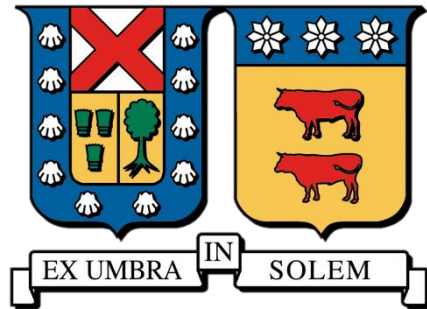


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE AERONÁUTICA
SANTIAGO- CHILE



PROPUESTA DE PLAN DE ADAPTACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA
AEROPORTUARIA FRENTE AL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

CARLOS NICOLÁS ORTIZ LEHUEY

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUÍA: Sr. Martinus Potters
PROFESOR CORREFERENTE: Sra. María Elena Cornejo Montecinos

Marzo 2023

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a mi familia, a mi madre Amalia, mi padre Germán, mi hermano Halbert y a mi esposa Benedetta, por el apoyo, confianza, motivación, comprensión y cariño durante todos estos años de desarrollo profesional. Han sido y seguirán siendo pilares fundamentales en mi vida.

Agradecer a cada una de las personas que conocí durante estos años de universidad, en especial a mis amigos y amigas, por su amistad, compañerismo, por cada uno de los buenos momentos que pasamos juntos y que me motivaron a seguir a delante día a día.

Agradecer finalmente a cada uno de las y los profesores que fueron parte de mi proceso de aprendizaje y me brindaron su conocimiento y experiencia, por su entrega y confianza, en especial al profesor Martinus Potters, jefe de carrera de Ingeniería en Aviación Comercial y a la profesora María Elena Cornejo, docente del Departamento de Aeronáutica de la Universidad Técnica Federico Santa María, quienes me apoyaron y guiaron en el desarrollo de mi memoria de título.

A todos y todas, mi más sincera gratitud.

Carlos Nicolás Ortiz Lehuey.

RESUMEN EJECUTIVO

El calentamiento global, generado por la emisión de gases de efecto invernadero al ambiente principalmente de origen antropogénico, es la raíz del cambio climático que afecta de manera profunda el medio ambiente y el desarrollo y quehacer del ser humano día a día.

Las medidas que se han tomado al respecto están evocadas a la mitigación y la incorporación del concepto de sostenibilidad, relacionado al uso de energías renovables y técnicas de construcción de bajo impacto ambiental. La parte de adaptación climática ha tenido un desarrollo ínfimo en comparación a las medias antes mencionadas, lo que puede ser extrapolado, de igual manera, a la industria de la aviación comercial.

Con el fin de dar respuesta a la asimetría entre adaptación y mitigación del cambio climático, se generó una propuesta de Plan de Adaptación, aplicable a la infraestructura aeroportuaria, tomando en consideración el impacto del cambio climático originado por el calentamiento global. Para llevar a cabo la propuesta, se diseñó una metodología hacia la identificación, análisis y priorización de los riesgos climáticos, con el fin de diseñar medidas adaptativas para la infraestructura aeroportuaria existente, habiendo considerado, en primer lugar, los antecedentes disponibles en relación al tema, la bibliografía y el estudio de casos aplicados y, en segundo lugar, la data histórica relacionada al clima del emplazamiento geográfico del aeropuerto, al igual que las proyecciones y simulaciones de las variables climáticas claves (como la temperatura, nivel de precipitaciones, dirección e intensidad del viento, etc.) en función del impacto del cambio climático en estas.

El proceso concluyó con el establecimiento de la estructura de un Reporte de Adaptabilidad Climática, cuya elaboración recapitula la información que se desprende posterior a la aplicación del Plan, con el fin de comunicar los diferentes hallazgos a los miembros de sistema aeronáutico.

Finalmente se instó a la creación de información objetiva y clara del impacto del cambio climático en la infraestructura aeroportuaria, además del reporte de avance de las medidas adaptativas que se decidan adoptar, con el fin de disminuir la vulnerabilidad respecto de los peligros ambientales que afectan al aeropuerto donde sea aplicado el Plan.

ABSTRACT

The climate change, that affects the environment and daily activities of human being is caused by the global warming, facilitated by the emission of anthropogenic greenhouse gases into the atmosphere.

Different actions have been taken in relation to climate change, but these actions are guide towards the concepts of mitigation and sustainability, incorporating renewable energies and low impact construction techniques. The climate adaptation actions have had a low level of development compared with mitigations initiatives, including the aviation industry.

In this title work, a Climate Change Adaptation Plan was developed, considering the impact of the climate change on the infrastructure of airports. A structured methodology was designed for the identification, analysis, and prioritization of different climate change risks, for the development of adaptative actions, considering technical information of the airport, historical climate data, and climate change projections and simulations.

This process concluded with the establishment of a Climate Change Adaptation Report's structure, that considered the information collected after the Plan's application, to communicate the different findings to the aeronautical system members.

Finally, the importance of the creation of objective and clear information regarding the impact of climate change on an airport was made clear, in addition to the progress report of the adaptive measures adopted by the airport, to reduce its vulnerability to environmental hazards.

TABLA DE CONTENIDOS

Agradecimientos	1
Resumen Ejecutivo	2
Abstract.....	3
Índice de Figuras	7
Índice de Gráficos.....	8
Índice de Tablas.....	9
Glosario de Términos	10
Introducción.....	11
1. Antecedentes Generales	13
1.1. Justificación del Tema	13
1.2. Objetivos	15
1.3. Metodología.....	15
1.4. Alcance	16
2. Estado del Arte	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Marco Teórico.....	20
2.2.1. Cambio Climático	20
2.2.2. Causas del Cambio Climático	21
2.2.3. Actividades humanas que contribuyen a la emisión de Gases de Efecto Invernadero	24
2.2.4. Efectos del Cambio Climático.....	25
2.2.5. Normativa en Temas de Gestión de Riesgos y Adaptación Climática.....	29
2.2.6. Riesgos Climáticos que impactan a los Aeropuertos	30
2.2.6.1. Aumento en el Nivel Medio del Mar.....	32
2.2.6.2. Aumento en la Intensidad de las Tormentas.....	33
2.2.6.3. Cambios en la Temperatura Terrestre	34
2.2.6.4. Cambios en las Precipitaciones	35
2.2.6.5. Cambios en la Dirección del Viento.....	36
2.2.6.6. Desertificación.....	37
2.2.6.7. Cambios en la Biodiversidad.....	37

2.3.	Propuesta Metodológica	38
3.	Desarrollo.....	39
3.1.	Resiliencia Respecto de las Vulneración Climática.....	39
3.1.1.	Caso del Aeropuerto Sky Harbor de Phoenix	39
3.1.1.1.	Efecto del calor en la operación de Aeronaves Regionales.....	40
3.1.1.2.	Incremento del uso de Aeronaves Regionales	42
3.1.1.3.	Contexto Climático del Estado de Arizona	43
3.1.1.4.	Afectación del Aumento de la Temperatura en aeronaves de mayor tamaño	44
3.1.1.5.	Restricción del peso de despegue de la aeronaves asociado al calor.....	45
3.1.1.6.	Una posible solución: Aumento en el largo de las pistas	46
3.1.2.	Riesgos y Adaptabilidad al Cambio Climático del Aeropuerto de Heathrow....	48
3.1.2.1.	Perfil de Aeropuerto Internacional de Heathrow.....	50
3.1.2.2.	Aproximación a los Riesgos Climáticos.....	50
3.1.2.3.	Medición de los Riesgos Climáticos físicos relacionados al Clima	51
3.1.2.4.	Evaluación de los Riesgos Climáticos.....	52
3.1.2.5.	Plan de acción de adaptación.....	52
3.1.3.	Resiliencia y Sostenibilidad: Caso Massport	53
3.1.3.1.	Energía y emisiones de Gases de Efecto Invernadero	55
3.1.3.2.	Resiliencia	55
3.1.4.	Estrategia Medioambiental del Aeropuerto de Sídney.....	57
3.1.4.1.	Adaptación Climática	59
3.2.	Plan de Adaptación de la Infraestructura Aeroportuaria frente al Impacto del Cambio Climático	61
3.2.1.	Introducción	61
3.2.2.	Objetivo General	62
3.2.3.	Objetivos Específicos.....	62
3.2.4.	Alcance.....	62
3.2.5.	Metodología del Plan	63
3.2.6.	Normativas de Referencia	63
3.2.7.	Términos y Definiciones	63
3.2.8.	Estructura del Plan	65
3.2.9.	Consideraciones Iniciales.....	65
3.2.9.1.	Comunicación del Inicio de la Aplicación del Plan	65

3.2.9.2.	Definición del Equipo de Trabajo	66
3.2.9.3.	Método para la Gestión de Riesgos Climáticos.....	67
3.2.9.4.	Alcance Temporal de la Evaluación de Riesgos Climáticos	69
3.2.9.5.	Recopilación de Información del Aeropuerto	70
3.2.10.	Aproximación a los Riesgos Climáticos	71
3.2.10.1.	Relación entre Adaptación al Cambio Climático y Gestión de Riesgos	71
3.2.10.2.	Proyecciones de Cambio Climático.....	73
3.2.10.3.	Categorización del Riesgo Climático	74
3.2.11.	Identificación de los Riesgos Climáticos y su Impacto en el Aeropuerto.....	75
3.2.12.	Análisis y Priorización de los Riesgos Climáticos.....	78
3.2.13.	Presentación de las Medidas de Adaptación Climática para la Infraestructura del Aeropuerto	80
3.2.14.	Financiamiento de las Medidas de Adaptación Climática	83
3.2.15.	Comunicación de Hallazgos a los Actores del Sistema Aeronáutico.....	84
3.3.	Revisión del Plan de Adaptación Climática	85
3.4.	Análisis del Impacto de la aplicación del Plan de Adaptación Climática	85
4.	Conclusiones y Recomendaciones	87
Anexo	90
Referencias Bibliográficas.....		91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama que esquematiza la metodología.	16
Figura 2: Vista superior del aeródromo La Florida (SCSE). Se hace la división entre el Lado Tierra y el Lado Aire. Fuente: Clase 1: Planificación, María Elena Cornejo (2021).	31
Figura 3: Estructura de la Propuesta Metodológica de la Memoria.	38
Figura 4: Aeronave CRJ-700 de SkyWest.	42
Figura 5: Aumento de la Temperatura en el último siglo en los Estados Unidos. La última década fue la más cálida en el sudeste del país.	44
Figura 6: Contexto del aeropuerto Internacional de Heathrow. Los datos representan la situación del aeropuerto en 2019.	50
Figura 7: Metodología para la evaluación de riesgos climáticos.	51
Figura 8: Estructura de la Gestión Ambiental del aeropuerto de Sídney.	58
Figura 9: Visualización de la metodología adoptada por el Plan de Adaptación Climática.	63
Figura 10: Estructura del Plan de Adaptación de la Infraestructura Aeroportuaria frente al Impacto del cambio climático.	65
Figura 11: Diagrama que esquematiza la relación entre Adaptación al cambio climático con la Gestión de Riesgos.	72
Figura 12: Matriz de Riesgos Cualitativa. Se relacionan los niveles de probabilidad con los niveles de gravedad.	74
Figura 13: Simbología de la escala de colores de la Matriz de Riesgos.	75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Se muestra la tendencia entre la Temperatura Terrestre y la Actividad Solar desde 1880 hasta 2020.....	20
Gráfico 2: Se muestra la variación de temperatura de los 48 estados contiguos de Estados Unidos (°F) desde 1901 a 2021. Se utilizan las temperaturas promedio con el fin de suavizar los datos.....	25
Gráfico 3: Se muestra la variación de temperatura terrestre (en °F) entre 1901 y 2021. Se utilizan las temperaturas promedio con el fin de suavizar los datos.	26
Gráfico 4: Se muestra la variación de la temperatura promedio de la tierra (gráfico de la izquierda) y la variación de la temperatura promedio del continente Europeo (gráfico de la derecha).	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Vuelos cancelados con salida programada desde el aeropuerto Internacional Sky Harbor de Phoenix en 2017 debido a las altas temperaturas.	40
Tabla 2: Vuelos cancelados con llegada hacia el aeropuerto Internacional Sky Harbor de Phoenix en 2017 debido a las altas temperaturas.	41
Tabla 3: Tabla de Probabilidades Cualitativas.	67
Tabla 4: Se muestra los distintos niveles de gravedad (impacto) asociado a la materialización de los Riesgos.	68
Tabla 5: Se presenta un listado de posibles riesgos que pueden ser identificados, de manera particular, para el aeropuerto donde se aplica el Plan.	76
Tabla 6: Se presenta un ejemplo de la información que debe ser registrada en la etapa de identificación de los riesgos climáticos.	77
Tabla 7: Resumen del proceso de análisis de los riesgos climáticos que impactan o impactarán en la infraestructura y sistemas del aeropuerto.	78
Tabla 8: Se presenta la descripción de la información necesaria para la presentación formal de las medidas adaptativas.	81
Tabla 9: Se presentan posibles medidas adaptativas que pueden ser identificadas por el equipo de trabajo, para su aplicación en el Aeropuerto.	82

GLOSARIO DE TÉRMINOS

CORSIA	Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
DGAC	Dirección General de Aviación Civil	
FAA	Administración Federal de Aviación	Federal Aviation Administration
IATA	Asociación Internacional de Transporte Aéreo	International Air Transport Association
ILS	Sistema de Aterrizaje Instrumental	Instrument Landing System
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático	Intergovernmental Panel on Climate Change
LECZ	Zonas Costeras de Baja Elevación	Low Elevation Coastal Zone
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional	International Civil Aviation Organization
PPB	Partículas por Billón	
PPM	Partículas por Millón	
RCP	Trayectorias de Concentración Representativas	Representative Concentration Pathway
SARPS	Normas y Métodos Recomendados	Standards and Recommended Practices
VOR	Radiofaro Omnidireccional	Very High Frequency Omni-Directional Range

INTRODUCCIÓN

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) destaca que la acción antropogénica ha impactado en los componentes del sistema terrestre, lo cual ha ocasionado repercusiones nocivas y de larga duración. Este impacto viene dado a través del calentamiento globalizado del planeta Tierra, potenciado por la emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera terrestre. Los gases de efecto invernadero, en particular el dióxido de carbono, son producidos mediante la combustión de hidrocarburos en diferentes actividades, como el transporte terrestre y aéreo, la producción de vestuario, alimentos y en el desarrollo agrícola, entre otras. Estos gases agudizan el efecto invernadero natural del planeta Tierra, provocando que gran parte de la energía que arriba desde el sol no sea reflejada hacia el espacio. Esta situación favorece el aumento de la temperatura terrestre tanto de manera local como global. El calentamiento global es la causa asociada al cambio climático que se vive ya hace varios años y que ha generado un desequilibrio ecológico y social. Al cambio climático se le atribuye el aumento tanto en cantidad como intensidad y duración de los eventos climáticos catastróficos como huracanes, tifones, inundaciones y sequías, además de un impacto irreparable en la biodiversidad del planeta.

De manera particular, la industria de la aviación se ha concientizado respecto de su aporte al cambio climático y ha tomado medidas de mitigación, compensación y neutralización del impacto que genera en el ambiente a través de sus distintas aristas de desarrollo (aeropuertos, aeronaves y diversos servicios asociados). Según lo que establece la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), la industria aeronáutica es responsable del 2% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente, aporte que viene dado principalmente desde la combustión al interior de los motores de las aeronaves. Dentro de las medidas de mitigación adoptadas por la industria aérea a nivel mundial destaca la incorporación, por una parte, de combustibles verdes, la creación, diseño y futura implementación de motores eléctricos y de hidrógeno, y, por otra parte, el diseño y construcción de aeropuertos sustentables, utilizando materiales reciclados e incorporando las fuentes renovables para suplir las necesidades energéticas, tales como paneles solares y centrales eólicas. El Plan CORSIA, que es un ejemplo de lo antes mencionado, considera la mitigación y neutralización

de las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de la aviación. Este Plan cuenta con tres fases en su implementación, las cuales establecen la recopilación de información respecto de las emisiones, junto con la creación de los informes y medidas de compensación en cada una de las fases.

Ahora bien, los expertos en cambio climático recalcan que mucha de la incidencia antropogénica en el ambiente ya es de carácter permanente y que las modificaciones que han ocurrido en el clima de la Tierra pueden ser revertidas en periodos que sobrepasan los 30 años. Esto sugiere que los elementos adversos del cambio climático estarán presentes durante largos periodos de tiempo. Es por esto por lo que, se ha establecido la necesidad de generar Planes de Adaptación Climática en diversas áreas, los cuales requieren esfuerzo político, económico y social para su implementación.

La industria aeronáutica cuenta con escasa información respecto de adaptación climática, no así en lo que respecta a la mitigación y neutralización, donde tanto los administradores aeroportuarios, las líneas aéreas y las organizaciones internacionales han establecido lineamientos en dichas áreas. Es en este sentido donde nace la inquietud por la creación de un Plan de Adaptación Climática que beneficie a los aeródromos y aeropuertos alrededor del mundo, donde se entregue una herramienta y metodología estandarizada, que pueda ser aplicada por los diferentes administradores aeroportuarios, con el fin de contar con aeropuertos y aeródromos con una infraestructura y sistemas resilientes y adaptados a las necesidades climáticas actuales y futuras.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

La International Finance Corporation (IFC) destaca lo esencial de la presencia de los aeropuertos para el progreso económicos de las ciudades, países y regiones. Su contribución directa se relaciona con la provisión de servicios para las compañías aéreas, transporte aéreo de pasajeros y carga. Esto genera un beneficio para los gobiernos, consumidores, clientes, usuarios y actores de diferentes industrias (International Finance Corporation, 2020). La gran mayoría de los aeropuertos del mundo se encuentra equipada y preparada para enfrentar las fluctuaciones que presenta el clima día a día (Anamaterou et al., 2021). A pesar de ello, los efectos del calentamiento global, que se traducen en cambios drásticos del clima en el planeta Tierra, están impactando la infraestructura de los aeropuertos a través de eventos climáticos adversos, cuyas proyecciones reflejan una tendencia hacia hechos cada vez más agudos y permanentes (Rakas et al., 2022, citando a Ashley et al., 2019). Los aeropuertos se clasifican como instalaciones críticas a nivel nacional, ya que facilitan tanto la movilidad como el crecimiento económico. Sin embargo, debido a su infraestructura fija y su vulnerabilidad al clima disruptivo, están particularmente en riesgo debido a las posibles consecuencias del cambio climático, con impactos como, el aumento del nivel del mar, temperaturas más altas y mayores eventos climáticos extremos, los cuales crean un riesgo a nivel operativo y comercial. Por lo tanto, para proteger la infraestructura vital y garantizar la continuidad de las operaciones aeroportuarias a futuro, es necesario desarrollar un pensamiento resiliente ante tales riesgos (Burbidge, 2016).

En comparación con los estudios de mitigación del cambio climático en el transporte, existe un número reducido de estudios sobre adaptación climática en esta área, y a su vez, los relacionados con el transporte aéreo son aún más escasos (Ching-Pong Poo, Yang, Dimitriu & Qu, 2021). Con relación a lo anterior, las investigaciones en el contexto de adaptación climática de los aeropuertos se llevan a cabo desde dos perspectivas: evaluación de riesgos y estrategias operativas. Los autores de estas investigaciones muestran los riesgos asociados a las inundaciones, establecen relaciones entre intensidad, duración y frecuencia (aplicable a eventos extremos de precipitaciones en los aeropuertos) y muestran el impacto negativo del

aumento de la temperatura en la performance de las aeronaves, entre otros (Ching-Pong Poo et al., 2021). Estos estudios prueban que los riesgos climáticos implican una amenaza real y tangible para la seguridad y las operaciones de los aeropuertos, pero no generan una metodología sistemática que permita guiar los procesos de aprendizaje y preparación de la infraestructura aeroportuaria existente y futura.

En una encuesta relacionada, realizada en los Estados Unidos, una gran cantidad de líneas aéreas y administradores de aeropuertos respondieron sentirse preparados para enfrentar los efectos del cambio climático, fundamentado principalmente en su experiencia en la resolución de contingencias que involucran temas de variabilidad climática (Anamaterou et al., 2021).

Lo anteriormente mencionado es un elemento clave en lo que respecta a adaptabilidad climática debido a que, para poder hacer frente a los desafíos ambientales actuales y futuros, es necesaria, en primer lugar, la *formulación de planes que adapten a los aeropuertos* frente a los riesgos que genera el cambio climático y, en segundo lugar, su aplicación de manera conjunta y coordinada entre los diferentes actores del sistema aeronáutico, con el fin de evitar una mala adecuación (Rakas, 2022). Esto último podría generar una vulneración en los diferentes aeropuertos de cara a los riesgos climáticos, por lo que es necesario actuar de manera rápida y eficiente, incentivando la creación de información climática que detalle la propia realidad de los diferentes aeropuertos para una correcta toma de decisiones en lo que respecta a adaptabilidad climática.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un Plan de Adaptación de la infraestructura aeroportuaria de cara a los riesgos ambientales generados por el cambio climático.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Estudiar el contexto global del planeta Tierra y de manera particular lo que respecta a las consecuencias adversas provocadas por el calentamiento global.
- Llevar a cabo la identificación de los riesgos que enfrentan los aeropuertos en la actualidad, asociado a condiciones climáticas adversas.
- Llevar a cabo el reconocimiento de la resiliencia en temas de adaptación climática, generada a través de la experiencia de los administradores aeroportuarios.
- Formular un Plan de Adaptación Climática en función de los riesgos ambientales que impactan la infraestructura aeroportuaria y analizar el impacto de su aplicación en el sistema aeronáutico.

1.3. METODOLOGÍA

- i. Recopilación de información técnica relacionada con la afectación de las condiciones climáticas adversas en la infraestructura y sistemas de los aeropuertos.
- ii. Identificación, caracterización y análisis de los riesgos generados debido a los efectos del calentamiento global en los aeropuertos.
- iii. Estudio de casos aplicados a la industria aeronáutica en relación con los aprendizajes obtenidos a partir del tratamiento de contingencias climáticas en los aeropuertos.
- iv. Definición de la estructura y metodología a utilizar en la creación del plan de adaptación climática.

- v. Generación del Plan de Adaptación Climática de la infraestructura aeroportuaria, considerando la información recabada.
- vi. Análisis de las implicancias de la aplicación del Plan de Adaptación Climática generadas a partir de la presente memoria.

A continuación se presenta un diagrama que ilustra los pasos presentados en la metodología de la presente memoria:



Figura 1: Diagrama que esquematiza la metodología.
Fuente: Elaboración Propia con la información expuesta en el apartado 1.3.

1.4. ALCANCE

El alcance de la presente memoria es descriptivo, debido a que el centro del actuar es la recopilación de información precisa en relación con el cambio climático y la infraestructura aeroportuaria, considerando reportes e informes de instituciones vinculadas a la industria aeronáutica nacional e internacional, bibliografía de diversos autores y casos de estudio alrededor del mundo que esquematicen aspectos de la problemática.

