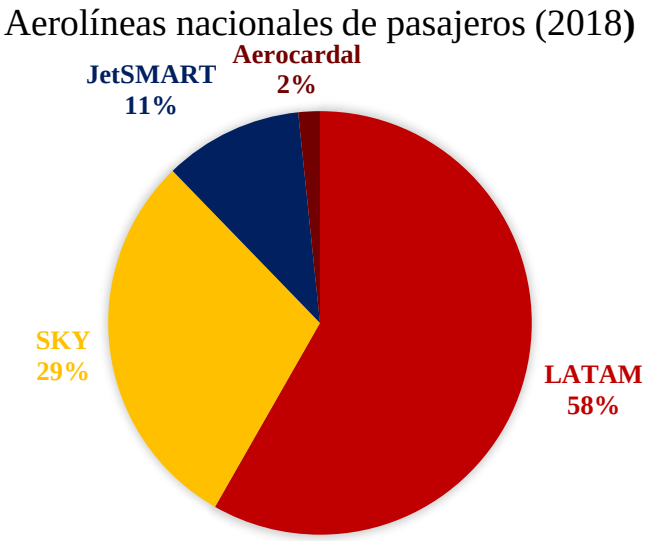

Gráfico D-6: Principales aerolíneas nacionales de pasajeros en AMB durante 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGAC.

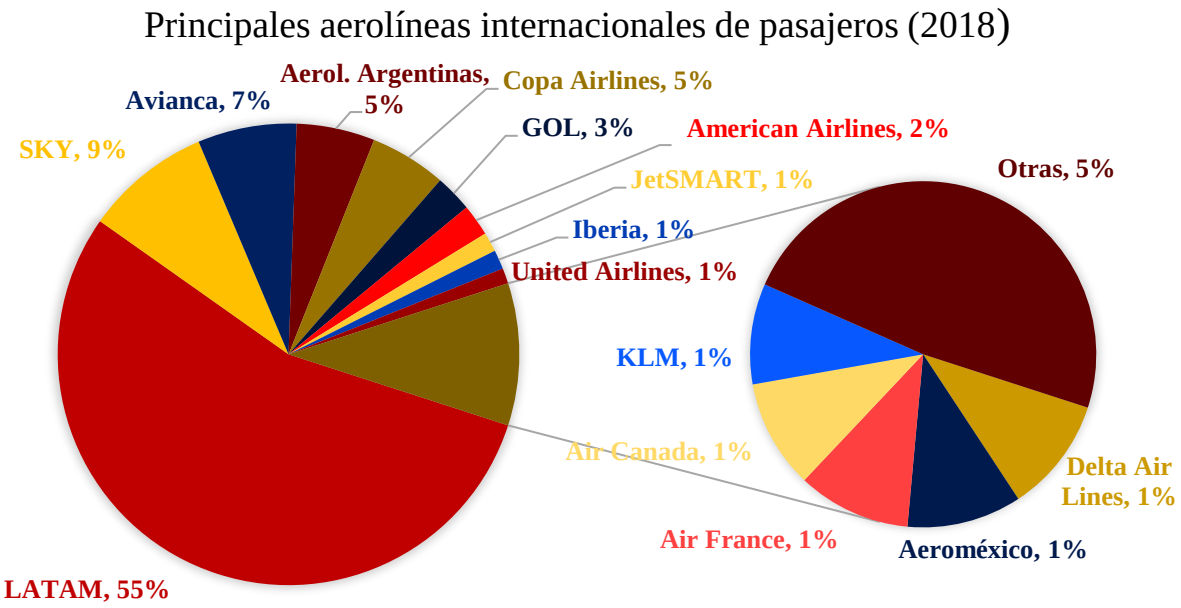

Gráfico D-7: Principales aerolíneas internacionales de pasajeros en AMB durante 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGAC.

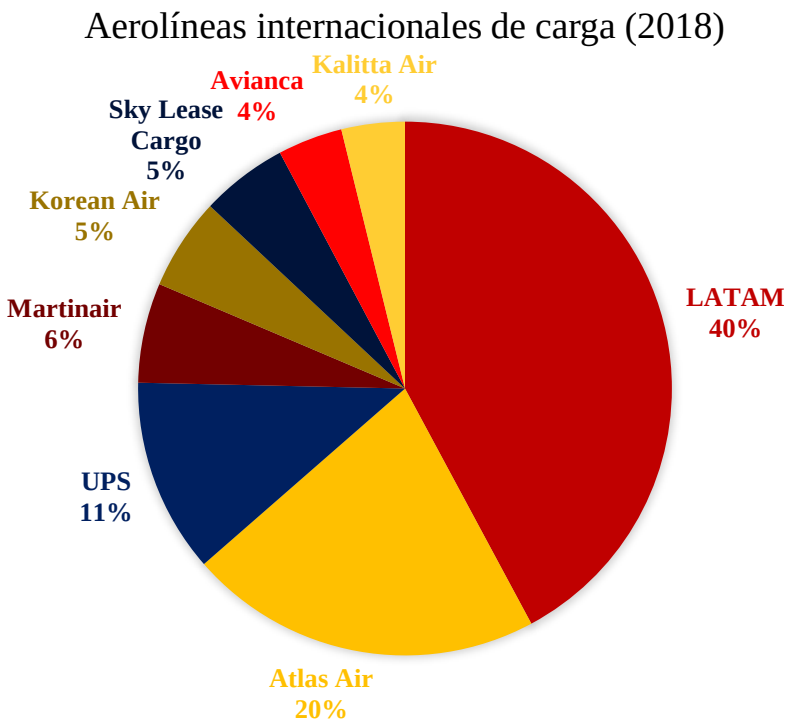

Gráfico D-8: Principales aerolíneas internacionales de carga en AMB durante 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGAC.

En el ámbito del movimiento nacional aéreo de carga, prácticamente la totalidad es llevada a cabo por LATAM Airlines. Además, gran parte de la carga (también en el ámbito internacional) se transporta en vuelos comerciales de pasajeros y no en aviones cargueros.

Cabe destacar que, como producto de la pandemia, SKY y JetSMART han entrado a la industria del transporte de carga a través de vuelos comerciales de pasajeros durante 2021.

El siguiente punto por graficar corresponde a los principales destinos con los que conecta AMB, los que en el ámbito internacional destacan aquellos presentes en la región de Sudamérica. Los destinos se presentan a continuación.

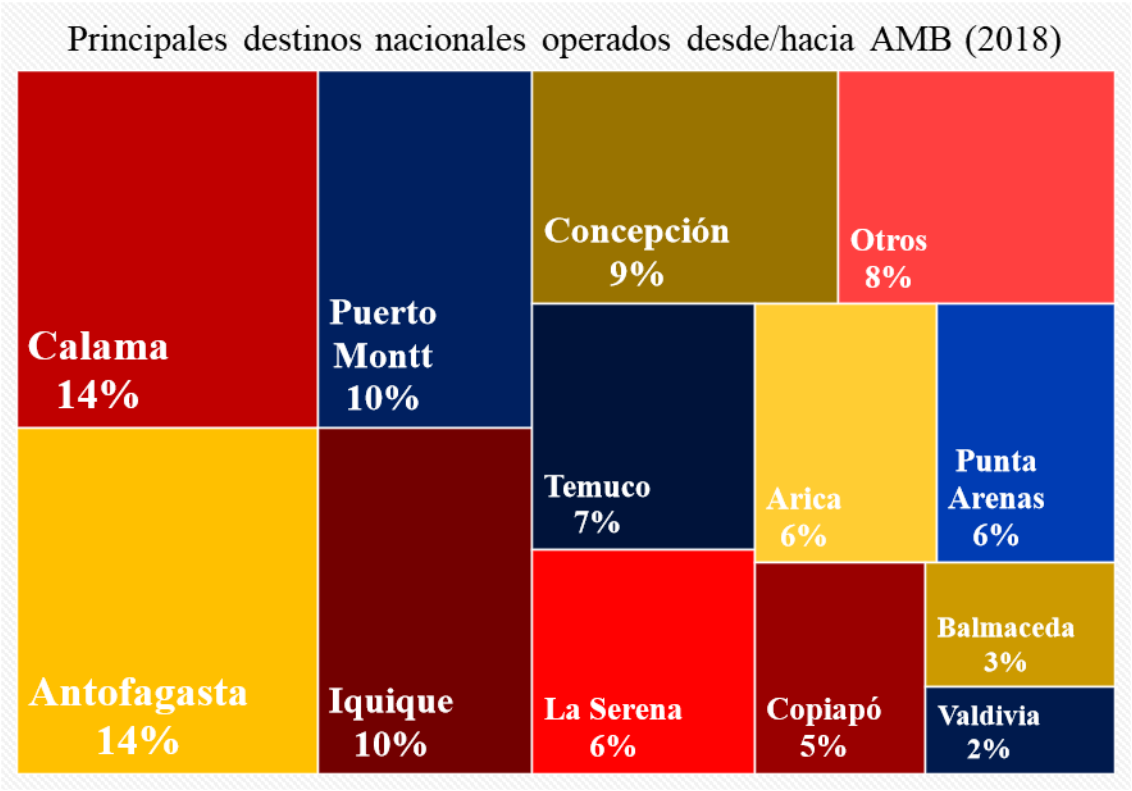

Ilustración D-2: Principales destinos nacionales operados desde y hacia AMB en 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGAC.

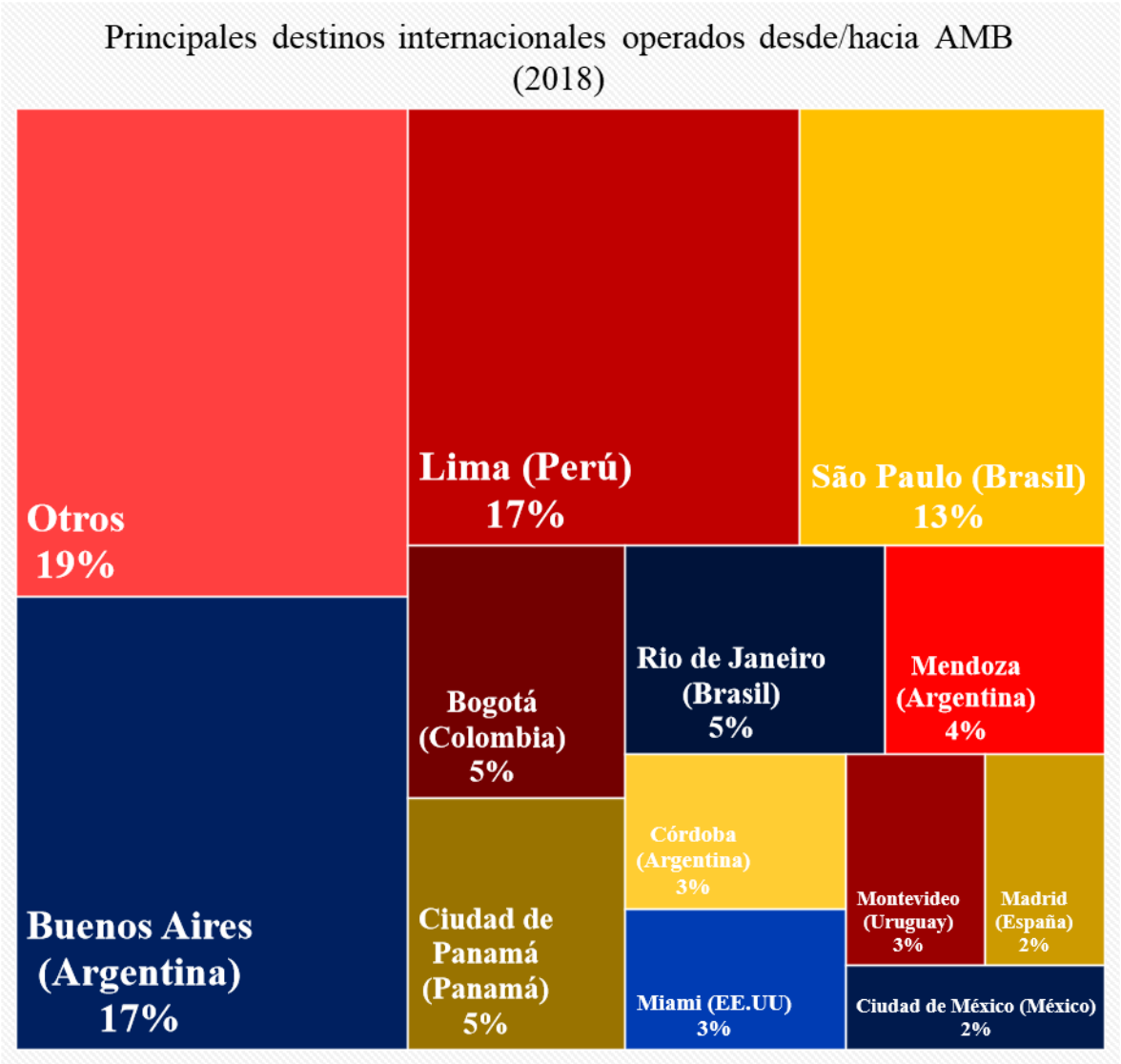

Ilustración D-3: Principales destinos internacionales operados desde y hacia AMB en 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGAC.

