



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



# **VALORACIÓN DE INFRAESTRUCTURA NO VIAL; AEROPUERTOS CONCESIONADOS**

POR

**Valentina Monserrat Ferrada Jerez**

Profesor Guía

José Oliveros Romero, PhD.

Profesor Co-guía

Tomás Echaveguren Navarro, PhD.

Agosto 2022

Concepción, Chile

© 2022 Valentina Monserrat Ferrada Jerez

© Valentina Monserrat Ferrada Jerez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

## **Agradecimientos**

Primero que todo quiero agradecer a la Universidad de Concepción, la gloriosa, que fue el hogar de años de estudio con risas y lágrimas incluidas y a la Biblioteca Central y sus auxiliares por albergar noches y noches de estudio. También quiero dar gracias a los y las profesores que entregan su conocimiento a través de la docencia, particularmente a mi profesor guía José Oliveros, que me ayudó cada vez que pudo y con la mejor disposición.

También agradecer a mi mamá, que con su forma de ser ha ayudado a forjarme y lograr todo lo que estoy logrando y lograré, gracias por ser una guía y mi compañera. A mi papá y mi hermano que, a pesar de la distancia física, siguen estando junto a mi siempre y a mi weli, que se lo orgullosa que estaría.

Gracias a mis amigas y amigos del colegio por la amistad y el cariño de todos estos años, gracias por sin saberlo estar ahí siempre, en altos y bajos y por distraerme cada vez que lo necesitaba. Gracias a mi pololo y compañero, quien siendo parte de este grupo se convirtió en algo más y que me ha acompañado y apoyado desde ese momento, sobre todo en el periodo de la memoria de título.

Por último, quiero agradecer al grupo, a las personas que conocí el 2016, gracias por el amor y apoyo que nos hemos entregado, sin ustedes mi paso por la universidad hubiera sido tortuoso. Gracias también porque junto a nuestros amigos hemos pasado maravillosos momentos.

Gracias a todos los que me han acompañado y que me han visto crecer.

La fortaleza del bosque  
para que ningún triunfo me envanezca.

La alegría de la mañana  
para que ninguna soledad me abata.

La libertad del ave  
para elegir mi camino  
y la voluntad del pionero  
para seguir siempre adelante y servir

## **Resumen**

El valor de los activos es una medida de desempeño útil para las Asociaciones Público-Privadas ya que es comprensible tanto para el sector público como el privado. Actualmente en Chile no se exige valorizar la infraestructura aeroportuaria a ningún organismo estatal, más que para los estados financieros, pero utilizar métodos contables para el cálculo del valor puede generar sub o sobre estimaciones afectando a la gestión de activos al no poder asignar de forma eficiente los presupuestos.

El objetivo general de la investigación es determinar el valor de una infraestructura aeroportuaria, basado en el método de descomposición elemental multicriterio (EDMC). La metodología seguida para lograr este objetivo fue de cuatro etapas: (1) la identificación de los macro componentes de los aeropuertos, (2) la corroboración de las perspectivas y pesos, (3) la selección de los atributos de las perspectivas y (4) la generación de la función de utilidad del modelo.

Para la obtención de resultados mediante el modelo propuesto se utiliza como ejemplo el Aeropuerto Carriel Sur, ubicado en la comuna de Talcahuano, donde los cinco componentes identificados son la pista de aterrizaje, las calles de rodaje, la plataforma, el edificio terminal y la accesibilidad al aeropuerto. El valor se obtiene según costos históricos de construcción, la condición (dada por el índice de condición de pavimentos y el índice de condición de activos) y la vida útil restante de cada componente. De esta forma, el valor obtenido para el año 2022 del Aeropuerto Carriel Sur es de \$60,25 miles de millones de pesos.

De la investigación realizada se puede concluir que integrar el valor a la gestión de activos y contabilizar las variaciones en el valor año a año hará que se conozcan las disminuciones en el valor, pudiendo gestionar en un tiempo adecuado las mantenciones u otros futuros proyectos relacionados. Así, se puede gestionar de mejor forma los presupuestos, asignándolo a proyectos que aumenten el valor de la infraestructura aeroportuaria, mientras se mantienen los estándares de servicio de la infraestructura.

## **Abstract**

Asset value is a useful performance measure for Public-Private Partnerships because it is understandable for the private and public sector. Currently in Chile is not required to value the airport infrastructure from any governmental organization, other than for financial statements, but using accounting methods to calculate the value can rely on under or overestimates, affecting asset management by not efficiently allocate the budgets.

The general objective of the research is to determine the value of an airport infrastructure, based on the multi-criteria elemental decomposition method (EDMC). The methodology followed to achieve this has four stages: (1) the identification of the macro components of the airports, (2) the corroboration of the perspectives and weights, (3) the selection of the attributes from the perspectives and (4) the generation of the utility function of the model.

Carriel Sur Airport is used as an example to obtain results, and the five macro components identify are the landing track, taxiways, platform, terminal building and the accessibility to the airport. The value of this airport is obtained based on historical costs, the condition (given by the pavement condition index and the asset condition index) and the remaining useful life, of each component. The value obtained for the year 2022 of the Carriel Sur Airport is \$60,25 billion pesos.

From the research it can be concluded that integrating the value to the asset management and, in this way, accounting the variations in value year after year will cause the decreases in value to be known, allowing maintenance or other future related projects to be managed correctly in time. Thus, budgets can be better managed, assigning them to the projects that increase the value of the airport infrastructure, while maintaining the infrastructure service level.

## Contenido

Agradecimientos.....	3
Resumen .....	4
Abstract .....	5
Contenido .....	6
Índice de figuras .....	7
Índice de tablas.....	8
1. Introducción .....	9
1.1 Antecedentes del contexto.....	9
1.2 Oportunidad de investigación.....	10
1.3 Interrogantes y objetivos de la investigación .....	11
1.4 Implicancias y contribución de la investigación .....	11
1.5 Aspectos generales de la metodología .....	12
1.6 Estructura del informe.....	13
2. Marco Teórico .....	14
2.1 Gestión de activos .....	14
2.2 Valor de la infraestructura.....	17
2.3 Métodos de valorización .....	20
2.4 Sobre infraestructura aeroportuaria y concesiones en Chile .....	27
3. Metodología .....	33
3.1 Estrategia de investigación.....	33
3.2 Recolección de datos .....	36
4. Formulación del modelo.....	37
4.1 Identificación de macro componentes de los aeropuertos.....	37
4.2 Corroboración de perspectivas .....	42
4.3 Selección de los atributos e indicadores.....	44
4.4 Formulación matemática del modelo .....	51
5. Resultados .....	53
5.1 Caso de aplicación.....	53
5.2 Análisis de sensibilidad.....	57
6. Discusión.....	64
6.1 Resultados .....	64

6.2 Limitaciones de la investigación .....	66
7. Conclusiones .....	67
Referencias .....	69
Anexo 1: Carta Gant.....	71
Anexo 2: Macrozonas climáticas para el territorio chileno.....	72
Anexo 3: Entrevista personal DGAC .....	73
Anexo 4: Entrevista personal DAP .....	74
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA RESUMEN MEMORIA DE TÍTULO .....	75

## Índice de figuras

Figura 1. Términos claves en la gestión de activos.....	15
Figura 2. Gestión de infraestructura efectiva .....	16
Figura 3. Diagrama típico de política de gestión de activos .....	17
Figura 4. Enfoque sistemático para la gestión de activos de infraestructura basada en el valor.....	18
Figura 5. Gestión de activos basada en el valor .....	19
Figura 6. EDT del proyecto.....	34
Figura 7. Elementos de un aeropuerto.....	38
Figura 8. Vista aérea del Aeropuerto Carriel Sur.....	39
Figura 9. Pista de aterrizaje .....	39
Figura 10. Calles de rodaje.....	40
Figura 11. Plataforma.....	40
Figura 12. Edificio terminal .....	41
Figura 13. Accesibilidad .....	42
Figura 14. Factores que inciden en el PCI .....	45
Figura 15. Hoja de registro de información de condiciones para PCI .....	45
Figura 16. Tiempo de preservación y rehabilitación del pavimento según la condición .....	46
Figura 17. Curva típica de PCI durante la vida de un pavimento .....	47

## Índice de tablas

Tabla 1. Funciones de organismos estatales.....	43
Tabla 2. Escala de clasificación de PCI para pavimentos generales y aeroportuarios .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	<b>48</b>
Tabla 3. Calificaciones de condición física para el edificio terminal .....	49
Tabla 4. Evaluación de la condición de un edificio .....	50
Tabla 5. Costo de los componentes.....	55
Tabla 6. Evaluación de la condición de un edificio .....	55
Tabla 7. Razón de condición .....	56
Tabla 8. Razón de vida útil.....	56
Tabla 9. Asignación de pesos .....	57
Tabla 10. Cambios en la condición de los componentes viales .....	58
Tabla 11. Cambios en la condición de la pista .....	59
Tabla 12. Cambios en la condición de la plataforma de asfalto.....	59
Tabla 13. Cambios en la condición del edificio terminal.....	60
Tabla 14. Cambios en los pesos .....	60
Tabla 15. Valor del activo según métodos tradicionales.....	62

# 1. Introducción

## 1.1 Antecedentes del contexto

La infraestructura es una necesidad intrínseca al ser humano y es donde desarrolla la mayoría de sus actividades, siendo un factor clave para el desarrollo de los países. En Chile, el Ministerio De Obras Públicas o MOP de aquí en adelante, es el encargado de proveer la infraestructura pública.

Los activos, según la Norma ISO 55000, son algo que posee valor potencial o tangible para una organización (Organización Internacional de Normalización, 2014) y la gestión de activos se enfoca en el valor que el activo puede proporcionar. Este valor viene dado por la misma organización, según sus propios objetivos. La valoración de los activos es “el proceso de asignar valor monetario a un activo” (Weldemicael et al., 2017) y es un factor importante para la gestión de activos. Permite ahorrar costos, respaldar toma de decisiones, planificar las estrategias de preservación y mantenimiento de largo plazo, entre otras.

Los aeropuertos son un activo de infraestructura fundamental para los países debido a que entregan conectividad con el resto del mundo. Particularmente en Chile cobran una mayor relevancia debido a la geografía del territorio, permitiendo también la conectividad de zonas más aisladas. La Red Primaria está compuesta por los 16 aeropuertos y aeródromos más importantes del país.

La Contraloría General de la República en su resolución 16 estimó que se deben adoptar las Normas Internacionales de Contabilidad para el Sector Público, NICSP (Contraloría General de la República, 2015). Así, cada organización es responsable de valorizar sus activos.

Existen diferentes entidades estatales que se relacionan dentro de un aeropuerto, como la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), la Dirección de Aeropuertos (DAP) y la Dirección General de Concesiones (DGC). Para efectos de esta investigación se tomará la perspectiva de la Dirección de Aeropuertos con el objetivo de obtener el valor, usando como ejemplo el Aeropuerto Carriel Sur. Se adapta el método Elemental Decomposition and Multi-Criteria (EDMC) homologándolo a la infraestructura aeroportuaria. El modelo homologado toma como atributos la condición y la vida útil de los activos. Además, descompone el activo aeropuerto en sus componentes principales; pista, calle de rodaje, plataforma, edificio terminal y accesibilidad.

## 1.2 Oportunidad de investigación

La gestión de activos es el proceso estratégico y sistemático de operación, mantenimiento, mejora y expansión de los activos a lo largo de su ciclo de vida. Esta tiene como objetivo la mejora en las tomas de decisiones con información de calidad y es fundamental para el desarrollo de los países en términos de su infraestructura (Alyami, 2017).

Una correcta gestión de activos implica valorizar la infraestructura, lo que permite monitorear las pérdidas de valor debido a posibles deterioros físicos, subutilización o incluso peligro para la sociedad. El valor de la infraestructura puede ser de dos tipos; el valor financiero que es el costo de adquirir un activo, y el valor de servicio que es el que generan a los usuarios y comunidades. Así, el objetivo de la gestión de la infraestructura es la preservación o incluso el aumento del valor de esta.

La valorización también puede mejorar las posibles oportunidades de financiamiento y facilitar la evaluación de inversiones que mejoren la infraestructura del país (Kabir et al., 2014). Es por esto que, al analizar año a año el valor de los activos, se puede mostrar si es que un activo va a necesitar ser reparado o reemplazado y ver si es que se están manteniendo de forma correcta.

Debido a la importancia para los países y los altos niveles de inversión en infraestructura es que cobra importancia el poseer una metodología respecto a la valoración de ésta. El Departamento de Transporte de Estados Unidos propone que la metodología debe proporcionar ayudas a los tomadores de decisiones en las políticas gubernamentales y a la correcta priorización de las asignaciones de proyectos y presupuestos. (U.S. Department of Transportation, 2010).