Además, se extiende hacia el alcance exploratorio, debido a que se busca poder generar un Plan de Adaptación Climática de la infraestructura aeroportuaria, considerando la escasa información disponible respecto de la adaptación en la industria aeronáutica en función del cambio climático.

Respecto del alcance temporal, se recopilará información a partir del año 2012 a la fecha, con el fin de tener acceso a datos actualizados, teniendo en cuenta la velocidad de cambio de la aviación comercial.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. ANTECEDENTES

La expansión del transporte aéreo, ayudado por el desarrollo técnico de las aeronaves, y la ampliación de la red de transporte de pasajeros y carga posterior a la Segunda Guerra Mundial, trajo consigo la necesidad de transformar las instalaciones y rutas en función de las nuevas necesidades de la industria (OACI, s.f.). Esto motivó la creación de acuerdos internacionales para la cooperación en materia de aviación civil.

El Convenio de Aviación Civil o Convenio de Chicago fue firmado el 7 de diciembre de 1944 en la ciudad de Chicago por 54 Estados. A pesar de los nacientes medios técnicos y tecnológicos disponibles, se comenzaban a utilizar las rutas aéreas del mundo con un criterio orientado hacia lo comercial. Hoy el convenio suma más de 193 estados signatarios, quienes forman parte de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), organismo internacional creado a partir del convenio de Chicago y encargado de la administración de los principios de dicho convenio (Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile, 2021). Del acuerdo se desprenden 19 Anexos, los cuales contienen los estándares y métodos recomendados (SARPS) para cada área de responsabilidad de la OACI (SKYBRARY, s.f.). En lo que respecta a los aeropuertos y aeródromos, una de las áreas de responsabilidad que está cubierta por los Anexos es el *Diseño y Operación* de estos, contemplado en el Anexo 14 Volumen I. Allí se establecen las recomendaciones en lo que se refiere a las generalidades, datos sobre los aeródromos, características físicas, restricción y eliminación de obstáculos, ayudas visuales a la navegación, ayudas visuales indicadoras de obstáculos, ayudas visuales indicadoras de zonas de uso restringido, sistemas eléctricos, servicios operacionales, equipos e instalaciones de aeródromo y mantenimiento de aeródromos (OACI, 2016). Todas las recomendaciones técnicas presentadas anteriormente, se entrelazan y potencian con los tópicos que se estudian en el Documento 9184 Parte I de la OACI, el cual busca, en primer lugar, ayudar a los administradores aeroportuarios en la tarea de preparar y actualizar los planes maestros de los aeropuertos y de armonizar su desarrollo, tomando en consideración aspectos del crecimiento urbano y presencia de infraestructura aeroportuaria adyacente.

Así mismo, es sabido que la presencia de aeropuertos y aeródromos genera un impacto en el medio donde se encuentran emplazados. Asimina Voskaki (2015), experta en cambio climático, detalla que, a pesar de que los aeropuertos cumplen un rol fundamental en el desarrollo de las economías regionales, estos impactan negativamente en el medio ambiente. Su contribución al empeoramiento de las condiciones ambientales radica principalmente en las operaciones propias de los aeropuertos, la operación de las aeronaves y la construcción de accesos y/o ampliaciones de los edificios terminales. Esto ha incentivado a las instituciones relacionadas a temas de desarrollo aeroportuario (OACI, Airport Council International, entre otras.) a realizar enmiendas a la documentación existente en este tema, con el fin de incorporar los conceptos de mitigación y sostenibilidad aeroportuaria, sintonizando la preocupación global respecto del daño ambiental y cambio climático. De manera particular, la OACI plasma en el Documento 9184 Parte II, la necesidad de una buena planificación de uso de suelo, con el fin de reforzar la seguridad de las personas en las aeronaves y en tierra, sumado a la continuidad de las operaciones aeroportuarias y la limitación del impacto ambiental en las comunidades aledañas (OACI, 2018).

El Documento 9184 Parte II, en su Cuarta Edición (2018), establece que la compatibilidad entre los aeropuertos y el medio ambiente es posible mediante un plan adecuado por parte de estos, el cual estime todos los aspectos relevantes en esta área. Este documento considera en primer lugar, la identificación del impacto que genera la actividad aérea en el ambiente, como el ruido de las aeronaves, la calidad del aire y del agua en las zonas circundantes a los aeropuertos, la basura que generan los aeropuertos, entre otras y la gestión de estos factores mediante la creación de planes focalizados (OACI, 2018). Este documento de la OACI, se encuentra dirigido hacia la *mitigación* del aporte negativo de los aeropuertos en las variables climáticas y ambientales, junto a la creación de aeropuertos sustentables, que consideren energías renovables y estructuras ecológicamente compatibles con el contexto global en esta materia. Para el caso de la adaptación al cambio climático, el documento menciona por una parte, la identificación de impactos y vulnerabilidades climáticas y posibles medidas adaptativas y de resiliencia, algo que se busca reforzar con la adición de casos de estudio relacionados (no se encuentran aún disponibles en la Cuarta Edición del documento), pero no plantea una metodología o plan que permita guiar a los administradores aeroportuarios en la gestión de las vulnerabilidades climáticas de los aeropuertos (OACI, 2018). Es posible

visualizar este último concepto día a día a través de hechos puntuales que ha sido conocidos a través de los años. A continuación se expone algunos:

- En Estados Unidos, durante la primera hora de la mañana del 30 de enero de 2022 más de 1.300 vuelos fueron cancelados debido a las intensas nevadas que azotaron el noreste del país, asociadas a la tormenta que se inició frente a la costa de Carolina del Norte y Carolina del Sur. Este evento parte con la cancelación de más de 200 vuelos, tanto en el aeropuerto LaGuardia de Nueva York como en el aeropuerto Internacional Logan de Boston (Reuters, 2022).
- En el este de Europa, inesperadamente un clima extremo causó estragos en el aeropuerto Internacional de Estambul en enero de 2022, asociado a fuertes tormentas de nieve. Este fenómeno climatológico adverso ocasionó el primer cierre masivo de este aeropuerto desde su inauguración en 2019, el cual vio afectada la estructura tanto de la terminal de carga y de pasajeros, asociada al peso de la nieve. Este evento generó la cancelación de todos los vuelos de la aerolínea Turkish Airlines, además de otras aerolíneas como la Low-Cost Pegasus (Bailey, 2022).
- El día 12 de agosto de 2022, el aeropuerto Sky Harbor de Phenix vio afectadas sus operaciones debido a condiciones extremas de viento y polvo, lo que generó la cancelación de 45 vuelos y el retraso de 100 (Raimondi, 2022).
- El 15 de agosto de 2022, los Emiratos Árabes Unidos fueron afectados por condiciones climáticas adversas relacionadas con tormentas de arena, las cuales afectaron a 44 vuelos, los cuales fueron cancelados y 12 vuelos que fueron redirigidos hacia Dubai World Central. Estos eventos han afectado la operatividad del aeropuerto Internacional de Dubai desde el domingo 14 de agosto de 2022 (Abbas, 2022).

Cada uno de estos eventos ejemplifica los desafíos y problemáticas que los aeropuertos deben enfrentar día a día debido a la influencia de los efectos nocivos del cambio climático en el medio ambiente.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. CAMBIO CLIMÁTICO

El aumento de la temperatura del planeta, provocado por las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero derivadas de la actividad del ser humano, están provocando variaciones en el clima que de manera natural no se producirían. A esto se le llama *calentamiento global*, causa del cambio climático (Acciona, 2022). Miles de millones de personas en todo el mundo son sumamente vulnerables a los impactos del cambio climático, por lo que la adaptación y la reducción del riesgo de desastres son cruciales para disminuir los riesgos frente a dicho impacto (Organización Meteorológica Mundial et al., 2022). Para entender la cadena de sucesos que llevó a la tierra al desequilibrio climático es importante iniciar con el concepto de efecto invernadero. El efecto invernadero es un proceso natural que le permite a la atmósfera terrestre mantener parte de la energía que recibe la tierra desde el sol, con el fin de mantener condiciones necesarias para albergar vida. Las actividades del ser humano rompen el equilibrio del efecto invernadero, ocasionando que la atmósfera retenga más energía de la necesaria, lo que se traduce en un calentamiento globalizado del planeta (Ver Gráfico 1) (Acciona, 2022).

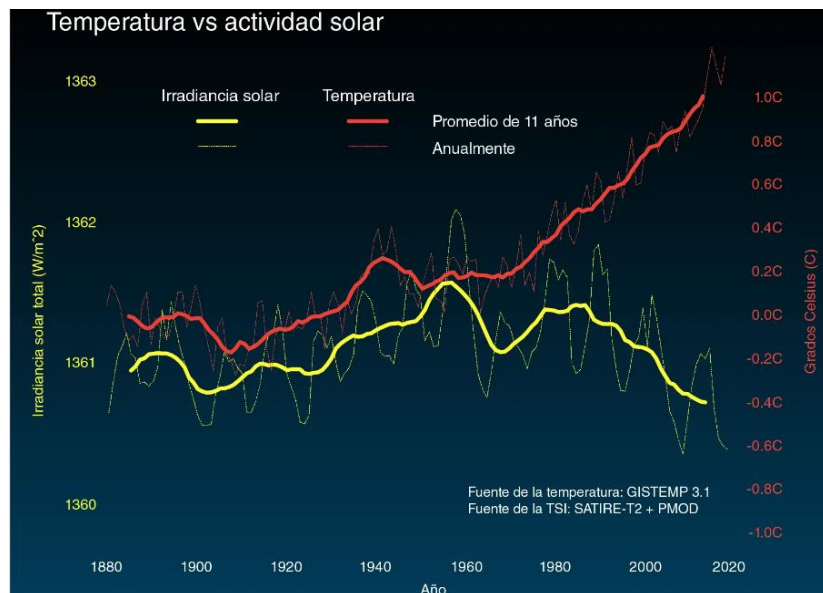


Gráfico 1: Se muestra la tendencia entre la Temperatura Terrestre y la Actividad Solar desde 1880 hasta 2020.

Fuente: NASA GLOBAL CLIMATE CHANGE Vital Signs of the Planet.

La Organización de Naciones Unidas (ONU) ha creado instancias de generación de información objetiva respecto de la variabilidad climática de la Tierra a través del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), el cual se encuentra conformado por miembros de la ONU Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (ONU, 2021). El IPCC destaca que el calentamiento global induce un cambio extendido del clima, que ha afectado negativamente la seguridad alimentaria y a los ecosistemas terrestres, además de contribuir a la degradación de las tierras en diversas regiones (IPCC, 2020). En su informe de 2021, el IPCC afirma que el calentamiento global es generalizado, avanza con rapidez y se intensifica. También subraya la urgencia de reducir de forma sustancial, rápida y sostenida las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera (ONU, 2021). Además, defiende que las actividades humanas han generado un desequilibrio atmosférico y terrestre, en lo que concierne a la concentración de gases de efecto invernadero, aumentos y disminuciones drásticas en la temperatura en los continentes, variaciones en las precipitaciones, además de un aumento sostenido en la temperatura global de la Tierra (IPCC, 2021). La ciencia es clara al respecto: es necesario actuar con urgencia para limitar las emisiones y adaptarse a la evolución del clima. El equipo de las Naciones Unidas, junto con sus asociados, continuará aportando conocimientos científicos de primer orden para fundamentar la toma de decisiones y apoyar la acción climática mundial (Organización Meteorológica Mundial et al., 2022).

2.2.2. CAUSAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La Ingeniera Ambiental Silvia Núñez (2022) explica que la atmósfera terrestre es la capa más ligera y externa de las que constituyen la Tierra. Además menciona que esta se constituye por una mezcla de varios gases, cada uno en diferente proporción. Dentro de los gases que componen la atmósfera destaca el Nitrógeno (78%), Oxígeno (21%), Argón (1%), Dióxido de Carbono (410 ppm), Gases Nobles (24,66 ppmv) y vapor de agua, entre otros. Estos además contribuyen al efecto invernadero natural de la Tierra, favoreciendo el desarrollo de vida (Arriols, 2018). En esta línea, la comunidad de expertos y científicos está de acuerdo en que el cambio climático reciente es causado por la actividad humana, basándose en modelos físicos y en la comparación de observaciones con modelos y patrones detallados del cambio climático generados por diferentes influencias humanas y naturales

(The Royal Society, 2020). Una de las causas principales es la emisión excesiva de gases de efecto invernadero, provocada en gran medida por la quema de combustibles fósiles para el transporte, calefacción y generación de electricidad. Este último elemento toma especial relevancia, debido a que es considerado la mayor fuente de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global (European Environment Agency, 2021).

Entre los gases que se atribuyen al efecto invernadero destacan:

1. Vapor de agua.

Es el gas de efecto invernadero más abundante pero, principalmente, actúa como retroalimentador del clima. El vapor de agua aumenta a medida que se calienta la atmósfera de la Tierra, y también incrementa la probabilidad de nubes y precipitaciones, lo que hace que estos sean algunos de los mecanismos de acrecentamiento más importantes del efecto invernadero (NASA, s.f.).

2. Dióxido de carbono.

Es un componente menor pero muy importante de la atmósfera. El dióxido de carbono se libera a través de procesos naturales como la respiración y las erupciones volcánicas, así como mediante actividades humanas como la deforestación, el cambio en el uso de los suelos y la quema de combustibles fósiles. Desde el inicio de la Revolución Industrial, la actividad humana ha provocado un aumento en la concentración de CO₂ de más de una tercera parte. Es el gas de larga duración “forzante” del cambio climático más importante (NASA, s.f.). En 2020 la concentración de gases de efecto invernadero sufrió una nueva alza. Para el caso del dióxido de carbono, este alcanzó una concentración promedio de $413,2 \pm 0,2$ (ppm) entre el periodo 2019-2020. Este valor es levemente menor que lo observado en el periodo 2018-2019 pero sigue siendo más alto que el promedio de concentración de CO₂ de la última década. Los datos del 2020 reflejan el impacto de la disminución en el consumo de combustibles fósiles en un 5,6% durante la pandemia de COVID-19. Aun así, el aumento en la concentración de CO₂ en la atmósfera es 149% respecto de los niveles preindustriales (Organización Meteorológica Mundial, 2022).

3. Metano.

Se trata de un gas hidrocarburo producido por fuentes naturales y por la actividad humana, como la descomposición de desechos en vertederos, la agricultura (en especial el cultivo de arroz), la digestión de rumiantes y el manejo del estiércol de ganado. A escala molecular, el metano es un gas de efecto invernadero mucho más activo que el dióxido de carbono, aunque mucho menos abundante en la atmósfera (NASA, s.f.). En 2020 la concentración atmosférica promedio de Metano alcanzó 1889 ± 2 (ppb), un 262% más respecto de los niveles preindustriales, lo que preocupa no solo por su aporte al calentamiento global, sino que también por su rol como precursor en la formación de Ozono a nivel del suelo (Organización Meteorológica Mundial, 2022). La exposición al Ozono troposférico es causante de un millón de muertes prematuras cada año (ONU, s.f.).

4. Óxido nitroso.

Es un poderoso gas de efecto invernadero que se produce debido a las prácticas vinculadas con el cultivo del suelo, en especial el uso de fertilizantes comerciales y orgánicos, la incineración de combustibles fósiles, la producción de ácido nítrico y la quema de biomasa (NASA, s.f.). En 2020, la concentración promedio de Óxido Nitroso en la atmósfera terrestre alcanzó $333,2 \pm 0,1$ (ppb), lo que representa un incremento de un 123% respecto de los niveles preindustriales (Organización Meteorológica Mundial, 2022).

5. Clorofluorocarbonos (CFC).

Son compuestos sintéticos de origen enteramente industrial que fueron utilizados en diversas aplicaciones pero su producción y emisión a la atmósfera están ahora muy reguladas mediante tratados internacionales, ya que contribuyen a la destrucción de la capa de Ozono. También son gases de efecto invernadero (NASA, s.f.).

Los datos en tiempo real desde ubicaciones específicas, incluyendo Mauna Loa (Hawái) y Cape Grim (Tasmania) indican que los niveles de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso

continúan creciendo de cara a los años venideros (Organización Meteorológica Mundial, 2022).

2.2.3. ACTIVIDADES HUMANAS QUE CONTRIBUYEN A LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

En lo que se refiere al transporte, la gran mayoría del parque automotriz del mundo funciona a base de la quema de combustibles fósiles derivados del petróleo, al igual que las aeronaves y barcos, lo que contribuye enormemente en acrecentar las consecuencias del calentamiento global (United Nations, s.f.). Particularmente, la aviación es responsable de la contribución en aproximadamente un 2% al total de las emisiones de dióxido de carbono de origen antropogénico, porcentaje que considera tanto las operaciones domésticas como internacionales (OACI, 2019).

Por otro lado, la deforestación con el objetivo de crear pasturas, zonas de crianza de ganado y cultivo, es otro elemento que provoca una gran emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, debido a que, al ser cortados, los árboles liberan todo el dióxido de carbono que han reservado. Se estima que cada año más de doce millones de hectáreas son taladas. Esto genera un efecto inmediato en la absorción de CO₂ de la atmósfera por parte de los bosques, lo que sumado a la actividad agrícola y otros usos del suelo generan un aporte de aproximadamente un cuarto del total de emisiones (United Nations, s.f.).

Adicionalmente, se relaciona las industrias alimenticia y producción de bienes, como una de las que más impacto generan en el ambiente, debido a la emisión de grandes cantidades de dióxido de carbono y metano. De manera particular la industria alimenticia genera un impacto transversal, asociado en primer lugar con la deforestación y uso de pesticidas altamente contaminantes y el uso de una gran cantidad de energía y recursos naturales para mantener en funcionamiento las plantas de crianza de animales de corral (United Nations, s.f.). Finalmente, para el caso de los Clorofluorocarbonos, estos son utilizados en los dispositivos de aire acondicionado, diversos procesos industriales y en los motores y sistemas de refrigeración (Santis, 2018).

2.2.4. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los efectos del calentamiento global se patentizan a través de las condiciones climáticas extremas que han provocado pérdidas económicas por cientos de miles de millones de dólares, pérdida de vidas humanas y han generado un impacto negativo en el bienestar de las personas (OMM, 2022). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) ha confeccionado indicadores de cambio climático en función de diversos elementos de clima. La EPA menciona la evolución de la temperatura tanto en los Estados Unidos como de manera global en la Tierra. Desde el año 1901 que la temperatura media de los 48 estados contiguos ha ido aumentando en un promedio de 0,09°C cada década (Ver Gráfico 2). A partir de los años 70 dicho promedio aumentó de manera considerable, pasando de 0,17°C a 0,3°C en cada década a partir de 1979. El aumento de la temperatura en los Estados Unidos no ha ocurrido de manera pareja en todos los estados. De hecho, el norte, oeste y Alaska son las zonas que más han visto aumentada su temperatura, mientras que otras partes del país han experimentado pequeños cambios en la temperatura (EPA, 2022).

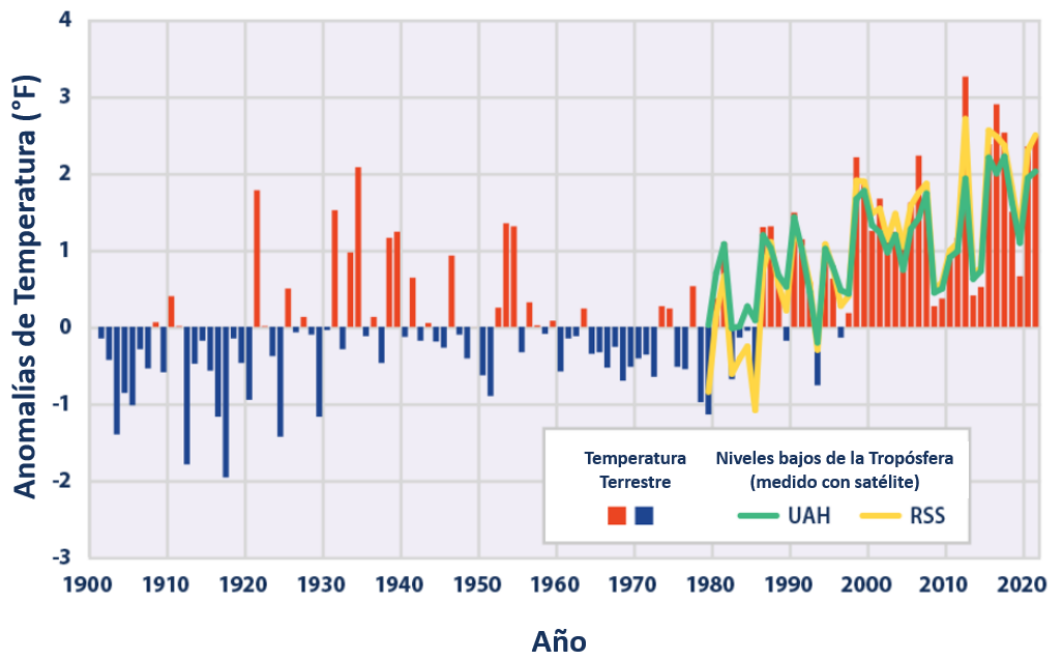


Gráfico 2: Se muestra la variación de temperatura de los 48 estados contiguos de Estados Unidos (°F) desde 1901 a 2021. Se utilizan las temperaturas promedio con el fin de suavizar los datos.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2021).

El comportamiento de la temperatura terrestre no es muy distinto del patrón de temperatura de los Estados Unidos entre los años 1901 y 2021. Hasta la década del 70 la variación promedio de la temperatura de la tierra tenía un valor bastante similar (0,09°C) al de los 48 estados contiguos. Posterior a 1970, el promedio de aumento de temperatura en los Estados Unidos fue mayor que los datos de temperatura media de la tierra (Ver Gráfico 2). Por su parte, en 2016 se registró un récord de la temperatura global de la tierra, siendo el año más caluroso jamás registrado y el periodo 2012-2021 fue la década más calurosa jamás registrada.