Por último, las aeronaves utilizadas para los viajes nacionales consisten casi en su totalidad a aquellas con pasillo único y de fuselaje mediano, a excepción de vuelos de aerolíneas chárter u operadores de base fija (también llamados por sus siglas en inglés FBO, *Fixed Base Operator*) que operan con aeronaves de fuselaje pequeño. En cuanto al ámbito internacional, también dominan las aeronaves de fuselaje mediano, pero existe presencia de aeronaves de fuselaje ancho para vuelos de mayor duración. La composición de aeronaves en los respetivos ámbitos de vuelo corresponde a los siguientes.

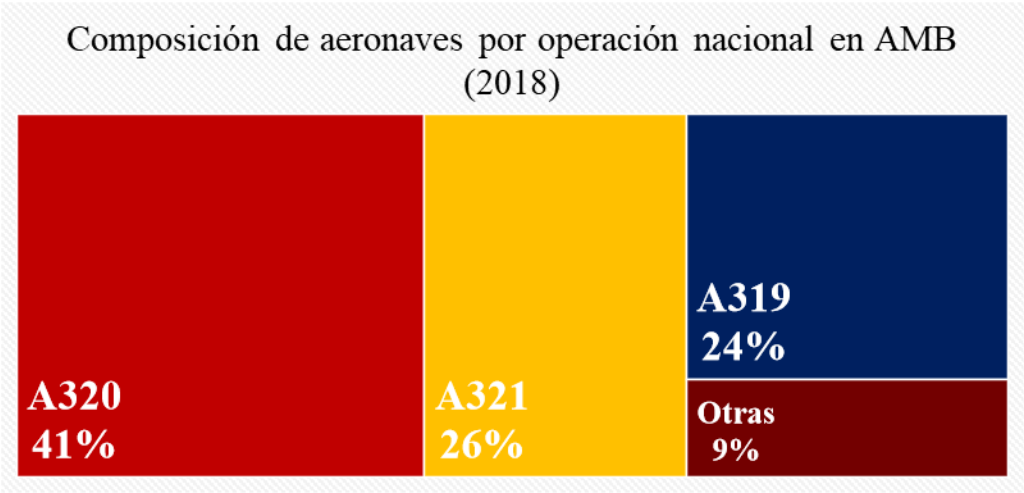

Ilustración D-4: Composición de aeronaves por operaciones nacionales en AMB durante 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGAC.

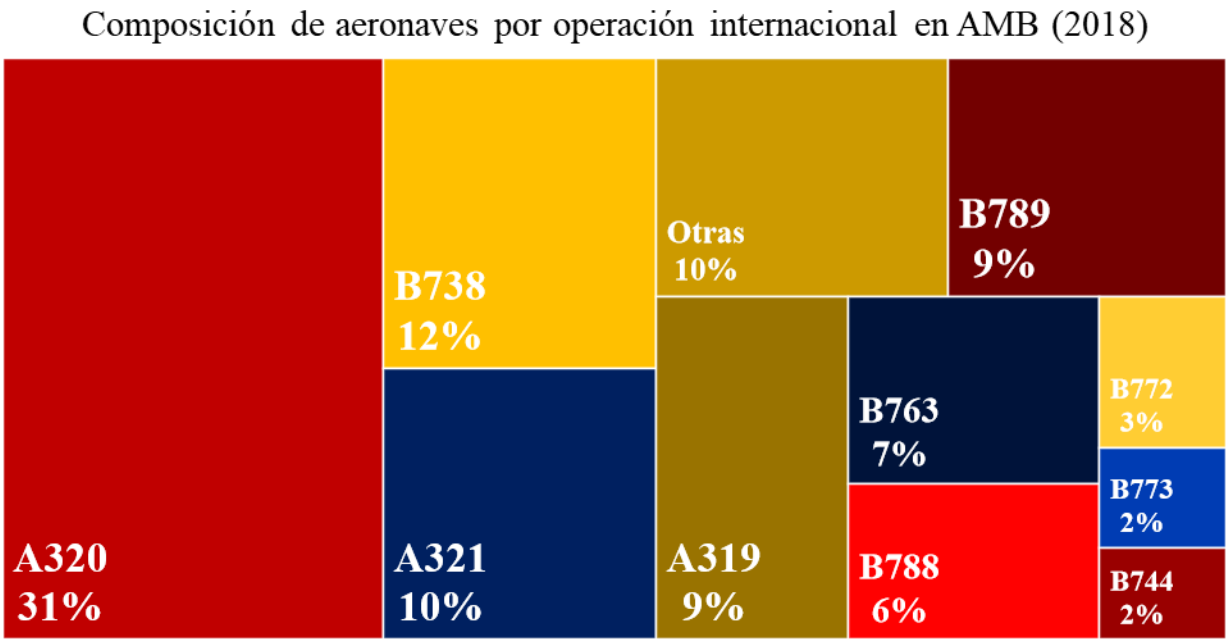

Ilustración D-5: Composición de aeronaves por operación internacional en AMB durante 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGAC.

De acuerdo con las tablas anteriores, el código de referencia[32] de las aeronaves en vuelos nacionales es el C. Para vuelos internacionales, el principal código de referencia también es C con un 62% de participación, seguido de aeronaves tipo E con un 22% y luego aeronaves tipo D con un 7%.

[32] Correspondiente al Código de Referencia Aeroportuario utilizado por la OACI, el cual clasifica los tipos de aeronaves de acuerdo con su dimensionamiento. Necesario para la planificación de la pista en un aeropuerto según el tipo de aeronave que se proyecte operar en ella.

APÉNDICE E: Ratio de Saturación

En la sección 2.2.2.2 de este documento se define al PHP30 como la trigésima hora que mayor congestión de pasajeros hubo en AMB durante un año. La cifra considera solamente los pasajeros que se embarcan en los vuelos (es decir, los vuelos de salida), pues ellos son los que mayoritariamente utilizan la terminal, por lo tanto, son los clientes críticos en cuanto al nivel de servicio que la terminal debe ser evaluada.

La DAP emplea una relación entre el promedio diario de pasajeros embarcados de un año y la HP30 a modo de obtener el nivel de concentración de pasajeros a lo largo de un año en las horas punta. El Ratio es el siguiente:

$$Ratio = \frac{PHP30}{\frac{Pasajeros\ anuales\ totales}{\frac{2}{365}}}$$

Ecuación E-1: Ratio de Saturación

Fuente: DAP

Se aprecia en la Ecuación E-1 que los pasajeros totales (nacionales e internacionales) del año se dividen en 2 a modo de aproximar y considerar los pasajeros embarcados del año en cuestión. Asimismo, la cifra está divida por 365, la cantidad de días que posea el año, para obtener el promedio diario de los pasajeros embarcados.

Se obtiene información de este indicador midiendo la evolución de este, de los PHP30 y del tráfico de pasajeros a la vez. Siempre aplicado al caso de que exista un crecimiento positivo de pasajeros. Si hay una tendencia de crecimiento positiva en el Ratio y los PHP30, significa que cada vez más se están concentrando pasajeros en las horas punta, y que sigue habiendo cabida para más. En otras palabras, la capacidad aún no limita las operaciones en horas punta. Sin embargo, si los factores comienzan a disminuir, significa que para abastecer la demanda se debe distribuir más homogéneamente a los pasajeros durante el día, dado que la capacidad del aeropuerto comienza a colapsar en las horas punta. Por lo tanto, existe congestión. La DAP indica que valores entre 10% y 20% corresponden a congestión aceptable.

Al aplicar el indicador a los números de pasajeros que abasteció AMB, se obtiene la siguiente tabla.

Año	Pasajeros Anuales Totales	PHP30	Ratio
2003	5.781.001	1.198	15,1%
2004	6.051.927	1.539	18,6%
2005	6.660.465	1.813	19,9%
2006	6.980.331	1.908	20,0%
2007	8.397.491	2.104	18,3%
2008	9.017.718	2.565	20,8%
2009	9.026.446	2.599	21,0%
2010	10.315.319	1.955	13,8%
2011	12.105.524	2.037	12,3%
2012	14.214.603	2.232	11,5%
2013	15.312.649	2.198	10,5%
2014	16.068.242	2.236	10,2%
2015	17.230.567	2.277	9,6%
2016	19.192.488	2.449	9,3%
2017	21.426.871	2.595	8,8%
2018	23.324.306	2.965	9,3%

Tabla E-2: Ratio de Saturación aplicado a pasajeros de AMB entre 2003 y 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la JAC.

De la tabla se desglosa que hasta el 2014 la congestión podía ser considerada aceptable, pero en 2015 pasó a superar dicha tolerancia. Conjuntamente, AMB es ejemplo del cambio que hubo en el comportamiento del Ratio y los PHP. Para visualizar de mejor manera el comportamiento del Ratio en el tiempo se elabora un gráfico con el indicador y los pasajeros en la HP30 durante el mismo período de la tabla anterior.

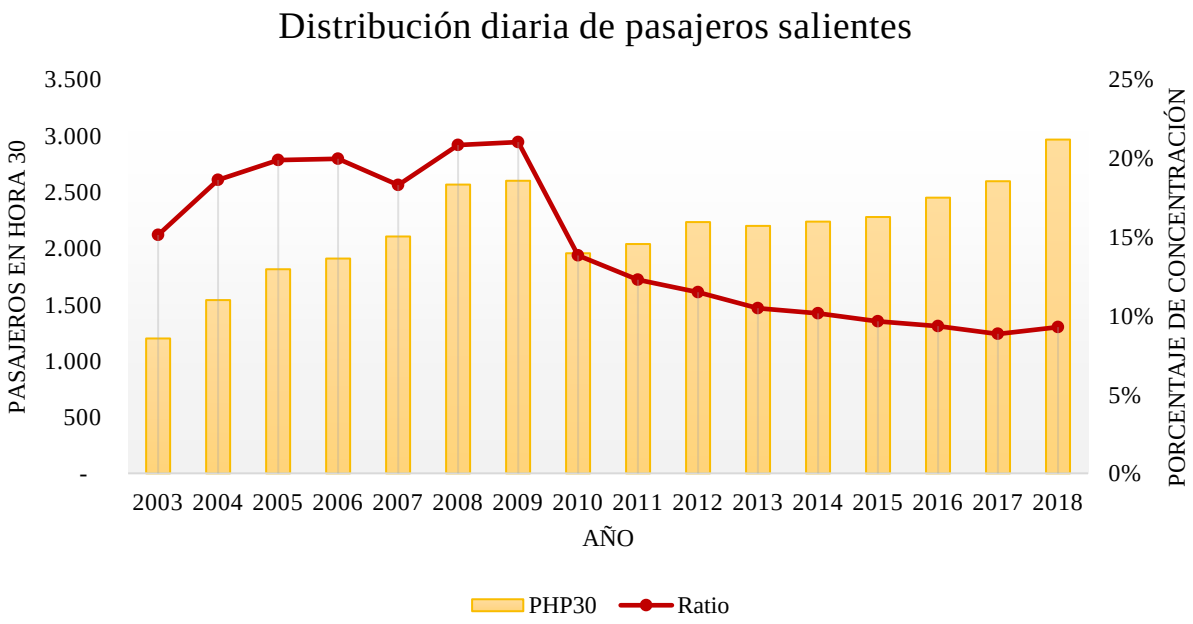

Gráfico E-9: Distribución anual de pasajeros en AMB entre 2003 y 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la JAC.