Esta memoria de título tiene como objetivo generar un modelo de valorización de infraestructura aeroportuaria con el fin de respaldar estudios financieros y evaluaciones de inversión mediante comparaciones en el valor del activo. De esta forma se entrega el valor para utilizarlo como respaldo de posibles incrementos en el financiamiento de proyectos para mantenimiento o mejora de la infraestructura, en vez de utilizar criterios de evaluación individuales con diferentes unidades de medida que no permiten realizar comparaciones correctas.

Al mismo tiempo, incorporar el valor de los activos como una medida de desempeño genera que la condición de la infraestructura pueda ser traducida en términos monetarios, lo que puede ser comunicado y entendido fácilmente por los stakeholders como las agencias, usuarios, tomadores de decisiones y contribuyentes. Finalmente se busca mejorar las tomas de decisiones en la gestión de la infraestructura al monitorearla constantemente y así minimizar la pérdida de valor, al mismo tiempo de enfocar las inversiones a las que añadan un mayor valor a la infraestructura aeroportuaria.

### 1.3 Interrogantes y objetivos de la investigación

La pregunta de investigación para esta memoria de título es:

¿Cómo determinar el valor de una infraestructura aeroportuaria?

Para poder responder esta pregunta se describen a continuación cuatro objetivos específicos

#### 1. Objetivos específicos:

OE1: Identificar los macro componentes de los aeropuertos y las concesiones.

OE2: Corroborar las perspectivas a tomar en cuenta para el modelo.

OE3: Seleccionar los atributos de las perspectivas.

OE4: Generar la función de utilidad unificada con los atributos.

### 1.4 Implicancias y contribución de la investigación

Con el estudio se pretende entregar un modelo de valorización de infraestructura aeroportuaria a la Dirección de Aeropuertos para poder comparar el valor de posibles inversiones en mantenimiento, expansión o reemplazo de infraestructura. El modelo a presentar permite minimizar la pérdida de valor de la infraestructura aeroportuaria. Esto influye directamente a tres actores claves:

#### Sociedades concesionarias

Produce mejores oportunidades de financiamiento e inversión para las sociedades concesionarias al entregar una medida comparativa del valor, para una asignación eficiente de recursos junto con permitir justificar las solicitudes de financiamiento para diferentes alternativas de proyectos de inversión. Además, en las concesiones de tipo DBOT (diseñar, construir, operar y transferir) y BOT (construir, operar y transferir) las sociedades concesionarias deben prestar servicios aeronáuticos

y no aeronáuticos como: servicios de embarque/desembarque, conservación y mantención del área concesionada y servicios de agua potable y estacionamientos públicos, entre otras. Por lo que al estar esto incluido en la infraestructura del edificio terminal, o vialidad de acceso se puede analizar el cómo se mantiene y, por ende, cómo se está prestando el servicio en términos de su infraestructura, ya que se ve reflejado en el valor.

### *Dirección de Aeropuertos*

Aumenta la competencia en los procesos de licitaciones para todas las concesiones aeroportuarias y entrega información efectiva para los contribuyentes, potenciales inversionistas y agencias reguladoras. También, al reflejar la pérdida de valor debido a la poca vida útil restante, permite alertar a la DAP que se acerca el tiempo de reconstrucción y, por lo tanto, esto debe estar presupuestado. Mejora la transparencia de las entidades gubernamentales, generando una mayor comunicación y confianza en los gobiernos. Finalmente, al no utilizar métodos de valorización que subestimen el valor del activo, se puede obtener un financiamiento suficiente para preservar los activos y así, toda la Red Aeroportuaria (Alyami et al., 2016).

### *Usuarios*

Reciben servicios mantenidos de forma correcta y estable durante el tiempo, de mejor calidad y más confiables, con una mejor condición asociada a altos niveles de servicio, menores incomodidades, retrasos y/o peligros.

De esta forma se pretende entregar un modelo que, al gestionar la infraestructura aeroportuaria existente, entregue información nueva y facilite la toma de decisiones a las partes interesadas de los proyectos.

## 1.5 Aspectos generales de la metodología

El objetivo de la investigación es desarrollar un modelo de valorización de infraestructura aeroportuaria, para esto se utiliza como base el método de descomposición elemental multicriterio (EDMC) que, mediante el costo de construcción, la condición y la vida útil restante de los macro componentes entrega un valor para la infraestructura aeroportuaria. Este método, mediante la vida útil y la condición respectivamente, entrega las perspectivas de dos stakeholders clave para los aeropuertos; las agencias y los usuarios. Para desarrollar la investigación se siguen etapas que son

a su vez los objetivos específicos de la misma: (1) la identificación de macro componentes de los aeropuertos, (2) la corroboración de perspectivas y pesos, (3) la selección de los atributos de las perspectivas y (4) la generación de la función de utilidad.

## 1.6 Estructura del informe

La memoria de título se divide en seis capítulos:

Capítulo 1: Introducción. Se presentan los antecedentes del contexto; las Asociaciones Público-Privadas y las concesiones. También se presenta el objetivo general, los cuatro objetivos específicos, las implicancias y contribuciones de la investigación y antecedentes de la metodología.

Capítulo 2: Marco teórico. En este capítulo se muestran diferentes estudios y teorías relacionadas con la investigación, se abarca la gestión de activos, el valor de la infraestructura, el método de Descomposición Elemental Multi-Criterio (EDMC), métodos de valorización de infraestructura y como se desarrolla la infraestructura y las concesiones aeroportuarias en Chile.

Capítulo 3: Metodología. Se describe el desarrollo del modelo de valorización de infraestructura aeroportuaria y la estructura de desglose de trabajo. También se presenta la estrategia de investigación con las cuatro etapas de la metodología; identificación de los componentes de los aeropuertos, corroboración de las perspectivas y pesos, selección de los componentes y atributos y finalmente la generación de la función de utilidad.

Capítulo 4: Resultados. Se presentan los resultados de las cuatro etapas de la metodología; identificación de los componentes de los aeropuertos, corroboración de las perspectivas y pesos, selección de los componentes y atributos y finalmente la generación de la función de utilidad.

Capítulo 5: Discusión. En este capítulo se discute sobre los resultados obtenidos por el modelo, las implicancias de los cambios en el valor, las limitaciones de la investigación y de los datos, sobre la condición de los activos y sobre gatillos de demanda y Planes Maestros Aeroportuarios.

Capítulo 6: Conclusiones. Se presentan las conclusiones de las etapas de la metodología y conclusiones generales de la investigación y el modelo desarrollado.

## 2. Marco Teórico

El objetivo del capítulo es describir modelos existentes de valorización de activos y cómo es posible aplicarlos a la infraestructura aeroportuaria. Para lograr esto, se divide el capítulo en cinco secciones; la primera define conceptos claves como activos, gestión de activos y sistema de gestión de activos, según el estándar internacional de la norma ISO 55000. En segundo lugar, se aborda la gestión de activos basada en el valor donde se propone que el valor de los activos se puede integrar como una medida de rendimiento en la toma de decisiones de la gestión de activos, pudiendo utilizarse métodos de toma de decisiones de criterios múltiples.

En una tercera parte se describe el “Método de Descomposición Elemental y Multicriterio” (EDMC), en el que se basa la investigación y que se homologa a la infraestructura aeroportuaria. El método se destaca por tomar en consideración la naturaleza elemental de los activos junto con dos perspectivas claves para valorar la infraestructura; las agencias y los usuarios. Para poder tomar en cuenta ambas perspectivas se utilizan dos razones de atributos: (1) la vida de servicio y (2) la condición de los activos, ya que estos son los atributos de mayor interés para las agencias y los usuarios, respectivamente. Posteriormente se realiza una descripción de los métodos existentes que son generalmente utilizados para la valorización de activos e infraestructura, como métodos tradicionales de depreciación, suma de dígitos anuales y el costo de reemplazo.

El capítulo finaliza con el contexto de la industria aeroportuaria en Chile, su infraestructura y las entidades gubernamentales que la regulan como la Junta Aeronáutica Civil (JAC), la Dirección de Aeropuertos (DAP) y la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). También se explica el funcionamiento de las concesiones aeroportuarias en el país.

### 2.1 Gestión de activos

La norma que entrega lineamientos generales para la gestión de activos y sistemas de gestión de activos a nivel global es la norma ISO 55000 (Organización Internacional de Normalización, 2014).

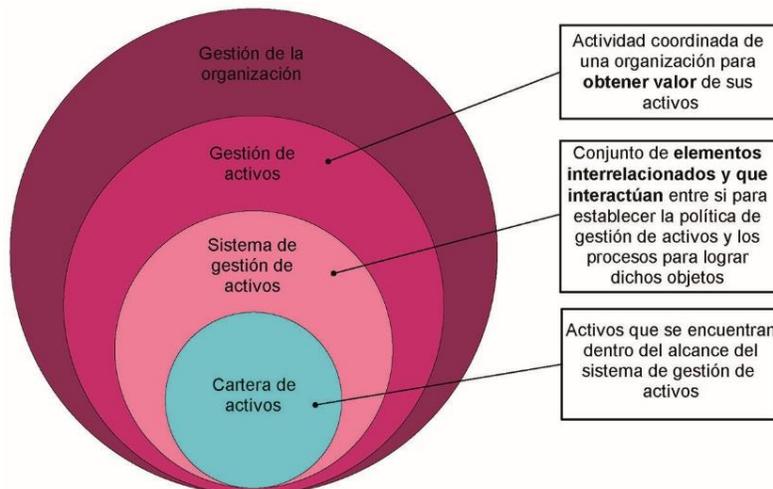
Dentro de los beneficios de una correcta gestión de activos se tiene, entre otros:

- Mejora del desempeño financiero.
- Decisiones de inversión en activos basadas en información.
- Mejoras en resultados y servicios.
- Mejora de la eficiencia y eficacia.

La norma define los activos como “*algo que posee valor potencial o real para una organización*”, por lo que ese valor puede variar para diferentes organizaciones, puede ser tangible o intangible, financiero o no. Así, la gestión de activos se enfoca en el valor que el activo puede proporcionar a una organización, donde el valor es determinado por la organización y sus partes interesadas, según los objetivos organizacionales.

Un sistema de gestión de activos se define como el “*conjunto de elementos interrelacionados de una organización que interactúan y cuya función es establecer la política y los objetivos de la gestión de activos y los procesos necesarios para alcanzar dichos objetivos*” (Organización Internacional de Normalización, 2014). Los sistemas de gestión de activos proveen un enfoque estructurado para el desarrollo, la coordinación y el control de las actividades propias de la gestión de activos, basándose en el ciclo de vida de éstos. Debido a los múltiples beneficios, tanto de los sistemas de gestión como de la gestión de activos, es que se vuelve imperante la utilización de éstos para poder entregar mejoras en la integración de los activos, en la planificación del ciclo de vida y, sobre todo, en sus mantenciones. En la siguiente imagen se puede observar las relaciones entre los términos claves de la gestión de activos.

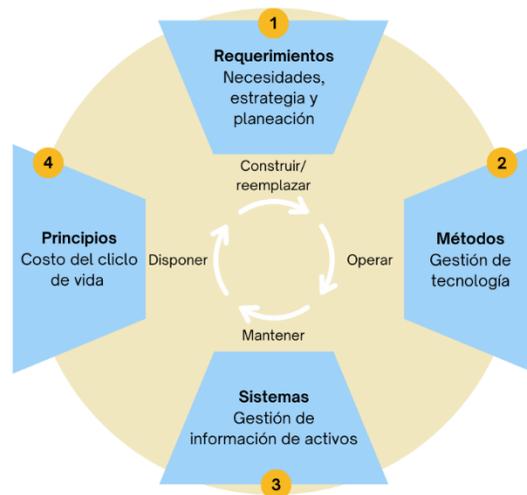
**Figura 1. Términos claves en la gestión de activos**



Fuente: Organización Internacional de Normalización, 2014.

Para poder lograr una correcta gestión de activos es útil tener un enfoque holístico (Pell et al., 2015), es decir, abordar la gestión como un todo y no como piezas separadas. Al construir o reemplazar infraestructura se deben tener claros los requerimientos y la planeación, también es recomendable gestionar la tecnología para poder operar de la forma más eficiente posible. En el ámbito del mantenimiento de los activos se requiere contar con sistemas de gestión de información de los activos y finalmente para el momento de disponer un activo es necesario tener claro los costos asociados a este proceso. En la figura 2 se muestra el enfoque holístico para una gestión de la infraestructura efectiva, centrada en el ciclo de vida de un activo.