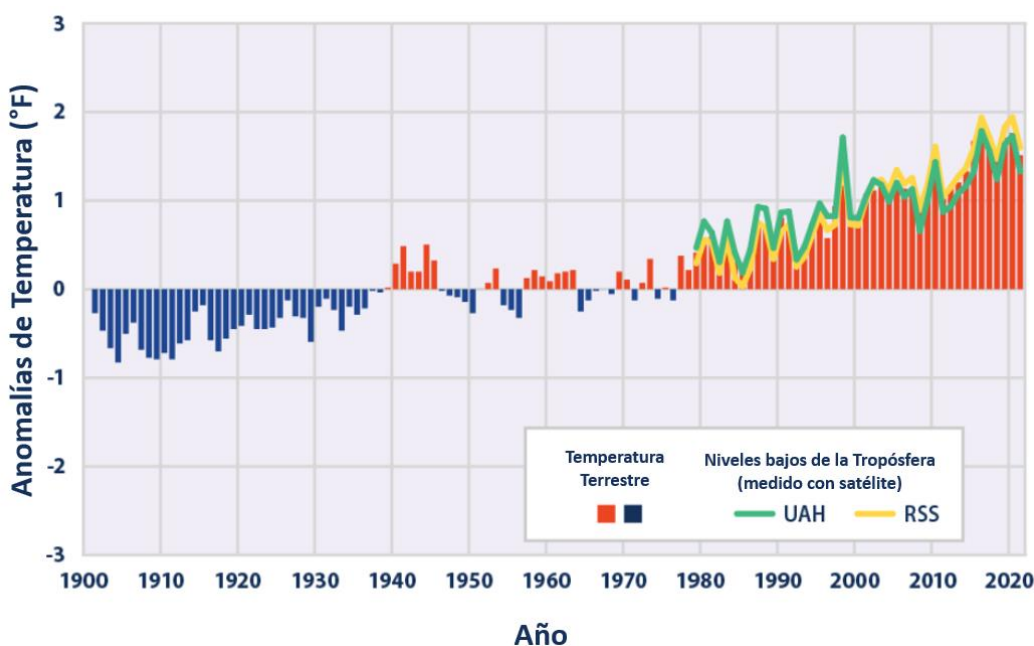


Gráfico 3: Se muestra la variación de temperatura terrestre (en °F) entre 1901 y 2021. Se utilizan las temperaturas promedio con el fin de suavizar los datos.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2021)

Por su parte, los indicadores de cambio climático de la Agencia Europea Medioambiental (EEA), comparten similitud con los datos presentados por la EPA. La EEA manifiesta que el continente europeo ha presentado un incremento sostenido en la temperatura promedio de las zonas terrestres, la cual se encuentra por sobre la temperatura promedio de la Tierra (Ver Gráfico 3). La preocupación principal de la agencia europea, es el impacto económico, medioambiental y social del cambio climático, considerando los datos y proyecciones

recabados desde la época preindustrial hasta la fecha (Agencia Europea Medioambiental, 2022).

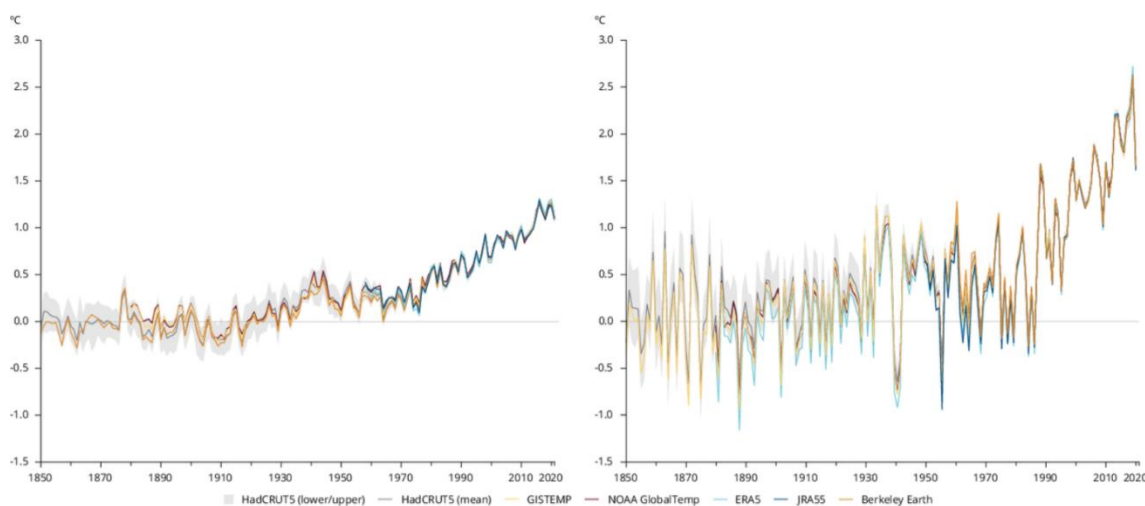


Gráfico 4: Se muestra la variación de la temperatura promedio de la tierra (gráfico de la izquierda) y la variación de la temperatura promedio del continente Europeo (gráfico de la derecha).

Fuente: Agencia Europea Ambiental (2022).

La Organización Meteorológica Mundial (2022), en su reporte “State of the Global Climate 2021”, menciona que la temperatura media de la Tierra en 2021 fue $1,11 \pm 0,13$ °C por sobre el promedio del periodo 1850-1900. Los datos analizados muestran al 2021 como el quinto y séptimo año más cálido.

A su vez, el aumento de la temperatura promedio del planeta Tierra, ha provocado un incremento de la presencia de tormentas cada vez más severas y destructivas. A medida que crecen las temperaturas, se genera más humedad, lo que exacerba eventos de *lluvias extremas*, *aluviones* e *inundaciones*. La frecuencia y el alcance de las tormentas tropicales también se ven afectadas por el calentamiento de los océanos. Los ciclones, huracanes y tifones se alimentan de aguas cálidas en la superficie de los océanos. Tales tormentas a menudo destruyen hogares y comunidades, causando muertes y enormes pérdidas económicas (United Nations, s.f.). Además, la temperatura anormal provoca el derretimiento de la masa de hielo de los polos, lo que favorece el aumento del nivel medio del mar, afectando principalmente a las zonas costeras (European Commission, s.f.). Otro efecto asociado al aumento de las temperaturas es las sequías. Las sequías privan de agua, pero

también ponen en riesgo cualquier medio necesario para la vida. A su paso, devastan la naturaleza, paralizan la producción de alimentos y obligan a que las personas migren en busca de ayuda y de agua. Según los expertos, en los próximos años afectarán a más territorios y serán más intensas (Acciona Sostenibilidad, s.f.). Todo lo antes mencionado, implica una amenaza significativa en la biodiversidad del planeta, en la salud de personas, al empleo, educación, disponibilidad de agua potable, entre otras muchas consecuencias adversas (European Commission, s.f.).

Por otra parte, la conciencia global respecto del cambio climático ha llevado a los países a realizar acuerdos, donde se colabore de manera coordinada para hacer frente al calentamiento global y el cambio climático. El Acuerdo de París sobre el cambio climático, llevado a cabo en 2015, tiene por objetivo el mantener el calentamiento global en niveles seguros a través de diversas metas propuestas y acordadas por los diferentes países. El Acuerdo de París presenta un plan de acción para limitar el calentamiento del planeta. Sus principales elementos son los siguientes (Consejo Europeo, 2022):

1. **Un objetivo a largo plazo:** los gobiernos acordaron mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento a 1,5 °C.
2. **Contribuciones:** antes de la conferencia de París, y durante esta, los países presentaron planes generales nacionales de actuación contra el cambio climático (conocidos como contribuciones determinadas a nivel nacional) para reducir sus emisiones.
3. **Ambición:** los gobiernos acordaron comunicar sus planes de actuación cada cinco años, fijando en cada plan objetivos más ambiciosos.
4. **Transparencia:** los países acordaron informarse mutuamente y a la sociedad sobre el grado de consecución de sus objetivos para garantizar la transparencia y la supervisión.
5. **Solidaridad:** los Estados miembros de la UE y otros países desarrollados seguirán financiando la lucha contra el cambio climático para ayudar a los países en desarrollo tanto a reducir sus emisiones como a generar resiliencia para responder a los efectos del cambio climático.

El Acuerdo de París entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, cuando se cumplió la condición de ratificación por al menos 55 países que representan como mínimo el 55 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Todos los países de la UE han ratificado el Acuerdo (Consejo Europeo, 2022).

La gran mayoría de los compromisos que se han llevado a cabo hasta ahora con respecto al cambio climático, incluyendo el Acuerdo de París, son a mediano y largo plazo, fijando metas para años como 2030 o 2050, tomando en consideración que se apliquen medidas paliativas de manera inmediata (ONU News, 2019). Esto implica que la humanidad y el planeta Tierra en su conjunto deberá enfrentar las condiciones climáticas extremas de los próximos 20 a 30 años (IPCC, 2021).

2.2.5. NORMATIVA EN TEMAS DE GESTIÓN DE RIESGOS Y ADAPTACIÓN CLIMÁTICA

En lo que respecta a la gestión de riesgos, la norma ISO 31000:2018 proporciona directrices para gestionar el riesgo al que se enfrentan las organizaciones. La aplicación de estas directrices puede adaptarse a cualquier organización y a su contexto. Esta norma además proporciona un enfoque común para gestionar cualquier tipo de riesgo y no es específico de una industria o un sector. Adicionalmente puede utilizarse a lo largo de la vida de la organización y puede aplicarse a cualquier actividad, incluyendo la toma de decisiones a todos los niveles (Organización Internacional de Normalización, 2018).

Por otra parte, la norma ISO 14090:2019, Adaptación al cambio climático: Principios, Requisitos y Directrices, inaugura una serie de normas ISO relacionadas con el cambio climático cuyo objetivo principal es poder ayudar a las organizaciones a evaluar de manera correcta los impactos provocados por el cambio climático, para así poder crear planes de control para una correcta adaptación. La ISO 14090:2019 no solo ayuda a las organizaciones a identificar y gestionar los riesgos, sino que también a contribuir a que estas puedan aprovechar cualquier oportunidad de beneficio que pueda provocar el cambio climático (ISOTools, s.f.).

La norma ISO 14090:2019 especifica los principios, requisitos y directrices para la Adaptación al cambio climático. Esto incluye la integración de la adaptación dentro de las

organizaciones o entre ellas, la comprensión de los impactos y las incertidumbres y cómo se pueden utilizar para informar decisiones. Este documento es aplicable a cualquier organización, independientemente de su tamaño, tipo y naturaleza, por ejemplo, local, regional, internacional, unidades de negocio, corporaciones, sectores industriales, unidades de gestión de recursos naturales. Este documento puede apoyar el desarrollo de normas de adaptación al cambio climático de un sector, de un aspecto o un elemento específico. Las organizaciones se pueden encontrar moviéndose de un lado a otro entre múltiples elementos, dependiendo de los desafíos que enfrentan y las lecciones que aprenden de la experiencia de entrega. Sin embargo, la estructura es lógica, iterativa y está diseñada para ser aplicada en el futuro. La estructura abarca (Organización Internacional de Normalización, 2019):

- La Planificación previa.
- La Evaluación de Impactos incluyendo Oportunidades.
- La Planificación de la Adaptación.
- La Implementación.
- El Seguimiento y la Evaluación.
- El Informe y la Comunicación.

2.2.6. RIESGOS CLIMÁTICOS QUE IMPACTAN A LOS AEROPUERTOS

Un aeródromo se define como toda área delimitada, terrestre o acuática, habilitada por la autoridad aeronáutica y destinada a la llegada, salida y maniobra de aeronaves en la superficie. Los aeródromos se dividen en militares y civiles. Dentro de esta última categoría se dividen en públicos y privados. Por su parte, los aeropuertos son todos los aeródromos públicos que se encuentran habilitados para la salida y llegada de aeronaves en vuelos internacionales (DGAC, s.f.). Es posible llevar a cabo la división de la infraestructura aeroportuaria en dos grandes secciones: el AirSide y LandSide. Cada una de estas secciones cuentan con elementos que se describen a continuación (Cornejo, 2021):

AirSide.

En el AirSide o Lado Aire de un aeropuerto o aeródromo normalmente es posible encontrar instalaciones como las pistas, calles de rodaje de aeronaves, ayudas a la navegación,

plataforma de estacionamiento de aeronaves, torre de control (es común de igual manera que se ubique en el LandSide), Servicio de Salvamento y Extinción de Incendio (SSEI) e instalaciones de la autoridad aeronáutica.

LandSide.

El LandSide o Lado Tierra de un aeropuerto o aeródromo se constituye de la terminal de pasajeros, terminal de carga, vialidad interior, estacionamientos vehiculares, subconcesiones y servicios de apoyo.

La infraestructura antes mencionada no se encuentra ajena a las consecuencias negativas del calentamiento global. A través de los años se han identificado una serie de riesgos, los cuales nacen a partir de la influencia del cambio climático en la infraestructura y sistemas de los aeropuertos. La OACI, a través del Documento 9184 Parte II y otros autores, identifican las vulnerabilidades que pueden estar presentes en los aeropuertos alrededor del mundo. Cabe destacar que cada aeropuertos puede presentar distintas vulneraciones asociadas a su propia realidad climática.



Figura 2: Vista superior del aeródromo La Florida (SCSE). Se hace la división entre el LandSide y el AirSide.

Fuente: Clase 1: Planificación, María Elena Cornejo (2021).

2.2.6.1. AUMENTO EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR

Las ciudades a menudo están situadas cerca del mar. Se estima que el 10% de la población mundial vive dentro de la Zona Costera de Baja Elevación (LECZ por sus siglas en inglés), área contigua a lo largo de la costa que está a menos de 10 metros sobre el nivel del mar (Dawson & Yesudian, 2021, citando a McGranahan et al., 2007). Esto impulsa la construcción de aeropuertos cercanos a las zonas costeras debido a la proximidad a las ciudades y la población a la que sirven, presencia de grandes extensiones de terreno llano y una mejor performance de las aeronaves (Dawson & Yesudian, 2021).

El aumento en el nivel medio del mar puede llegar a generar un riesgo para la infraestructura de los aeropuertos y aeródromos localizados en proximidad a la costa, relacionado con la inundación de las pistas, calles de rodaje, plataforma de estacionamiento de aeronaves, radio ayudas y terminales de carga y pasajeros (OACI, 2018). La inundación de la infraestructura de energía e iluminación, equipos de navegación y comunicación y transporte entre terminales puede provocar la interrupción de las operaciones del aeropuerto. La infraestructura de servicios críticos suele ser subterránea lo que significa que incluso pequeños volúmenes de agua pueden filtrarse y dañar equipos importantes (Dawson & Yesudian, 2021, citando a Burbidge, 2018). Al momento de diseñar el aeropuerto y por temas de seguridad, se considera la presencia de sistemas de drenaje de agua lluvia (Academia de Aviación, 2012). A pesar de ello, es altamente probable que el volumen de las inundaciones sobrepase los criterios de diseño del sistema de drenaje. Además, dependiendo del nivel de exposición del aeropuerto al riesgo, la inundación de algunas áreas puede afectar las operaciones aéreas. Adicionalmente, los accesos al aeropuerto, tanto subterráneos como calles de acceso, pueden verse seriamente dañados de igual manera (OACI, 2018).

El análisis de nuevos datos ha puesto de manifiesto que se ha subestimado la vulnerabilidad mundial al aumento del nivel del mar y las inundaciones costeras (Dawson & Yesudian, 2021, citando a Kulp & Strauss, 2019). Se prevé que la frecuencia de las inundaciones costeras se duplique en las próximas décadas debido al aumento del nivel del mar (Dawson & Yesudian, 2021, citando a Vitousek et al., 2017) y el análisis de 136 aglomeraciones urbanas costeras de 68 países reveló que la mitad no tenía ninguna estrategia de adaptación costera y el 85% no tenía en cuenta los riesgos del cambio climático (Dawson & Yesudian,

2021, citando a Olazabalel al., 2019). Dada la tendencia reciente en la expansión de los aeropuertos, la conectividad global de la red aeroportuaria y que la gran mayoría de las costas del mundo están sujetas al aumento del nivel del mar, es importante comprender estos riesgos a escala planetaria (Dawson & Yesudian, 2021).

2.2.6.2. AUMENTO EN LA INTENSIDAD DE LAS TORMENTAS

Otra de las consecuencias negativas del cambio climático es el aumento en la intensidad y frecuencia de las tormentas, como huracanes y tifones. Grandes tormentas han azotado desde Filipinas en el Pacífico occidental hasta las Islas Canarias en el Atlántico oriental, Japón y Florida en las latitudes medias y el oeste de Alaska y las Islas Marítimas de Canadá en las latitudes altas. Los científicos también confían en que la velocidad del viento aumentará en un clima más cálido y que aumentará la proporción de tormentas que se intensifican hasta convertirse en poderosas tormentas de categoría 4 o 5 en la escala Saffir-Simpson (Ver anexo 1.), lo que traerá consigo un impacto en el ambiente exponencialmente relacionado con la intensidad de las tormentas (Barlow & Camargo, 2022).

Para el caso de los aeropuertos y aeródromos, las tormentas cada vez más destructivas pueden llegar a afectar la estabilidad de su infraestructura. Además, este tipo de eventos generan un envejecimiento prematuro en los edificios terminales, hangares, pistas, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento de las aeronaves. Además, se puede generar la destrucción de equipos móviles y frágiles (OACI, 2018).

Por otra parte, se ocasionan retrasos y cancelaciones de los vuelos de pasajeros, generando un impacto económico para las compañías aéreas, asociado a la extensión de servicios de alimentación, transporte y alojamiento para los pasajeros, además de reducción en la capacidad operativa del aeropuerto y saturación de los espacios de la terminal de pasajeros (OACI, 2018).

La destrucción del Aeropuerto Internacional de St. Martin por el paso del Huracán Irma en 2017 (Infobae, 2017) y la inundación del Aeropuerto Internacional de Kansai (Osaka, Japón) en 2018, producto del Tifón Jebi el cual ocasionó marejadas de 3 metros, son pruebas claras de los riesgos que trae consigo la presencia de tormentas cada vez más intensas.

2.2.6.3. CAMBIOS EN LA TEMPERATURA TERRESTRE

Desde la década de 1980, ha existido un constante aumento de las temperaturas terrestre y oceánica. Solo en 2021, ambas superficies eran 0,84 grados centígrados más cálida que el promedio del siglo XX (Orús, 2022).

Los eventos de temperaturas extremas tienen serias implicancias en los aeropuertos. Las temperaturas extremas durante la época estival pueden exceder los estándares de diseño de las pistas, calles de rodaje y plataformas, trayendo consigo daño en los pavimentos e incluso el derretimiento de estos durante los peak de temperatura. Además, con la presencia de temperaturas extremas se ven afectados los requerimientos de largo de pista para el despegue de las aeronaves, asociados a la disminución de las características de performance de los aviones (OACI, 2018). Todos los tipos de motores de aviación cuentan con una Temperatura Máxima Operativa (MOT). En ambientes cálidos, la MOT puede alcanzarse mucho antes de que el motor esté produciendo el empuje o torque máximo, por ende, en ambientes con altas temperaturas la distancia de despegue aumenta y la tasa de ascenso disminuye. Esto puede implicar la necesidad de restringir el peso máximo de despegue de los aviones, ocasionando una disminución en la carga de pago y pasajeros que puedan transportar en dichas condiciones (SKYBRARY, s.f.).

Para el caso de la infraestructura diseñada para ambientes menos cálidos, el aumento en la temperatura impide que se mantenga un entorno adecuado para los pasajeros y colaboradores, pudiendo ocasionar problemas de salud y saturación de los equipos de acondicionamiento, además de un aumento de los costos en energía para los administradores aeroportuarios (OACI, 2018).

Por otra parte, el aumento de la temperatura terrestre origina el derretimiento del permafrost (Ver anexo 2.), lo que ocasiona que el suelo se vuelva menos firme, produciendo un daño a la estabilidad e integridad de la infraestructura de aeropuertos de climas fríos. Para el caso de las pistas de aterrizaje se pueden presentar daños como hoyos y pandeo de la superficie de estas (OACI, 2018). Esto implica que la estructura misma de la pista no pueda soportar de manera eficiente el peso de las aeronaves tanto en el despegue como en el aterrizaje.

2.2.6.4. CAMBIOS EN LAS PRECIPITACIONES

La modificación en el perfil de precipitaciones, asociado al cambio climático tiene dos aristas de implicancia. El primer caso es del aumento excesivo en las precipitaciones en ciertas regiones del planeta y el segundo caso, la disminución extrema en las precipitaciones.

Para el primer caso, con el aumento sostenido de la temperatura terrestre, se provoca una mayor evaporación de masa de agua hacia la atmósfera, potenciando la presencia de eventos de precipitaciones extremas (Newcastle University, 2021). Los riesgos que surgen de esta condición están relacionados con la afectación en la capacidad de drenaje de los aeropuertos, los cuales deberán afrontar eventos de lluvias extremas cada vez más frecuentes, pudiendo no hacer frente de manera eficiente al desafío de evacuar el agua acumulada en las diferentes superficies de los aeropuertos, además de los riesgos para la infraestructura subterránea, la cual considera los equipos electrónicos, de radio navegación y el sistema de conexión Inter Terminal (OACI, 2018). Adicionalmente, existe el riesgo de aluviones generados por el debilitamiento del terreno (Newcastle University, 2021), afectando principalmente a aeropuertos localizados en cercanía a terrenos con laderas. Los edificios terminales también pueden sufrir daños en relación con el aumento en el nivel de precipitaciones, especialmente en zonas geográficas donde no es común este tipo de eventos. Un ejemplo de aquello fue la inundación de la terminal de pasajeros del aeropuerto de la ciudad de Calama, en el norte de Chile, asociado a las lluvias intensas (Mesa de noticias de El Mostrador , 2022).

Por el contrario, para el segundo caso se prevé una disminución en la cantidad y frecuencia de las precipitaciones en ciertas regiones, lo que trae consigo la creación y fortalecimiento de zonas de sequías y desertificación de los suelos. Esta situación impacta el abastecimiento de agua potable para suplir las necesidades hídricas de los aeródromos y aeropuertos, afectando de manera directa la calidad de servicio y comodidad de los pasajeros (OACI, 2018).

2.2.6.5. CAMBIOS EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO

Al momento de diseñar los aeropuertos, se toma en consideración la dirección y velocidad de los vientos para definir el emplazamiento de la o las pistas, como lo establece el Anexo 14 sobre Diseño de aeródromos (OACI, 2016); el análisis de los vientos es de fundamental importancia para determinar la orientación de las pistas (Bellasio, 2014, citando a FAA, 2012). De manera ideal, una pista debería estar alineada con el viento predominante, en orden de minimizar las componentes de viento cruzado. Como dato, condiciones adversas del viento, como el viento cruzado, viento de cola y cizalladuras, están involucradas en un gran número de accidentes en la fase del aterrizaje (Bellasio, 2014). Cada aeronave presenta un componente máximo de viento cruzado, cuyo valor deriva de los vuelos experimentales en la fase de prueba. Cabe destacar que el componente de viento cruzado es directamente proporcional al tamaño de la aeronave. Un ejemplo de aquello es que una aeronave de tipo A320 cuenta con un componente máximo de viento cruzado de 33 nudos versus un Cessna 172 que presenta un componente máximo de viento cruzado de 17 nudos. La Federal Aviation Administration (FAA) determina el máximo de viento cruzado permitido con relación a la clave de referencia del aeródromo (Bellasio, 2014).

Tomando en consideración lo mencionado anteriormente, el cambio climático puede llegar a afectar la dirección e intensidad del viento predominante, considerado para el diseño y decisión de orientación de la pista. De esta manera aumenta el riesgo en la operación de las aeronaves debido a la presencia de condiciones variables del viento, en particular de vientos cruzados que sobrepasen la capacidad operativa de los aviones que operan en el aeropuerto. En casos extremos, la presencia de condiciones extremas del viento puede generar la disminución de la capacidad del aeródromo o aeropuerto, debido al cierre del recinto aeroportuario. Adicionalmente, el aumento en la intensidad del viento puede generar que el equipo de tierra se eleve o se puedan generar movimientos disruptivos de las aeronaves en tierra (OACI, 2018).