Se observa que hasta 2009, AMB estaba en condiciones de concentrar en las horas punta las operaciones que anualmente se demandaban, considerando que aumentaban anualmente como reflejo del crecimiento anual de pasajeros. Sin embargo, el año 2010 hubo una caída de PHP30 y del Ratio acompañado de un incremento en la cantidad de pasajeros. Esto implica que los pasajeros adicionales en ese año tuvieron que ser acomodados en otro horario y no dentro de la hora punta.

A partir de aquel año, los pasajeros de la HP30 comenzaron a incrementar, pero no así el Ratio. Esto significa que, si bien hubo más presencia de pasajeros en horas congestionadas, tal cantidad disminuyó anualmente en comparación con el promedio diario. Por lo tanto, AMB se comenzó a congestionar al aumentar la cantidad de pasajeros que albergaba fuera de horas congestionadas. Cabe destacar que entre 2003 y 2018, AMB tuvo incrementos anuales de pasajeros positivos sin excepción.

APÉNDICE F: Imágenes satelitales de AMB y otros aeropuertos

Estas fotografías corresponden a la evolución de los barrios aledaños a AMB con el paso del tiempo.

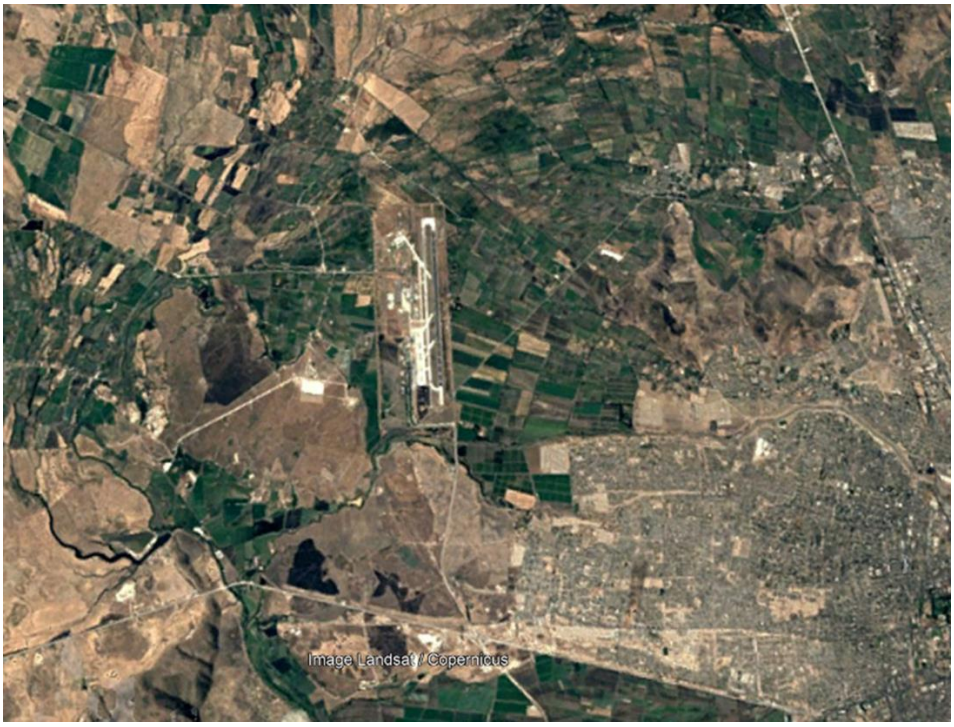

Ilustración F-6: Imagen satelital de AMB y sus alrededores en 1984.

Fuente: Google Earth Pro.

Ilustración F-7: Imagen satelital de AMB y sus alrededores en 1994.

Fuente: Google Earth Pro.

Ilustración F-8: Imagen satelital de AMB y sus alrededores en 2004.

Fuente: Google Earth Pro.

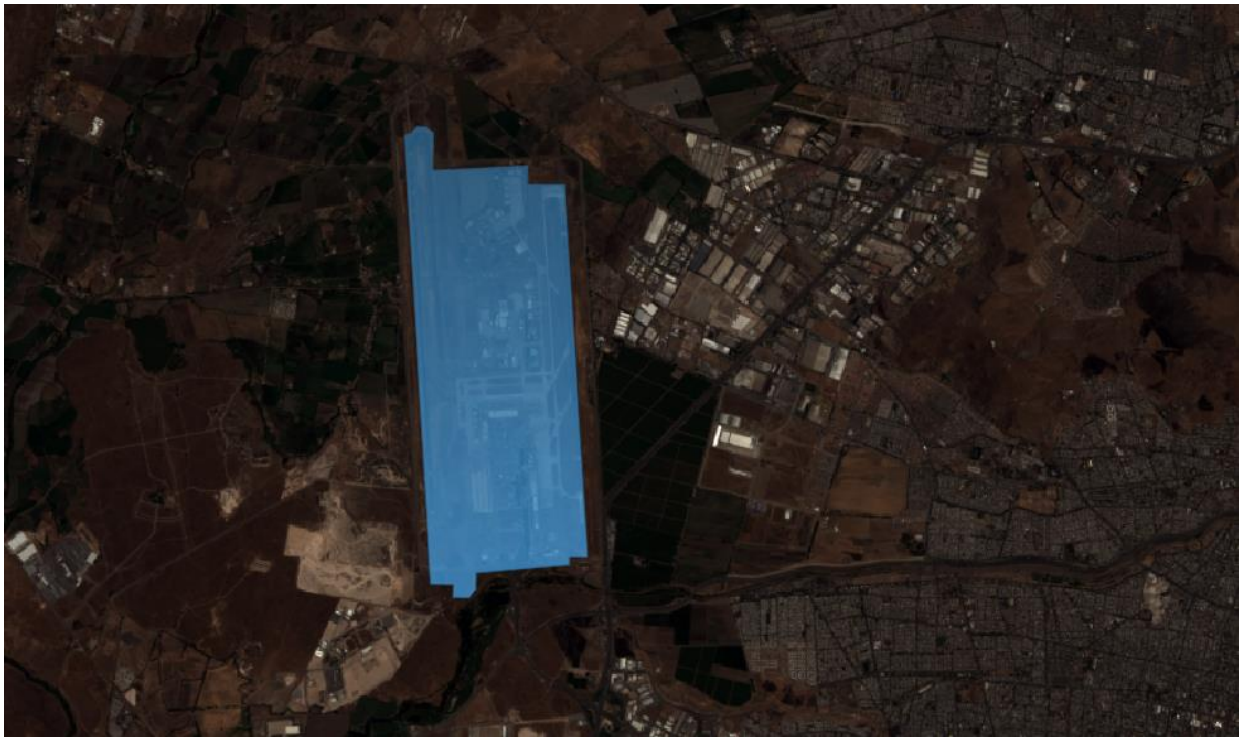

Ilustración F-9: Imagen satelital de AMB (en azul) y sus alrededores en 2013.

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de la U.S. Geological Survey.

Con el fin de distinguir el crecimiento de la ciudad cerca del aeropuerto, se presentan otras dos capturas satelitales de la misión Landsat 8, mostrando la terminal aérea y sus cercanías. Corresponden a imágenes tomadas en 2017 y 2021 respectivamente. El área marcada en color azul muestra la correspondiente a la terminal del aeropuerto AMB.

Ilustración F-10: Imagen satelital de AMB y sus alrededores en 2017.

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de la U.S. Geological Survey.

Ilustración F-11: Imagen satelital de AMB y sus alrededores en 2021.

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de la U.S. Geological Survey.

El principal crecimiento de la ciudad visto en las imágenes ocurre en zonas ubicadas al oriente de AMB. Los datos del software QGIS, con el cual se procesaron y resultaron estas imágenes, muestran que entre el 2013 y el 2021, el espacio disponible para una ampliación sin incurrir en expropiaciones disminuyó en 358 hectáreas.

Para comparar la situación de Santiago y su crecimiento cerca del aeropuerto, se presentan imágenes del Aeropuerto Internacional ministro Pistarini (también conocido como Aeropuerto de Ezeiza, en Argentina) y el Aeropuerto de Milán-Malpensa, Italia. Estas capturas satelitales fueron tomadas a fines de 2020 y principios de 2021, respectivamente.

Ilustración F-12: Imagen satelital del Aeropuerto Internacional Ministro Pistarini en 2021 (Buenos Aires, Argentina).

Fuente: Google Earth Pro.

Ilustración F-13: Imagen satelital del Aeropuerto de Milán-Malpensa en 2021 (Milán, Italia).

Fuente: Google Earth Pro.

APÉNDICE G: Operaciones anuales en casos extranjeros recopilados

En este apéndice se adjuntan las operaciones anuales de cada aeropuerto expuesto en la sección 2.1.2 del Estado del Arte. Comenzando por el caso de Miami, se encontró información únicamente del Aeropuerto Internacional de Miami en lo relativo a las operaciones anuales en el período recopilado.

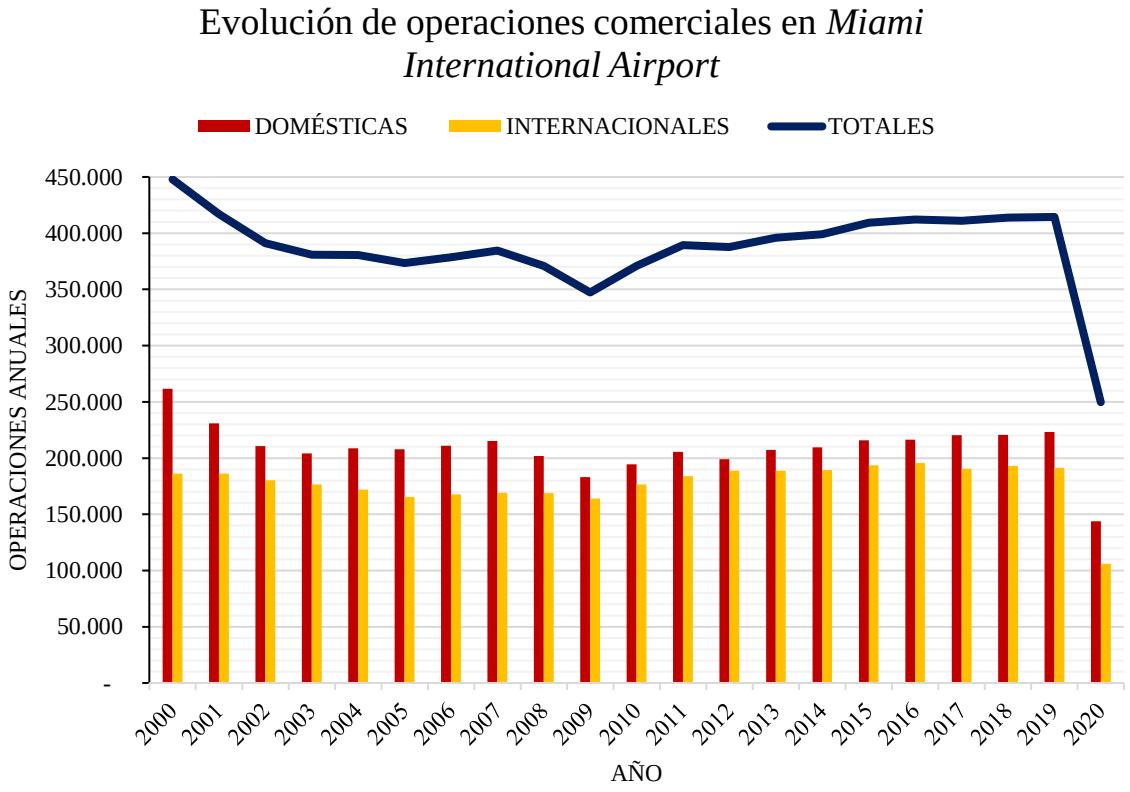

Gráfico G-10: Evolución de las operaciones en el Aeropuerto Internacional de Miami entre el 2000 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Miami-Dade Aviation Department.

En el caso de Buenos Aires, se pudo recopilar datos de las operaciones para el aeropuerto internacional Ministro Pistarini y Aeroparque Jorge Newbery. El aeropuerto El Palomar sólo posee información disponible desde el año 2019 en adelante. Estos gráficos siguen a continuación.