**Figura 2. Gestión de infraestructura efectiva**

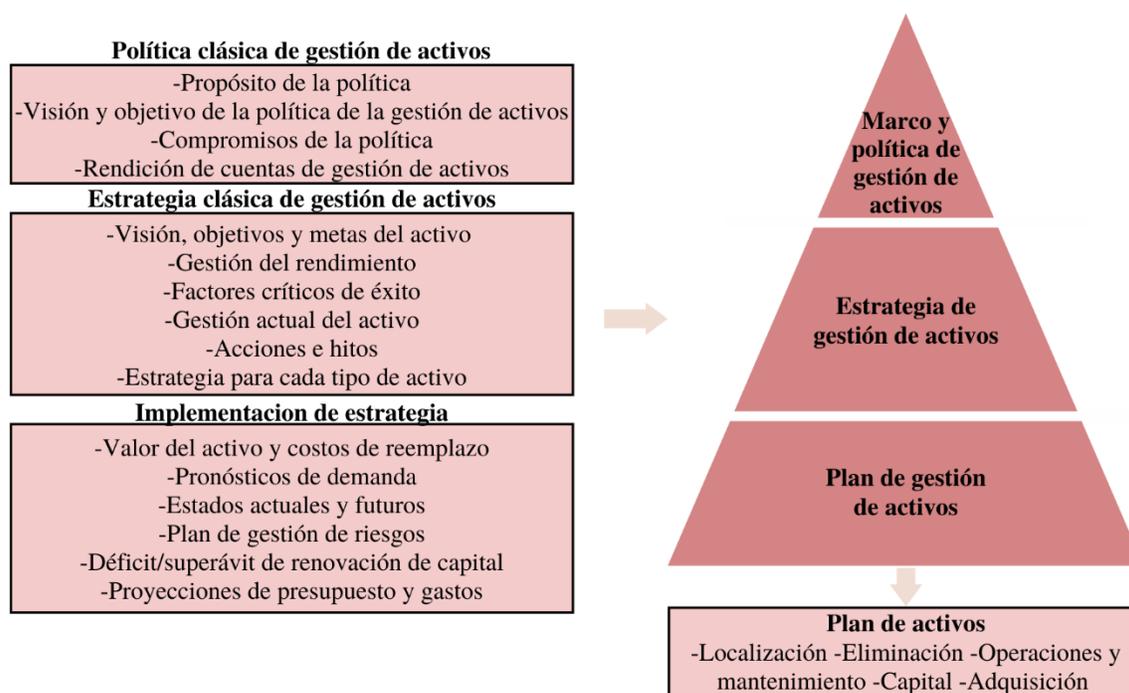


Fuente: Pell et al., 2015

La CPA Australia (Certified Practising Accountant) en su guía para la valorización y depreciación mencionan que el proceso de la gestión de activos es un proceso complejo que requiere la integración de diferentes partes de las organizaciones. Los niveles de participación en el proceso van a depender del nivel de responsabilidad, por ejemplo, los niveles más bajos de las organizaciones que generalmente trabajan con la prestación de servicios están más involucrados con la gestión de activos de operación (como la gestión del mantenimiento).

Por otra parte, los niveles superiores de las organizaciones tienden a estar involucrados con la gestión estratégica de los activos (CPA Australia, 2013). En la figura 3 se muestra un marco referencial del desarrollo de una política de gestión de activos completa.

**Figura 3. Diagrama típico de política de gestión de activos**



Fuente: CPA Australia, 2013

## 2.2 Valor de la infraestructura

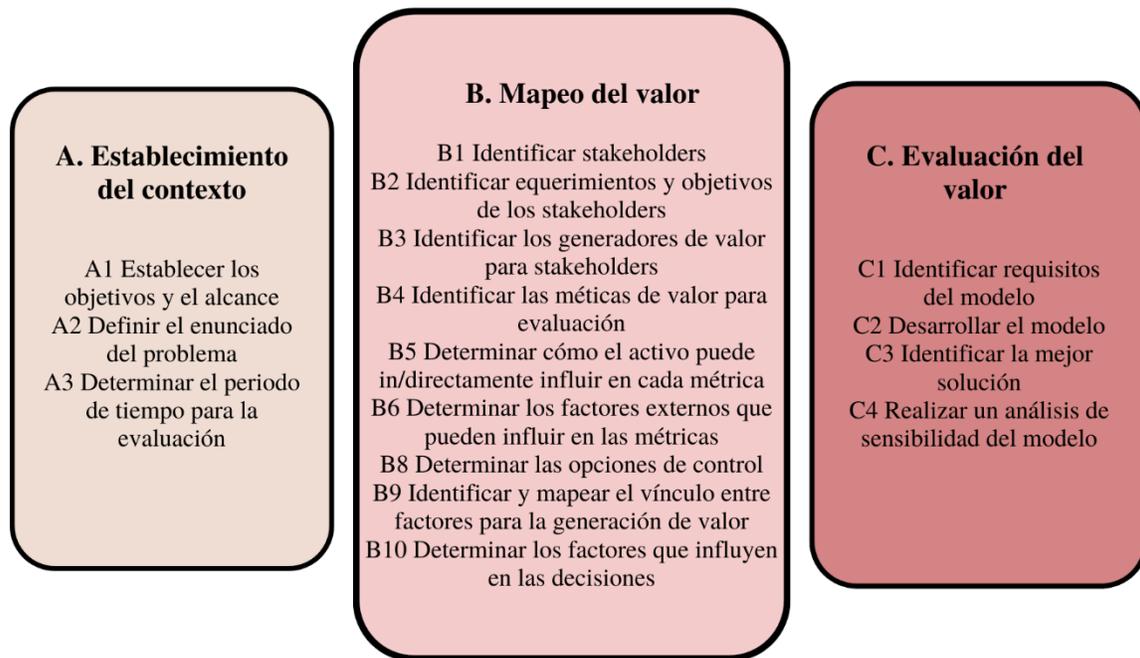
Srinivasan y Parlikad (2017) señalan que el valor de la infraestructura depende de tres factores clave; los beneficios para los stakeholders derivados del activo y proporcionados tanto por el servicio como el rendimiento, el riesgo que representa un activo según la operación y condición y, finalmente, los gastos incurridos por el activo durante su vida útil.

También señalan que “*el valor se atribuye a la capacidad de entregar la funcionalidad prevista con los niveles requeridos de rendimiento, junto con satisfacer los objetivos de los stakeholders. Se trata de encontrar el balance óptimo entre costos, riesgos y el desempeño asociado al ciclo de vida de la infraestructura*”. El estudio entrega un proceso de toma de decisiones para la gestión de activos, impulsado por el valor. El proceso cuenta con tres etapas que son:

- A. Establecimiento del contexto.
- B. Mapeo del valor.
- C. Evaluación del valor.

Las etapas se desarrollan en la siguiente figura:

**Figura 4. Enfoque sistemático para la gestión de activos de infraestructura basada en el valor**



Fuente: Srinivasan and Parlikad, 2017

Porrás-Alvarado et al. (2015) muestran una perspectiva basada no solo en el costo del activo, sino que también en los beneficios económicos y sociales. La metodología de la valoración propuesta considera tres aspectos; (a) qué tan bien se conservan las condiciones físicas; (b) qué tan bien el activo entrega los servicios; y (c) cuánto se utiliza el activo. Se mencionan tres factores claves que afectan la valoración de la infraestructura de transporte, pudiendo aumentar o disminuir el valor de esta:

- Condición física: Representa la condición estructural y superficial de una instalación. Sirve para medir qué tan bien se mantienen los activos.
- Funcionalidad: Representa la eficiencia operativa y la calidad del servicio prestado.
- Uso de los activos: Factor que proporciona un reflejo realista de la productividad económica de un activo, dado por el valor presente del flujo de los beneficios del activo.

Un sistema completo de gestión de activos de infraestructura debe tener la capacidad de identificar la condición y necesidades de la red, al mismo tiempo de desarrollar programas teniendo en cuenta el desempeño futuro, mientras que se logran los objetivos generales y las políticas de las agencias (Alyami et al., 2017).

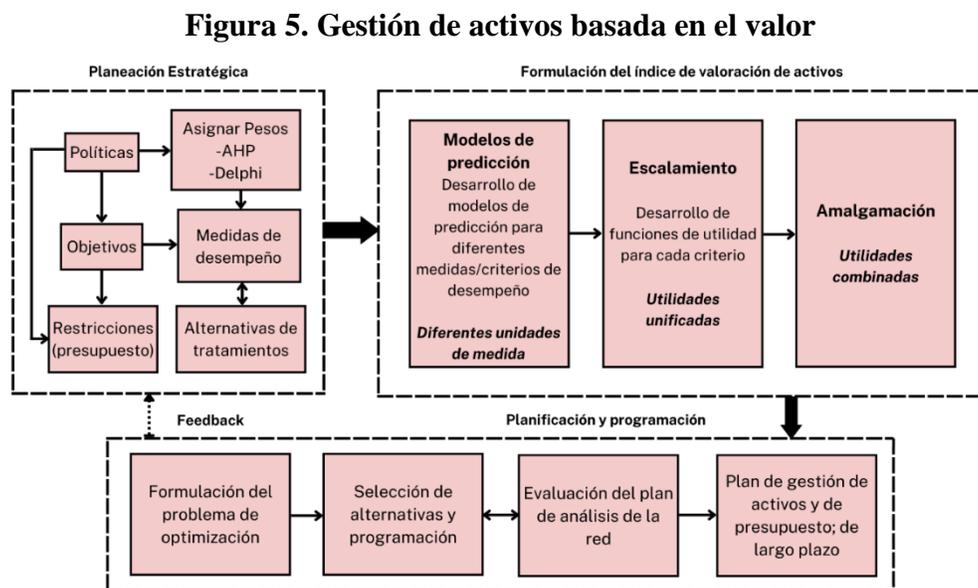
Según la valoración propuesta por Alyami (2017), el valor de los activos se integra como una medida de rendimiento en la toma de decisiones de la gestión de activos. Esto provoca que la toma de decisiones se desarrolle con un método de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM, por sus siglas en inglés) que incorpora diferentes mediciones de rendimiento, las que tienen diferentes unidades de medida.

En los métodos de decisión multicriterio existen dos grandes grupos; los de Sobre Calificación u Outranking, relacionados con la escuela europea, y los métodos basados en la teoría de utilidad de atributos múltiples (MAUT). Los métodos del segundo grupo consisten en añadir los diferentes criterios a una función, para que esta sea maximizada. Debido a esto es que el autor utiliza la teoría MAUT, unificando las diferentes unidades de medida mediante funciones de utilidad para desarrollar un índice de valoración de activos (AVI).

*Elementos de los problemas de decisión según la teoría MAUT*

- Criterios de decisión: son las condiciones o parámetros que se toman como base para tomar una decisión, permiten establecer preferencias.
- Pesos: cantidades asociadas a la importancia relativa que asigna el tomador de decisiones para los criterios.

En la figura 5 se puede observar el marco referencial para la valoración propuesta (Alyami et al., 2017).



Fuente: Alyami et al. 2017

## 2.3 Métodos de valorización

Para poder analizar correctamente el valor a obtener mediante el modelo EDMC a la infraestructura aeroportuaria es necesario tener el valor del activo según diferentes enfoques de valorización y así realizar comparaciones del valor y analizar las diferencias. En esta sección se revisan otros métodos de valoración de activos como la depreciación y un enfoque modificado de la condición.

Según la GASB (Governmental Accounting Standards Board, 1997) existen dos enfoques aplicables a la valoración de activos viales. El primero es el enfoque de depreciación que considera diferentes métodos alternativos tomando en cuenta el costo original del activo y le aplica diferentes formas de depreciación a lo largo de la vida del activo. El segundo enfoque a considerar es el enfoque modificado que abarca diferentes métodos que consideran la condición de los activos y su costo original para determinar su valor año a año.

### 2.3.1 Métodos tradicionales de depreciación

Los métodos de depreciación lineal asumen que los activos pierden un valor específico y fijo año a año. El valor se calcula restando el valor de salvamento al costo histórico del activo, dividido por la vida de útil de este. La depreciación lineal (SLD, por sus siglas en inglés) viene dada por:

$$SLD = \frac{(P - S)}{t_s - t_p} \quad (1)$$

Donde:

$P$  = Costo histórico de construcción.

$S$  = Valor de salvamento.

$t_s$  = Año del salvamento.

$t_p$  = Año de construcción.

$t_s - t_p$  = Periodo de análisis.

Así, el valor libro ( $BV_t$ ) del activo se puede calcular según la ecuación 15:

$$BV_t = P - \frac{P - S}{t_s - t_p} (t - t_p) \quad (2)$$

Donde:

$P$  = Costo histórico de construcción.

$S$  = Valor de salvamento.

$t_s$  = Año del salvamento.

$t_p$  = Año de construcción.

$t_s - t_p$  = Periodo de análisis.

Con  $t$  = Año actual.

El problema del cálculo del valor usando el método de depreciación lineal es que no refleja el patrón de la depreciación de un activo necesariamente. El supuesto de depreciación lineal genera dos posibles efectos: una subestimación del valor de activos jóvenes o una sobreestimación del valor de activos viejos.