2.2.6.6. DESERTIFICACIÓN

La desertificación es un fenómeno de degradación de la tierra en partes del mundo con escasez de agua. Esta degradación incluye la disminución temporal o permanente de la calidad del suelo, la vegetación, los recursos hídricos o la vida silvestre. También incluye el deterioro de la productividad económica de la tierra, como la capacidad de cultivo con fines comerciales o de subsistencia. Las causas de la desertificación se pueden dividir ampliamente entre las relacionadas con la forma en que se gestiona o no la tierra, y las relacionadas con el clima. El primer factor incluye elementos como la deforestación, el pastoreo excesivo del ganado, el cultivo excesivo y el riego inadecuado; el último incluye las fluctuaciones naturales en el clima y el calentamiento global como resultado de las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicas (McSweeney, 2019).

Dentro de los riesgos que puede generar la desertificación para la operación de los aeropuertos se incluye la erosión del suelo cercano a la plataforma de estacionamiento de aeronaves, calles de rodaje y la pistas; presencia de tormentas de arenas que interrumpen la operación normal del aeropuerto, acumulación de arena en la plataforma de estacionamiento o las zonas de estacionamiento remoto de las aeronaves y daños en los perfiles aerodinámicos y motores de las aeronaves, debido a la ingesta de arena. Otro riesgo asociado a la desertificación es la disminución en la disponibilidad de agua potable, afectando la capacidad de almacenamiento de agua para satisfacer las necesidades hídricas de los aeropuertos (OACI, 2018).

2.2.6.7. CAMBIOS EN LA BIODIVERSIDAD

El cambio climático puede inducir cambios en la vida silvestre, en lo que respecta a los patrones de las migraciones y cambios en la biodiversidad local. De manera puntual, las variaciones en la fauna silvestre pueden cambiar la diversidad de especies de aves que se encuentran presentes en los aeropuertos, trayendo consigo un aumento excesivo en la cantidad de aves migratorias. Las aves migratorias representan un gran reto para los aeropuertos, debido a su potencial impacto en las operaciones aéreas. Los choques con pájaros son uno de los eventos más comunes en las fases de aproximación y aterrizaje. La

ingesta de aves por los motores de los aviones puede generar la pérdida parcial o total del empuje del motor (OACI, 2018).

2.3. PROPUESTA METODOLÓGICA

A continuación se presenta de manera esquemática la propuesta metodológica de la presente memoria, la cual considera etapas de definición y análisis respecto de la información existente con el fin de poder generar el Plan de Adaptación Climática frente al impacto del cambio climático en la infraestructura de los aeropuertos.

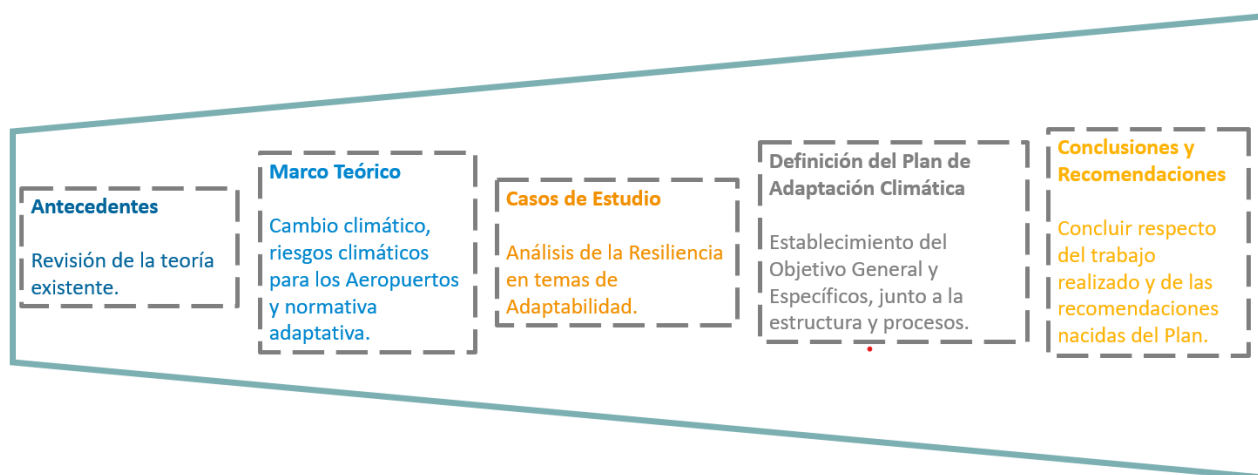


Figura 3: Estructura de la Propuesta Metodológica de la Memoria.

Fuente: Elaboración Propia.

3. DESARROLLO

El interés por analizar la influencia de las condiciones climáticas extremas que se llevan observando hace años ha llevado a expertos en diversas áreas a plantear de manera objetiva las evidencias disponibles y establecer conclusiones a modo de *resiliencia* y que influyan en las futuras decisiones. En este capítulo, se expondrá el análisis de casos de estudios alrededor del mundo asociado a condiciones climáticas adversas, con el fin de poder concluir y establecer medidas de adaptación que han nacido desde el contexto particular de los aeropuertos y administradores aeroportuarios.

Por otra parte, se dará desarrollo al Plan de Adaptación Climática, el cual corresponde al Objetivo General de la presente Memoria.

3.1. RESILIENCIA RESPECTO DE LAS VULNERACIÓN CLIMÁTICA

La experiencia que tienen los administradores aeroportuarios a través del manejo de la operación y desarrollo de sus aeropuertos y aeródromos, puede significar una herramienta valiosa, la cual tiene la capacidad de influir en las decisiones que se toman sobre otros aeropuertos y aeródromos que presenten contextos similares, más aún en temas climáticos, donde el objetivo principal debe ser la cooperación y el traspaso del conocimiento y experiencia. A continuación se expondrán diversos casos de estudio que reflejan el interés en la resiliencia en temas de cambio climático.

3.1.1. CASO DEL AEROPUERTO SKY HARBOR DE PHOENIX

Brandon T. Carpenter, de la Universidad de Tennessee, plantea un análisis global del impacto del calor en la Industria de la Aviación, donde busca mitigar los efectos negativos del calor en aeronaves de pequeño y gran tamaño. Carpenter plantea el análisis desde el punto de vista del Aeropuerto Internacional Sky Harbor de Phoenix, Arizona, debido a la afectación que ha tenido el microclima de ese estado, asociado al aumento extremo de la temperatura.

3.1.1.1. EFECTO DEL CALOR EN LA OPERACIÓN DE AERONAVES REGIONALES

El 20 de junio de 2017, el Aeropuerto Internacional Sky Harbor (código IATA: PHX), el cual sirve a la ciudad de Phoenix, Arizona, vio afectada su operación debido al calor extremo, con temperaturas cercanas a los 50°C. En respuesta a este evento se generó la cancelación de un número significativo de vuelos desde y hacia este aeropuerto, principalmente por SkyWest Airlines, compañía que opera aeronaves regionales de tipo Canadair Regional Jets (CRJ) de Bombardier Aerospace y que en dicha ocasión volaban bajo contrato de American Eagle, filial regional de American Airlines.

Vuelos Cancelados con salida desde PHX				
Fecha	Operador	Tipo de Aeronave	Origen	Hora de salida
20-06-2017	American	B737	PHX	8:45
21-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	13:30
22-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	13:40
23-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	14:25
24-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	15:10
25-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	15:30
26-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	15:30
27-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	15:30
28-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	16:45
29-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	16:45
30-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	16:50
01-07-2017	SkyWest	CRJ	PHX	16:56
02-07-2017	SkyWest	CRJ	PHX	16:59

Tabla 1: Vuelos cancelados con salida programada desde el Aeropuerto Internacional Sky Harbor de Phenix en 2017 debido a las altas temperaturas.

Fuente: Elaboración propia con los datos del caso del Aeropuerto Sky Harbor (2018).

Vuelos Cancelados con llegada hacia PHX

Fecha	Operador	Tipo de Aeronave	Destino	Hora de llegada
20-06-2017	American	N/A	PHX	15:34
21-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	16:02
22-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	16:04
23-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	16:16
24-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	17:52
25-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	18:00
26-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	18:06
27-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	19:12
28-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	19:19
29-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	19:21
30-06-2017	SkyWest	CRJ	PHX	19:35
01-07-2017	SkyWest	CRJ	PHX	19:37
02-07-2017	SkyWest	CRJ	PHX	21:06

Tabla 2: Vuelos cancelados con llegada hacia el Aeropuerto Internacional Sky Harbor de Phoenix en 2017 debido a las altas temperaturas.

Fuente: Elaboración propia con los datos del caso del Aeropuerto Sky Harbor (2018).

American Airlines utiliza el aeropuerto Internacional Sky Harbor de Phoenix como un Hub, por lo que cuentan con una mayor cantidad de vuelos desde y hacia este aeropuerto, esto con relación al modelo con el que opera (Hub-and-Spoke). Dichos vuelos son operados de manera regular por aviones regionales. Las demás compañías aéreas vuelan aeronaves de mayor tamaño como los B737, diseñados con una mayor Temperatura Máxima Operativa (MOT por sus siglas en inglés). La temperatura registrada en el aeropuerto Internacional Sky Harbor fue superior a la MOT de las aeronaves CRJ, la cual corresponde a 47°C. Esto impidió el despacho seguro de los vuelos operados con este tipo de aeronave. Además, es altamente probable que la sensación térmica en la pista, calles de rodaje y plataforma haya sido mayor, debido al reflejo del sol en el pavimento.



Figura 4: Aeronave CRJ-700 de SkyWest.

Fuente: The Flight (s.f.)

3.1.1.2. INCREMENTO DEL USO DE AERONAVES REGIONALES

En la década del 70, se llevó a cabo la desregulación de la Aviación Comercial en los Estados Unidos, ejecutado durante el gobierno del presidente Jimmy Carter. Con este hecho se buscaba disminuir la burocracia y dificultad en la asignación de las rutas aéreas. La idea central de la desregulación era el aumento en la eficiencia de las operaciones aéreas, generando una disminución en los precios de los tickets aéreos y un aumento del factor de ocupación de las aeronaves. Este fenómeno trajo consigo un incremento explosivo en la competencia entre los diferentes operadores aéreos, llevando incluso a algunas líneas aéreas a la bancarrota. En el caso contrario, para varios operadores aéreos este contexto potenció su consolidación en el Mercado Aeronáutico norteamericano.

De la desregulación nace un nuevo modelo de viajes: el modelo Hub-and-Spoke (HS). En lugar de operar vuelos punto a punto, las compañías aéreas transportan a sus pasajeros desde el aeropuerto de origen hacia un aeropuerto Hub, el cual concentra el tráfico de pasajeros y carga, y desde allí hacia el aeropuerto de destino. El Hub actúa como un centro de distribución, donde convergen aeronaves de todo tipo. Particularmente existe una creciente presencia de aeronaves regionales, debido al servicio que estas prestan a aeropuertos de menor tamaño, junto al crecimiento del mercado en pequeñas ciudades. El nuevo Sistema HS

utiliza Jets Regionales por muchas razones. Aunque los aviones regionales suelen incurrir en costos unitarios más altos que los aviones más grandes (los tramos de vuelo son mucho más cortos), las aerolíneas pueden alcanzar mercados más pequeños para dar servicio a su red, complementar las rutas ya existentes, proporcionar una mayor frecuencia de vuelo y reemplazar los aviones turbohélice más antiguos. Los Jets Regionales (RJ) ofrecen una combinación de atributos que antes no estaban disponible. Ellos combinan una capacidad de transporte de pasajeros relativamente baja, por lo general 70 asientos o menos, con un relativo largo alcance, una alta velocidad de crucero comparable a la de los aviones de mayor envergadura, y un nivel de comodidad para los pasajeros cercano al de los aviones de mayor tamaño. La evidencia muestra que los RJ se utilizaron para brindar servicio en una gran cantidad de nuevas rutas HS y punto a punto. Además, reemplazaron aviones discontinuados y de turbohélice.

3.1.1.3. CONTEXTO CLIMÁTICO DEL ESTADO DE ARIZONA

Según lo que plantea la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), el clima del estado de Arizona está cambiando. El estado se ha calentado alrededor de dos grados Fahrenheit en el último siglo. A lo largo del suroeste de los Estados Unidos, las olas de calor son cada vez más comunes, y la nieve se derrite antes en primavera. En las próximas décadas, con el cambio climático es probable que disminuya el flujo de agua en el Río Colorado, se amenace la salud del ganado, se aumente la frecuencia e intensidad de los incendios forestales, como el que afectó a Arizona en 2011, considerado uno de los incendios forestales más grandes registrados en el estado; se conviertan algunos pastizales en desierto, se afecte la disponibilidad de agua potable, afectación en la agricultura y la calidad de la salud de las personas.

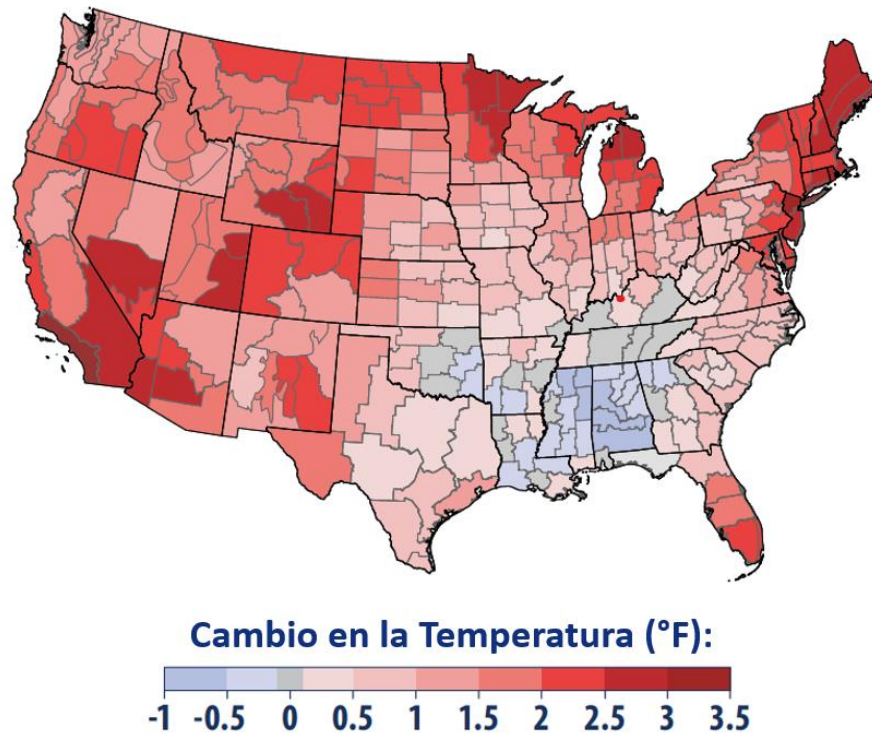


Figura 5: Aumento de la Temperatura en el último siglo en los Estados Unidos. La última década fue la más cálida en el sudeste del país.

Fuente: EPA, *Climate Change Indicators in the United States* (2016).

3.1.1.4. AFECTACIÓN DEL AUMENTO DE LA TEMPERATURA EN AERONAVES DE MAYOR TAMAÑO

Por otra parte, Carpenter menciona que además de la afectación del calor extremo en las aeronaves regionales, es importante comprender que el calor también afecta significativamente a las aeronaves no regionales. Entender por qué y cómo es vital, especialmente porque los Jets de mayor alcance constituyen el porcentaje mayoritario de la flota de aeronaves en los Estados Unidos, y además se espera que el número de este tipo de aeronaves aumente de cara al futuro. Aviones más grandes, tanto de fuselaje estrecho como de fuselaje ancho, los cuales son proporcionados al Mercado Aeronáutico por Airbus, Boeing y McDonnell Douglas tienen temperaturas operativas más altas, por lo que es poco probable que los vuelos programados con estas aeronaves sean cancelados debido a temperaturas que excedan la MOT. Sin embargo, decenas de miles de vuelos cada año están sujetos a

restricciones de peso resultantes de las altas temperaturas. Cada avión tiene un peso máximo de despegue (MTOW), pero con mucha frecuencia, el MTOW está sujeto a restricciones adicionales por una variedad de factores, tales como la longitud de las pistas de los aeropuertos, debido a que mientras más corta es la pista el peso de despegue de la aeronave debe ser reducido para lograr la velocidad de rotación (VR) en una distancia segura; la altitud del aeropuerto, debido a que a medida que aumenta la altitud en la cual se encuentra emplazado el aeropuerto se ve disminuida la capacidad de performance de las aeronaves, en particular de los motores; y las temperaturas, debido a que al igual que con el aumento de la altitud, al ir incrementando la temperatura del aeropuerto la cantidad de empuje que pueden generar las motores disminuye.

En ocasiones, el peso de un avión antes del despegue, el cual considera el peso mismo de la aeronave, el combustible suficiente para llevar a cabo el vuelo, la cantidad de pasajeros y tripulación, equipaje, carga de pago; puede exceder la restricción de peso asociado a los factores mencionados con anterioridad y la aeronave debe aligerarse para que el vuelo sea despachado. Para esto, normalmente se realiza el desembarque de pasajeros y su equipaje; o de carga de pago. El área de operaciones de las aerolíneas debe tener en cuenta estas restricciones de peso y con frecuencia deben lidiar con ellas de manera no planificada, a causa de cambios bruscos en las condiciones ambientales o que no se hayan previsto con anterioridad. Las restricciones de peso pueden llevar a generar un impacto negativo en los ingresos de la aerolínea, teniendo que denegar el embarque a un cierto número de clientes, volver a reservar pasajeros, la generación de costos asociados a retrasos en la salida de los vuelos y la incapacidad de enviar la carga pactada en el manifiesto.

3.1.1.5. RESTRICCIÓN DEL PESO DE DESPEGUE DE LA AERONAVES ASOCIADO AL CALOR

De acuerdo con la información de Boeing, los B737 en el aeropuerto Internacional Sky Harbor están sujetos a 454 kg de reducción de peso a 38°C y de 4536 kg a 47°C. Un total de 122 vuelos operados por los Boeing 737 que partieron del aeropuerto Internacional Sky Harbor registraron restricciones de peso el día 20 de Junio de 2017. La mayoría de estos vuelos afectados fueron de la aerolínea Southwest ya que esta compañía aérea solo opera este tipo de avión. El número de días de verano que requieren restricción de peso ha aumentado

desde 1980 junto con el aumento observado en la temperatura de la superficie. Estos cambios afectarán negativamente el rendimiento de la aeronave, lo que provocará un aumento en las restricciones asociadas al peso, especialmente en aeropuertos con pistas cortas y poco espacio para expandirse. Según los expertos, las restricciones de peso de las aeronaves B737-800 pueden llegar a significar el 30% de la capacidad de carga total de la aeronave, considerando tanto la disminución en la cantidad de pasajeros, carga de pago y combustible.

3.1.1.6. UNA POSIBLE SOLUCIÓN: AUMENTO EN EL LARGO DE LAS PISTAS

El estudio considera varias posibles soluciones a la problemática planteada, las cuales establecen medidas tanto para los operadores aéreos, fabricantes de aeronaves y aeropuertos. En esta oportunidad se busca focalizar las soluciones ligadas a los aeropuertos (debido a que estos son el centro de la memoria). Carpenter plantea que una posible solución es el aumento del largo de las pistas para el despegue de las aeronaves. El autor no considera los requerimientos de longitud de pista para el aterrizaje, debido a que en esta última fase los aviones requieren una menor longitud de pista, ya que debido al consumo de combustible durante el vuelo, su peso es menor que al momento del despegue.

A modo de ejemplo, se plantea una comparativa entre los requerimientos de longitud de pista de un B737-400 en condiciones estándares de temperatura, es decir a 15°C y un aumento de la temperatura a 30°C; con un peso de 58.967 Kg y una elevación del aeropuerto de 1219 metros sobre el nivel medio del mar. En el primer caso, la aeronave tiene un requerimiento de longitud de pista para el despegue de 2377 metros aproximadamente. En el segundo caso, donde la temperatura aumenta, el requerimiento de longitud de pista para el despegue corresponde a 2484 metros. Esto significa que con un aumento de 15°C respecto de la condición estándar; con el peso y elevación dados, se produce un incremento de 107 metros en la longitud de pista requerida para el despegue seguro del avión. Cabe destacar que los valores antes mencionados se obtuvieron de las cartas facilitadas por Boeing para el cálculo de los requerimientos de longitud de pista para el despegue. De lo antes mencionado se desprende que la longitud de pista necesaria para el despegue es directamente proporcional a la temperatura registrada en los aeropuertos, por lo que al considerar la tendencia actual respecto del aumento en la temperatura terrestre, tanto de manera global como de manera

local, es lógico pensar que los administradores aeroportuarios deben barajar el hecho de tener que ampliar la longitud de las pistas para poder satisfacer las nuevas necesidades operacionales de los aviones. En relación con esto último, la OACI completó un caso de estudio del aeropuerto de Brisbane en Australia, donde se tomó en consideración el aumento en la temperatura para las décadas venideras en la planeación del largo, tanto de la pista actual como de la nueva pista, donde cada una cuenta con longitudes adicionales significativas que se pueden sumar en el futuro. El incrementar la longitud de las pistas de los aeropuertos es una medida que busca disminuir la restricción de peso de las aeronaves en días con altas temperaturas.

El proceso de expansión de una pista puede llegar a tener una complejidad importante, debido a múltiples factores. En primer lugar, el proceso de expansión y construcción tiene un costo económico importante, cuya inversión debe ser financiada por los administradores de los aeropuertos, sean estos públicos o privados. Por otra parte, se debe tomar en cuenta la compatibilidad con el plan maestro del aeropuerto. Adicionalmente, existe hoy en día normativa en lo que respecta a la contaminación acústica, zonas aéreas prohibidas, política ambiental, entre otras. Es posible que el aeropuerto no cuente con el espacio físico para la expansión de la o las pistas, por ende, se deben establecer procesos de compra o expropiación de terrenos para aquella tarea. Otro punto para considerar es que existe la posibilidad de que el aeropuerto no cuente con disponibilidad de terrenos, debido a restricciones geográficas derivadas de la propia localización del aeropuerto o su cercanía con las ciudades. El aeropuerto Internacional Phoenix Sky Harbor, que ha sido el aeropuerto de enfoque a lo largo del desarrollo del caso de estudio está rodeado por la ciudad y el río y, por lo tanto, no tiene posibilidad de expansión. A pesar de ello, pueden existir aeropuertos con la capacidad de aumentar el largo de su o sus pistas con el fin de adaptar la operación de las aeronaves a climas cada vez más cálidos.

Finalmente, la medida de expansión de las pistas puede llegar a ser una alternativa ineficaz para adaptar la operación de los aviones en climas cálidos, debido principalmente a los requerimientos de velocidad para el despegue, donde este parámetro pueda exceder la Velocidad Máxima de Giro de las ruedas de las aeronaves. Es importante establecer el

contexto particular de cada aeropuerto con el fin de poder identificar las mejores alternativas adaptativas.