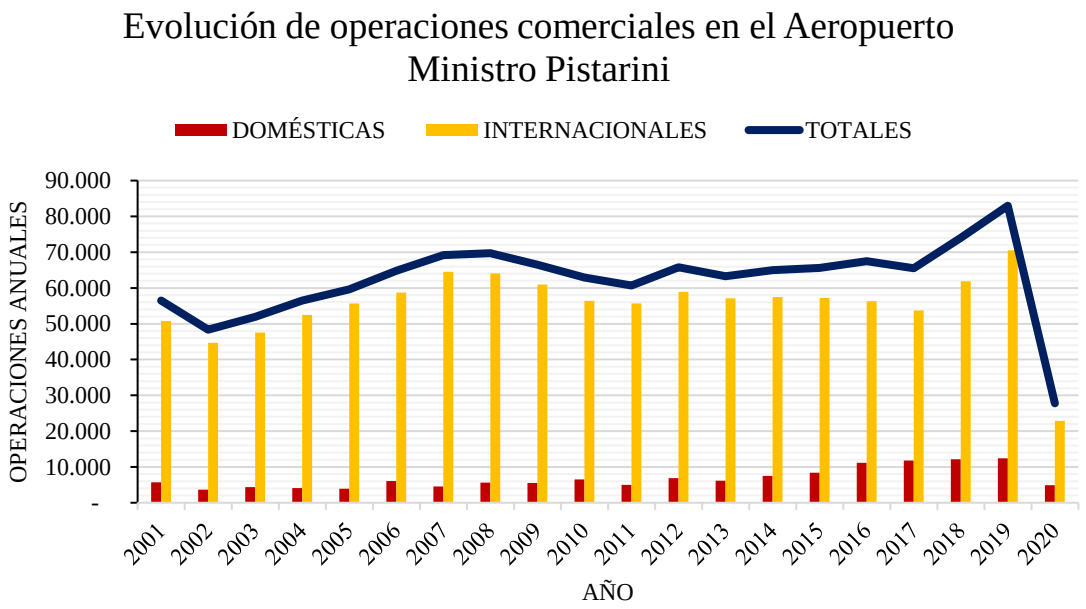

Gráfico G-11: Evolución de las operaciones en el Aeropuerto de Ezeiza entre 2001 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ANAC.

Gráfico G-12: Evolución de las operaciones en el Aeroparque Jorge Newbery entre 2001 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ANAC.

Gráfico G-13: Composición de las operaciones de 2019 en El Palomar.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ANAC.

Por último, se presentan los gráficos de las operaciones en los aeropuertos de Milán. En el caso de esta ciudad, los tres aeropuertos poseen la información disponible completamente.

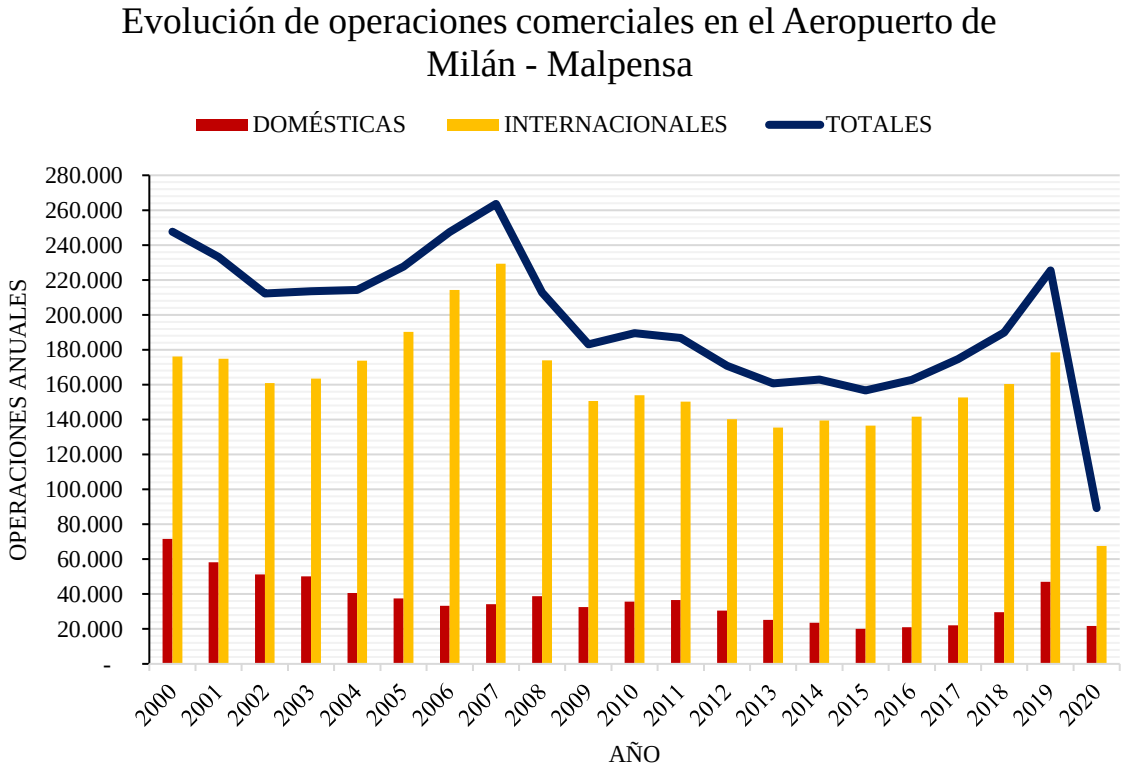

Gráfico G-14: Evolución de las operaciones en el Aeropuerto de Milán-Malpensa entre 2000 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Associazione Italiana Gestori Aeroporti.

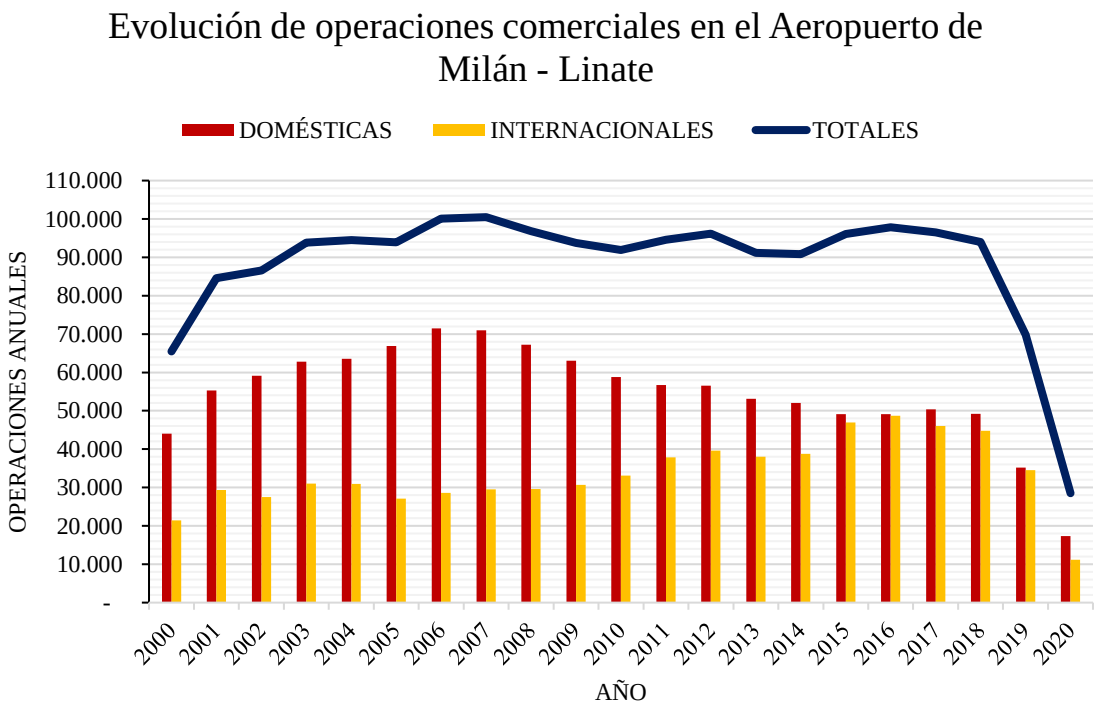

Gráfico G-15: Evolución de operaciones en el Aeropuerto de Milán-Linate entre 2000 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Associazione Italiana Gestori Aeroporti.

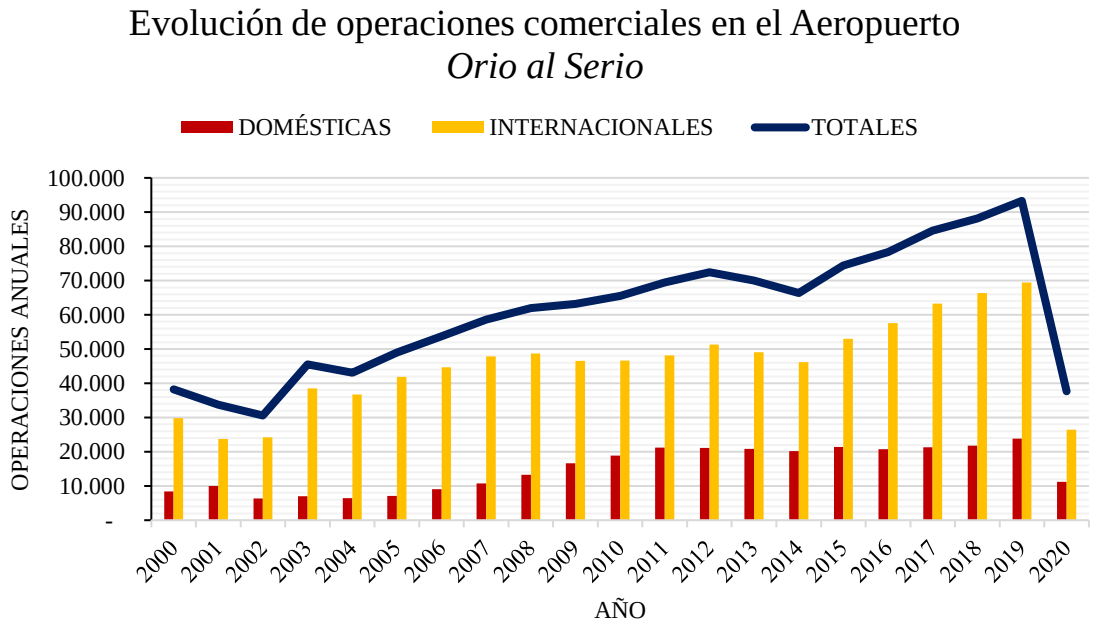

Gráfico G-16: Evolución de operaciones en el aeropuerto de Bérgamo entre 2000 y 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Associazione Italiana Gestori Aeroporti.

APÉNDICE H: Mapa de la Red Aeroportuaria de Chile

Ilustración H-14: Red Aeroportuaria de Chile publicado el 5 de Mayo de 2020.

Fuente: DGAC.

APÉNDICE I: Localizaciones de las pistas preliminares del NAMZC

1) Zona costera de Concón y Quintero.

    a. Umbral 23: 32º 57’ 50,70” S – 71º 30’ 02,92” W.

    b. Umbral 05: 32º 56’ 39,95” S – 71º 28’ 14,24” W.