Otro método de depreciación que ha demostrado entregar resultados más confiables es “sum-of-years-digits depreciation” (SOYD) que se diferencia de la depreciación lineal ya que la resta entre el costo histórico y el valor de salvamento se multiplica por una razón relacionada a la vida útil restante. En la ecuación 16 se muestra la fórmula para calcular mediante el método SOYD.

$$SOYD = \frac{(N - t + 1)}{\left(\frac{N}{2}\right)(N + 1)}(P - S) \quad (3)$$

Donde:

$N - t + 1$  = Vida útil restante al inicio del año  $t$ .

$N$  = Periodo de análisis de la vida de servicio.

$P$  = Costo histórico de construcción.

$S$  = Valor de salvamento.

### 2.3.2 Enfoque modificado

A diferencia de los métodos de depreciación, el enfoque modificado toma en cuenta la condición de los activos a lo largo del tiempo. Esto implica que las agencias que deseen usar este enfoque deberán tener de sistemas de gestión de activos para seguir la condición de éstos y asegurar que los mantenimientos se dan de forma y tiempo correctos. A continuación, se muestran diferentes métodos para calcular el valor de los activos según este enfoque.

### *Método del costo de reposición escrito*

En este método el valor de los activos se calcula mediante el producto de su costo histórico y una razón de condición dada según la condición actual y la mejor condición posible del activo.

$$V_{rep_t} = HC \left( \frac{P_t}{P_{best}} \right) \quad (4)$$

Donde:

$HC$  = Costo histórico de construcción.

$P_t$  = Condición del activo en el tiempo  $t$ .

$P_{best}$  = Mejor condición posible del activo.

### *Método ajustado respecto a un límite de condición*

El método ajustado respecto a un límite de condición sigue la misma lógica que el método anterior, pero ocupa también la peor condición posible del activo como límite inferior de ésta. En la ecuación 18 se observa la forma de obtención del valor.

$$V_t = HC \left( \frac{P_t - P_{worst}}{P_{best} - P_{worst}} \right) \quad (5)$$

Donde:

$HC$  = Costo histórico de construcción.

$P_t$  = Condición del activo en el tiempo  $t$ .

$P_{best}$  = Mejor condición posible del activo.

$P_{worst}$  = Peor condición posible del activo.

### *2.3.3 Elemental Decomposition and Multi Criteria Method (EDMC)*

El método de descomposición elemental y multicriterio EDMC señala que, a diferencia de los otros métodos, cada componente de un activo se deteriora a un ritmo diferente, por lo que calcular el valor de un activo considerándolo como un todo puede no entregar un resultado realista. Mientras que al considerar los diferentes ritmos de deterioro de los componentes se refleja un valor más confiable del total del activo (Dojutrek et al., 2012).

El adjetivo multicriterio del nombre viene dado por la incorporación de dos visiones o perspectivas de *stakeholders* de los activos; las agencias que buscan la planificación óptima en la asignación de

sus gastos y los usuarios que están interesados en la condición de los activos. Como las agencias tienen presupuestos acotados, necesitan asignar de forma correcta sus gastos.

La estimación de la expectativa de vida de un activo permite seleccionar el periodo de análisis correctamente, por lo que métodos de valoración que reflejen la vida de servicio son importantes. Igualmente, si un método refleja la pérdida de valor inminente debido a la poca vida de servicio restante puede alertar a la agencia de que el activo se acerca a su tiempo de reconstrucción o reemplazo y por lo tanto debe estar presupuestado en la asignación de gastos.

Por otro lado, para los usuarios de los activos las características como nivel de servicio, seguridad y comodidad son las principales preocupaciones, es decir, su condición. Reflejar la perspectiva de los usuarios es fundamental cuando los activos están destinados a servir al interés público (Dojutrek et al., 2012).

En el método EDMC, las perspectivas de las agencias y los usuarios se ven reflejadas según atributos o criterios. La incorporación de éstas se realiza mediante la vida de servicio y la condición, respectivamente, ya que estos atributos son los de mayor interés.

#### *Razones de atributos*

Las razones de atributos son una comparación entre una función del nivel actual de un atributo y la función de su nivel deseado. Así, una razón de atributo de condición se puede definir como la relación de una función de la condición actual a una función de la condición deseada, como se muestra en la ecuación 1 y 2. La razón de condición es el atributo más relevante para los usuarios de la infraestructura, en comparación a otros atributos.

$$CR_t = \frac{P_t}{P_{best}} \quad (6)$$

$$CR_t = \frac{P_t - P_{worst}}{P_{best} - P_{worst}} \quad (7)$$

Donde:

$CR_t$  = Razón de condición en el tiempo t.

$P_t$  = Condición actual del activo en el tiempo t.

$P_{best}$  = Condición del activo como nuevo.

$P_{worst}$  = Peor condición posible del activo.

La condición es a los usuarios, lo que la vida útil de servicio es a las agencias, por lo que la razón de vida útil en un tiempo determinado  $t$  se expresa en la ecuación 3.

$$RSLR_t = \frac{RSL_t}{SL} \quad (8)$$

Donde:

$RSLR_t$  = Razón de vida útil restante.

$RSL_t$  = Vida útil restante del activo en el tiempo  $t$ .

$SL$  = Vida útil del activo.

#### *Ecuación unificada para atributos múltiples*

Debido a que se busca tomar en consideración tanto la perspectiva gubernamental por el lado de las agencias, como la de los usuarios, es que se incluye la condición y la vida útil restante en el modelo. De esta forma se incorpora la perspectiva de dos stakeholders claves en la gestión de infraestructura, pero para ser tomadas en consideración se debe conocer la importancia relativa de las perspectivas para la agencia que valora la infraestructura. La importancia relativa viene dada por un sistema de pesos que pueda medirla. En la ecuación 4 se puede observar cómo se valora un activo en un tiempo determinado, incorporando dos perspectivas junto con sus importancias relativas correspondientes.

$$V_t = [w_u(Cost(CR_t)) + w_a(Cost(RSL_t))] \quad (9)$$

$$= \left[ w_u \left( Cost \left( \frac{P_t - P_{worst}}{P_{best} - P_{worst}} \right) \right) + w_a \left( Cost \left( \frac{RSL_t}{SL} \right) \right) \right] \quad (10)$$

Donde

$V_t$  = Valor del activo en el año  $t$ .

$w_u$  = Importancia relativa de la condición.

$w_a$  = Importancia relativa de la vida útil restante.

$Cost$  = Costo original, histórico o costo de reemplazo del activo, ajustado por la inflación.

$P_t$  = Condición actual del activo en el tiempo  $t$ .

$P_{best}$  = Mejor condición posible del activo (generalmente al inicio de su vida útil).

$P_{worst}$  = Peor condición posible del activo (generalmente al final de su vida útil).

$RSL_t$  = Vida útil restante del activo en el tiempo  $t$ .

$SL$  = Vida útil del activo.

### *Formulación del modelo*

El modelo tiene como base el supuesto de que los activos poseen una naturaleza elemental, esto quiere decir que los componentes de los activos se deterioran a diferentes ritmos. Por lo tanto, considerar los componentes por separado con sus respectivos ritmos de deterioro genera un valor más representativo que considerar un solo ritmo de deterioro general para el activo. Así, para poder incorporar la naturaleza de los activos, es que el valor total se considera como la suma de del valor de cada uno de sus componentes, como se muestra en la ecuación 6.

$$V_t = V_1 + V_2 + \dots + V_I \quad (11)$$

Y para cada componente se tiene el valor dado según sus atributos:

$$V_i = (\text{costo del componente}_i) \cdot (\text{razón de atributo para el componente}_i) \quad (12)$$

Donde:

$\text{componente}_i$  = componentes que constituyen el activo,  $\forall i \in I = 1, 2, \dots, I$

Considerando las  $k$  perspectivas de los  $k$  stakeholders, junto con sus atributos más relevante, se tienen  $K$  razones de atributos para un activo:

$$AR_1, AR_2, \dots, AR_k, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (13)$$

La formulación general para las razones de atributos en un año determinado  $t$  es:

$$AR_k = \frac{\text{función del nivel de rendimiento del atributo en el año } t}{\text{función del máximo o del rango de rendimiento del atributo}} \quad (14)$$

$$= \frac{f(AR_t)}{f(AR_{max} \text{ o } AR_{rango})} \quad (15)$$

Es importante diferenciar las funciones de rendimiento según máximo o rango debido a que atributos como la condición están asociados a un rango porque necesita de un espectro o rango de

condición para poder ser expresada. Por otro lado, la vida útil restante tiene siempre un tiempo de inicio cero y un máximo fijo al final de la vida útil.

Para el caso de estudio donde se tiene dos atributos; condición (usuario) y vida útil restante (agencia), entonces se tiene que  $K = 2$ , por lo tanto  $w_1$  o  $w_k = 1$  corresponde a la importancia relativa asociada a la perspectiva de los usuarios y  $w_2$  o  $w_k = 2$  a la importancia relativa asociada a las agencias.

Expresando, en la ecuación seis, las razones de los atributos de condición y vida útil restante para cada componente  $i$ , se tiene:

$$V_t = \sum_{k=1}^K w_k \left( \frac{f(AR_t)}{f(AR_{max} \text{ o } AR_{rango})} \right) \quad (16)$$

Así, para los  $I$  componentes, el valor del activo queda:

$$V_t = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K (w_k \text{ cost comp}_i) \left( \frac{f(AR_t)}{f(AR_{max} \text{ o } AR_{rango})} \right) \quad (17)$$

Y finalmente, la formulación propuesta para dos atributos o perspectivas, incorporando a los elementos del activo se ve expresada en la ecuación 11:

$$V_t = w_1 \left( \sum_{i=1}^I \text{cost comp}_i \left( \frac{P_{t_i} - P_{worst_i}}{P_i - P_{worst_i}} \right) \right) + w_2 \left( \sum_{i=1}^I \text{costo comp}_i \left( \frac{RSL_{t_i}}{SL_i} \right) \right) \quad (18)$$

Donde:

$w_1 = w_u$  : Importancia relativa de la condición del activo (perspectiva de los usuarios).

$w_2 = w_a$  : Importancia relativa de la vida útil restante (perspectiva de la agencia).

$\text{cost comp}_i$  = costo de construcción del componente  $i$  del activo.

$P_{t_i}$  = Condición del componente  $i$  del activo, en el tiempo  $t$ .

$P_i$  = Condición inicial del componente  $i$ .

$P_{worst,i}$  = Peor condición posible del componente  $i$ .

$RS_{t,i}$  = Vida útil restante del componente  $i$ , en el tiempo  $t$ .

$SL_i$  = Vida útil esperada del componente  $i$ .

## 2.4 Sobre infraestructura aeroportuaria y concesiones en Chile

Al hablar sobre infraestructura aeroportuaria es importante definir dos conceptos similares, pero que no significan lo mismo: aeropuerto y aeródromo. Según las definiciones y acrónimos de la Dirección General de Aeronáutica Civil un aeródromo se define como *“toda área delimitada, terrestre o acuática (...) destinada a la llegada, salida y maniobra de aeronaves en la superficie”* (DGAC, 2005), mientras que los aeropuertos son aeródromos habilitados para la salida y llegada de aeronaves en vuelos internacionales.

Según la documentación nacional sobre infraestructura aeroportuaria, se realizó un estudio de levantamiento, catastro y valoración del patrimonio de infraestructura (Quiroz, 2001), a solicitud de la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas. En este documento se presenta una valoración de obras aeroportuarias mediante el cálculo del valor de reposición, estimado como el *“monto de las inversiones que se requerirían para reemplazar la infraestructura actual, dada la tecnología vigente”*.

El problema es que esta valoración se basó en la inversión promedio según la superficie construida y no toma en cuenta otras variables que le agregan valor a la infraestructura, como tampoco a las partes interesadas en estos. En el año 2014 el Ministerio de Desarrollo Social junto con el Ministerio de Obras Públicas desarrollaron el documento *“Metodología de formulación y evaluación de proyectos de infraestructura aeroportuaria”*. En este manual se exponen las etapas de perfil, prefactibilidad y factibilidad, entregando un modelo que tiene como objetivo evaluar la rentabilidad de las operaciones aeroportuarias (Ministerio de Desarrollo Social, 2014).

### 2.4.1 Organizaciones estatales

Al analizar las entidades que gobiernan al transporte aéreo en el país se puede observar que hay múltiples entidades que son parte, que influyen y participan en las decisiones sobre esta industria. Esto trae problemas debido a que diferentes entidades implican diferentes puntos de vista, diferentes estrategias de desarrollo y, por ende, incompatibilidad de objetivos. Dentro de las entidades que son parte de la industria aérea se tiene:

- Junta Aeronáutica Civil (JAC): devenida del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, tiene como responsabilidades la dirección de la aviación comercial y civil, junto con desarrollar el Plan General de Aeropuertos.
- Dirección de Aeropuertos (DAP): son los responsables de estudiar, construir y financiar los aeropuertos públicos de propiedad fiscal.
- Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC): entidad encargada de calificar y aprobar las obras de inversión, junto con controlar y organizar el tránsito aéreo. Tiene a su cargo las labores de construcción, operación y mantención las instalaciones de protección a la navegación aérea. También son la entidad encargada de determinar la forma y el monto del cobro por las concesiones.