3.1.2. RIESGOS Y ADAPTABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL AEROPUERTO DE HEATHROW

En el mes de Enero de 2022, el aeropuerto Internacional de Heathrow publicó su tercer Reporte de Adaptación al cambio climático, el cual incluye actualizaciones respecto del Reporte emitido en 2016, donde se realizó una aproximación a los riesgos climáticos y su Adaptación. Cada uno de estos Reportes responden a las acciones que se han tomado en Reino Unido, en particular de parte del Departamento del Medio Ambiente, Alimentación y Medio Rural, en lo que se refiere a Adaptación Climática.

El Reporte del 2022 considera, por una parte, temas relacionados a la mitigación del cambio climático, a través de la reducción de emisiones con un fuerte componente de cooperación de toda la comunidad aeroportuaria, haciendo partícipes a las compañías aéreas, socios del aeropuerto y a los pasajeros. Por otra parte, se toma en consideración el impacto físico del Calentamiento Global, el cual puede afectar la infraestructura aeroportuaria y las operaciones, así como los destinos claves del aeropuerto, lo que preocupa de igual manera en el plano económico como en la seguridad. Heathrow considera al cambio climático como un riesgo actual y futuro para los clientes, limitando las posibilidades de elección de los consumidores, aumentando los costos y debilitando el proceso de aprendizaje. En este mismo plano, se realiza la identificación de los riesgos físicos bajo un marco de evaluación establecido, el cual considera umbrales de impacto, la probabilidad de ocurrencia del evento y la gravedad del impacto. Del mismo modo, se utilizan las proyecciones climáticas más actualizadas del reino unido (UKCP18), donde se publican los datos climáticos y se analizan diversos escenarios a partir de dichos datos. Adicionalmente la evaluación de los riesgos climático considera dos condiciones temporales: la condición actual y futura. Para el caso de la situación actual, se toma en conocimiento el periodo comprendido entre 1981 y 2000, con el fin de representar las condiciones actuales. Para el caso de la situación futura, esta se subdivide en un periodo de corto y largo plazo. El corto plazo comprende los riesgos que

pueden estar presentes entre 2021 y 2040 y el largo plazo los que pueden estar presentes entre 2061 y 2080.

Para el caso de la situación actual, el aeropuerto de Heathrow ha identificado dos riesgos físicos:

- 1. Altos niveles de precipitación:** el aumento en las precipitaciones puede generar que la infraestructura de drenaje del aeropuerto se vea sobrepasada, provocando un riesgo de inundaciones superficiales y subterráneas.
- 2. Bajas temperaturas:** las bajas temperaturas en el aeropuerto en los meses de invierno, pueden desafiar los planes de contingencia invernal, pudiendo provocar el aumento de los requerimientos de deshielo, lo que podría derivar en un aumento en la interrupción de las operaciones o aumentar la carga del sistema de gestión de la contaminación.

Las proyecciones climáticas de Reino Unido muestran un aumento en la probabilidad de inviernos más cálidos, altas temperaturas en el verano y eventos extremos de lluvia. En lo que respecta al corto plazo en el aeropuerto de Heathrow, se espera un aumento en la probabilidad de lluvias extremas, provocando un incremento en el riesgo para los sistemas de drenaje, lo que trae consigo inundaciones. Veranos más cálidos acrecientan el riesgo para la integridad de las estructuras del aeropuerto, como las pistas y plataforma de estacionamiento de aeronaves. En el corto plazo no se espera un aumento en la probabilidad de eventos de frío extremo.

Por otra parte, para el caso del largo plazo en el aeropuerto de Heathrow, el riesgo de inundaciones permanece elevado, con un aumento en la probabilidad de eventos de altas temperaturas, que amplían los riesgos a los pavimentos del AirSide del aeropuerto y de las rutas de acceso, además de ocasionar demoras en los procesos de ampliación y mantenimiento de la infraestructura, y riesgo de incendios de materiales combustibles. Pero, por el lado de eventos extremos de bajas temperaturas, su probabilidad se ve reducida.

El Reporte de cambio climático y Adaptabilidad del aeropuerto Internacional de Heathrow, establece un lineamiento lógico para el tratamiento de los riesgos climáticos que enfrenta el aeropuerto y considera el *perfil del Aeropuerto Internacional de Heathrow*, una

aproximación a los riesgos climáticos, la medición de los riesgos físicos relacionados al clima, la evaluación de los riesgos climáticos y la determinación de un plan de acción de adaptación.

3.1.2.1. PERFIL DE AEROPUERTO INTERNACIONAL DE HEATHROW

En esta sección se presentan antecedentes respecto de la operación del aeropuerto, así como datos respecto de la superficie utilizada por la infraestructura, los destinos hacia donde se opera desde este aeropuerto y la cantidad de pasajeros y carga transportados.

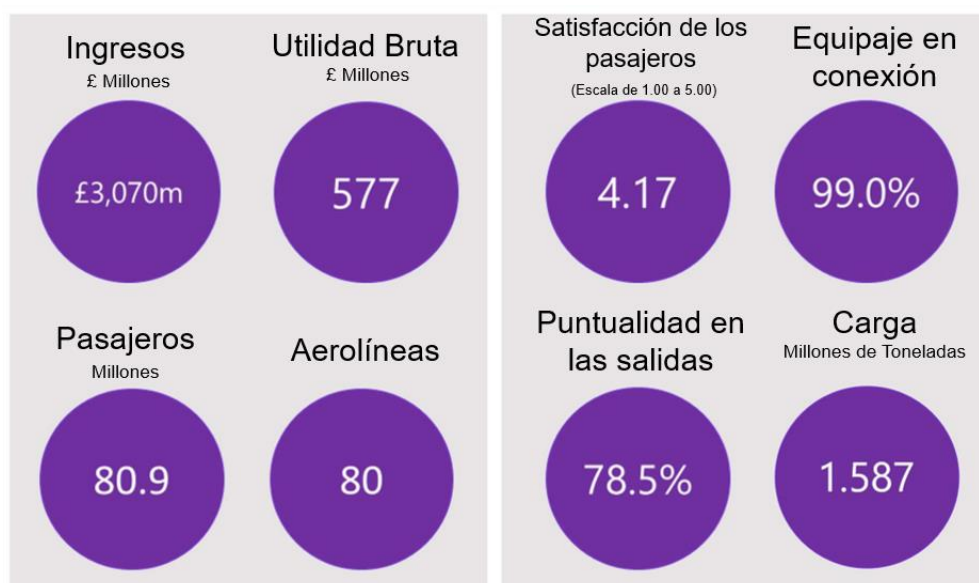


Figura 6: Contexto del aeropuerto Internacional de Heathrow. Los datos representan la situación del aeropuerto en 2019.

Fuente: Elaboración propia con los datos del Reporte de Adaptación al cambio climático de Aeropuerto de Heathrow (2022).

3.1.2.2. APROXIMACIÓN A LOS RIESGOS CLIMÁTICOS

El cambio climático es considerando el mayor riesgo en el mediano y largo plazo para el aeropuerto de Heathrow. Es por esto que, este tema es abordado como una de las prioridades estratégicas para la organización. De ello se desprende la creación del Equipo de

Trabajo de Divulgación Financiera relacionada con el cambio climático (TCFD por sus siglas en inglés). El TCFD establece recomendaciones en función de la división que han hecho respecto de los riesgos asociados al cambio climático. Se instauran dos categorías: riesgos físicos y riesgos transitorios.

En lo que respecta a la identificación y gestión de riesgos, el aeropuerto de Heathrow se basa en los principios, marco teórico y procesos estipulados en la norma ISO 31000:2018 de Gestión de Riesgos. En caso de generarse una situación disruptiva, es necesario poseer planes de contingencia y mitigación, con el fin de minimizar el impacto y fortalecer el proceso de recovery de la manera más eficaz y eficiente posible. Es por esto que, Heathrow ha iniciado una revisión de cómo en el proceso de Gestión de Riesgos se incluyen los riesgos climáticos en las diferentes áreas de negocio.

3.1.2.3. MEDICIÓN DE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS FÍSICOS RELACIONADOS AL CLIMA

El Reporte del aeropuerto de Heathrow establece una metodología para la cuantificación de los riesgos climáticos y la identificación de medidas adaptativas. Esta aproximación tiene por objetivo garantizar que el aeropuerto Internacional de Heathrow potencie la resiliencia respecto del cambio climático. Esto se basa en la norma ISO 14090:2019.



Figura 7: Metodología para la evaluación de riesgos climáticos.

Fuente: Elaboración propia con los datos del Reporte de Adaptación al cambio climático del Aeropuerto de Heathrow (2022).

Adicionalmente, se menciona que los peligros asociados al clima presentan distintos niveles de riesgo tanto para el aeropuerto de Heathrow como para la industria de la aviación de manera general. Es por esto por lo que se lleva a cabo una clasificación de los riesgos según el tipo de efecto que generan en el aeropuerto:

- 1. Efectos funcionales:** se ve afectada la posibilidad de transportar carga y pasajeros.
- 2. Efectos en la Performance:** se ve afectada la experiencia del cliente en el aeropuerto y la eficiencia de los procesos.
- 3. Efectos en la operación:** se ve afectada la operación en los edificios terminales y en la seguridad de los procedimientos.

Además, en el Reporte se considera el proceso de asignación de medidas de probabilidad y consecuencia, con el fin de poder llevar a cabo una categorización de los riesgos climáticos. Para el caso del aeropuerto de Heathrow, este establece tres niveles de Riesgo: riesgo bajo, medio y alto. A esto se le añade un componente de incertidumbre, relacionado con las proyecciones climáticas utilizadas, debido a que estas presentan variabilidad en el sistema y cuentan con una gran cantidad de variables y factores.

3.1.2.4. EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS

Los riesgos físicos del aeropuerto de Heathrow han sido separados en dos categorías: los riesgos directos e indirectos. Los riesgos directos tienen un efecto inmediato en el aeropuerto, como daños en la infraestructura o la demora y/o cancelación de vuelos. Los riesgos indirectos constituyen un efecto que ocurre dentro del sistema aeronáutico, pero puede tener implicancias para el aeropuerto.

El Reporte identifica un total de 17 riesgos directos que tienen un efecto potencial en el aeropuerto de Heathrow. El proceso de identificación, categorización y evaluación se lleva a cabo según los tópicos anteriormente desarrollados. En el Reporte se esquematizan con el desarrollo de una tabla resumen, la cual contiene el Código del Riesgo, el Nombre del Riesgo, una Descripción del Riesgo, sus Potenciales Consecuencias y las Medidas de Control. Finalmente se lleva a cabo el proceso de cuantificación de los riesgos climáticos para los 3 escenarios temporales.

3.1.2.5. PLAN DE ACCIÓN DE ADAPTACIÓN

El Reporte concluye con distintas acciones a tomar en consideración en los 3 horizontes de análisis, tanto para la situación actual de aeropuerto, como para el mediano y largo plazo. Se describen de manera específica las distintas acciones que se debe tomar, en

función de la metodología expuesta, con el fin de poder adaptar la infraestructura del aeropuerto de Heathrow frente a los riesgos climáticos, a través de estrategias y revisiones propuestas para los futuros Reportes de Adaptación al cambio climático.

3.1.3. RESILIENCIA Y SOSTENIBILIDAD: CASO MASSPORT

En 2013, las Autoridades Portuarias de Massachusetts (Massport) lanzaron una iniciativa integral de resiliencia con el fin de dar continuidad al negocio en medio de amenazas antropogénicas y naturales. Los esfuerzos de Massport están guiados por las siguientes metas:

1. Mejorar la resiliencia de la infraestructura y las operaciones de manera general.
2. Restaurar las operaciones durante y después de eventos disruptivos en un marco de tiempo seguro y económicamente viable.
3. Crear ciclos de retroalimentación sólidos que permitan nuevas soluciones incentivado por el cambio en las condiciones.
4. Informar las operaciones y políticas, e implementar decisiones de diseño/construcción, mediante la aplicación de principios e investigaciones científicas sólidas que consideren amenazas, vulnerabilidades y cálculos de costo-beneficio.
5. Convertirse en un ejemplo de intercambio de conocimientos, resiliente y con visión de futuro.
6. Trabajar con personas influyentes clave y tomadores de decisiones para fortalecer la comprensión de las implicaciones de seguridad humana, nacional y económica del clima extremo, el cambio climático y las amenazas antropogénicas para las instalaciones de Massport y la región.

Usando las estrategias combinadas desde diversas convocatorias, investigación sólida, mejoras y planificación de capital, ejercicios de capacitación y preparación operativa, Massport se encuentra preparado para alcanzar sus metas de mejorar en la resiliencia para la infraestructura y las operaciones en general y restaurar las operaciones durante y después de eventos disruptivos de manera segura y plazo económicamente viable. Ejemplos de los esfuerzos continuos de Massport incluyen:

1. Llevar a cabo evaluaciones estratégicas a largo plazo de la capacidad de resiliencia de Massport para identificar riesgos e impactos climáticos relevantes, evaluar y abordar vulnerabilidades y ajustar adecuadamente los planes de adaptación.
2. Planificar las inversiones de capital a futuro y la infraestructura crítica a través del diseño sostenible y la preparación climática. Esto incluye ejecutar diseños y especificaciones respecto de la infraestructura y garantizar que los proyectos cumplan con los estándares descritos en la Guía de Diseño de Impermeabilización contra Inundaciones y las Pautas de Diseño de Sostenibilidad y Resiliencia (SRDG por sus siglas en inglés) de Massport.
3. Brindar herramientas y oportunidades educativas al personal, los inquilinos y otras partes interesadas clave para mejorar la comprensión del cambio climático y facilitar la supervisión de la administración y la respuesta a las tormentas que afectan la infraestructura de Massport.
4. Llevar a cabo talleres estratégicos con las partes interesadas clave para revisar y mejorar continuamente sus Planes de Operaciones de Inundaciones.
5. Realice ejercicios de capacitación y pruebe el despliegue de barreras temporales contra inundaciones en instalaciones críticas para respaldar la preparación climática.
6. Incorporar resiliencia en el Programa de Prevención y Contaminación de Aguas Pluviales (SWPPP por sus siglas en inglés) de Massport para los inquilinos de Boston Logan, así como en sus Sistemas de Gestión Ambiental.
7. Colaborar con socios internos y externos para prepararse para los efectos del cambio climático; esto incluye la participación en los esfuerzos de planificación de resiliencia regionales y locales, la colaboración en proyectos de investigación, el intercambio de mejores prácticas y más.

De manera particular, en el área aeroportuaria, Massport es la autoridad encargada del aeropuerto Internacional Logan de Boston, fundado el 8 de septiembre de 1923. Este aeropuerto cuenta con una superficie de 2.400 hectáreas, con 4 terminales, 6 pistas y 24 kilómetros de calles de rodaje. Este aeropuerto registró un total de 341.980 operaciones aéreas durante el año fiscal de 2022, transportando a 31,13 millones de pasajeros.

En lo que respecta a sostenibilidad, Massport ha establecido diversas iniciativas relacionadas al cambio climático. Dichas iniciativas se muestran en el Reporte Anual de Sostenibilidad y Resiliencia de 2018:

3.1.3.1. ENERGÍA Y EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

En lo que respecta a mitigación, la meta que plantea Massport asociado a energía y emisiones de gases de efecto invernadero es *“reducir la intensidad energética y emisiones de GEI mientras aumentan la cantidad de energía de fuentes renovables producidas por Massport”*. Para ello se plantean los siguientes objetivos:

1. Reducir el consumo de energía.
2. Aumentar la cantidad de energía producida por fuentes renovables.
3. Reducir las emisiones de GEI desde fuentes móviles operadas por Massport.
4. Reducir las emisiones globales de GEI asociadas con energía consumida en las instalaciones de Massport en el aeropuerto Internacional Logan de Boston.

Con el fin de poder cumplir las metas y objetivos en lo que respecta a la mitigación Massport establece una serie de estrategias y políticas como la búsqueda de la acreditación LEED para nuevos proyectos, realizar mejoras a los sistemas de ventilación, calefacción eficiente y aire acondicionado en las terminales B, C y E, la utilización de paneles solares para la generación de energías renovables, uso de luces LED en las pistas y calles de rodaje, instalaciones de estaciones de carga para vehículos eléctricos, entre otras.

3.1.3.2. RESILIENCIA

En lo que respecta al proceso de resiliencia, la meta que plantea Massport es *“convertirse en un modelo nacional e innovador en lo que se refiere a la planificación en temas de resiliencia e implementación entre las autoridades portuarias”*. Para ello se proponen los siguientes objetivos:

1. Incorporar una base científica en la comprensión de los impactos del cambio climático y vulnerabilidades en la gestión de los activos y las operaciones de Massport.
2. Mejorar la resiliencia de los sistemas críticos de Massport, activos y operaciones en el aeropuerto Internacional Logan de Boston para hacer frente a los efectos potenciales de cambio climático.
3. Educar al personal del aeropuerto Internacional de Boston sobre los efectos potenciales del cambio climático y los esfuerzos que se encuentra realizando Massport para mejorar la resiliencia organizativa y operativa.
4. Colaborar con los departamentos internos y externos de Massport y socios externos para prepararse para los potenciales efectos del cambio climático.

Para cumplir las metas y objetivos planteados, Massport ha establecido una serie de medidas y estrategias. Al momento de llevar a cabo el proceso de reconocimiento de los riesgos climáticos potenciales para el aeropuerto Internacional Logan de Boston, la autoridad portuaria de Massachusetts se ha comprometido a proteger y mejorar la infraestructura crítica, activos operativos (Estaciones Eléctricas, estaciones de bombeo de combustible, sistemas de telecomunicaciones, estaciones de policía y bomberos) y a la comunidad, a través de iniciativas con aporte en la resiliencia climática.

Uno de los riesgos climáticos identificados por Massport en el aeropuerto Internacional de Boston son las inundaciones. Para ello Massport ha establecido medidas como la compra de barreras temporales contra inundaciones, elevar los equipos eléctricos y mecánicos sobre los niveles pronosticados de inundación, instalación de sensores acuáticos y bombas, sellado e impermeabilización de aberturas y conductos y la instalación de sistemas de anclaje para el despliegue de vallas temporales contra inundaciones. Adicionalmente, el aeropuerto Internacional Logan de Boston amplía el concepto de sostenibilidad en lo que respecta a bienestar de las comunidades, colaboradores y pasajeros; el manejo de residuos, materiales y reciclaje; conservación de los recursos hídricos, preocupación por la contaminación acústicas de las zonas aledañas al aeropuerto y la protección de los recursos naturales.

El Sistema Aeronáutico de los Estados Unidos es considerado uno de los más grandes y mejores desarrollados del mundo. EEUU inició el proceso de construcción de aeropuertos en

los inicios del siglo XX. Es por esto que no es de extrañar que existan el tipo de medidas que se han expuesto anteriormente, en relación a mitigación y adaptación Climática a través de la resiliencia en temas de cambio climático, donde existen procesos de investigación científica e inversión de capital para adecuar la infraestructura aeroportuaria a las nacientes necesidades y preocupaciones.

3.1.4. ESTRATEGIA MEDIOAMBIENTAL DEL AEROPUERTO DE SÍDNEY

En el mes de abril de 2019, el aeropuerto Internacional Kingsford Smith de Sídney publicó un Reporte de la Estrategia Medioambiental para el periodo 2019-2024, en respuesta a los requerimientos que establece la Ley de aeropuertos de 1996 en Australia. Esta Estrategia busca continuar el proceso de mejora en el desempeño medioambiental del aeropuerto y convertirse en un negocio más sostenible a través de la implementación de iniciativas medioambientales. El propósito de esta estrategia es:

1. Establecer un marco para asegurar que todas las operaciones en el aeropuerto se llevan a cabo de acuerdo con la legislación y normas ambientales pertinentes.
2. Promover la mejora continua del proceso de gestión ambiental y el desempeño en el aeropuerto, además de establecer oportunidades de mejora basándose en los aciertos y objetivos estratégicos de años anteriores.
3. Llevar a cabo mejoras en lo que se refiere a sostenibilidad ambiental al minimizar el impacto del aeropuerto en esta área y trabajar hacia una forma de operación más eficiente y resiliente.

El aeropuerto de Sídney adopta un enfoque basado en el riesgo a la gestión ambiental, incorporando por un lado una Estrategia Medioambiental y por otro un Sistema de Gestión Ambiental (EMS por sus siglas en inglés), según lo que se plantea en la norma ISO 14001, con el fin de controlar riesgos ambientales identificados y lograr un alto nivel de gestión en dicha área. Para el caso del EMS, este plantea un sistema para la planeación constante de la gestión ambiental del aeropuerto, llevando a cabo la implementación y revisión con el fin de asegurar un ciclo constante de mejora continua. El EMS se compone de políticas medioambientales, planeación (la cual incluye el aspecto medioambiental y la identificación

y evaluación de riesgos, objetivos y planes de acción), implementación y operación (incluyendo responsabilidades en temas medioambientales, entrenamiento y conciencia, comunicación, documentación y control operacional, junto a una respuesta frente a las emergencias y una respuesta adecuada) y el chequeo y revisión de los procesos de gestión (incluyendo el monitoreo, evaluación y auditoría).



Figura 8: Estructura de la Gestión Ambiental del aeropuerto de Sídney.

Fuente: Estrategia medioambiental del Aeropuerto de Sídney 2019-2024 (2019).

La Estrategia Medioambiental del aeropuerto de Sídney abarca toda la base de aspectos ambientales relacionados con la operación del aeropuerto, la cual incluye la sostenibilidad y gestión medioambiental, la *mitigación y adaptación al cambio climático*, calidad del aire, ruido ambiental, transporte terrestre, calidad y uso del agua, biodiversidad, patrimonio, residuos y recuperación de recursos, gestión de suelo y la respuesta a derrames y materiales peligrosos.

Entrando en los detalles de la mitigación y adaptación, el aeropuerto Internacional de Sídney ha establecido una serie de objetivos para reducir y gestionar el impacto del cambio climático en el aeropuerto a través de:

1. Entender y minimizar los impactos directos e indirectos asociados al cambio climático.
2. Reunir todos los requerimientos regulatorios relevantes.

3. Reducir de manera eficiente en temas de costos, el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero.

La preocupación en temas de Adaptación Climática del aeropuerto de Sídney recae en lo vital de la presencia de esta entidad para la ciudad de Sídney y Australia en general. El aeropuerto entrega beneficios económicos y sociales para las personas, así como para la comunidad internacional. Las estrategias climáticas se dividen, por una parte, en la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, con el fin de disminuir la contribución al cambio climático (Mitigación Climática) y por otra parte estrategias de Adaptación de la infraestructura, sistemas y organizaciones con el fin de reducir el impacto de las variaciones del clima, entendiendo que las operaciones de las aeronaves y los aeropuertos están estrechamente ligados a las condiciones climatológicas.