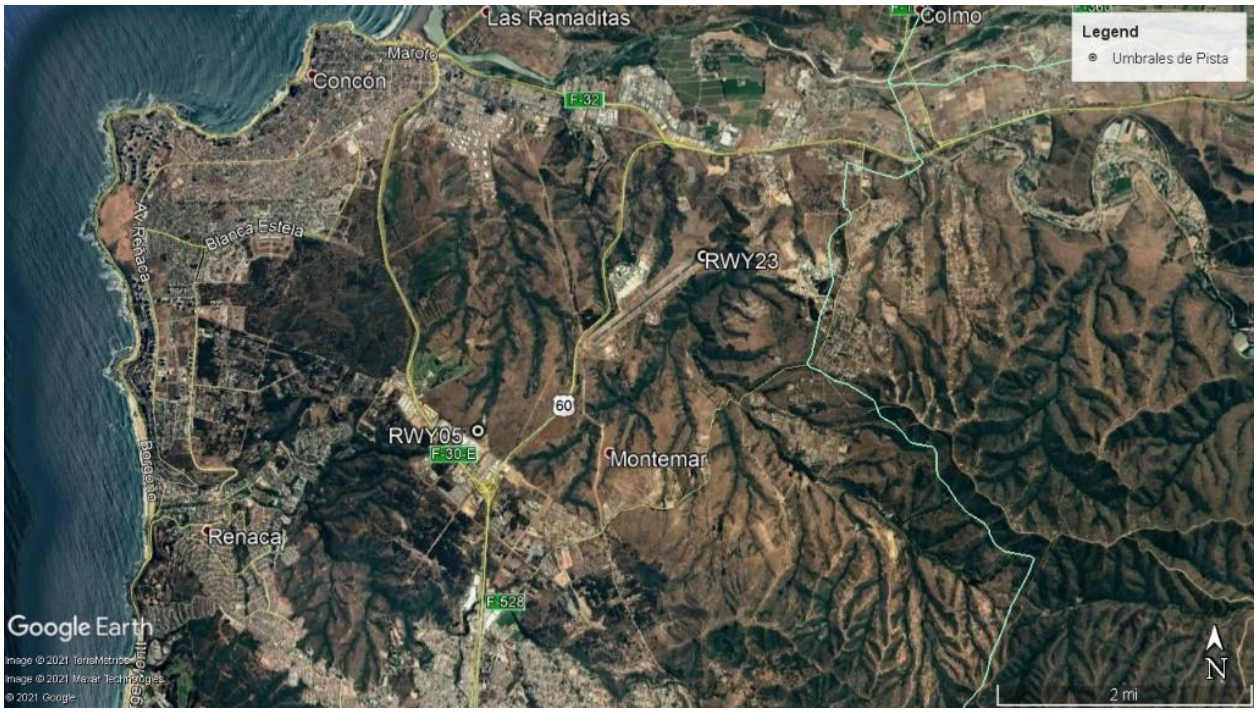

Ilustración I-15: Umbrales del aeródromo de Torquemada con el largo de pista corregido.

Fuente: Elaboración mediante Google Earth Pro e información complementaria de la DGAC.

2) Cuenca sector Casablanca.

a. Umbral 22: 33º 17’ 41,97” S – 71º 18’ 11,98” W.

b. Umbral 04: 33º 19’ 10,88” S – 71º 19’ 40,81” W.

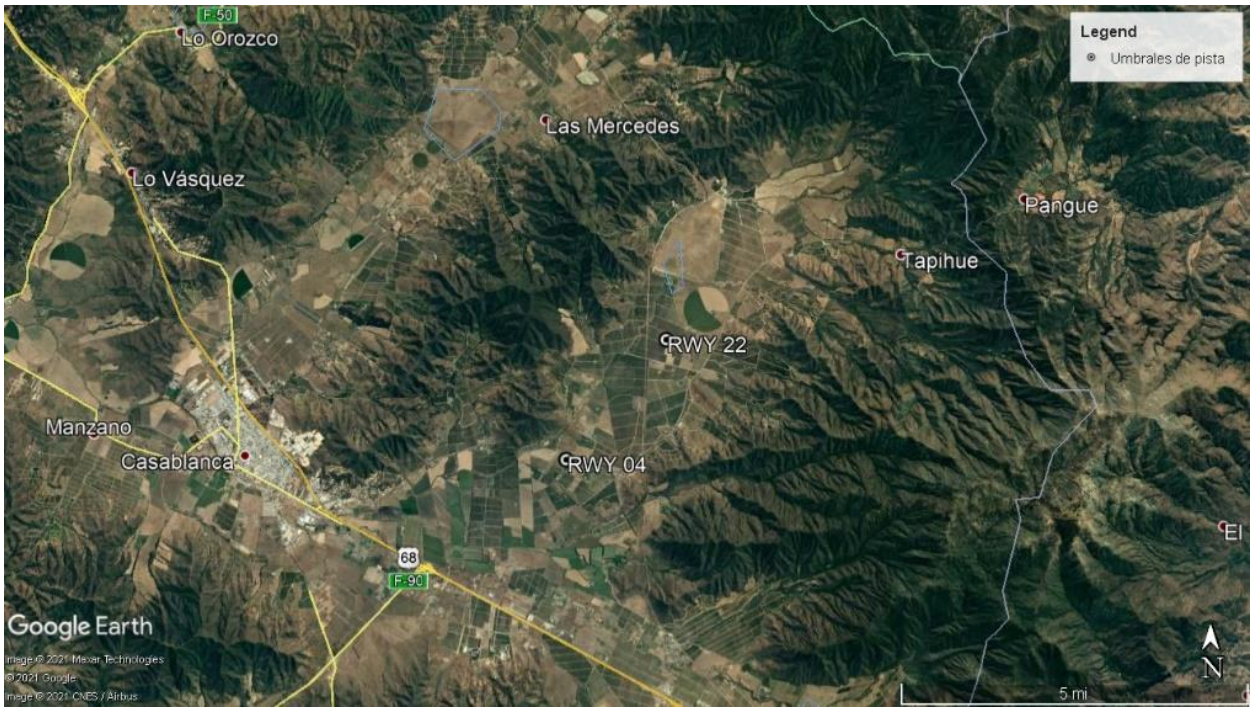

Ilustración I-16: Umbrales tentativos del NAMZC en Casablanca.

Fuente: Elaboración mediante Google Earth Pro.

3) Provincia de Maipo.

a. Umbral 36: 33º 45’ 17,93” S – 70º 42’ 34,69” W.

b. Umbral 18: 33º 43’ 16,25” S – 70º 42’ 34,69” W.

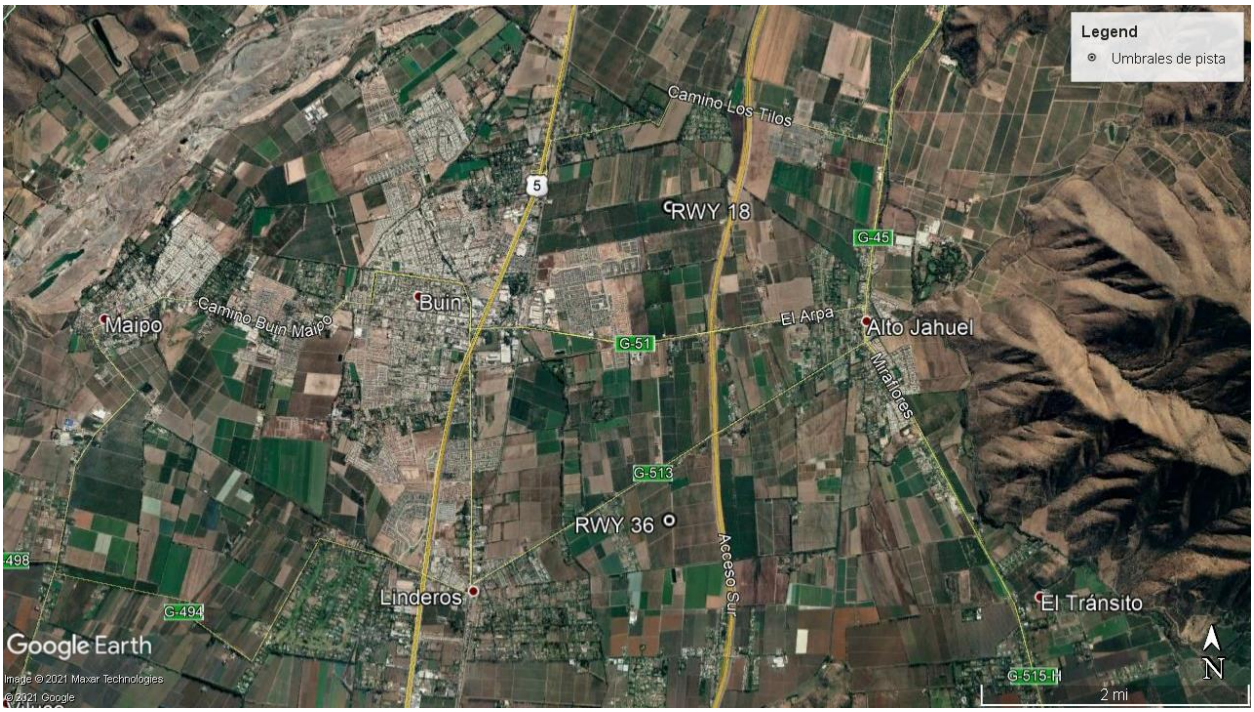

Ilustración I-17: Umbrales tentativos del NAMZC en la provincia de Maipo.

Fuente: Elaboración mediante Google Earth Pro.

4) Provincia de Talagante.

a. Umbral 22: 33º 36’ 49,82” S – 70º 49’ 23,89” W.

b. Umbral 04: 33º 38’ 21,81” S – 70º 50’ 56,18” W.

Ilustración I-18: Umbrales tentativos del NAMZC en la provincia de Talagante.

Fuente: Elaboración mediante Google Earth Pro.

5) Cuenca valle de Rancagua.

a. Umbral 18: 34º 05’ 31,79” S – 70º 39’ 51,55” W.

b. Umbral 36: 34º 07’ 37,55” S – 70º 39’ 51,55” W.

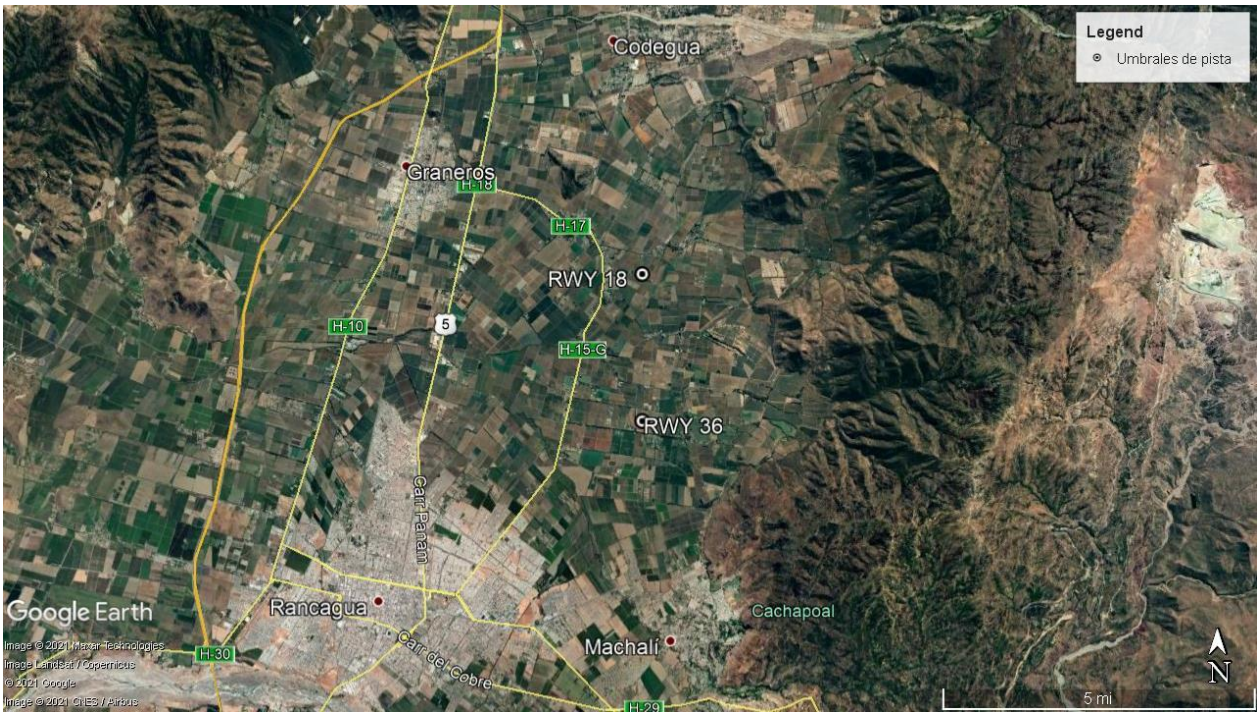

Ilustración I-19: Umbrales tentativos del NAMZC al nororiente de Rancagua.

Fuente: Elaboración mediante Google Earth Pro.

APÉNDICE J: Metodología y largos de pista definidos por zona

En este apéndice se expone la metodología descrita en la circular AC 150/5325-4B (FAA, 2005) y se exponen los resultados en forma de tablas con los 6 modelos de aeronaves estudiados para cada zona.