### 2.4.2 Concesiones aeroportuarias

Las concesiones se rigen por el Reglamento de Concesiones y sus normas, las que tienen por objetivo el garantizar el equilibrio entre el lado público y el privado en sus deberes y obligaciones. Los contratos de concesión pueden ser de dos tipos; BOT (construir, operar y transferir) o DBOT (diseñar, construir, operar y transferir). En este tipo de contratos el lado privado es el encargado del diseño (o no), construcción y explotación de la obra, así, cuando finalice el plazo de la concesión, la obra será entregada al Estado en condiciones correctas para volver a ser licitada (Coordinación de Concesiones, 2015).

La Dirección General de Aeronáutica Civil especifica como su misión “*normar y fiscalizar las actividades aéreas que se realizan en el espacio aéreo controlado por Chile y las que ejecutan usuarios nacionales en el extranjero; prestar servicios de navegación aérea, meteorológica, aeroportuarios y seguridad operacional, con el propósito de permitir una actividad aérea segura, eficiente y sustentable, contribuyendo al desarrollo nacional*”. De esta forma son el ente público a

cargo de los servicios de navegación. Las Concesiones DGAC son el derecho otorgado por la misma, “*en virtud de un contrato, a personas naturales o jurídicas, para el uso, goce y explotación de la superficie fiscal y a los derechos otorgados por la Dirección para la prestación de servicios a terceros, en ambos casos, en los aeródromos sometidos a su administración o en los terrenos que le sean destinados*”. Actualmente son once los aeropuertos y aeródromos concesionados a lo largo de todo Chile, pertenecientes a la Red Primaria Aeroportuaria (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2017).

En cuanto al funcionamiento de las licitaciones, se han adoptado diversos factores para éstas como la tarifa, plazo, pagos por infraestructura existente, mínimo valor presente de los ingresos, entre otras. Las concesiones realizadas con estructuras de plazo fijo, realizadas mayormente al inicio del programa de concesiones tienen una gran limitante: las concesionarias asumen el riesgo de la demanda. También asumen una confiabilidad limitada de los pronósticos, al ser sobre extensos periodos de tiempo.

Las concesiones de plazo variable cuentan con limitantes diferentes; es muy difícil cuadrar los plazos de inicio de una nueva concesión con el fin de la existente, también se generan desacoples entre la duración de la concesión (ya sea por vida útil del activo o por una saturación de la capacidad) y la duración del contrato (Coordinación de Concesiones de Obras Públicas, 2016). En el año 1994 fue creado el mecanismo de Mínimo Valor Presente de los Ingresos (MVPI), también llamado Ingresos Totales de la Concesión (ITC). Los licitantes postulan un monto de ITC a obtener, a partir de los ingresos por pasajeros embarcados en el aeropuerto y se escoge la oferta con menor ITC.

Este mecanismo logra corregir la incertidumbre de los plazos, atenuando el impacto de los errores en la estimación de la demanda. El problema del modelo ITC en el caso del plazo variable es que no existen incentivos para que los concesionarios realicen acciones para aumentar la demanda y al mismo tiempo, si existen incentivos para ahorrar la mayor cantidad de costos operacionales, ya que es casi la única variable o gestión que pueden hacer las sociedades concesionarias para poder mejorar sus resultados (Tala, 2013).

En particular para los modelos de concesión aeroportuarios, debido a la volatilidad de la demanda de aeropuertos, es que se estableció un modelo donde la concesión es de plazo variable hasta que, según estimaciones que se realizan de forma periódica, se establece que en una cierta cantidad de

años se alcanzará el valor presente de los ingresos definidos en la concesión. Entonces en ese momento el contrato cambia a uno de plazo fijo, dando un tiempo necesario para poder preparar las nuevas Bases de Licitación (Balis) y licitar nuevamente.

Además, se establece un mecanismo de compensación para equiparar los ingresos del concesionario en el plazo fijo, para que sean iguales a los del plazo variable. Así, este modelo desincentiva las ofertas bajas de manera artificial ya que el riesgo por demanda es menor, lo que genera un mejor diseño de las estructuras de costos, obteniendo así licitaciones más eficientes (Tala, 2013).

#### *2.4.3 Actores dentro de un aeropuerto*

Los aeropuertos son un lugar importante de conectividad para las personas y al ser sistemas complejos tienen diferentes actores convergiendo en un solo lugar. Debido a la distribución de responsabilidades ministeriales, es el MOP el que se encarga de la construcción de la infraestructura horizontal de los aeropuertos con recursos públicos, mediante la Dirección de Aeropuertos.

Por otro lado, la infraestructura vertical se construye según la Ley de Concesiones, por lo que es tema de la Dirección General de Concesiones. De esta forma; pistas, calles de rodaje, y plataformas corresponden a la Dirección de Aeropuertos, mientras que el edificio terminal y la accesibilidad corresponden a la Dirección General de Concesiones, para el caso de los aeropuertos/aeródromos concesionados.

La Dirección General de Aeronáutica Civil es la encargada de elevar los posibles requerimientos para el arreglo de fallas. En el caso de los aeropuertos/aeródromos concesionados, si la falla es en la infraestructura vertical se eleva a la Dirección General de Concesiones. Si es un aeropuerto/aeródromo público, se eleva a la Dirección de Aeropuertos. Si la falla es en la infraestructura horizontal, en cualquiera de los casos se eleva el requerimiento a la Dirección de Aeropuertos.

Los aeropuertos/aeródromos generalmente están construidos en terrenos fiscales de la Dirección General de Aeronáutica Civil, es por esto que el MOP le asignó a esta entidad el control de esta infraestructura. La DGAC también es la encargada de administrar la seguridad operacional de los aeropuertos/aeródromos del país

#### *2.4.4 Tipología de los proyectos aeroportuarios*

##### a) Normalización

Son las iniciativas de inversión que tienen como fin el cumplir la normativa aeronáutica del área de movimiento de aviones según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Así se puede entregar las condiciones de operación requeridas por los aviones que hacen uso del aeropuerto. También se incluyen otras iniciativas que cumplen normativas nacionales como condiciones sanitarias, ambientales o instalaciones aptas para personas con movilidad reducida.

##### b) Construcción

Incluye los proyectos para la construcción de nuevos aeropuertos y/o aeródromos e infraestructuras nuevas dentro de aeropuertos ya construidos.

##### c) Conservación

Son las obras de mantenimiento para la conservación de estándares de funcionamiento. Este tópico incluye tanto las obras menores como mantenimiento de pinturas, caminos, demarcaciones, etc. Las obras menores generalmente se realizan de forma anual o bianual. También se incluye los mantenimientos mayores que se realizan cada cinco años o más; mantenimiento de la carpeta de rodadura, de la pista y otras obras.

##### d) Mejoramiento

Corresponde a iniciativas que no generan aumentos en la capacidad operacional de la infraestructura, pero que si mejoran ciertas características de los elementos. Ejemplos de esto son mejoras en la entrega de servicios a los usuarios, sistemas más eficientes de transporte de equipaje, áreas de servicios para los acompañantes, disminución de la contaminación visual o acústica, entre otras mejoras.

##### e) Reposición

Aquí entran todas las renovaciones, totales o parciales, de los servicios. Es el reemplazo o modernización de los elementos que ya llegaron al fin de su vida útil.

#### f) Ampliación

Son los proyectos que al ampliar la infraestructura generan una mayor capacidad o nivel de servicio de los pasajeros, operaciones o mantenimiento, por ejemplo, ampliaciones (de largo, ancho o metros cuadrados totales) de la pista, las calles de rodaje o plataformas. También una ampliación del terminal de pasajeros son factores que derivarán en una mayor capacidad y/o niveles de servicio.

### **3. Metodología**

El objetivo del capítulo es describir cómo se desarrolló el modelo de valorización de infraestructura aeroportuaria. La estrategia de investigación es un método comparativo y se basa en el método de descomposición elemental multicriterio (EDMC) y en la teoría de utilidad de atributos múltiples (MAUT).

El capítulo se divide en dos partes; (1) el alcance del trabajo, dado por la Estructura de Desglose de Trabajo y (2) la estrategia de investigación, donde se presentan las cuatro etapas de la metodología; identificación de los macro componentes de los aeropuertos, corroboración las perspectivas y pesos, selección los componentes, atributos e indicadores y la generación de la función de utilidad unificada.

#### **3.1 Estrategia de investigación**

La pregunta de investigación de la memoria de título es el cómo generar un modelo de valorización de infraestructura aeroportuaria. Para poder responder esta interrogante se realizó una revisión bibliográfica sobre modelos de valorización de infraestructura, donde debido a su importancia y cantidad de bibliografía, se destacan los modelos de infraestructura vial.

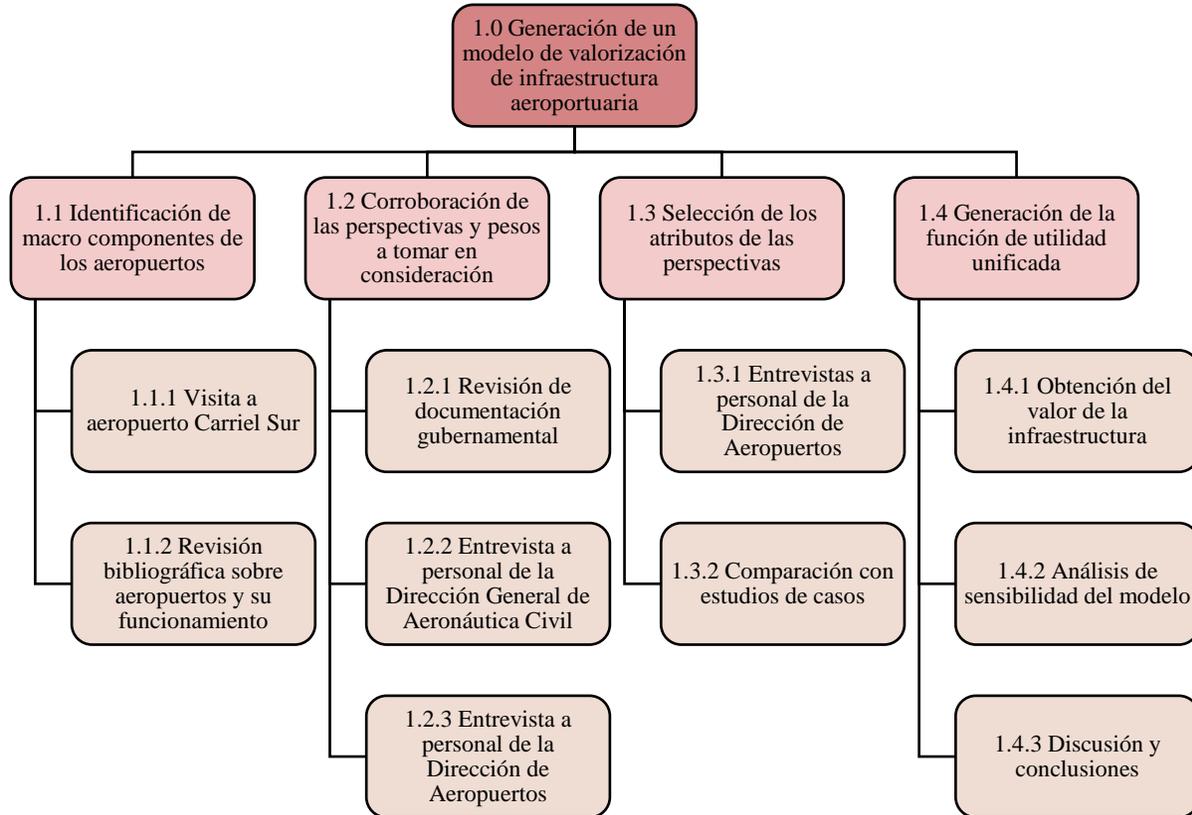
Debido al enfoque con el que se aborda el tema, donde se busca tener en consideración tanto la perspectiva de los usuarios de la infraestructura como de sus agencias, es que se toma el método de descomposición elemental multicriterio (EDMC) como base de la investigación. El método EDMC se homologa para la infraestructura aeroportuaria, dividiendo la infraestructura en cinco componentes; la pista de aterrizaje/despegue, las calles de rodaje, la plataforma, el edificio terminal y la accesibilidad del aeropuerto.