3.1.4.1. ADAPTACIÓN CLIMÁTICA

En 2016, el aeropuerto de Sídney completó el Plan de Evaluación y Adaptación a los riesgos climáticos. Del proceso de evaluación de riesgos, se identificaron riesgos físicos para posibles escenarios climáticos futuros, junto a la identificación de estrategias para prepararse a futuros escenarios resilientes, además de la creación de estudios técnicos para los diferentes Stakeholders. Dentro de los riesgos identificados destacan:

1. Presión en los equipos externos como la red eléctrica, agua potable y alcantarillado, lo que puede decantar en interrupciones en el suministro incrementando los costos.
2. Interrupciones en la operación del aeropuerto asociado a inundaciones en las pistas, calles de rodaje y plataforma, daños en las superficies y problemas en el sistema de drenaje asociado a eventos de lluvias extremas.
3. Inundación de sistemas críticos del aeropuerto, edificios e infraestructura operacional asociada a eventos de lluvias extremas o inundaciones costeras asociadas a tormentas y/o aumento del nivel medio del mar.
4. Inundación de las rutas de acceso al aeropuerto, las cuales no son controladas por el administrador del aeropuerto.

El aeropuerto de Sídney cuenta con un Plan de Emergencia, el cual es la herramienta principal a utilizar para gestionar la continuidad del negocio. Este Plan le provee a este aeropuerto,

mediante un equipo de expertos basado en la gestión de riesgos, el cual asiste y ayuda a gestionar los incidentes que ocurren en el aeropuerto minimizando las interrupciones de las operaciones. El equipo de trabajo es la base de las nuevas acciones propuestas para reducir los riesgos climáticos.

3.2. PLAN DE ADAPTACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA FRENTE AL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

A continuación, se expone de manera detallada la Propuesta de Plan de Adaptación Climática para la infraestructura de los aeropuertos, tomando en consideración la teoría planteada en el estado del arte de la presente memoria, junto al estudio de los casos del aeropuerto de Heathrow, Phoenix, Sídney y Logan de Boston. Esto entrega elementos de aprendizajes a partir de la propia experiencia de los administradores aeroportuarios, con el fin de enriquecer el desarrollo del Plan de Adaptación Climática.

3.2.1. INTRODUCCIÓN

La acción del ser humano impacta activamente en las características climáticas del planeta Tierra. De manera particular, la emisión descontrolada de gases de efecto invernadero desde la Revolución Industrial ha ocasionado un declive sistemático en el equilibrio energético natural de la Tierra. Esto ha generado el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre, lo cual propicia el aumento de la temperatura global, dando origen al cambio climático que es tangible en la actualidad. En 2016 entró en vigor el Acuerdo de París, el cual busca limitar el aumento de la temperatura terrestre, con el fin de evitar una hecatombe climática irreparable. Los efectos negativos del cambio climático se manifiestan a través de eventos climáticos extremos, los cuales impactan a la sociedad y al ambiente de manera transversal, incluyendo a los aeropuertos, cuya condición de inmovilidad los hace más vulnerables a los riesgos climáticos.

El Plan que a continuación se expone, recoge las experiencias y aprendizajes de los diferentes administradores aeroportuarios alrededor del mundo, además de una amplia referencia bibliográfica de diversos autores, con el fin de preparar los aeropuertos a los nuevos y crecientes desafíos ambientales, ahora desde el punto de vista de la adaptación al cambio climático con un fuerte componente de resiliencia. El presente Plan está diseñado para ser aplicado en todo tipo de aeropuertos alrededor del mundo.

3.2.2. OBJETIVO GENERAL

Establecer medidas de Adaptación Climática para la infraestructura aeroportuaria, a través de un proceso de evaluación y priorización de riesgos.

3.2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Entregar medidas adaptativas para la infraestructura aeroportuaria existente, bajo los conceptos de aprendizaje y prevención, esto en relación con consecuencias de la materialización de los riesgos climáticos en los aeropuertos.
- Incentivar la creación de información objetiva del impacto del cambio climático en los aeropuertos alrededor del mundo.
- Mantener y generar valor para el aeropuerto, fomentando la innovación en los procesos de adaptación de la infraestructura y sistemas.
- Fomentar la cooperación entre los diferentes actores del sistema aeronáutico, en lo que respecta a Adaptación Climática.

3.2.4. ALCANCE

La aplicación del Plan de Adaptación Climática (en adelante Plan) se encuentra focalizado en la adecuación de la **infraestructura** y **sistemas** de los aeropuertos, entendiéndose estos por la(s) pista(s), calles de rodaje, plataforma de estacionamiento de aeronaves, edificios terminales tanto de pasajeros como de carga, hangares, estaciones meteorológicas, radio ayudas para la navegación aérea y aproximación-aterriaje de aeronaves (VOR, ILS), sistema eléctrico, sistema de suministro de energía y agua potable; sistema de tratamiento de residuos y sistema de drenaje. Se entiende que respecto del tamaño y complejidad del aeropuerto se pueden sumar o restar componentes a los antes mencionados. El Plan se encuentra dirigido al **administrador aeroportuario**, el cual es el responsable de su aplicación, tomando en consideración la secuencia de pasos expuestos en el Plan, además de las recomendaciones entregadas por el autor.

3.2.5. METODOLOGÍA DEL PLAN

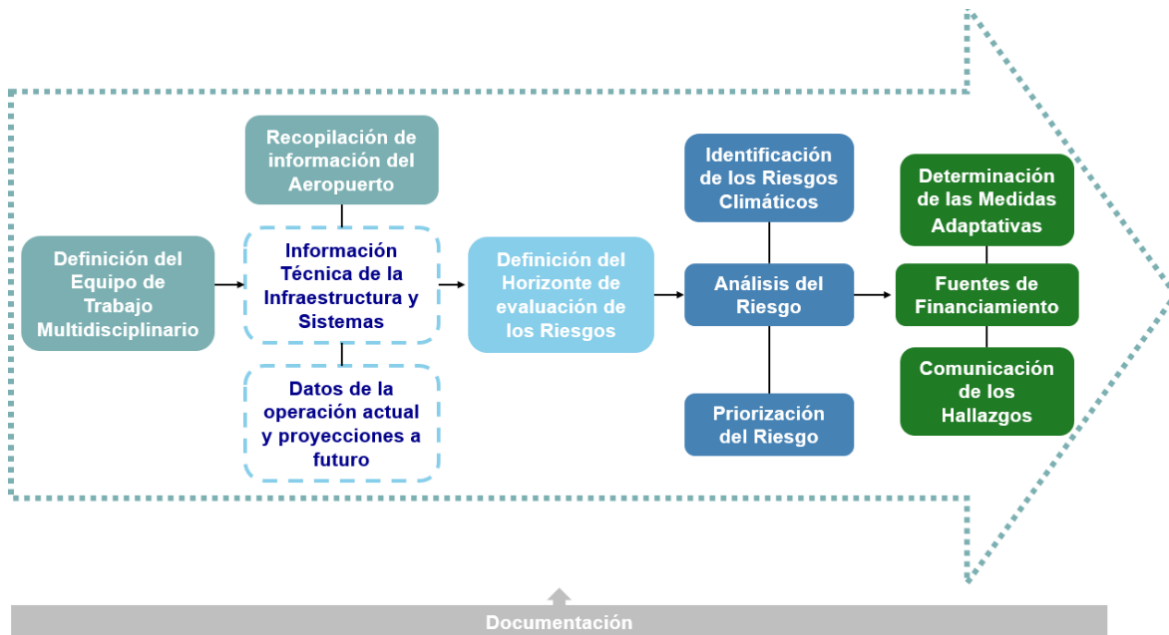


Figura 9: Visualización de la metodología adoptada por el Plan de Adaptación Climática.

Fuente: Elaboración Propia basado en las Normas ISO 31000:2018 e ISO 14090:2019.

3.2.6. NORMATIVAS DE REFERENCIA

El Plan recoge, de manera general, la estructura y principios establecidos en las normativas que a continuación se presentan:

- **Norma ISO 31000:2018** *Gestión de Riesgos.*
- **Norma ISO 14090:2019** *Adaptación al cambio climático: Principios, requisitos y Directrices.*

3.2.7. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

- **Riesgo:** *Efecto de la incertidumbre sobre los objetivos.*
- **Gestión de Riesgo:** *Actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización con respecto al riesgo.*
- **Parte(s) Interesada(s):** *Persona u organización que puede afectar, ser afectada o percibirse a sí misma afectada por una decisión u actividad.*

- **Fuente de Riesgo:** *Elemento que solo o en combinación tiene el potencial de dar lugar a un riesgo.*
- **Evento:** *Ocurrencia o cambio de conjunto particular de circunstancias.*
- **Consecuencia:** *Resultado de un evento donde se ven afectados los objetivos.*
- **Probabilidad:** *Posibilidad de que algo suceda.*
- **Control:** *Medida que mantiene y/o modifica el riesgo.*
- **Adaptación al cambio climático:** *Proceso de ajuste al clima actual o esperado y a sus efectos.*
- **Capacidad Adaptativa:** *Habilidad de los sistemas, instituciones, seres humanos u otros organismos para ajustarse a los daños potenciales, con el fin de tomar ventaja de las oportunidades o responder a las consecuencias.*
- **Gestión Adaptativa:** *Proceso de planeación iterativa, implementando y modificando estrategias con el fin de gestionar los recursos disponibles de cara a la incertidumbre y cambio.*
- **Clima:** *Descripción estadística del tiempo en términos del promedio y variabilidad de las cantidades relevantes sobre periodos de tiempo que van desde meses a miles de millones de años.*
- **Cambio climático:** *Cambios en el clima que persisten por periodos extensos, típicamente décadas o periodos más largos.*
- **Exposición:** *presencia de personas, medio de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones medioambientales, servicios, recursos, infraestructura o bienes económicos, sociales o culturales en lugares y entornos donde podrían verse afectados.*
- **Peligro:** *Fuente potencial de daño.*
- **Impacto:** *Efectos en sistemas naturales y humanos.*
- **Indicador:** *Variable cuantitativa, cualitativa o binaria que es posible medir o describir en respuesta a un criterio definido.*
- **Organización:** *Persona o grupo de personas que tienen sus propias funciones con sus respectivas responsabilidades, autoridades y relaciones con el fin de lograr los objetivos.*

- **Transformación:** Cambio en los atributos fundamentales de los sistemas naturales y humanos.
- **Vulnerabilidad:** propensión o predisposición a ser afectado de manera adversa.

3.2.8. ESTRUCTURA DEL PLAN



Figura 10: Estructura del Plan de Adaptación de la Infraestructura Aeroportuaria frente al Impacto del cambio climático.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.9. CONSIDERACIONES INICIALES

3.2.9.1. COMUNICACIÓN DEL INICIO DE LA APLICACIÓN DEL PLAN

El administrador aeroportuario deberá comunicar a los diferentes actores del sistema aeronáutico, así como a las distintas partes interesadas, el inicio de la aplicación del Plan, además de informar respecto de los objetivos, el plazo y los resultados que se buscan obtener, es decir, las medidas adaptativas frente al impacto del cambio climático. La comunicación aborda la promoción de la conciencia y comprensión del proceso que se inicia, además de obtener una retroalimentación e intercambio de información técnica de manera oportuna, exacta, comprensible y pertinente por parte del conglomerado de organizaciones y personalidades partes del sistema aeronáutico. El administrador aeroportuario puede utilizar todos los medios que disponga para llevar a cabo dicha tarea, donde debe primar la formalidad y claridad del mensaje.

3.2.9.2. DEFINICIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO

El administrador aeroportuario deberá crear un equipo multidisciplinario de profesionales con experiencia tanto en cambio climático, como en el diseño de la infraestructura y sistemas de los aeropuertos, cuyos miembros serán los encargados de llevar a cabo la aplicación del Plan bajo los lineamientos establecidos en él.

El equipo de trabajo se debe estar conformado como mínimo por:

- Coordinador(a): Especialista en infraestructura aeroportuaria y planes maestros.
- Especialista ambiental.
- Ingeniero(a) especialista en pavimentos.
- Eléctrico(a).
- Especialista sanitario.
- Arquitecto(a) e ingeniero(a) especialistas en infraestructura aeroportuaria vertical.

Se pueden incorporar especialistas en otras áreas según la envergadura y grado de complejidad del aeropuerto.

El administrador aeroportuario deberá informar al equipo de trabajo los objetivos detrás de la aplicación del Plan, además del establecimiento de las distintas funciones, plazos y atribuciones de los miembros del equipo de trabajo en relación con sus competencias, experiencia y habilidades.

Finalmente, el administrador aeroportuario deberá asignar todos los recursos que sean necesarios al equipo de trabajo, ya sean de naturaleza técnica, registros, estadísticas, planes maestros, espacios físicos y recursos económicos; además de facilitar y fomentar la comunicación entre los miembros del equipo de trabajo y las organizaciones que tengan la capacidad de brindar información de utilidad para la correcta aplicación del Plan.

Nota: La definición del Equipo de Trabajo debe quedar claramente documentada. Se debe indicar el nombre, profesión, cargo dentro del equipo y una breve reseña de la experiencia de cada uno de los miembros del equipo multidisciplinario.

3.2.9.3. MÉTODO PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS

Para efecto de la aplicación del Plan, el método utilizado para la gestión de los riesgos climáticos considera:

1. La **probabilidad** de ocurrencia del evento climático, el cual genera un impacto en la infraestructura y sistemas del aeropuerto. Se define una escala cualitativa de la probabilidad, tal como se muestra en la tabla 3. La probabilidad de ocurrencia del evento se divide en 5 subniveles de manera ascendente (a mayor valor, mayor probabilidad). Adicionalmente, se añade una descripción con el fin de facilitar la asignación del nivel de probabilidad de ocurrencia del evento climático. La escala de probabilidad cualitativa corresponde a la herramienta básica para la aplicación del Plan. De existir suficiente información climática confiable se puede realizar el proceso de determinación de la probabilidad de ocurrencia del evento climático de manera cuantitativa, a través del uso de softwares estadísticos.

Valor	Nivel de Probabilidad	Descripción
1	Sumamente Improbable	Es casi inconcebible que ocurra el evento.
2	Improbable	Es muy poco probable que el evento ocurra (no se sabe si ha ocurrido).
3	Posible	Es poco probable que el evento ocurra, pero no imposible (rara vez ha ocurrido).
4	Probable	Es probable que el evento suceda algunas veces (ha ocurrido con poca frecuencia).
5	Altamente Probable	Es probable que el evento suceda muchas veces (ha ocurrido frecuentemente).

Tabla 3: Tabla de Probabilidades Cualitativas.

Fuente: Elaboración propia utilizando la información disponible en el Informe de Peligros y Riesgos del Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional (2016).

2. La **gravedad** de la(s) consecuencia(s) asociada(s) al evento climático, el cual impacta en la infraestructura y sistemas del aeropuerto. Tal como se muestra en la tabla 4, se establecen 5 niveles de gravedad, a los cuales se les asigna un valor (de 1 a 5), dependiendo si el evento puede ser manejado a través de los diferentes procedimientos establecidos o si este va escalando hasta niveles catastróficos donde genera un gran impacto en el aeropuerto.

Nota: Si se decide utilizar la medida de probabilidad cuantitativa, se debe ajustar de igual manera los valores de gravedad expuestos anteriormente con el fin de poder llevar a cabo un análisis congruente. Se debe utilizar el historial de eventos climáticos con el fin de obtener un valor de gravedad asociado a los daños generados. Más adelante se entregará una medida alternativa de la medida de gravedad del evento climático utilizando una escala cuantitativa.

Nivel de Gravedad	Descripción	Valor
Catastrófico	Evento crítico que trae consigo consecuencias devastadoras para el Aeropuerto, destrucción de equipos, pistas, calles de rodaje, plataforma de estacionamiento de aeronaves, edificios terminales y de carga; sistemas y pérdida de vidas.	5
Peligroso	Evento que genera una reducción de los márgenes de seguridad operacional del Aeropuerto, estrés físico o carga de trabajo que sobrepasa la capacidad de los colaboradores. Es necesaria una gestión efectiva por parte del equipo de manejo de crisis. Incluye la presencia de lesiones graves y daño importante en los equipos, infraestructura y sistemas.	4
Grave	Evento que genera una reducción importante de los márgenes de seguridad operacional del Aeropuerto, el cual requiere de acciones oportunas por parte del equipo de manejo de crisis. Usualmente puede ser manejado bajo circunstancias normales dependiendo de la capacidad de recovery de contingencias y de la cantidad de activos que faciliten la operación del Aeropuerto. Puede incluir lesiones para las personas.	3
Leve	Evento que puede ser manejado a través de los procedimientos establecidos para el manejo de crisis. Puede incluir molestias para los pasajeros y colaboradores, retrasos en la salida y llegada de los vuelos; y limitaciones operacionales en el Aeropuerto.	2
Mínimo	Evento que es notado pero es manejado o absorbido a través de la operación normal del Aeropuerto. Genera pocas consecuencias las cuales no generan un impacto relevante.	1

Tabla 4: Se muestra los distintos niveles de gravedad (impacto) asociado a la materialización de los Riesgos.

Fuente: Elaboración propia basado en la información disponible en el Reporte de Adaptación Climática del aeropuerto de Heathrow (2021) y en el informe de Peligros y Riesgos del Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional (2016).

3.2.9.4. ALCANCE TEMPORAL DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS

Con el fin de realizar un proceso integral de identificación, análisis y priorización de los riesgos asociados al cambio climático, el Plan considera la definición de un alcance temporal, el cual contempla el presente y futuro del aeropuerto. El escenario presente corresponde a la situación actual del aeropuerto, la cual se funda bajo toda la información climática disponible, ya sea que, haya sido elaborada por el administrador aeroportuario, o por centros de datos climáticos. En este escenario es importante la identificación de las variables climáticas claves.

El escenario futuro del aeropuerto se encuentra definido a través de las proyecciones que reflejan la evolución del clima con posterioridad al inicio de la aplicación del Plan. Para ello se deben utilizar las proyecciones más actualizadas de cambio climático, disponibles para la zona donde se encuentra emplazada la infraestructura aeroportuaria.

Escenario Presente:

Situación Actual: En la Situación Actual se examina toda información disponible respecto del comportamiento del clima en el aeropuerto, donde se deben identificar las variables climáticas claves (temperatura, precipitación, intensidad y dirección del viento, entre otras) que impactan en la operación, seguridad e integridad de la infraestructura y sistemas. Para ello es útil estudiar la data histórica respecto de eventos climáticos recurrentes, con un periodo de 20 años anteriores a la fecha de aplicación del Plan, esto para aumentar la eficacia del análisis de los datos. De igual manera, se deben identificar, analizar y priorizar cada uno de los riesgos climáticos asociados a las distintas variables climatológicas que se encuentran presentes en la actualidad en el aeropuerto, mediante la metodología que se explicará en los apartados siguientes.

Escenario Futuro:

Corto Plazo: Se establece el Corto Plazo como los 5 primeros años desde la fecha de aplicación del Plan, donde se deben examinar las proyecciones de cambio climático, buscando verificar la evolución de los riesgos identificados en la Situación Actual, además de reconocer nuevos riesgos que puedan surgir desde el análisis.

Mediano Plazo: Se establece el Mediano Plazo como los 10 años de análisis posteriores a la fecha de aplicación del Plan, donde se deben examinar las proyecciones de cambio climático, buscando verificar la evolución de los riesgos identificados en el Corto Plazo, además de reconocer nuevos riesgos que puedan surgir desde el análisis.

Largo Plazo: Se establece el Largo Plazo como los 20 años de análisis posteriores a la fecha de aplicación de Plan, donde se deben examinar las proyecciones de cambio climático, buscando verificar la evolución de los riesgos identificados en el Mediano Plazo, además de reconocer nuevos riesgos que puedan surgir desde el análisis.

***Recomendación:** Es probable que las proyecciones de cambio climático del lugar donde se encuentra emplazado el aeropuerto tengan una evolución drástica año a año (asociado a un mayor impacto del cambio climático), por ende, el equipo de trabajo puede modificar los periodos del escenario futuro con el fin de adecuar el análisis según la realidad local del aeropuerto.*

3.2.9.5. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL AEROPUERTO

El equipo de trabajo es el responsable de recopilar toda la información técnica de la infraestructura y sistemas del aeropuerto. Dentro de la información relevante a considerar destaca:

- Características del pavimento utilizado en la composición de las pistas, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento de aeronaves. Se debe especificar el tipo

de pavimento utilizado, la resistencia, criterios de diseño, la resistencia del suelo de fundación y las medidas de protección para estas superficies.

- Características de los materiales utilizados en las terminales de pasajeros y de carga. Se debe identificar el tipo de material utilizado, su resistencia, sus criterios de diseño y de existir, las medidas de protección de esta infraestructura.
- Características del funcionamiento, localización y composición de los sistemas eléctricos, iluminación, de aguas y drenaje. Se debe detallar las especificaciones técnicas según la normativa aplicada en su diseño, construcción y mantenimiento.
- Características del emplazamiento de las estaciones en tierra para la navegación y asistencia en la aproximación y aterrizaje de las aeronaves, además de las fuentes de alimentación y protección de los factores ambientales.
- Información a la capacidad financiera del aeropuerto, al igual que proyecciones de demanda de pasajeros, ampliaciones y obras de mejoramiento planificadas para la infraestructura y sistemas.

Nota: El listado antes mencionado corresponde a la información básica para el desarrollo del Plan. Se puede incorporar información adicional de acuerdo con el tamaño y complejidad del aeropuerto.

3.2.10. APROXIMACIÓN A LOS RIESGOS CLIMÁTICOS

3.2.10.1. RELACIÓN ENTRE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y GESTIÓN DE RIESGOS

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, en su informe “Cambio Climático 2014: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad”, establece que los desastres climáticos ocurren cuando existe un peligro, un sistema que se encuentra expuesto a él y, además, el sistema es vulnerable a dicho peligro. Debe existir aquella triada (Peligro, Exposición del Sistema y Vulnerabilidad del Sistema) para que un riesgo climático exista y tenga potencialidad de ocurrencia y afectación en la infraestructura de los aeropuertos, tal como se muestra en la figura 11.

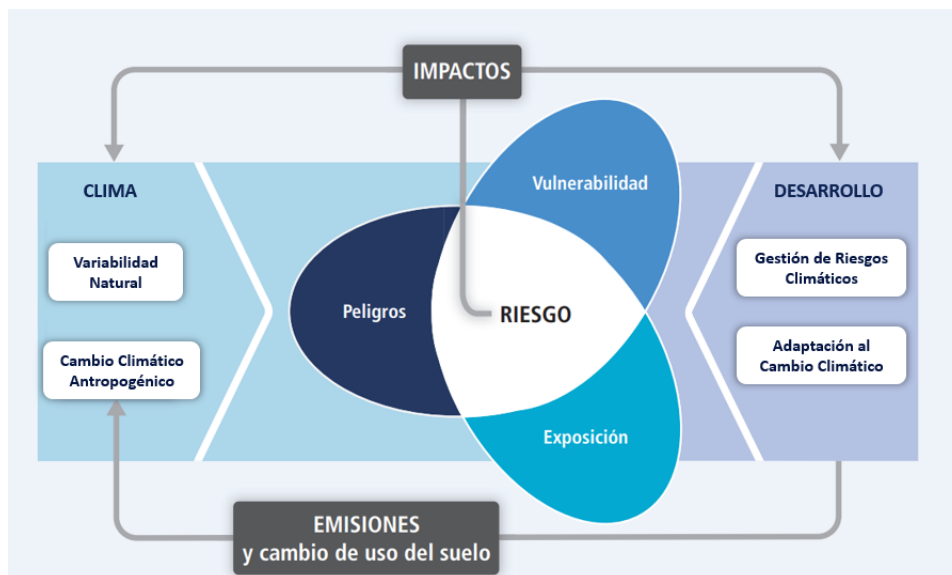


Figura 11: Diagrama que esquematiza la relación entre Adaptación al cambio climático con la Gestión de Riesgos.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información expuesta en informe cambio climático 2014: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad (2014)

En lo que respecta a eje de los peligros, los aeropuertos están sujetos a peligros naturales, entendiéndose estos como:

- **Eventos climáticos:** Huracanes, nevadas intensas, tornados, tormentas relámpagos, cizalladuras, etc.
- **Condiciones meteorológicas adversas:** Formación de hielo, lluvia congelante, lluvia extrema, nieve, restricciones de visibilidad, viento, etc.
- **Eventos geofísicos:** Terremotos, actividades volcánicas, tsunamis, inundaciones, deslizamientos de terreno, etc.
- **Condiciones geográficas:** Terrenos montañosos, cercanía a grandes superficies de agua, etc.
- **Eventos ambientales:** incendios, animales, pandemias, etc.