La circular muestra cómo interpretar los gráficos de los APM y da recomendaciones para los cálculos. El capítulo 4 de la circular presenta las directrices para aviones de vuelos regionales cuyo peso máximo certificado de despegue supere las 27,2 toneladas (cabe destacar que aviones como el A320 superan las 78 toneladas de peso máximo certificado de despegue). Una de las primeras consideraciones que presenta la circular es relacionado a la temperatura. Los APM presentan distintas gráficas para las operaciones de despegue conforme a la temperatura del sitio que se quiera evaluar. Esta temperatura se debe comparar con la temperatura de la atmósfera tipo[33] de la OACI. Lo atingente a este caso es que el documento de la OACI establece una relación entre la presión atmosférica a determinadas altitudes y una temperatura estándar en cada una. Se comienza por una temperatura de 15º C a nivel del mar y con una presión atmosférica de 1.013,25 hPa. A medida que aumenta la altitud, disminuyen la temperatura y presión. Tanto la mencionada circular de la FAA como los APM de Airbus y Boeing contienen un extracto del documento mostrando la relación entre la altitud del aeródromo y la temperatura del día estándar a tal altitud según la OACI. Junto con esta información, los APM publican más de un gráfico de despegue por modelo de avión el cual aplica para aeródromos que cumplan con la temperatura estándar o que lo hagan con cierta cantidad de grados adicionales[34]. El dato que define cuál gráfico consultar es la temperatura máxima diaria promedio del mes más caluroso en la zona del aeródromo. Dicha temperatura debe ser menor o igual al estándar que se quiera utilizar (temperatura estándar, +15º C, +25º C, etc.). Para definir la temperatura estándar al nivel de altitud del aeródromo se puede realizar una

[33] Consiste en a una convención de dicha entidad a la cual se evalúan procedimientos aéreos.

[34] Esto se refiere a que publican los gráficos de despegue para aeródromos en condiciones de atmósfera tipo o con grados de temperatura adicionales al estándar. Por ejemplo, Airbus publica el gráfico de la temperatura estándar y +15º C sobre la estándar. Boeing también incluye gráficos para aeropuertos con 25 o 35 grados Celsius adicionales a la temperatura estándar. Esta cifra se compara con la temperatura estándar a la altitud del sitio.

interpolación linear de la relación entre la elevación y la temperatura estándar publicada conforme a la circular y los APM.

El circular de la FAA detalla que el largo de pista se definirá como la mayor distancia requerida luego de analizar las operaciones de aterrizaje y despegue de cada aeronave crítica de diseño. Se debe considerar el tipo de motor que se pretenda evaluar (cada modelo de avión expone distintos gráficos dependiendo del par de motores que use, se utilizará el motor que más largo de pista exija en cada caso). Los gráficos tienen ejes de peso de la aeronave y largo de pista requerido. También poseen múltiples curvas dependiendo de la elevación del aeródromo, se debe interpolar entre estas curvas para obtener el largo requerido. Posteriormente, se utiliza el peso máximo de despegue o de aterrizaje por diseño del modelo de avión, y con la debida curva de altitud del aeródromo, se define el largo de la pista necesario para la correspondiente operación. En el caso del aterrizaje, hay gráficos como los de Boeing que incluyen curvas de pista mojada, cuyos largos requeridos son mayores y deben primar por sobre las de pista seca para aviones con motores turbo jet (como es el caso de los A320 o B737). En caso de que el gráfico no incluya una curva de pista mojada, se tiene que extender el largo obtenido en un 15% adicional. Los gráficos de despegue por su parte están confeccionados bajo condiciones de nula presencia de vientos y nula pendiente longitudinal de la pista. Y si no se evidencian estas condiciones, el circular recomienda asumirlas. Por último, el largo de pista obtenido para el despegue se debe corregir si la pista presenta pendiente longitudinal distinta de cero, ya que los gráficos del APM no incluyen tal condición. A modo de simplificar el proceso, se asumirá que la pista será diseñada con pendiente longitudinal nula, tal como se asume en los manuales de los fabricantes de aeronaves. De esta manera, se puede evaluar el desnivel del terreno en las secciones venideras con respecto al largo resultante. Además, las pistas de aterrizaje se construyen con una pendiente definida previamente, tratando el terreno en el proceso de construcción para conseguirla. Por tales motivos, se opta por asumir la construcción de la pista con nula pendiente longitudinal.

Con respecto a supuestos tomados en los cálculos del largo requerido, en primer lugar, se toma como referencia la altitud de estaciones meteorológicas ubicadas en las zonas de estudio. De estas mismas estaciones provienen los datos utilizados en la variable metodológica de la sección 3.4 de este capítulo. Sin embargo, la temperatura máxima diaria promedio del mes más caluroso en la zona será proporcionada por WeatherTrends360, pues con los datos que esa fuente expone se

infiere que poseen una mayor cantidad de datos históricos que las estaciones de la Dirección Meteorológica de Chile. En segundo lugar, se utilizará el Manual de la Atmósfera Tipo de la OACI para los cálculos e interpolaciones de temperatura necesarias (publicado en 1993 en su tercera edición). Corresponde a la publicación oficial e incluye una tabla con las temperaturas y altitudes en intervalos de 50 metros, siendo información más completa que los extractos publicados en la circular de la FAA y los APM de Airbus y Boeing. En tercer lugar, en aquellos casos donde la temperatura máxima diaria promedio del mes más caluroso en la zona del aeródromo supere a la más alta temperatura estándar publicada en el APM, se aplicará una corrección al largo obtenido. Esta corrección proviene del documento 9157 *Aerodrome Design Manual Part I: Runways* (OACI, 2006)[35]. En cuarto lugar, se utilizarán los pesos máximos de aterrizaje o despegue más altos por cada modelo de avión. Cada uno de los 6 modelos de avión posee múltiples variantes, cada una con distinto peso máximo de diseño. Para efectos de cálculo, se tendrá en cuenta el mayor peso de todas las variantes, dado que consiste en la mayor exigencia que deberá tener la pista. Por último, y tal como se recomienda en la circular de la FAA, se asumirá que los gráficos expuestos en los APM pertenecen a pista seca (cuando no se detalle lo contrario) y con nula pendiente longitudinal.

Con respecto a los resultados obtenidos utilizando la metodología descrita, se destaca que la zona de Concón no posee corrección por temperatura, pues como lo indica la circular número 150/5325-4B de la FAA, la diferencia entre la temperatura estándar +15º C y la de referencia de la zona es despreciable, por lo que no requiere una corrección por temperatura para las operaciones de despegue. Para el resto de las zonas donde la diferencia no se puede despreciar, y dado que los manuales de Airbus no publican gráficos con ISA +25, se realiza una corrección por temperatura de acuerdo con el procedimiento de la OACI, descrito en el documento 9157. Los demás supuestos expuestos en la sección 3.2 fueron aplicados en los cálculos y elaboración de las tablas. El largo de pista definitivo en cada sector aparece resaltado en verde.

[35] En el documento se describe que, por cada 1º C de temperatura de diferencia con la temperatura de referencia, se debe aumentar el largo de la pista en un 1%. Según la FAA, tomar en cuenta la temperatura como un factor sólo aplica para las operaciones de despegue.

Avión	Operación	ISA	Altitud (ft)	Largo según APM (ft)	Correción Pista en lluvia (ft)	Largo (m)
A320	Aterrizaje	-	462,6	4.970,0	5.715,5	1.742,1
A320 NEO	Aterrizaje	-	462,6	5.100,0	5.865,0	1.787,7
A321	Aterrizaje	-	462,6	5.700,0	6.555,0	1.998,0
A321 NEO	Aterrizaje	-	462,6	5.800,0	6.670,0	2.033,0
B737-800	Aterrizaje	-	462,6	6.750,0	6.750,0	2.057,4
B737 MAX 8	Aterrizaje	-	462,6	5.600,0	5.600,0	1.706,9
A320	Despegue	+15	462,6	7.800,0	7.800,0	2.377,4
A320 NEO	Despegue	+15	462,6	6.650,0	6.650,0	2.026,9
A321	Despegue	+15	462,6	9.900,0	9.900,0	3.017,5
A321 NEO	Despegue	+15	462,6	9.100,0	9.100,0	2.773,7
B737-800	Despegue	+25	462,6	10.826,8	10.826,8	3.300,0
B737 MAX 8	Despegue	+25	462,6	11.670,0	11.670,0	3.557,0

Tabla J-3: Largos de pista requeridos para el sector de Concón – Quintero.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de los manuales de planificación aeroportuaria de Airbus y Boeing.

Avión	Operación	ISA	Altitud (ft)	Largo según APM (ft)	Correción Temp. (ft)	Correción Pista en lluvia	Largo (m)
A320	Aterrizaje	-	869,4	5.030,4	5.030,4	5.785,0	1.763,3
A320 NEO	Aterrizaje	-	869,4	5.150,0	5.150,0	5.922,5	1.805,2
A321	Aterrizaje	-	869,4	5.750,0	5.750,0	6.612,5	2.015,5
A321 NEO	Aterrizaje	-	869,4	5.900,0	5.900,0	6.785,0	2.068,1
B737-800	Aterrizaje	-	869,4	6.800,0	6.800,0	6.800,0	2.072,6
B737 MAX 8	Aterrizaje	-	869,4	5.700,0	5.700,0	5.700,0	1.737,4
A320	Despegue	+15	869,4	7.900,0	8.079,9	8.079,9	2.462,8
A320 NEO	Despegue	+15	869,4	6.750,0	6.903,7	6.903,7	2.104,3
A321	Despegue	+15	869,4	10.250,0	10.483,4	10.483,4	3.195,4
A321 NEO	Despegue	+15	869,4	9.500,0	9.716,4	9.716,4	2.961,5
B737-800	Despegue	+25	869,4	11.500,0	11.500,0	11.500,0	3.505,2
B737 MAX 8	Despegue	+25	869,4	11.730,0	11.730,0	11.730,0	3.575,3

Tabla J-4: Largos de pista requeridos para el sector de Casablanca.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de los manuales de planificación aeroportuaria de Airbus y Boeing.

Avión	Operación	ISA	Altitud (ft)	Largo según APM (ft)	Correción Temp. (ft)	Correción Pista en lluvia (ft)	Largo (m)
A320	Aterrizaje	-	1.280	5.092,0	5.092,0	5.855,8	1.784,8
A320 NEO	Aterrizaje	-	1.280	5.250,0	5.250,0	6.037,5	1.840,2
A321	Aterrizaje	-	1.280	5.800,0	5.800,0	6.670,0	2.033,0
A321 NEO	Aterrizaje	-	1.280	6.000,0	6.000,0	6.900,0	2.103,1
B737-800	Aterrizaje	-	1.280	6.850,0	6.850,0	6.850,0	2.087,9
B737 MAX 8	Aterrizaje	-	1.280	5.750,0	5.750,0	5.750,0	1.752,6
A320	Despegue	+15	1.280	8.150,0	8.269,4	8.269,4	2.520,5
A320 NEO	Despegue	+15	1.280	6.900,0	7.001,1	7.001,1	2.133,9
A321	Despegue	+15	1.280	11.250,0	11.414,8	11.414,8	3.479,2
A321 NEO	Despegue	+15	1.280	10.000,0	10.146,5	10.146,5	3.092,7
B737-800	Despegue	+25	1.280	12.139,1	12.139,1	12.139,1	3.700,0
B737 MAX 8	Despegue	+25	1.280	11.792,0	11.792,0	11.792,0	3.594,2

Tabla J-5: Largos de pista requeridos para la provicia de Talagante.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de los manuales de planificación aeroportuaria de Airbus y Boeing.

Avión	Operación	ISA	Altitud (ft)	Largo según APM (ft)	Correción Temp. (ft)	Correción Pista en lluvia (ft)	Largo (m)
A320	Aterrizaje	-	1.509	5.126,4	5.126,4	5.895,3	1.796,9
A320 NEO	Aterrizaje	-	1.509	5.300,0	5.300,0	6.095,0	1.857,8
A321	Aterrizaje	-	1.509	5.850,0	5.850,0	6.727,5	2.050,5
A321 NEO	Aterrizaje	-	1.509	6.050,0	6.050,0	6.957,5	2.120,6
B737-800	Aterrizaje	-	1.509	6.889,8	6.889,8	6.889,8	2.100,0
B737 MAX 8	Aterrizaje	-	1.509	5.750,0	5.750,0	5.750,0	1.752,6
A320	Despegue	+15	1.509	8.200,0	8.392,2	8.392,2	2.557,9
A320 NEO	Despegue	+15	1.509	7.050,0	7.215,2	7.215,2	2.199,2
A321	Despegue	+15	1.509	11.500,0	11.769,5	11.769,5	3.587,3
A321 NEO	Despegue	+15	1.509	10.100,0	10.336,7	10.336,7	3.150,6
B737-800	Despegue	+25	1.509	12.300,0	12.300,0	12.300,0	3.749,0
B737 MAX 8	Despegue	+25	1.509	11.826,4	11.826,4	11.826,4	3.604,7

Tabla J-6: Largos de pista requeridos para la provincia de Maipo.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de los manuales de planificación aeroportuaria de Airbus y Boeing.