La investigación se apoya también en teoría de utilidad de atributos múltiples (MAUT), ésta al igual que el método EDMC, utiliza criterios de decisión que son los parámetros base para establecer preferencias y también usa pesos para asociar una cantidad con la importancia relativa de los criterios. Así la valorización se calcula en base a dos criterios; condición y vida útil restante para los cinco elementos de los aeropuertos.

Para la realización del trabajo se tiene destinado un periodo aproximado de cuatro meses, desde marzo a julio del año 2022, plazo determinado para desarrollar los entregables del proyecto. Con

el fin de proporcionar una visión estructurada de los entregables se proporciona una subdivisión de los entregables mediante una estructura de desglose del trabajo (EDT).

**Figura 6. EDT del proyecto**



Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo de la memoria de título se tiene como guía los objetivos específicos, los que son, al mismo tiempo, las etapas de esta.

**Etapas 1: Identificación de los macro componentes de los aeropuertos.**

Se realizó una visita al Aeropuerto Carriel Sur, ubicado en la comuna de Talcahuano, para poder realizar observaciones sobre su funcionamiento y sobre posibles formas de seleccionar los componentes de un aeropuerto. También, se realizó una revisión de la literatura sobre infraestructura aeroportuaria con el objetivo de obtener el conocimiento sobre cómo funcionan los

aeropuertos y su infraestructura. De esta forma se logró identificar los componentes más relevantes de ésta.

#### Etapa 2: Corroboración de las perspectivas y pesos a tomar en consideración.

En esta segunda etapa se realizó una investigación sobre las organizaciones estatales que se ven involucradas en la industria aeroportuaria en Chile, luego se analizaron y compararon las funciones y atribuciones de las organizaciones para poder seleccionar la organización con mayores funciones y atribuciones con la infraestructura aeroportuaria y con relación a la memoria de título y sus objetivos.

Posteriormente se realizaron entrevistas a expertos para corroborar que lo estudiado anteriormente posee asidero y validez. Particularmente se entrevistó a un profesional del área de Programación y Control Presupuestario de la DGAC y al encargado del Departamento de Construcción, perteneciente a la División de Infraestructura de la Dirección de Aeropuertos. En las entrevistas se les consultó sobre su opinión respecto a tomar a los usuarios y las agencias como perspectivas del modelo. También se les pidió que asignaran pesos a cada perspectiva, para usar esos valores como referencia al momento de valorar la infraestructura.

#### Etapa 3: Selección los atributos de las perspectivas.

Siguiendo la lógica de la segunda etapa es que se les consultó a los expertos su opinión acerca de los componentes y atributos seleccionados, las formas de medir la condición utilizadas por la DAP y posibles formas de valorización de la infraestructura. Luego se realizó un análisis de casos de estudio similares aplicados en infraestructura vial para poder seleccionar los atributos y las formas de medición de éstos.

#### Etapa 4: Generación de la función de utilidad unificada

Considerando los componentes y sus atributos es que se formuló la función de utilidad para la infraestructura aeroportuaria como la suma de los valores de sus múltiples componentes. En esta etapa se realizó también un análisis de sensibilidad del modelo. Posteriormente se realizó la discusión y conclusiones del proyecto de memoria de título.

### 3.2 Recolección de datos

Con el objetivo tener la opinión de expertos respecto a las perspectivas seleccionadas de las agencias y usuarios, junto con saber la ponderación o pesos que se les asignaron a estas y datos varios sobre la infraestructura aeroportuaria es que se realizaron entrevistas al personal de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) y de la Dirección de Aeropuertos (DAP), con las siguientes características:

- Tipo de entrevista: semiestructurada.
- Dirigida a: profesionales de las partes interesadas de la oportunidad de investigación.
- Tiempo aproximado: 20 minutos.
- Formato: online.
- Recursos: grabación de audio o video.

La primera entrevista fue realizada a C.B, profesional del área de Programación y Control Presupuestario de la DGAC. Al ser una entrevista semiestructurada se comenzó con una contextualización por parte de la entrevistadora para explicar los objetivos y el alcance de la memoria de título. Posteriormente se realizaron preguntas asociadas al funcionamiento de la industria aeroportuaria, para saber qué organización está a cargo de valorizar la infraestructura por algún mandato o decreto particular.

La segunda entrevista se realizó a J.T, encargado del Departamento de Construcción de la División de Infraestructura de la Dirección de Aeropuertos, donde se comenzó de la misma forma que la primera entrevista y luego se explicó las perspectivas del modelo de los usuarios como la agencia, con el fin de corroborar que la agencia seleccionada (la Dirección de Aeropuertos, DAP) fuese la agencia correcta según los objetivos del estudio. Finalmente se consultó sobre su opinión en lo que respecta a los pesos de las perspectivas y cómo creen que se distribuyen, tomando en consideración a la DAP como agencia. La pregunta realizada fue: Teniendo como agencia a la DAP y en un porcentaje del 0% al 100% ¿cuánto porcentaje de importancia le asignaría usted a la perspectiva de los usuarios? De esta forma, se pueden obtener los pesos relativos para el modelo.

## 4. Formulación del modelo

Este capítulo se estructura según las etapas de la investigación para poder formular el modelo. En la primera sección se identifican los cinco componentes de la infraestructura aeroportuaria; pista de aterrizaje, calles de rodaje, plataforma, edificio terminal y viabilidad de acceso. Mediante la identificación de los componentes se concluye que son los componentes que se utilizarán para el método a homologar de descomposición elemental y multicriterio EDMC.

La segunda sección abarca la etapa de corroboración de perspectivas y se divide en dos subetapas: la perspectiva de los usuarios y de la agencia. Aquí se comprueba que es correcto utilizarlas y se analiza qué agencia será seleccionada. Según las funciones de las organizaciones se concluye que la perspectiva de la agencia a adoptar es según la Dirección de Aeropuertos.

Luego, en la tercera sección se estudia la selección de atributos, dados por la condición y la vida útil. Aquí se explica el funcionamiento de curvas de deterioro por condición y se detallan las formas de cálculo de las razones de condición y vida útil que se utilizan en el modelo EDMC.

El capítulo concluye con la generación del modelo, donde se describe el modelo EDMC homologado, es decir, para las dos perspectivas y los cinco componentes de la infraestructura aeroportuaria.

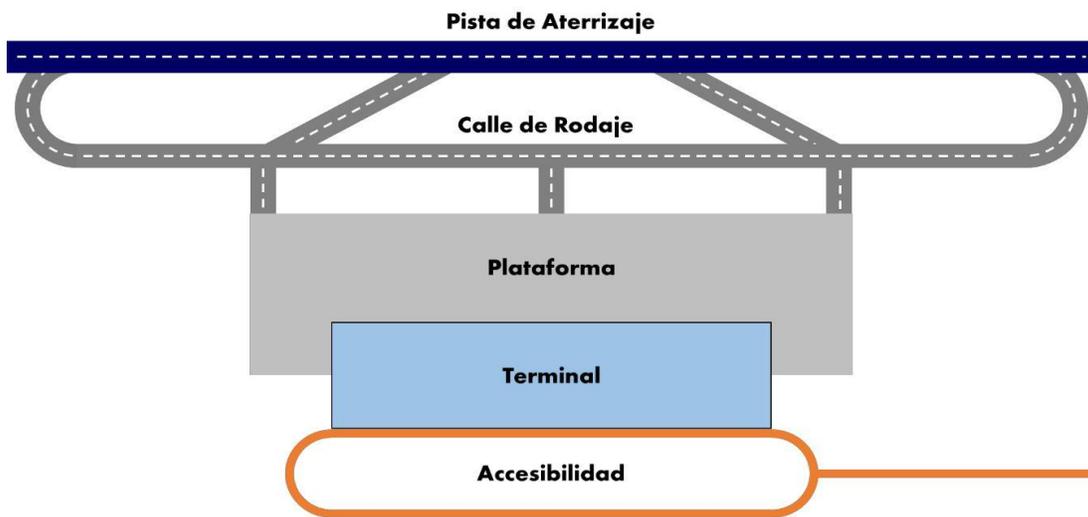
### 4.1 Identificación de macro componentes de los aeropuertos

La infraestructura aeroportuaria se divide según la infraestructura vertical (edificio terminal) y horizontal (pista, calles de rodaje, plataforma y viabilidad, la que incluye los estacionamientos). Para efectos de esta investigación se abordan ambos tipos de infraestructura, seleccionando cinco componentes para valorizarla, estos son: la pista de aterrizaje/despegue, las calles de rodaje, la plataforma, el edificio terminal y la accesibilidad.

Estos son los componentes que se aplican al método de descomposición elemental y multicriterio EDMC porque son los eslabones necesarios para llevar a cabo el servicio y objetivo de transporte aéreo, como lo menciona la Junta de Aeronáutica Civil en su Plan Estratégico del Transporte Aéreo (Junta de Aeronáutica Civil, 2020). Los eslabones se definen como la *“serie de actividades relacionadas con la producción del servicio de transporte o logística brindando a pasajeros o carga, respectivamente, y el rol de intercambiador modal del aeropuerto.”*

En la figura 7 se pueden observar los cinco elementos de los aeropuertos. Las definiciones y requerimientos de los elementos se basan en la normativa chilena que los regula, en particular en el Anexo 2 de la norma, sobre de Diseño de Aeródromos (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2017).

**Figura 7. Elementos de un aeropuerto**



Fuente. Junta de Aeronáutica Civil, 2020.

Para desarrollar el modelo se utiliza como base el Aeropuerto Carriel Sur, debido a que la mayoría de los aeropuertos de la Red Primaria cuentan con una sola pista al igual que éste por lo que es una buena representación de la Red. El Aeropuerto Carriel Sur se encuentra ubicado a 5 km al noroeste de la ciudad de Concepción, en la comuna de Talcahuano, Región del Biobío. Fue inaugurado el año 1968 por el presidente Eduardo Frei Montalva y desde el año 2016 que se encuentra bajo concesión con un plazo fijo de 180 meses (15 años).

Carriel Sur está categorizado como un Aeropuerto de 1era categoría clase C, por lo tanto, se permiten vuelos VFR (Reglas de Vuelo Visual) y vuelos IFR (Reglas de Vuelo por medio de Instrumentos) (Dirección General de Concesiones, 2022).

**Figura 8. Vista aérea del Aeropuerto Carriel Sur**



Fuente. Google Earth.

El cálculo del costo de los componentes se realizó mediante comparaciones con el valor del costo de construcción para otras infraestructuras aeroportuarias, dado por un documento solicitado a la DAP. Para todos los componentes, el valor es traído a valor presente, en miles de millones de pesos (MM). A continuación, se detalla el procedimiento seguido para cada componente.

#### *4.1.1 Pista de aterrizaje*

La pista de aterrizaje es el área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y despegue de las aeronaves. Sus características más importantes son el largo, ancho y su resistencia, la longitud de la pista principal debe ser la adecuada a las condiciones locales y las características de performance de los aviones que vayan a utilizarla.

En cuanto a la resistencia, las pistas deben soportar el tránsito de las aeronaves para las que están diseñadas. Para la superficie de las pistas, en el diseño y construcción de los pavimentos se debe tener en cuenta que las pistas dispongan superficies libres de irregularidades que afecten sus características de rugosidad y rozamiento. La pista del Aeropuerto Carriel Sur mide 2.600 metros de largo, 45 metros de ancho y posee una superficie de material asfáltico.

**Figura 9. Pista de aterrizaje Aeropuerto Carriel Sur**



Fuente. Google Earth.

El costo de construcción se obtiene basándose en el costo de construcción de la pista del Aeródromo La Florida debido a que ambas pistas son de la misma materialidad (asfalto). Las pistas poseen el mismo ancho, pero varía el largo por lo que se calcula el costo del metro cuadrado del aeródromo

La Florida y se multiplica por los metros cuadrados del Aeropuerto Carriel Sur. De esta forma se obtuvo un costo de \$16,28 MM (miles de millones).

#### 4.1.2 Calles de rodaje

Elemento de uso transitorio, es una vía definida en un aeródromo terrestre, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo, como la pista de aterrizaje con la plataforma y/o el terminal. En el Aeropuerto Carriel Sur existe una calle de rodaje paralela a la pista de aterrizaje y se conecta con ella en las esquinas. También posee tres conexiones más entre las calles de conexión exteriores.

**Figura 10. Calles de rodaje**



Fuente. Google Earth.

El mismo procedimiento de la pista se siguió para calcular el costo de las calles de rodaje, usando como referencia el costo por metro cuadrado de las calles de rodaje del Aeródromo La Florida, ambas de la misma materialidad. Así, el costo de las calles de rodaje es \$8,48 MM.

#### 4.1.3 Plataforma

Área definida, en un aeródromo terrestre, destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento. En el caso de la figura 11 se observa que la plataforma del Aeropuerto Carriel Sur posee 10 estacionamientos para aeronaves, de los que cuatro cuentan con puentes de embarque para conectar el lado aire con el lado tierra.