Algunos de los peligros naturales antes mencionados, están siendo influenciados de manera constante por el cambio climático, el cual impacta en la temperatura local y global del planeta Tierra, en el nivel de precipitación, dirección e intensidad del viento, entre otras. Los aeropuertos no tienen la capacidad de disminución de la exposición a los riesgos climáticos,

debido a que son sistemas fijos (inmóviles), por ende, con el Plan de Adaptación Climática se busca poder disminuir la *vulnerabilidad* de la infraestructura aeroportuaria frente a las amenazas climáticas, a través de un proceso de formulación de una serie de medidas adaptativas.

3.2.10.2. PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Dentro de las herramientas fundamentales para el proceso de identificación y análisis de los riesgos asociados al clima, se encuentran las proyecciones de cambio climático del lugar geográfico donde se localiza el aeropuerto, además de toda la información climática que tenga disponible el administrador aeroportuario al momento de la aplicación del Plan, ya sea de elaboración propia, como de desarrollo de alguna institución especializada en el estudio del clima, sea esta nacional o internacional.

De manera general, las proyecciones de cambio climático se sustentan a partir de diferentes condiciones en la emisión de gases de efecto invernadero. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático establece distintas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP por sus siglas en inglés), las cuales constituyen diversos escenarios, que incorporan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y aerosoles, además del concepto de uso de suelo. Dentro de las Trayectorias de Concentración Representativas se encuentran la RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5. Las RCP constituyen los escenarios futuros, que, con la incorporación de datos históricos, se pueden crear simulaciones climáticas.

El equipo de trabajo, junto al administrador aeroportuario, es el encargado de escoger la data representativa de las condiciones climáticas futuras del aeropuerto. Para ello se pueden utilizar las proyecciones climáticas más actualizadas por continente, país o región geográfica. Estas pueden ser obtenidas desde los centros de datos climáticos nacionales e internacionales. Ejemplos de aquellos son las autoridades reguladoras, agencias estatales, universidades, servicios climatológicos nacionales y observadores climáticos; además de otros recursos como reportes científicos, evaluaciones del impacto del cambio climático, publicaciones gubernamentales y bases de datos. A partir de los recursos seleccionados se debe plantear la confiabilidad de los resultados del proceso de análisis de los riesgos climáticos. Usualmente

las proyecciones y simuladores climáticos entregan el nivel de confianza e incertidumbre de las variables proyectadas. Estos valores deben ser examinados por el equipo de especialistas, en el momento del análisis de los riesgos.

3.2.10.3. CATEGORIZACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO

La categorización de los niveles de riesgo climático durante el proceso de análisis, se realiza a través de la cuantía entre la medida del nivel de probabilidad cualitativa y el nivel de gravedad (presentados en el apartado 3.2.9.3). Mediante la multiplicación de dichos valores se obtiene la puntuación del riesgo climático, los cuales se traspasan a una Matriz de Riesgos cualitativa como la que se muestra a continuación:

Gravedad →	1	Mínimo	2	Leve	3	Grave	4	Peligroso	5	Catastrófico
Probabilidad ↓										
5 Altamente Probable	5	10	15	20	25					
4 Probable	4	8	12	16	20					
3 Posible	3	6	9	12	15					
2 Improbable	2	4	6	8	10					
1 Sumamente Improbable	1	2	3	4	5					

Figura 12: Matriz de Riesgos Cualitativa. Se relacionan los niveles de probabilidad con los niveles de gravedad.

Fuente: Elaboración propia basado en la información disponible en el Reporte de Adaptación Climática del aeropuerto de Heathrow (2021) y en el informe de Peligros y Riesgos del Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional (2016).

La Matriz de Riesgos muestra distintas categorías de riesgos, las cuales son agrupadas en 4 colecciones. Estas, además, presentan un color característico con el fin de ayudar en el

proceso de priorización de los riesgos climáticos a posterioridad. La escala de colores se presenta a continuación:





	→	Riesgos Menores. Estos son considerados aceptables. Es necesario monitorear la evolución del Riesgo a futuro.
	→	Riesgo Moderados. Estos deben ser gestionados al mediano-largo plazo. Es necesario monitoriar la evolución del Riesgo a futuro.
	→	Riesgos Mayores. Estos deben ser gestionados máximo en el corto plazo para evitar que se produzca un escalamiento del Riesgo.
	→	Riesgos Severos. Estos son inaceptables bajo las condiciones actuales. Deben ser gestionados a la brevedad.

Figura 13: Simbología de la escala de colores de la Matriz de Riesgos.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: La matriz de riesgos cuantitativa se presenta en el anexo 3, como una alternativa a la matriz cualitativa.

3.2.11. IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS Y SU IMPACTO EN EL AEROPUERTO

El equipo de expertos, es el encargado del proceso de identificación de cada uno de los riesgos climáticos que afectan o afectarán a futuro al aeropuerto. El propósito de la identificación de riesgos es encontrar, reconocer y describir los riesgos que impactan en la infraestructura y sistemas de este, en los diversos escenarios temporales definidos. La información pertinente, adecuada y actualizada es importante para esta tarea.

La base del proceso de identificación de los riesgos climáticos corresponde al cambio en el contexto ambiental del aeropuerto, potenciado por los efectos negativos del cambio climático en el medioambiente. Entendiendo el comportamiento histórico de las variables climáticas y sus proyecciones a futuro, es posible generar un listado finito de amenazas, las cuales deben ser combatidas en los diferentes horizontes temporales planteados en la aplicación del Plan. Se deben identificar tanto los riesgos climáticos directos (los cuales causan un efecto inmediato en la infraestructura y sistemas del aeropuerto) e indirectos (eventos cuyos efectos ocurren dentro del sistema aeronáutico y que pueden llegar o no a afectar al aeropuerto).

Para el caso del proceso de identificación de los riesgos climáticos actuales, se recomienda considerar la data histórica y el historial tanto de, las interrupciones en la operación normal, como los daños en la infraestructura y sistemas del aeropuerto, los cuales tienen registradas causales climáticas. Para el caso del proceso de identificación de los riesgos climáticos futuros, se debe estudiar el comportamiento futuro de las variables climatológicas, asociadas a las proyecciones de cambio climático.

A continuación, se expone un listado con los posibles riesgos climáticos que pueden ser identificados por el equipo de trabajo:

Variable de Cambio Climático	Riesgo Potencial para la Infraestructura del Aeropuerto
Aumento del Nivel Medio del Mar	<ul style="list-style-type: none"> → Inundación de la infraestructura y sistemas → Daños en las vías de transporte del aeropuerto debido a inundaciones. → Daños en los sistemas eléctricos y de drenaje del aeropuerto.
Aumento en la intensidad de las Tormentas	<ul style="list-style-type: none"> → Daños en los edificios terminales de pasajeros y carga. → Reducción de la accesibilidad al aeropuerto debido a daños en las vías de acceso. → Daños en la infraestructura y sistemas asociados a inundaciones. → Destrucción de equipos móviles o frágiles.
Cambios en los extremos de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> → Daños en los pavimentos del aeropuerto asociado a temperaturas que exceden los estándares de diseño de estos. → Daños en las pistas y áreas de movimiento asociado al derretimiento del permafrost.
Cambios en las precipitaciones	<ul style="list-style-type: none"> → Sobrecarga del sistema de drenaje del aeropuerto asociado a aumento en la cantidad de agua lluvia. → Potencial presencia de aluviones e inundaciones que dañen la infraestructura y sistemas. → Daños en las áreas de movimiento del aeropuerto asociado a la disminución en las precipitaciones.
Cambios en la dirección e intensidad del viento	<ul style="list-style-type: none"> → Riesgo potencial de daños a los equipos de tierra, los cuales pueden ser levantados por las rachas de viento.
Desertificación	<ul style="list-style-type: none"> → Incremento de la erosión en las zonas aledañas a las áreas de movimiento del aeropuerto. → Posible acumulación de arena en la plataforma de estacionamiento de aeronaves.

Tabla 5: se presenta un listado de posibles riesgos que pueden ser identificados, de manera particular, para el aeropuerto donde se aplica el Plan.

Fuente: Elaboración propia con la información disponible en el Documento 9184 Parte II de la OACI (2018).

Se debe llevar a cabo un proceso de registro de los riesgos climáticos actuales y futuros; directos e indirectos, donde es necesario considerar lo que a continuación se detalla:

- Se debe crear un código único para cada riesgo climático, con el fin de facilitar su identificación y tratamiento. Se sugiere un código alfanumérico. *Ejemplo: RC1 que corresponde al riesgo climático 1.*
- Se debe mencionar la *variable climática* asociada al riesgo. *Ejemplo: Temperatura, nivel de precipitación, humedad, dirección e intensidad del viento, etc.*
- Se debe mencionar el riesgo climático identificado por el equipo de trabajo, el cual impacta en la infraestructura y sistemas del aeropuerto.
- Se debe mencionar el criterio de diseño para la integridad de la infraestructura afectada por el riesgo, valor asociado a la variable climática. Se pueden utilizar los parámetros técnicos mencionados en las normativas y manuales empleados durante el proceso de diseño y construcción de la infraestructura.
- Se debe mencionar el impacto que genera en la infraestructura aeroportuaria la materialización del riesgo climático.

A continuación, se presenta una guía para el proceso de registro de los riesgos climáticos, el cual considera un riesgo para el AirSide del aeropuerto, relacionado a la variable temperatura:

Identificador del Riesgo Climático	Variable Climática Relacionada	Riesgo Climático	Criterio de Diseño	Impacto en la Infraestructura y Sistemas del Aeropuerto
RC1	Temperatura	Aumento en la temperatura en el Aeropuerto genera un Riesgo para la integridad de los pavimentos de las pistas, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento de aeronaves.	Dependiendo de los estándares considerados para la construcción de los pavimentos del Aeropuerto, se debe mencionar el umbral máximo de temperatura para mantener la integridad de estos.	Daños en los pavimentos de las pistas, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento de aeronaves, afectando la seguridad en la operación de las aeronaves y equipos móviles.
↓	↓	↓	↓	↓
↓	↓	↓	↓	↓
↓	↓	↓	↓	↓

Tabla 6: Se presenta un ejemplo de la información que debe ser registrada en la etapa de identificación de los riesgos climáticos.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.12. ANÁLISIS Y PRIORIZACIÓN DE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS

Una vez identificados los riesgos climáticos que impactan o podrían impactar a la infraestructura y sistemas del aeropuerto, el equipo de trabajo debe proceder con el análisis de estos mediante la aplicación de la Matriz de Riesgo presentada en el apartado 3.2.10, con el fin de categorizar cada uno de los riesgos. Se les debe asignar un nivel de probabilidad y amenaza, en función de toda la información con la cual disponga el equipo de expertos.

Para la asignación del nivel de probabilidad del riesgo, se debe considerar el historial de eventos climáticos que hayan causado algún impacto en la infraestructura y sistemas del aeropuerto, sean estos aislados o recurrentes. Adicionalmente, se debe considerar la información respectiva a las proyecciones de cambio climático, identificando cómo evoluciona el nivel de probabilidad del evento climático en el escenario futuro.

Para el caso de la asignación del nivel de gravedad, se debe tener claridad de la capacidad de respuesta y protección del aeropuerto frente a la materialización del riesgo climático, buscando identificar, de la manera más precisa posible, el nivel de vulnerabilidad de la infraestructura y sistemas y, por consiguiente, el nivel de gravedad del Riesgo.

A continuación, se presenta una guía para el registro del proceso de análisis de los riesgos Climáticos:

Identificador del Riesgo Climático	Variable Climática Relacionada	Riesgo	Categorización del Riesgo en la Situación Actual	Categorización del Riesgo en el Corto Plazo	Categorización del Riesgo en el Mediano Plazo	Categorización del Riesgo en el Largo Plazo
RC1	Temperatura	Daños en los pavimentos de las pistas, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento de aeronaves.	9	9	12	15
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

Tabla 7: Resumen del proceso de análisis de los riesgos climáticos que impactan o impactarán en la infraestructura y sistemas del aeropuerto.

Fuente: Elaboración Propia.

Posterior al proceso de análisis de los riesgos climáticos, el equipo de trabajo debe llevar a cabo la priorización de estos, con el fin de tener conciencia del paso a paso para la gestión de riesgos, lo cual además guiará el proceso de diseño de las medidas de adaptación.

El proceso de priorización se puede realizar de diversas aristas. A continuación, se detallan alguna de ellas:

- Se pueden utilizar los resultados que se desprenden del proceso de categorización de los riesgos climáticos, dando prioridad a los que se encuentren en la zona de riesgos mayores y severos, debido a que generan un mayor impacto en la infraestructura y sistemas del aeropuerto, continuando con los demás riesgos que presentan una categorización menor.
- Se pueden utilizar los criterios de diseño de la infraestructura y sistemas del aeropuerto, establecidos en el proceso de identificación de los riesgos climáticos, además de la tolerancia de este frente a dichos riesgos. A partir de ello, se le otorga el grado de prioridad.
- La capacidad de gestión de los riesgos climáticos por parte del encargado de la administración del aeropuerto. Es posible que el administrador aeroportuario haya hecho avances en lo que respecta a la capacidad adaptativa de su aeropuerto frente al impacto del cambio climático, y existan herramientas que ayuden a hacer frente a los riesgos identificados por parte del equipo de trabajo. Siguiendo esta lógica, se debe priorizar la infraestructura y sistemas que cuenten con una brecha adaptativa en comparación a las amenazas que presentan obras mitigadoras al momento de la aplicación del Plan.

Es importante que el proceso de priorización de los riesgos climáticos quede claramente documentado, donde se debe crear un listado, de mayor a menor prioridad. Dicho listado debe contener el identificador del riesgo climático, el riesgo y, finalmente, la metodología empleada para el establecimiento del orden de prioridad en la gestión de riesgos.

Nota: El equipo de trabajo puede adoptar otras herramientas para la priorización de los riesgos climáticos. Basta que se deje claramente documentada la metodología empleada para este proceso.

3.2.13. PRESENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN CLIMÁTICA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL AEROPUERTO

Posterior al proceso de análisis y priorización, el equipo de trabajo debe formular y presentar las medidas adaptativas, con el fin de controlar y mantener en niveles aceptables cada uno de los riesgos para la infraestructura y sistemas del aeropuerto, asociados al impacto del cambio climático. El equipo de expertos debe priorizar que las medidas identificadas tengan un fuerte componente de innovación, eficiencia y resiliencia.

Para cada uno de los riesgos climáticos identificados y analizados se de plantear:

- Un objetivo a cumplir con la incorporación de la(s) medida(s) adaptativa(s).
- Definición de la(s) medida(s) adaptativa(s) formulada(s) para hacer frente al riesgo climático.
- Definición de indicadores para medir el cumplimiento del objetivo.
- Presentar la estimación del tiempo requerido para el cumplimiento del objetivo, a través de la materialización de la(s) medida(s) adaptativa(s).

Se recomienda que las medidas que surjan a partir de este apartado del plan, se encuentren alineadas con la capacidad adaptativa del aeropuerto. Dependiendo del nivel de intervención en la infraestructura aeroportuaria, la capacidad de financiamiento del aeropuerto y la priorización de los riesgos climáticos, las medidas pueden ser transitorias o definitivas. Dentro de la medidas transitorias, se puede plantear un reforzamiento en la infraestructura y sistemas claves para el aeropuerto.

Adicionalmente, se deben precisar, de existir, las brechas entre las iniciativas climáticas adoptadas con anterioridad a la aplicación del Plan y las medidas formuladas en la situación actual del aeropuerto.

Cada una de las medidas adaptativas debe contar con una justificación técnica que respalde su aplicación. Esto viene dado a partir de los conocimientos y experiencia de los miembros del equipo de trabajo. Además, deben ser consideradas cada una de las normativas vigentes en temas de desarrollo aeroportuario. A continuación, se expone, de manera condensada, la información que debe ser presentada:

Identificador del Riesgo Climático	Variable Climática Relacionada	Riesgo	Objetivo	Indicador	Medida(s) Adaptativa(s)	Escala Temporal	Justificación
Se debe mencionar el código alfanumérico que identifica al riesgo climático.	Se debe mencionar la variable climática relacionada.	Se debe incorporar una breve descripción del riesgo climático.	Se debe mencionar el objetivo a satisfacer con la(s) medida(s) adaptativa(s).	Se debe definir un indicador que mida el desempeño de la(s) medida(s) adaptativa(s) para el cumplimiento del objetivo.	Se debe describir detalladamente la(s) medida(s) adaptativa(s) diseñada(s).	Se debe definir un estimación del tiempo necesario para el cumplimiento del objetivo.	Se deben mencionar la justificación técnica, cualitativa y cuantitativa, de la elección de la(s) medida(s) adaptativa(s).
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

Tabla 8: se presenta la descripción de la información necesaria para la presentación formal de las medidas adaptativas.

Fuente: Elaboración Propia.

Recomendación: Se sugiere que al momento de plantear cada una de las medidas adaptativas, se entregue la mayor cantidad de información al respecto.

Ejemplo: Si se decide aplicar un aumento en la capacidad del sistema de drenaje actual del aeropuerto, debido al riesgo de inundación de este, se deben señalar las ecuaciones que justifiquen el fortalecimiento de dicho sistema, utilizando las proyecciones de aumento en la cantidad de agua lluvia y/o aumento en el nivel medio del mar, junto a la demostración empírica del sobrepaso en los parámetros de diseño actuales del sistema.

Adicionalmente, se deben incorporar todas las características técnicas asociados al nuevo sistema de drenaje que se busca implementar para disminuir la vulnerabilidad del aeropuerto frente al riesgo de inundaciones. Se deben apoyar los cálculos y opciones de mejora tomando en consideración los parámetros de diseño de la infraestructura y sistemas.

A continuación, se expone un listado de posibles medidas adaptativas, con el fin de guiar al equipo de especialistas:

Variable de Cambio Climático	Posibles medidas adaptativas
Aumento del Nivel Medio del Mar	<ul style="list-style-type: none"> → Reforzamiento de la infraestructura existente a través del uso de materiales sellantes y a prueba de agua salada. → Incorporación de barreras naturales y/o artificiales. → Aumentar la altura de construcción de la nueva infraestructura.
Aumento en la intensidad de las Tormentas	<ul style="list-style-type: none"> → Reforzamiento de la infraestructura para resistir eventos de fuertes vientos. → Fortalecimiento de la infraestructura para resistir mayores niveles de precipitación. → Reemplazo del cableado tradicional por aquellos capaces de resistir los daños por agua salada, asociado a inundaciones en zonas costeras.
Cambios en los extremos de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> → En áreas donde se espera un aumento significativo de las temperaturas se puede incorporar pavimentos capaces de resistir mayores temperaturas. → Reforzamiento de los edificios de pasajeros y carga, con el fin de mantener la integridad de la infraestructura, asociado al derretimiento del permafrost. → Aumento en la longitud de la (s) pista (s). → Repavimentación de las pistas y calles de rodaje, asociado al derretimiento del permafrost, además de rediseñar y reforzar el sistema de drenaje.
Cambios en las precipitaciones	<ul style="list-style-type: none"> → Aumentar la capacidad del sistema de drenaje del aeropuerto, asociado a un aumento en las precipitaciones. → Cambiar la localización del sistema eléctrico del aeropuerto, asociado a un aumento en las precipitaciones.
Cambios en la dirección e intensidad del viento	<ul style="list-style-type: none"> → Construcción de pistas adicionales que permitan la operación en condiciones de viento cruzado de gran intensidad.
Desertificación	<ul style="list-style-type: none"> → Creación de cortavientos con árboles que no atraigan a fauna silvestre, con el fin de evitar la degradación del terreno.

Tabla 9: se presentan posibles medidas adaptativas que pueden ser identificadas por el equipo de trabajo, para su aplicación en el Aeropuerto.

Fuente: Elaboración propia con la información disponible en el Documento 9184 Parte II de la OACI (2018).

3.2.14. FINANCIAMIENTO DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN CLIMÁTICA

Es importante mencionar que cada una de las medidas adaptativas diseñadas por el equipo de trabajo, implican una inversión de capital importante, debido a que se sugieren, en algunos casos, modificaciones significativas en partes sensibles de la infraestructura, como son la pista, calles de rodaje, plataforma de estacionamiento de aeronaves, edificios terminales, etc. En cada una de las mejoras se tiene considerado un costo para su realización, incorporando los parámetros técnicos de diseño, construcción, mantenimiento y uso del equipo humano y materiales.

Los proyectos aeroportuarios se encuentran sujetos a la aprobación por parte de la autoridad aeroportuaria pertinente, la cual es la responsable del desarrollo y operación de la red de aeropuertos de cada país, donde es el órgano encargado de analizar, corregir y aprobar cada uno de los planes que implican modificaciones en la infraestructura y sistemas de los aeropuertos. Es debido a esto que, cada una de las medidas presentadas con el fin de adaptar la infraestructura y sistemas del aeropuerto, se encuentran bajo la aprobación dicha autoridad. Se le solicita al equipo de trabajo plantear un estimativo de los costos involucrados en cada una de las mejoras, con el fin de facilitarle la tarea de aprobación del Plan a la autoridad aeroportuaria respectiva. Este proceso debe quedar claramente documentado.

Recomendación: *Existe documentación de referencia de entidades como la FAA de Estados Unidos, donde se establecen presupuestos para las mejoras de la red aeroportuaria de dicho país, haciendo distinción respecto del tamaño de los aeropuertos de la red.*

En la mayoría de los casos, los proyectos aeroportuarios se llevan a cabo a través de la utilización de fondos públicos, donde en algunos países existe una restricción presupuestaria importante. Es posible que en los contratos de concesión de los aeropuertos (si es que existe este modelo en la red aeroportuaria), se estipule la obligatoriedad de la aplicación de las medidas adaptativas frente el impacto del cambio climático en la infraestructura y sistemas del aeropuerto, tomando en consideración el área de responsabilidad de la concesión (explotación del AirSide o LandSide del aeropuerto).