Avión	Operación	ISA	Altitud (ft)	Largo según APM (ft)	Correción Temp. (ft)	Correción Pista en lluvia (ft)	Largo (m)
A320	Aterrizaje	-	1.581	5.137,2	5.137,2	5.907,7	1.800,7
A320 NEO	Aterrizaje	-	1.581	5.350,0	5.350,0	6.152,5	1.875,3
A321	Aterrizaje	-	1.581	5.880,0	5.880,0	6.762,0	2.061,1
A321 NEO	Aterrizaje	-	1.581	6.080,0	6.080,0	6.992,0	2.131,2
B737-800	Aterrizaje	-	1.581	6.900,0	6.900,0	6.900,0	2.103,1
B737 MAX 8	Aterrizaje	-	1.581	5.800,0	5.800,0	5.800,0	1.767,8
A320	Despegue	+15	1.581	8.250,0	8.376,5	8.376,5	2.553,2
A320 NEO	Despegue	+15	1.581	7.100,0	7.208,9	7.208,9	2.197,3
A321	Despegue	+15	1.581	11.600,0	11.777,9	11.777,9	3.589,9
A321 NEO	Despegue	+15	1.581	10.200,0	10.356,4	10.356,4	3.156,6
B737-800	Despegue	+25	1.581	12.713,3	12.713,3	12.713,3	3.875,0
B737 MAX 8	Despegue	+25	1.581	11.837,2	11.837,2	11.837,2	3.608,0

Tabla J-7: Largos de pista requeridos para la cuenca del valle de Rancagua.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de los manuales de planificación aeroportuaria de Airbus y Boeing.

APÉNDICE K: Tabla resumen de estándares en la terminal de pasajeros según la DAP

Estándares de Planificación del Edificio Terminal de Pasajeros	
Elemento de estudio	**Estándar de planificación para un día de alto tráfico**
Hall de Check-In	**Clase Business** - Tiempo máximo de espera en fila 0-3 min (tiempo corto o aceptable) y 3-5 min (tiempo aceptable a largo) **Clase Turista** - Tiempo máximo de espera en fila 0-12 min (tiempo corto o aceptable) y 12-30 min (tiempo aceptable a largo) Para información adicional acerca de tiempos máximos y mínimos de espera en fila, dirigirse a Tabla N°8 del manual **Espacio** - 1,8 m2 por pasajero internacional. 1,3 m2 por pasajero doméstico, incluye espacio para filas y carros, ver tabla N°1 **Asientos** para el 5% de los pasajeros
Control de Seguridad Aeroportuaria AVSEC	Tiempo máximo de espera en fila 3-5 minutos **Espacio** - 1 m2 por pasajero, ver tabla N°4
Control de Pasaportes Emigración	Tiempo máximo de espera en fila 5 minutos **Espacio** - 1 m2 por pasajero, ver tabla N°3
Salones CIP	**Espacio** - 4 m2 por pasajero La mejor ubicación para los salones CIP es el lado aire (airside) dentro del flujo normal de pasajeros entre el Check-in y las puertas de embarque.
Sala de Embarque	**Espacio** - 1,2 m2 por pasajero de pie y 1,7 m2 por pasajero sentado **Asientos** - el 80% de los pasajeros debería tener acceso a sentarse. **Distancias máximas caminando** 250-300m sin elementos de apoyo y 650 m con aceras caminantes
Puentes de embarque de pasajeros	90-95% de pasajeros (en base anual) deberán embarcar mediante puentes de embarque. Los puentes de embarque se justifican: Sólo con un mínimo de 4-6 vuelos (operaciones) diarios Por la condición Climática Seguridad Tráfico Para conectar puentes de embarque con salas de embarque, las rampas no deben tener pendientes mayores a 8% (O.G.U.C)
Control de Pasaportes Inmigración	Tiempo máximo de espera en fila 10 minutos **Espacio** - 1 m2 por pasajero, ver tabla N°3

Tabla K-8: Extracto de la tabla "Estándares de Planificación del Edificio Terminal de Pasajeros" (DAP, 2011).

Fuente: Manual de Desarrollo Aeroportuario.

APÉNDICE L: Rutas de acceso y tarifas a las zonas del NAMZC

En esta sección se expondrán imágenes de la ruta calculada para cada una de las zonas según Google Maps. Luego se detallará el trayecto a utilizar y finalmente las vías de transporte público a utilizar con sus respectivas tarifas. Dado que se supone la implementación de buses de acercamiento hacia Casablanca y la provincia de Talagante, las tarifas corresponderán a las mismas que poseen los buses de acercamiento a AMB, correspondiente a la empresa Centropuerto[36] para el caso de Casablanca. La provincia de Talagante posee tarifas publicadas por otra empresa de buses que parten desde Estación Central[37], por lo que se considerarán costos similares a ese servicio.

Comenzando con la descripción del trayecto hacia la provincia de Maipo. En este se utiliza una sola autopista, la Ruta 5 por 34,4 kilómetros hacia el sur. Una vez se llega a la comuna de Buin, se conduce por la calle Buin Alto Jahuel hasta llegar a la zona.

En el transporte público hay conectividad existente, la cual consta en una primera parte en Metro de Santiago, desde Estación Plaza de Armas hasta Estación Central. Desde allí es posible tomar un Tren de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado (EFE) desde Estación Central con destino a Rancagua. Una de las paradas intermedias de este tren es Buin, cuya estación queda a 1,7 kilómetros del emplazamiento en la provincia de Maipo. El trayecto desde Estación Central a la estación en Buin demora 27 minutos a un costo de $1.350 o $1.450 dependiendo de la hora[38]. La tarifa para el trayecto en Metro[39]corresponde a $720 CLP en el horario establecido.

---

[36] La tarifa cobrada por la empresa corresponde a $1.500 pesos chilenos, de acuerdo con el enlace: https://www.centropuerto.cl/tarifas/.

[37] La empresa Flota Talagante cobre $1.200 pesos chilenos por el trayecto entre Talagante – Peñaflor (comuna cercana a la ubicación del NAMZC) – Estación Central. El enlace de la tarifa es el siguiente: https://flotatalagante.cl/horarios/.

[38] Las tarifas provienen de la página web de la empresa ferroviaria estatal: https://www.efe.cl/nuestros-servicios/metrotren-rancagua/tarifas-del-servicio/.

[39] Según la página web de tarifas del Metro de Santiago: https://www.metro.cl/tu-viaje/horarios-y-tarifas. La tarifa corresponde a la hora Valle, calculada conforme a los supuestos tomados en la sección 3.8 del capítulo 3.

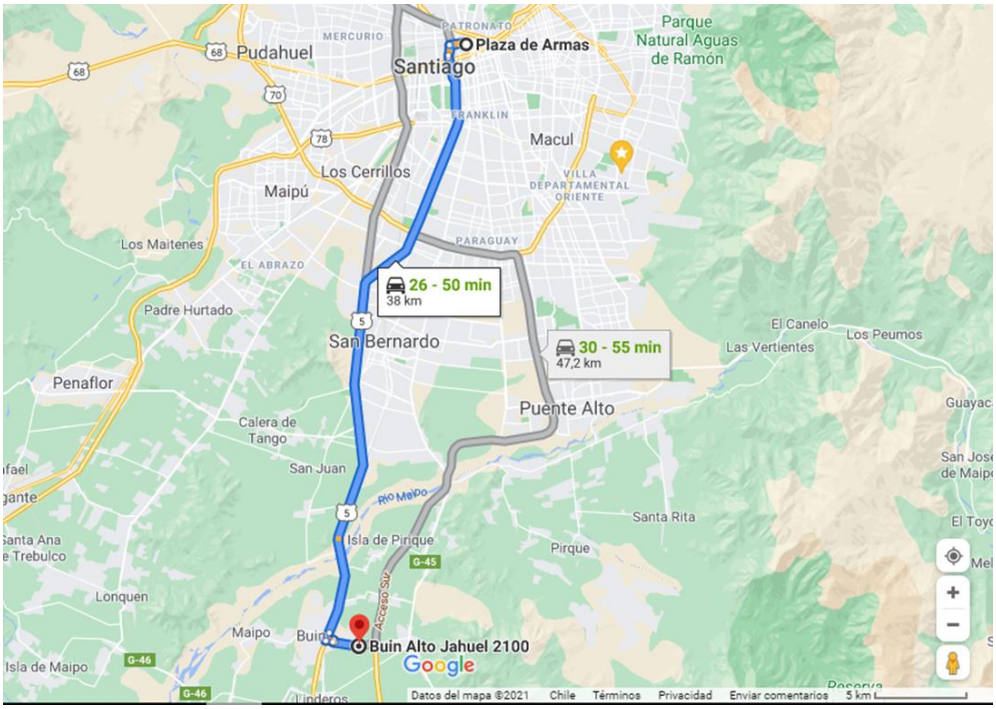

Ilustración L-20: Trayecto desde Santiago hacia el emplazamiento en la Provincia de Maipo.

Fuente: Google Maps.

En segundo lugar, se expone el trayecto hacia la comuna de Talagante. En él se utilizan primordialmente dos autopistas, correspondientes a la Autopista Central/Ruta 5 y la Autopista del Sol/Ruta 78. Ésta última corresponde a la principal vía utilizada, pues se utiliza durante 25,8 kilómetros del trayecto. Al salir de la Autopista del Sol, se utiliza la calle local San Javier para llegar al destino.

En cuanto al transporte público, el trayecto consta en primera instancia de un traslado en Metro de Santiago desde la Estación Plaza de Armas hasta Plaza de Maipú durante 30 minutos. Luego, de manera similar al caso de Casablanca, se supone la implementación de buses de acercamiento desde la Estación de Metro Plaza de Maipú, los cuales demorarían 45 minutos en llegar al destino. El costo del bus de la empresa Flota Talagante consiste en $1.200 pesos chilenos, el cual se asume que correspondería a la misma tarifa que los buses que se lleguen a implementar.

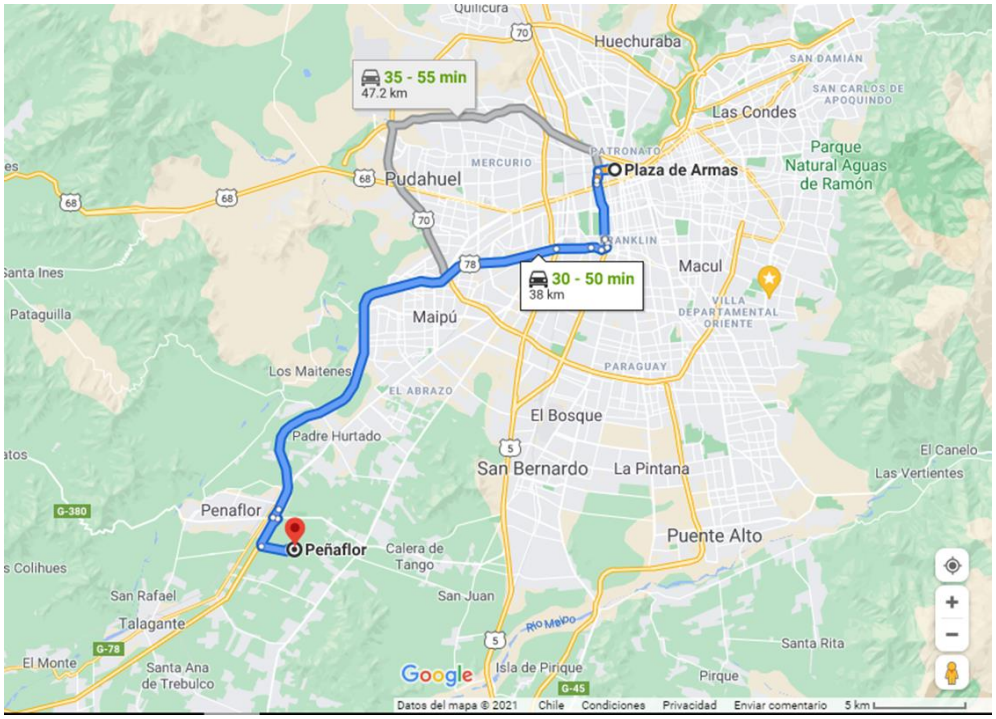

Ilustración L-21: Trayecto desde Santaigo hasta el emplazamiento en la provincia de Talagante.