**Figura 11. Plataforma**



Fuente. Google Earth.

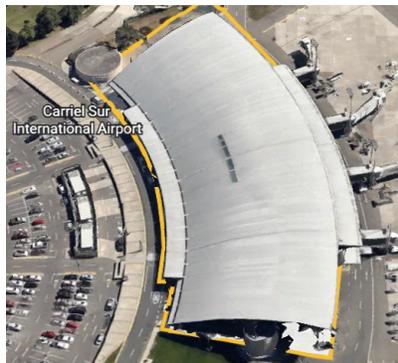
Para el cálculo de la plataforma se usó como referencia dos plataformas del Aeródromo La Florida, debido a que en ambos existe una plataforma de hormigón y una de asfalto. El costo de la plataforma de asfalto es de \$1,35 MM y la plataforma de hormigón tiene un costo de \$1.34 MM.

#### *4.1.4 Terminal*

Los edificios terminales son la infraestructura que conecta el lado tierra con el lado aire de los aeropuertos y es la estructura que alberga los procesos de embarque y desembarque de los pasajeros. Los edificios terminales de la Red Primaria deben ser diseñados según el Nivel de Servicio C, dentro de un rango desde la letra A a la letra F. Un Nivel de Servicio del tipo C implica que las demoras tengan un tiempo aceptable, que los flujos sean estables y un nivel bueno de confort.

El terminal de pasajeros del Aeropuerto Carriel Sur tras su segunda concesión, fue ampliado y actualmente posee una capacidad de 11.200 metros cuadrados. Con esto se amplificó la capacidad de pasajeros de 900.000 a 1.900.000 personas en el terminal.

**Figura 12. Edificio terminal**



Fuente. Google Earth.

En el Plan de Obras Públicas para el Gran Concepción (Ministerio de Obras Públicas, 2006) se especifica que el costo de construcción del terminal de pasajeros de Carriel sur fue de \$24,6 MM, lo que traído a valor presente equivale a \$45,1 MM.

#### *4.1.5 Accesibilidad*

Infraestructura que genera la posibilidad de acceder al terminal mediante medios no aéreos; vías de acceso y estacionamientos. Los estacionamientos de Carriel Sur cuentan con 553 unidades de oferta, habiendo aumentado en 158 unidades gracias a la concesión del año 2016.

**Figura 13. Accesibilidad**



Fuente. Google Earth.

Para el cálculo de las calles de acceso y los estacionamientos del Aeropuerto se utilizan los valores de construcción por milla de carril (Dojutrek et al., 2012), lo que equivale a \$0,72 MM para las calles y \$2,3 MM los estacionamientos.

## 4.2 Corroboración de perspectivas

El método “Elemental Decomposition and Multi-Criteria” propone considerar dos atributos; la condición y la vida útil restante de los activos. Esta consideración lo diferencia de otros métodos tradicionales de valorización que tienden a considerar uno u otro, pero no ambos atributos.

### 4.2.1 Perspectiva de los usuarios

Los usuarios de la infraestructura del transporte tienen como mayor preocupación la condición de los activos porque una buena condición se relaciona directamente con altos niveles de servicio, menores atrasos y una mayor seguridad y comodidad.

En el caso de la infraestructura aeroportuaria aplica la misma relación, los usuarios privilegian la condición de los aeropuertos sobre la vida útil restante. Intuitivamente se podría creer que esta mayor importancia de la condición aplica sólo a componentes como la accesibilidad del aeropuerto y el edificio terminal de pasajeros, ya que los usuarios interactúan de forma directa con éstas, pero tener una mala condición en los demás componentes (pista de aterrizaje, calles de rodaje y plataforma) igualmente provocaría disconformidades a los pasajeros. Se podrían generar mayores tiempos de espera o cambios inesperados en sus itinerarios debido a posibles factores, por ejemplo, cambio de puertas de embarque, demoras en las salidas de los vuelos, traslados extra en otros medios de transporte dentro de la plataforma de movimiento para poder llegar a zonas provisionales de embarque, etc.

#### 4.2.2 Perspectiva de la agencia

Las agencias de la industria del transporte tienen interés en mantener sus activos y ajustar el presupuesto a esta necesidad. Existe un interés mayor para las agencias de saber cuánto tiempo los activos seguirán teniendo la capacidad de proveer los servicios deseados a los usuarios debido a las restricciones presupuestarias. Debido a esto las agencias buscan tener mejores prácticas para planear los gastos, por lo que reflejar el valor según la vida de servicio es el atributo asociado a las agencias.

El transporte aéreo en Chile cuenta con diferentes entidades gubernamentales que tienen distintas competencias y potestades, entonces para comprender completamente el transporte aéreo es fundamental analizar los aspectos institucionales. A continuación, se muestran las funciones de cada entidad para poder corroborar la perspectiva según la agencia seleccionada.

**Tabla 1. Funciones de organismos estatales**

Organización	Funciones
Junta de Aeronáutica Civil (JAC)	Ejercer la dirección de la aviación comercial de Chile. Efectuar proposiciones a la DAP para la confección del Plan general de Aeropuertos.
Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas (DAP)	Realización del estudio, proyección, construcción, reparación y mejoramiento de los aeropuertos. Ordenar las obras y construcciones correspondientes.
Dirección General de Concesiones (DGC)	Someter a la aprobación del MOP la propuesta de ejecución, reparación, mantención, conservación o explotación de las obras públicas fiscales mediante el sistema de Concesiones de Obras Públicas.
Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC)	Dirigir y administrar los aeródromos públicos. Dirigir y mantener los servicios destinados a la ayuda y protección de la navegación aérea.

Fuente: Elaboración propia

La Dirección de Aeropuertos define su misión como: *“Dotar al país de servicios de infraestructura aeroportuaria, asegurando estándares de calidad, seguridad y eficiencia, para la satisfacción de las necesidades de los diversos actores del sistema del transporte aéreo, contribuyendo al desarrollo económico sustentable y a la competitividad del país y a mejorar la conectividad (...)”* (Dirección de Aeropuertos, 2021b). Dentro de las funciones de la DAP se encuentra el realizar estudios, expropiaciones y proyecciones. También se incluye la construcción, reparación y mejoramiento de la red aeroportuaria, es decir, de las pistas, calles de rodaje, plataformas, la accesibilidad y edificios, entre otras.

Como se explicita que la DAP debe dotar de infraestructura y más aún, dentro de sus funciones está la construcción, reparación y mejora de la infraestructura aeroportuaria, ya sea mediante financiamientos estatales o por el sistema de concesiones, es que se decide tomar a la DAP como la perspectiva de la agencia. Así, con el objetivo de la memoria de título de generar un modelo de valorización se puede mejorar la gestión de infraestructura al enfocar las inversiones en las que generen un mayor valor, mientras que mediante el monitoreo se puede minimizar la pérdida de éste a lo largo del ciclo de vida del activo.

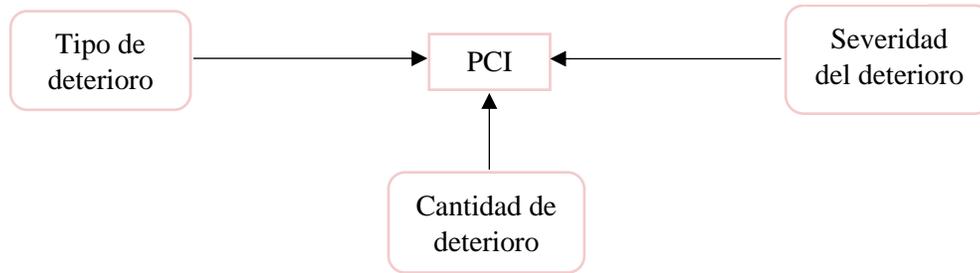
## 4.3 Selección de los atributos e indicadores

### 4.3.1 Condición

Para poder implementar el modelo EDMC es necesario poder medir la condición de los elementos de la infraestructura aeroportuaria, en este caso cuatro de los cinco elementos de los aeropuertos tienen como componente principal el pavimento.

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales o ASTM por sus siglas en inglés, es una organización que desarrolla estándares internacionales y han adoptado como estándar de calificación de la condición para el pavimento de aeropuertos el PCI o Pavement Condition Index (Airport Engineering Division AAS-, 2014). El PCI es un indicador numérico que refleja la integridad estructural y la condición operacional de la superficie del pavimento. Se basa en una medida objetiva del tipo, gravedad y cantidad del peligro, mediante una inspección visual.

**Figura 14. Factores que inciden en el PCI**



Fuente: Airport Engineering Division AAS-, 2014

**Figura 15. Hoja de registro de información de condiciones para PCI**

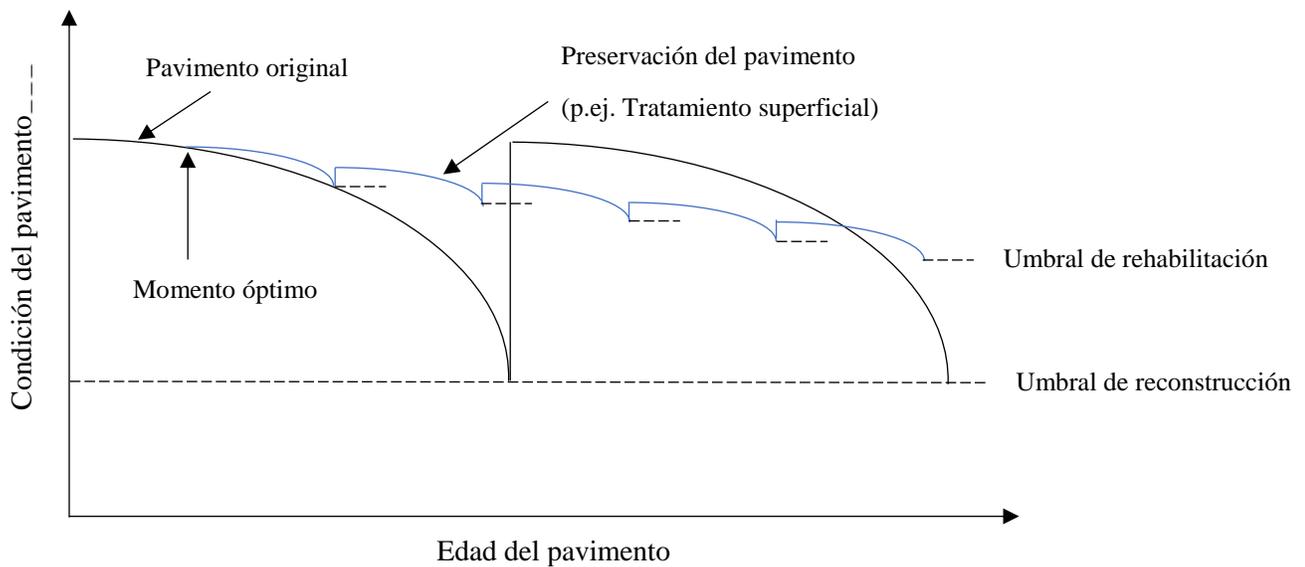
PAVIMENTO DE ASFALTO EN AEROPUERTOS HOJA DE INSPECCION DE CONDICIONES PARA UNIDAD DE MUESTRA										DIAGRAMA:		
Componente:		Sección:		Unidad de muestra:								
Inspeccionado por:		Fecha:		Área de la muestra:								
1. Piel de cocodrilo		5. Depresión		9. Derrame de combustible.						13. Ahuellamiento		
2. Exudación		6. Erosión por chorro de turbina		10. Bacheos						14. PCC expuesto		
3. Fisura de bloque		7. Reflexión de juntas PCC		11. Agregado pulido						15. Fisura por deslizamiento		
4. Ondulación		8. Fisuras long. y transv.		12. Peladura						16. Hinchamiento		
SEVERIDAD DE FALLA	CANTIDAD									TOTAL	% DENSIDAD	VALOR DE REDUCCION

Fuente: Norma ASTM D5340

Para medir la condición del PCI se realiza una inspección visual en terreno, donde la información es recogida y especificada en un formulario como el de la figura 15. El valor de PCI se puede calcular de forma manual según la norma ASTM D5340 para pavimentos de aeropuertos o con softwares (el más usado actualmente es Micro Paver). El objetivo de esta metodología es detectar y evaluar los daños de los pavimentos con anticipación y así las reparaciones necesarias sean de reparación menor o conservación, pero no de reconstrucción. De esta forma se busca prolongar la vida útil del pavimento sin invertir mayores recursos, lo que conlleva a importantes ahorros de recursos.

En la figura 16 se observa el comportamiento de un pavimento según dos planes de conservación; el de preservación de pavimentos (donde se realizan mantenciones de bajo costo de forma recurrente) y el de rehabilitación mayor o reconstrucción total (se realizan acciones de alto costo con una menor frecuencia).