3.2.15. COMUNICACIÓN DE HALLAZGOS A LOS ACTORES DEL SISTEMA AERONÁUTICO.

El Plan de Adaptación de la infraestructura aeroportuaria frente al impacto del cambio climático culmina con la comunicación de los hallazgos de cada uno de los apartados que componen el Plan. Se busca condensar toda la información registrada en un “Reporte de Adaptación Climática”. Este reporte debe ser redactado por el equipo de trabajo, en conjunto al administrador aeroportuario, donde se entregue un balance de la situación climática actual del aeropuerto, además de las medidas adaptativas actuales y futuras. El Reporte de Adaptación Climática debe ser creado de manera Anual y debe indicar el grado de avance de la materialización de las medidas de adaptación. Para ello se deben crear indicadores de performance.

El reporte debe contener como mínimo:

- Presentación del equipo de trabajo, encargado de la aplicación del Plan
- Los objetivos detrás de la aplicación del Plan.
- La metodología utilizada para la formulación de las medidas adaptativas.
- La información utilizada para llevar a cabo la aplicación del Plan (información técnica del aeropuerto, datos históricos, proyecciones de cambio climático, etc.).
- Cada uno de los supuestos realizados por el equipo de especialistas, además de la definición del alcance temporal.
- La información documentada durante el proceso de formulación de las medidas adaptativas (identificación, análisis y priorización de los riesgos; identificación de las medidas adaptativa, financiamiento, etc.).
- Conclusiones y recomendaciones que nazcan a partir de la aplicación del Plan por parte del equipo de trabajo.
- Estado de avance de la aplicación de las medidas de adaptación en la infraestructura del aeropuerto a través de indicadores (esta sección debe estar disponible cuando la autoridad aeroportuaria correspondiente haya aprobado la materialización de las medidas adaptativas).

Cada uno de los puntos mencionados anteriormente se favorecen a través de todo el proceso de documentación que se lleva a cabo a través del proceso de aplicación del Plan.

Una vez que se haya escrito el Reporte, debe ser enviado a los distintos actores del sistema aeronáuticos y partes interesadas, con el fin de que estos estén en conocimiento de las conclusiones nacidas a partir de la aplicación del Plan.

3.3. REVISIÓN DEL PLAN DE ADAPTACIÓN CLIMÁTICA

Se sugiere que el administrador aeroportuario realice una revisión completa del Plan de Adaptación de la infraestructura aeroportuaria frente al impacto del cambio climático cada cinco años o, cuando se lleve a cabo la revisión de los planes maestros del aeropuerto. Se sugiere, además, mantener el equipo de especialistas de manera permanente, con el fin de que se trabaje constantemente en la creación de información climática confiable y objetiva la cual sea incorporada en los reportes climáticos anuales, formando parte de la información de performance económica y operativa del aeropuerto.

3.4. ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA APLICACIÓN DEL PLAN DE ADAPTACIÓN CLIMÁTICA

La aplicación del Plan de Adaptación de la Infraestructura Aeroportuaria frente al Impacto del Cambio Climático es el punto de partida de un proceso continuo que debe llevar a cabo el encargado de la administración del aeropuerto. Se busca el monitoreo periódico del contexto ambiental, más aún, si se presenta una variabilidad climática importante en la zona geográfica donde se encuentra emplazado el aeropuerto o, si existe una alta vulnerabilidad de la infraestructura aeroportuaria. El Plan desarrollado en la memoria debe ser incorporado en los procesos estratégicos del aeropuerto, tomando en consideración sus objetivos e iniciativas.

Para algunos administradores aeroportuarios, la aplicación del Plan, puede corresponder al primer avance que realicen en temas de cambio climático, por lo que, esta tarea puede llegar a ser un desafío importante. Además, la aplicación del Plan conlleva una inversión por parte del encargado de la administración del aeropuerto, debido a que se debe reclutar al equipo de

especialistas, entregando todas las herramientas necesarias para que su labor se realice de la manera más eficiente y eficaz posible, manteniendo los principios que rigen a la actividad aeroportuaria nacional e internacional. Adicionalmente, se agrega la complejidad de potenciar la puesta en marcha y estudio del Plan, mientras se llevan a cabo las demás iniciativas de desarrollo del aeropuerto.

Para el caso del equipo de expertos, este debe lograr generar un equilibrio entre las iniciativas necesarias para el aeropuerto y, la capacidad adaptativa de este, entendiendo que existen diversos grados de vulnerabilidad en la infraestructura y dificultades para llevar a cabo la transformación de esta, bajos los parámetros establecidos. Puede que exista una disonancia entre estos conceptos.

Para el caso de la autoridad aeroportuaria correspondiente, esta será la encargada de aprobar las iniciativas adaptativas que surjan a partir de la aplicación del Plan. Esta deberá analizar la conveniencia y bajo qué criterios se llevará a cabo la materialización de las medidas. Pueden existir contraposiciones importantes entre los resultados de la planeación previa de la infraestructura y sistemas del aeropuerto (establecida en los planes maestros del aeropuerto), y las medidas resultantes de la aplicación del Plan. Por ende, debe existir una armonización de las medidas adaptativas que sean aprobadas por la autoridad aeroportuaria, con el fin de potenciar la existencia de iniciativas preventivas, más que reactivas, debido a los costes económicos que nacen a partir de la materialización de los riesgos climáticos.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de todo el desarrollo de la memoria, se logró dar cumplimiento al objetivo general planteado, el cual busca entregar una propuesta de Plan de adaptación de la infraestructura aeroportuaria de cara a los riesgos ambientales generados por el cambio climático en el planeta Tierra. A medida que se profundizaba en el estudio de la bibliografía disponible, se identificó una clara brecha entre los conceptos de mitigación y adaptación de la infraestructura aeroportuaria frente a las amenazas climáticas crecientes, esto asociado al avance de las consecuencias nocivas del cambio climático antropogénico. Las iniciativas climáticas principalmente buscan la mitigación del impacto de la operación y desarrollo del aeropuerto en el ambiente, a través de procesos de planificación estratégica, con un fuerte componente de sostenibilidad.

Se logró diseñar una metodología, a partir de referencias normativas en el plano de la gestión de riesgos y adaptación al cambio climático, la cual considera la identificación, análisis y priorización de los riesgos climáticos que impactan o impactarán en la infraestructura aeroportuaria, y la formulación de iniciativas adaptativas, tanto reactivas como preventivas, relacionadas al contexto y capacidad adaptativa del aeropuerto donde se aplique el plan.

Además, se enriqueció la metodología antes planteada, a través de la recopilación de información objetiva y confiable respecto de las causas y consecuencias del cambio climático en el ambiente, el impacto de las condiciones climáticas adversas en la infraestructura y sistemas de los aeropuertos, además de la recopilación de casos de estudio relacionados, rescatando las buenas prácticas de diversos administradores aeroportuarios alrededor del mundo, respecto del concepto de resiliencia y adaptabilidad climática. Todo esto permitió dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados para la memoria.

Se recalca que la metodología planteada para la aplicación del Plan, corresponde a la base de todo el proceso contenido en el desarrollo de la memoria, debido a que se busca poder compatibilizar el análisis a la realidad de todos los aeropuertos, independientemente de la cantidad de información climática con la que cuenten sus administradores. Se da la libertad al equipo de expertos de incorporar otras técnicas de análisis, siempre y cuando estas se encuentren debidamente justificadas, explicadas y documentadas.

El Plan reconoce que cada aeropuerto cuenta con un contexto particular, con vulnerabilidades climáticas de diversos niveles y una capacidad de hacer frente a los riesgos climáticos que depende, en primer lugar, de la decisión de inversión por parte de la autoridad aeroportuaria pertinente y, en segundo lugar, de la rapidez en la materialización de dichas medidas. Adicionalmente, el Plan insta a compartir los hallazgos documentados por el equipo de expertos con los diferentes actores del sistema aeronáutico, buscando armonizar el desarrollo de la red aeroportuaria del lugar geográfico donde se encuentra inmerso el aeropuerto en el que se aplica el Plan, además de incentivar a otros administradores aeroportuarios a iniciar procesos de planificación de la adaptación de la infraestructura y sistemas de sus aeropuertos, utilizando la metodología planteada en el desarrollo de la memoria.

Existen diversas aristas que el Plan de adaptación de la infraestructura aeroportuaria no aborda, como son los riesgos para la operación de las aeronaves dentro del aeropuerto y el impacto que genera el cambio climático, tanto en los colaboradores que desempeñan sus funciones en las distintas instalaciones del aeropuerto, como en los pasajeros que transitan día a día, los cuales de igual manera perciben los efectos nocivos del cambio climático. La decisión de no incluir estos tópicos en la propuesta de Plan, radica en evitar la pérdida del foco del objetivo general de la memoria, debido a que se hubiesen considerado temas diversos, desde la afectación en la infraestructura y sistemas del aeropuerto hasta los peligros fisiológicos que pueden surgir en las personas que se encuentran expuestas a condiciones climáticas extremas. Se deja la posibilidad de abordar e incorporar dichos temas en las actualizaciones que puedan surgir para el presente Plan, pero ahora desde el punto de vista de otros memoristas.

Se recomienda que, si la administración del aeropuerto se encuentra ligada a un proceso de concesiones, se establezca dentro de dicho contrato la obligatoriedad, tanto de la aplicación del Plan presentado en la memoria, como de la generación de información de cambio climático del aeropuerto.

Además, se insta a buscar nuevas técnicas, tecnologías y materiales durante el proceso de formulación de las medidas adaptativas para el aeropuerto, con el fin de estar a la vanguardia en todo el espectro del concepto “innovación”. De la aplicación del Plan por parte del equipo de trabajo, pueden nacer recomendaciones, las cuales pueden ser elevadas a las autoridades

que están a cargo de la estandarización de los proceso de diseño y planificación de los aeropuertos, para que incorporen las mejoras que se puedan identificar a partir del proceso de análisis y recolección de técnicas innovadoras, pudiendo ser incorporadas a los estándares aeroportuarios previa autorización de las diversas autoridades aeronáuticas.

ANEXO

1. La escala Saffir-Simpson es una herramienta para la clasificación de las tormentas, como huracanes y tifones. La escala Saffir-Simpson entrega distintas categorías de tormentas, las cuales relacionan la intensidad del viento y los daños que estos ocasionan. La escala inicia con la categoría 1 (vientos extremadamente peligrosos los cuales causan daños extensos) hasta la categoría 5 (daños catastróficos) (SKYBRARY, s.f.).
2. El permafrost es la capa de suelo bajo la superficie de la Tierra que ha permanecido congelada ininterrumpidamente durante al menos dos años consecutivos y, en la mayoría de los casos, durante cientos o miles de años. Se extiende por una cuarta parte del hemisferio norte, incluyendo muchas regiones que no están cubiertas de nieve (ONU, 2022).
3. Matriz cuantitativa para la gestión de los riesgos climáticos.

Gravedad →	0,05	Mínimo	0,1	Leve	0,3	Grave	0,7	Peligroso	0,9	Catastrófico
Probabilidad ↓										
0,9 Altamente Probable	0,045		0,09		0,27		0,63		0,81	
0,7 Probable	0,035		0,07		0,21		0,49		0,63	
0,5 Posible	0,025		0,05		0,15		0,35		0,45	
0,3 Improbable	0,015		0,03		0,09		0,21		0,27	
0,1 Sumamente Improbable	0,005		0,01		0,03		0,07		0,09	

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, W. (15 de Agosto de 2022). *Khaleej Times*. Obtenido de <https://www.khaleejtimes.com/uae/uae-weather-dubai-airports-says-44-flights-cancelled-12-diverted-due-to-poor-weather>
- Academia de Aviación . (04 de Abril de 2012). *Asoc. Pasión por Volar*. Obtenido de <https://www.pasionporvolar.com/el-sistema-de-drenaje-en-los-aeropuertos/>
- Acciona. (2022). *Acciona*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/cambio-climatico/?_adin=02021864894
- Acciona Sostenibilidad. (s.f.). *Sostenibilidad*. Obtenido de https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/cambio-climatico-sequia/?_adin=02021864894
- Aérea, A. E. (2022). *Ministerio de Transportes, movilidad y agenda urbana*. Obtenido de <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/comercio-de-emisiones/sostenibilidad-del-sector-aereo.-medidas-de-mitigacion-frente-al-cambio-climatico-y-preservacion-de-la-calidad-del-aire-local/mecanismos-de-mercado/corsia>
- Agencia Europea Medioambiental. (22 de Junio de 2022). *European Environmental Agency*. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/ims/global-and-european-temperatures>
- Anamaterou, K. V. (2021). Climate Change Adaptation Studies as a tool to ensure airport's sustainability: The case of Athens International Airport (A.I.A.). *Science of The Total Environment*, 754, 142153. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142153>
- ARA, M. B. (2014). *Historia de la Aviación Comercial desde 1909 hasta Nuestros Días*. Recuperado el 14 de Octubre de 2022, de https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/149004/Bintaned_Ara_Martin.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arriols, E. (06 de Junio de 2018). *Ecología Verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/diferencia-entre-efecto-invernadero-natural-y-artificial-1300.html>
- Bailey, J. (25 de Enero de 2022). *Simple Flying*. Obtenido de <https://simpleflying.com/istanbul-airport-heavy-snowfall-roof-collapse/>
- Bellasio, R. (2014). *Analysis of wind data for airport runway desing*.
- Burbidge, R. (2016). Adapting European Airports to a Changing Climate. *Transportation Research Procedia*, 14, 14-23. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.036>

- Camargo, B. &. (3 de Octubre de 2022). *Columbia Climate School*. Obtenido de <https://news.climate.columbia.edu/2022/10/03/heres-what-we-know-about-how-climate-change-fuels-hurricanes/>
- Carpenter, B. T. (2018). *An Overview and Analysis of the Impacts of Extreme Heat on the* .
- CEPAL. (2015). *Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile.
- Climático, O. d. (2022). *Ministerio de agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*. Obtenido de Ministerio de sanidad, servicios sociales e igualdad: http://www.oscc.gob.es/es/general/salud_cambio_climatico/cambio_climatico_es.htm
- Consejo Europeo. (2022 de Noviembre de 2022). *Consejo Europeo*. Obtenido de <https://www.consilium.europa.eu/es/policias/climate-change/paris-agreement/>
- Cornejo, M. E. (03 de Septiembre de 2021). Planificación y Diseño de Aeropuertos. *Clase 1: Planificación*.
- Dawson, A. N. (2021). *Global analysis of sea level rise risk to airports*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crm.2020.100266>
- DGAC. (s.f.). *Código Aeronáutico*. Obtenido de <https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/portalweb/rest-portalweb/jcr/repository/collaboration/sites%20content/live/dgac/documents/codigo.pdf>
- Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile. (2021). *Cuenta Publica Participativa*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2022, de <https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2022/06/CuentaPublicaJunio.pdf>
- EPA. (Agosto de 2016). *What Climate Change Means for Arizona*. Obtenido de <https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/climate-change-az.pdf>
- EPA. (1 de Agosto de 2022). *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos*. Obtenido de <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-us-and-global-temperature>
- EUROCONTROL. (2021). *Climate Change Risks for Aviation*.
- European Commission. (s.f.). *European Union* . Obtenido de https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_en
- European Environment Agency. (11 de Mayo de 2021). *European Environment Agency*. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2017/articles/energy-and-climate-change>

- FAA. (07 de Diciembre de 2022). *Federal Aviation Administration*. Obtenido de https://www.faa.gov/airports/planning_capacity/categories
- Heathrow Airport Ltd. (2022). *Climate Change Adaptation Report*. Recuperado el 02 de Enero de 2023, de <https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/heathrow-2-0-sustainability/further-reading/Heathrow%20Airport%20CCAR%202021%20FINAL.pdf>
- ICAO. (2022). *ICAO Environment*. Obtenido de https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA%20Brochure/CorsiaBrochure_SPA-Mar2019_Web.pdf
- Infobae. (06 de Septiembre de 2017). *Infobae*. Obtenido de <https://www.infobae.com/america/mundo/2017/09/06/el-huracan-irma-destrozo-el-aeropuerto-de-st-martin-famoso-por-su-pista-de-aterrizaje-junto-a-una-playa-turistica/#:~:text=El%20famoso%20aeropuerto%20internacional%20Princess,a%20la%20playa%20de%20Maho.>
- International Finance Corporation. (2020). *The impact of COVID-19 on Airports: An Analysis*. Recuperado el 09 de Noviembre de 2022, de https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/26d83b55-4f7d-47b1-bcf3-01eb996df35a/IFC-Covid19-Airport-FINAL_web3.pdf?MOD=AJPERES&CVID=n8lgpkG
- IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5_SPM_Top_Level_Findings_es-1.pdf
- IPCC. (2019). *Calentamiento global de 1,5 °C*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf
- IPCC. (2020). *El Cambio Climático y la Tierra*.
- IPCC. (2021). *IPCC Sixth Assessment Report*.
- ISOTools. (s.f.). *ISOTools Excellence*. Obtenido de <https://www.isotools.org/2019/07/15/iso-14090-norma-para-gestionar-el-impacto-del-cambio-climatico/#:~:text=ISO%2014090%20detalla%20y%20aclara,en%20su%20relaci%C3%B3n%20con%20otras.>
- Marquet, P. (29 de Octubre de 2019). *Pontificia Universidad Católica de Chile*. Recuperado el 17 de Julio de 2022, de <https://www.uc.cl/noticias/revertir-el-cambio-climatico-todavia-es-posible/>

- Massport. (2022). *Anual Comprehensive Financial Report*. Obtenido de <https://www.massport.com/media/syvj434u/massport-2022-acfr-final-report.pdf>
- Massport. (s.f.). *Massport*. Obtenido de <https://www.massport.com/massport/business/capital-improvements/sustainability/climate-change-adaptation-and-resiliency/>
- McSweeney, R. (06 de Agosto de 2019). *CarbonBrief*. Obtenido de <https://www.carbonbrief.org/explainer-desertification-and-the-role-of-climate-change/>
- Mesa de noticias de El Mostrador . (15 de Marzo de 2022). *El Mostrador* . Obtenido de <https://www.elmostrador.cl/noticias/multimedia/2022/03/15/lluvias-provocan-el-colapso-del-aeropuerto-el-loa-de-la-ciudad-de-calama/>
- Ministerio de Medio Ambiente . (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2021*.
- Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (s.f.). *Plataforma de Simulaciones Climáticas*. Obtenido de <https://simulaciones.cr2.cl/>
- NASA. (s.f.). *NASA GLOBAL CLIMATE CHANGE*. Obtenido de <https://climate.nasa.gov/causas/>
- Newcastle University. (08 de Junio de 2021). *Smart Water Magazine* . Obtenido de <https://smartwatermagazine.com/news/newcastle-university/climate-change-increases-extreme-rainfall-and-chance-floods>
- OACI. (2016). *Anexo 14 al convenio de Aviación Civil Internacional*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2022, de <https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-14-vol-i.pdf>
- OACI. (2018). *Doc 9184 Airport Planning Manual Part II - Land Use and Environmental Management*. Recuperado el 16 de Octubre de 2022
- OACI. (2019). *Environmental Report Aviation and Environment*.
- OACI. (2020). *Manual de Planificación de Aeropuertos*.
- OACI. (s.f.). *ICAO Uniting Aviation*. Recuperado el 09 de Diciembre de 2022, de <https://www.icao.int/about-icao/History/Pages/ES/default.aspx#:~:text=Con%20el%20Convenio%20de%20Chicago,red%20del%20transporte%20a%C3%A9reo%20mundial.>
- OMM. (18 de Mayo de 2022). Obtenido de <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/cuatro-indicadores-clave-del-cambio-clim%C3%A1tico-batieron-r%C3%A9cords-en-2021>

- ONU. (2021). *Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>
- ONU. (31 de Enero de 2022). *ONU News*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2022/01/1503342>
- ONU News*. (30 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2019/10/1464591>
- ONU. (s.f.). *ONU programa para el medio ambiente*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/las-emisiones-de-metano-estan-acelerando-el-cambio-climatico-como#:~:text=El%20metano%20es%20el%20principal,poderoso%20gas%20de%20efecto%20invernadero>.
- Organización Internacional de Normalización. (2018). *Online Browsing Platform*. Obtenido de ISO: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>
- Organización Internacional de Normalización. (2019). *ISO Online Browsing Platform*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14090:ed-1:v1:es>
- Organización Meteorológica Mundial. (2022). *State of the Global Climate 2021*. Obtenido de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11178
- Organización Meteorológica Mundial. (2022). *Unidos en la Ciencia 2022*. Obtenido de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11421
- Orús, A. (24 de Febrero de 2022). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/1269561/variacion-de-las-temperaturas-globales-y-oceanica-mundiales/>
- Qu, M. C.-P. (2021). An advanced climate resilience indicator framework for airports: A UK case study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 101, 103099. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103099>
- Raimondi, M. (12 de Agosto de 2022). *Arizona's Family*. Obtenido de <https://www.azfamily.com/2022/08/13/severe-weather-cancels-delays-flights-sky-harbor-airport/>
- Rakas, S. L. (2022). Cross-sectoral and multiscalar exposure assessment to advance climate adaptation policy: The case of future coastal flooding of California's airports. *Climate Risk Management*, 38, 100462. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100462>
- Reuters. (30 de Enero de 2022). *El Economista*. Obtenido de <https://www.eleconomista.com.mx/internacionales/Nevada-en-EU-paraliza-el-traffic-aereo-con-mas-de-1300-vuelos-cancelados-20220130-0027.html>

- Santis, G. (Octubre de 2018). *Ministerio de Medio Ambiente de Chile*. Obtenido de https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/06/Cambio-climatico-Introduccion_Atacama.pdf
- Shaban, A. (2018). *Profitability and Financial Performance Indicators in U.S. Airports*. Obtenido de <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1386&context=edt>
- Silvia Núñez. (08 de Abril de 2022). *Ecología Verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/composicion-de-la-atmosfera-3862.html>
- SKYBRARY. (s.f.). *SKYBRARY*. Obtenido de <https://www.skybrary.aero/articles/hot-weather-operations>
- SKYBRARY. (s.f.). *SKYBRARY*. Obtenido de <https://skybrary.aero/articles/saffir-simpson-hurricane-wind-scale-sshws>
- SKYBRARY. (s.f.). *SKYBRARY*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2022, de <https://www.skybrary.aero/articles/icao-annexes-and-doc-series>
- SRVSOP. (2016). *Peligros y Riesgos*. Obtenido de [https://www.icao.int/SAM/Documents/2018-SSP7/Peligros%20y%20Riesgos%20\[Read-Only\].pdf](https://www.icao.int/SAM/Documents/2018-SSP7/Peligros%20y%20Riesgos%20[Read-Only].pdf)
- The Flight. (s.f.). *The Flight Seat Maps.Reviews.Tips*. Obtenido de <https://theflight.info/skywest/>
- The Royal Society. (2020). *Climate Change Evidence & Causes*. Obtenido de https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf
- United Nations. (s.f.). *United Nations Climate Action*. Obtenido de <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
- Voskaki, A. (23 de Marzo de 2015). *Green Clean Guide*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2022, de <https://greencleanguide.com/airport-environmental-impacts/>