Fuente: Google Maps.

El último trayecto por detallar es hacia el emplazamiento en Rancagua. Al igual que para el trayecto hacia la provincia de Maipo, el camino utiliza primordialmente la Autopista Central/Ruta 5 para llegar al destino. La autopista se utiliza por 69 kilómetros hasta la comuna de Graneros. Luego se utilizan las calles locales H-17, H-15-G y H-203 para llegar al emplazamiento.

El transporte público de este trayecto también es similar al de la provincia de Maipo. Se comienza con el uso del Metro de Santiago, desde la Estación Plaza de Armas hasta la Estación Central. Luego es posible llegar hasta Graneros por medio del Tren Rancagua – Estación Central de la EFE. En Graneros se asume que se implementaría un sistema de buses de acercamiento, al igual que para Talagante, que recorriera las calles locales hasta llegar al aeropuerto. La tarifa por el tramo recorrido en tren está entre los $2.200 y $2.400 pesos chilenos dependiendo de la hora. Para el bus de acercamiento se asume una tarifa de $1.500 pesos al igual que un bus de Centropuerto.

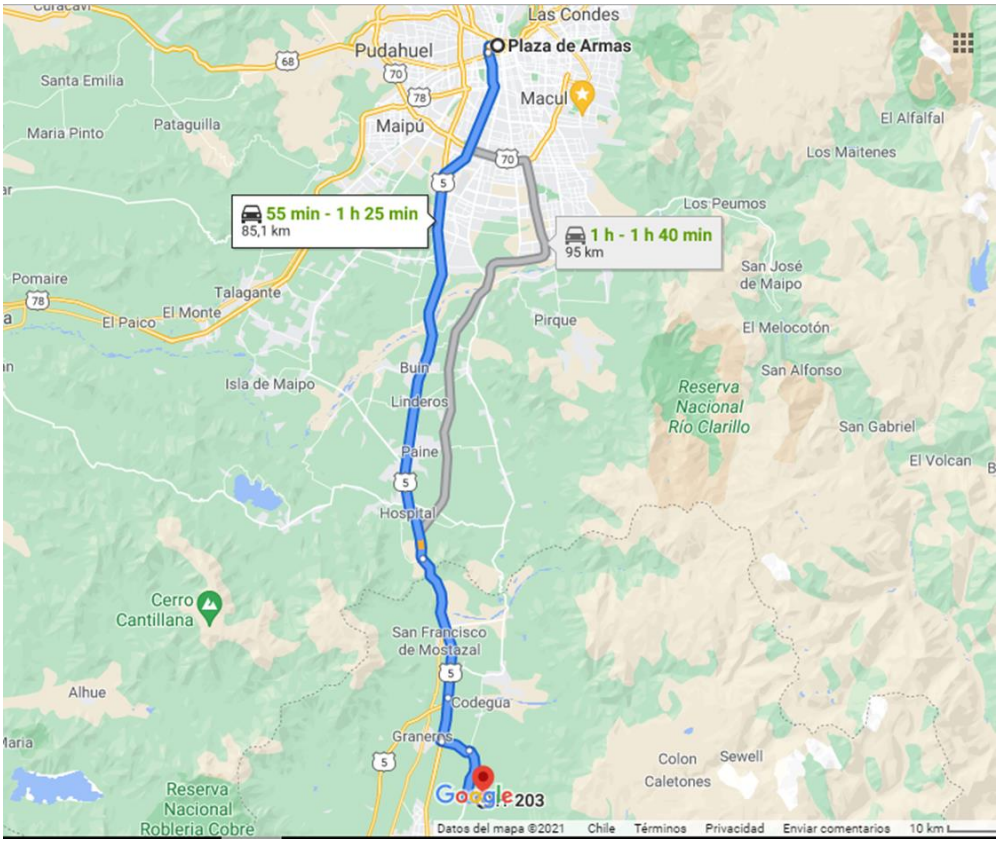

Ilustración L-22: Trayecto desde Santiago hasta el emplazamiento en el valle de Rancagua.

Fuente: Google Maps.

APÉNDICE M: Modelo Brown & Gibson

En principio, se calcularon los recíprocos y sumas de los factores objetivos del modelo. Estos corresponden a los costos de nivelación descritos en la nota 24.

Localización	Nivelación Terreno	Recíproco
Talagante	$ 10.000.000	0,0000001
Maipo	$ 4.500.000	2,2E-07
Rancagua	$ 10.000.000	0,0000001
Total		4,2E-07

Tabla M-9: Valorización de los costos de nivelación del terreno en las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del sitio web Habitissimo.

Luego se calcularon los valores del factor objetivo de cada zona. Esto, mediante el cálculo del peso de los valores recíprocos de cada una con respecto a la suma total de dichos valores.

Valor del Factor Objetivo	
FO Talagante	0,2368
FO Maipo	0,5263
FO Rancagua	0,2368

Tabla M-10: Valores del factor objetivo de cada zona.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso consistió en el cálculo de los valores subjetivos, los cuales tienen mayor peso en la decisión. En primer lugar, se comparan estos factores unos con otros para obtener el índice W_j, el cual muestra la preferencia existente entre las variables estudiadas a la hora de elegir una localización.

Factores subjetivos												
Factor j	Comparaciones pareadas										Suma de preferencias	Índice Wj
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Meteorología	0	0	1	1							2	18%
Orografía	1				0	1	1				3	27%
Espacio Aéreo		1			1			1	1		4	36%
Impacto Ambiental			0			0		0		1	1	9%
Conectividad				0			0		0	1	1	9%
Total											11	

Tabla M-11: Comparación entre factores subjetivos del modelo.

Fuente: Elaboración propia.

Lo siguiente corresponde a realizar comparaciones pareadas entre las zonas, por cada factor subjetivo que tenga el modelo. Estas comparaciones se hicieron en base a las preferencias entre las zonas según la variable evaluada.

Factor	Meteorología				
	Comparaciones pareadas			Suma de preferencias	R1
Localización	1	2	3		
Talagante	1	0		1	0,33
Maipo	0		0	0	0,00
Rancagua		1	1	2	0,67

Tabla M-12: Comparaciones pareadas de Meterorología.

Fuente: Elaboración propia.

Factor	Orografía				
	Comparaciones pareadas			Suma de preferencias	R2
Localización	1	2	3		
Talagante	1	0		1	0,33
Maipo	0		0	0	0,00
Rancagua		1	1	2	0,67

Tabla M-13: Comparaciones pareadas de Orografía.

Fuente: Elaboración propia.

Factor	Espacio Aéreo				
	Comparaciones pareadas			Suma de preferencias	R3
Localización	1	2	3		
Talagante	0	1		1	0,33
Maipo	1		1	2	0,67
Rancagua		0	0	0	0,00

Tabla M-14: Comparaciones pareadas de Espacio Aéreo.

Fuente: Elaboración propia.

Factor	Impacto ambiental				
	Comparaciones pareadas			Suma de preferencias	R4
Localización	1	2	3		
Talagante	0	0		0	0,00
Maipo	1		1	2	0,67
Rancagua		1	0	1	0,33

Tabla M-15: Comparaciones pareadas de Impacto ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

Factor	Conectividad				
	Comparaciones pareadas			Suma de preferencias	R5
Localización	1	2	3		
Talagante	0	1		1	0,33
Maipo	1		1	2	0,67
Rancagua		0	0	0	0,00

Tabla M-16: Comparaciones pareadas de Conectividad.

Fuente: Elaboración propia.

Cada resultado de las comparaciones pareadas, resaltado en amarillo, se ordena según la zona y la variable. Considerando las ponderaciones resultadas de comparar las variables (índice W_j), se obtienen los valores de los factores subjetivos en cada zona mediante la ponderación de cada una con el respectivo índice W_j de cada variable.

Factor $_j$	Talagante	Maipo	Rancagua	Índice W_j
Meteorología	0,33	0,00	0,67	18%
Orografía	0,33	0,00	0,67	27%
Espacio Aéreo	0,33	0,67	0,00	36%
Impacto Ambiental	0,00	0,67	0,33	9%
Conectividad	0,33	0,67	0,00	9%

Tabla M-17: Estructura de las zonas y factores subjetivos con sus respectivas preferencias.

Fuente: Elaboración propia.

Valor del Factor Subjetivo	
FS Talagante	0,3030
FS Maipo	0,3636
FS Rancagua	0,3333

Tabla M-18: Valores del factor subjetivo de cada zona.

Fuente: Elaboración propia.

El último paso es calcular las medidas de preferencia de localización expuestas en la Tabla 3-5. Para ello, se multiplica cada factor con su respectiva ponderación como se muestra en la Ecuación M-2.

$$MPL = (K * FO) + ((1 - K) * FS)$$

Ecuación M-2: Cálculo de las medidas de preferencia de localización.

Fuente: Preparación y Evaluación de Proyectos (Sapag Chain, y otros, 2014).

Donde FO representa al valor del factor objetivo de la zona a la que se pretende calcular la medida de preferencia de localización (MPL). FS corresponde al valor del factor subjetivo. K es la ponderación que tienen los factores objetivos (y 1-K los factores subjetivos). En este caso, K tiene el valor de 0,05, dado que los factores subjetivos se valoran más que los objetivos en relación veinte a uno.

APÉNDICE N: Indemnización a comunidades afectadas

Pese a no ser considerada como una variable del estudio, las expropiaciones forman parte de los costos de emplazamiento de los estudios recopilados. Y es que comprenden a una cantidad significativa de dinero que el Estado debe desembolsar para llevar a cabo el proyecto. Según el trabajo de recopilación sobre los Principios Generales de Expropiaciones (Cid Victoriano, 1997), las indemnizaciones corresponden a uno de los aspectos fundamentales de toda expropiación. En palabras simples, consiste en acordar la restitución del valor de la cosa expropiada a su dueño. Este valor engloba los elementos del daño emergente (disminución del patrimonio de la persona por la sustracción del bien) y lucro cesante (aquello que la persona deja de recibir por la sustracción del bien). Llevado al presente caso, las zonas pobladas que interfieran con la construcción de la terminal deben indemnizarse según el daño emergente, el cual debería corresponder a un monto importante tratándose de terrenos destinados a vivienda. Los terrenos agrícolas también obedecen a un daño emergente, dado que son de propiedad privada, pero además significan una indemnización por lucro cesante, considerando que la tierra es un patrimonio utilizado para la generación de ingresos. Algunas características de las indemnizaciones es que deben ser llevadas a cabo previamente a la transferencia de dominio, y pagadas en dinero efectivo y al contado.

Según el informe de expropiaciones para el nuevo aeropuerto de La Araucanía (ARCADIS Geotécnica S.A., 2006), el costo total de las expropiaciones en aquella ocasión abarcaba desde $716.201.585 (en pesos chilenos) hasta $1.952.303.527. Esto sin tener en cuenta la contratación de un estudio especializado en valorizar las indemnizaciones de zonas residenciales potencialmente conflictivas, cuyo costo adiciona $15.000.000. El costo más alto se deriva de propietarios que se consideraba que no estarían de acuerdo con la expropiación y exigirían mayores indemnizaciones, razón por la cual se propuso realizar el estudio especializado para ese caso.

Como se menciona anteriormente, los costos o tasaciones de los terrenos no constituyeron una materia de evaluación en la presente investigación. Considerando las sumas de dinero previamente expuestas, se recomienda que la variable económica acompañe al impacto ambiental cuando se tome la decisión de localización. A lo anterior se añade las implicancias sociales que la localización podría infligir en las comunidades afectadas, las cuales abarcan al ámbito de vivienda y laboral de las personas, y que las indemnizaciones buscan compensar monetariamente.