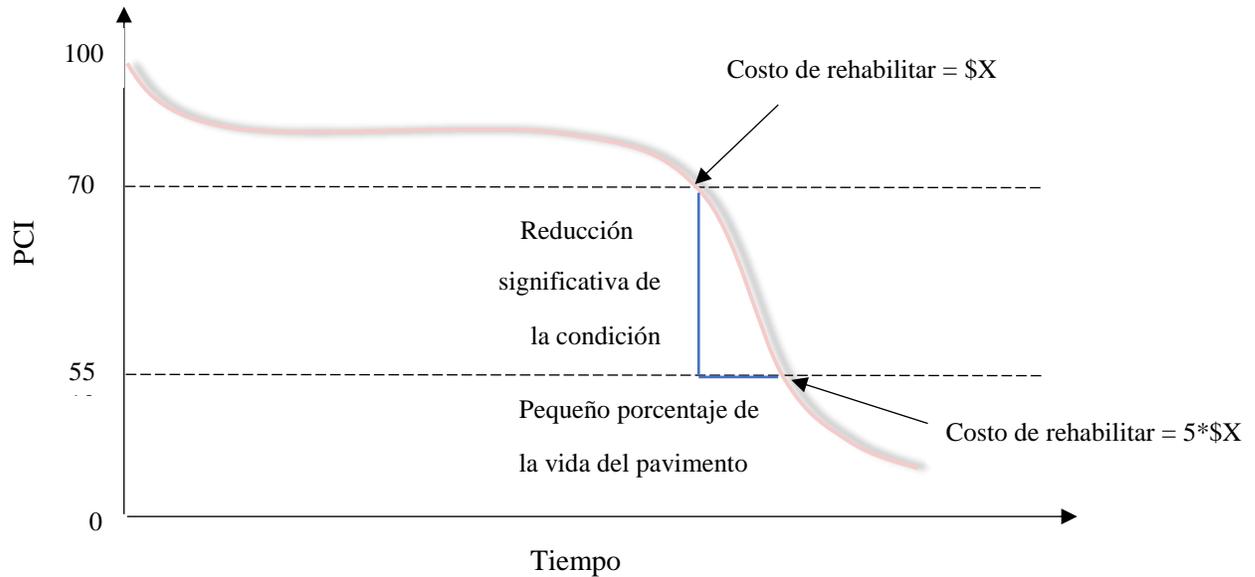
**Figura 16. Tiempo de preservación y rehabilitación del pavimento según la condición**



Fuente: Airport Engineering Division AAS-, 2014

En la figura 17 se muestra el comportamiento general de la curva de deterioro de la condición del pavimento. Cuando los pavimentos disminuyen su condición, tal que su PCI sea cercano a 70, se acelera el deterioro del pavimento. El rango de PCI crítico es el rango de valores del PCI en el que se produce la inflexión de la curva. Se estima que realizar acciones de rehabilitación mayores o de reconstrucción en umbrales de PCI bajos tiene un costo cinco veces mayor al de realizar acciones de mantenimiento preventivo en los umbrales de PCI mayores. Esto conlleva a que se busque que las políticas de conservación de los pavimentos estén enfocadas a mantener el PCI sobre el rango crítico.

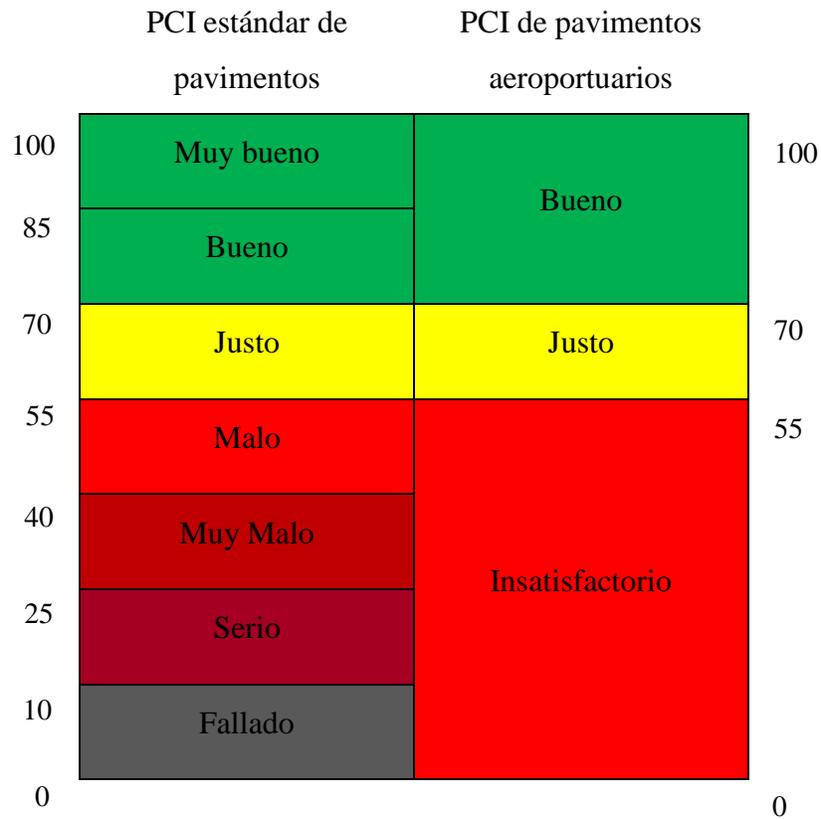
**Figura 17. Curva típica de PCI durante la vida de un pavimento**



Fuente: Olea N, 2021

Los posibles valores del PCI van desde 0 a 100, donde 0 indica un pavimento fallido y 100 es un pavimento nuevo, como se muestra en la tabla 3. La FAA define un  $PCI = 70$  como el valor mínimo para actividades de mantenimiento preventivo o preservación y un  $PCI = 55$  como valor mínimo para las actividades de rehabilitación mayores. Un  $PCI < 55$  generalmente implica una reconstrucción total del componente estudiado.

**Tabla 2. Escala de clasificación de PCI para pavimentos generales y aeroportuarios**



Fuente: Airport Engineering Division AAS-, 2014

Con esto es posible calcular la razón de condición de los componentes de pavimento del aeropuerto; pista de aterrizaje, calles de rodaje, plataforma y accesibilidad según la ecuación (2), midiendo la condición según el PCI.

$$CR_{t,i} = \frac{P_{t,i} - P_{worst_i}}{P_{best_i} - P_{worst_i}} \quad (2)$$

Donde:

$CR_{t,i}$  = Razón de condición del componente i, en el tiempo t  $\forall i = 1, 2, 3, 4, 5$ .

$P_{t,i}$  = Condición actual del componente i, en el tiempo t  $\forall i = 1, 2, 3, 4, 5$ .

$P_{best_i}$  = PCI del componente i como nuevo  $\forall i = 1, 2, 3, 4, 5$ .

$P_{worst_i}$  = PCI peor posible del componente i  $\forall i = 1, 2, 3, 4, 5$ .

En el caso de la infraestructura vertical se utiliza la metodología propuesta en el documento de “Evaluación del estado de los activos de infraestructura del sector público” (Pacific Region Infrastructure Facility, 2020) mediante el Índice de Condición de Activos (ACI). Este índice refleja la capacidad de los activos de proveer los servicios de forma segura y confiable, cuando el ACI baja hasta niveles inaceptables se considera que el activo llegó al fin de su vida útil y por ende debe ser reemplazado y retirado del servicio.

**Tabla 3. Calificaciones de condición física para el edificio terminal**

Condición del Componente	Clasificación	Interpretación
Condición completamente nueva, sin desgaste, daños, deformación ni deterioro	5	Excelente
Condiciones “como nuevas”, con desgaste menor sin daños, defectos, deformación ni deterioro.	4	Bueno
Componente muestra desgaste menor, deformación menor, deterioro menor. La condición puede mantenerse a través del mantenimiento preventivo	3	Justo
Componente con gran deformación, degradación y defectos. Deterioro grave con posibilidad de rehabilitación.	2	Malo
Componente con degradación, defectos y daños importantes. Deterioro grave que no es posible rehabilitar o restaurar.	1	Muy malo

Fuente: Pacific Region Infrastructure Facility, 2020

Para calcular la condición mediante el ACI se divide el activo en sus componentes y a cada componente se le asigna un peso basado en la importancia de ese componente para la funcionalidad del activo. El valor del Índice de Condición del Activo se obtiene multiplicando el peso de cada componente por su clasificación de condición, resultando el “puntaje actual” del componente. Para obtener el ACI se debe sumar todos los puntajes actuales, dividirlos por el puntaje máximo y multiplicarlo por 100.

**Tabla 4. Evaluación de la condición de un edificio**

Criterio de condición	Peso	Clasificación	Puntaje máximo	Puntaje actual
Infraestructura	3	1,2,3,4,5	15	15
Superestructura	5	1,2,3,4,5	25	25
“Cáscara” del edificio	2	1,2,3,4,5	10	10
Terminaciones interiores	2	1,2,3,4,5	10	8
Servicios	2	1,2,3,4,5	10	8
Puntaje total	14		70	66
ACI = (puntaje actual/puntaje máximo) x 100				

Fuente: Pacific Region Infrastructure Facility, 2020

#### 4.3.2 Vida útil

Para medir el porcentaje de vida que le queda a un activo versus su vida útil completa se usa la razón de vida útil para cada componente del activo, según la ecuación 3.

$$RSLR_{t,i} = \frac{RSL_{t,i}}{SL_i} \quad (3)$$

Donde:

$RSLR_{t,i}$  = Razón de vida útil restante del componente i, en el tiempo t  $\forall i = 1, 2, 3, 4, 5$ .

$RSL_{t,i}$  = Vida útil restante del componente i, en el tiempo t  $\forall i = 1, 2, 3, 4, 5$ .

$SL_i$  = Vida útil del componente i.

#### 4.4 Formulación matemática del modelo

La formulación propuesta por el método EDMC para un caso general es:

$$V_t = w_1 \left( \sum_{i=1}^I \text{cost comp}_i \left( \frac{P_{t_i} - P_{\text{worst}_i}}{P_i - P_{\text{worst}_i}} \right) \right) + w_2 \left( \sum_{i=1}^I \text{costo comp}_i \left( \frac{RSL_{t_i}}{SL_i} \right) \right) \quad (13)$$

Al homologar el método en la infraestructura aeroportuaria, con los cinco componentes definidos; la pista de aterrizaje/despegue, las calles de rodaje, la plataforma, el edificio terminal y la accesibilidad del aeropuerto, se obtiene la siguiente formulación matemática extendida:

$$V_t = \left[ w_1 \left[ \left( \text{cost } C_1 \left( \frac{P_{t_1} - P_{\text{worst}_1}}{P_1 - P_{\text{worst}_1}} \right) + \text{cost } C_2 \left( \frac{P_{t_2} - P_{\text{worst}_2}}{P_2 - P_{\text{worst}_2}} \right) + \text{cost } C_3 \left( \frac{P_{t_3} - P_{\text{worst}_3}}{P_3 - P_{\text{worst}_3}} \right) \right. \right. \right. \\ \left. \left. + \text{cost } C_4 \left( \frac{P_{t_4} - P_{\text{worst}_4}}{P_4 - P_{\text{worst}_4}} \right) + \text{cost } C_5 \left( \frac{P_{t_5} - P_{\text{worst}_5}}{P_5 - P_{\text{worst}_5}} \right) \right) \right] \\ \left. + w_2 \left[ \left( \text{cost } C_1 \left( \frac{RSL_{t_1}}{SL_1} \right) + \text{cost } C_2 \left( \frac{RSL_{t_2}}{SL_2} \right) + \text{cost } C_2 \left( \frac{RSL_{t_2}}{SL_2} \right) \right. \right. \right. \\ \left. \left. + \text{cost } C_3 \left( \frac{RSL_{t_3}}{SL_3} \right) + \text{cost } C_4 \left( \frac{RSL_{t_4}}{SL_4} \right) + \text{cost } C_5 \left( \frac{RSL_{t_5}}{SL_5} \right) \right) \right] \right] \quad (19)$$

Donde:

$w_1$  = Importancia relativa de la condición del activo (perspectiva de los usuarios).

$w_2$  = Importancia relativa de la vida útil restante (perspectiva de la agencia, DGAC).

$C_1$  = Componente 1; Pista de aterrizaje.

$C_2$  = Componente 2; Calles de rodaje.

$C_3$  = Componente 3; Plataforma.

$C_4$  = Componente 4; Terminal.

$C_5$  = Componente 5; Accesibilidad.

$\text{cost } C_1$  = Costo de construcción de la pista de aterrizaje.

$\text{cost } C_2$  = Costo de construcción de las calles de rodaje

$\text{cost } C_3$  = Costo de construcción de la plataforma.

$\text{cost } C_4$  = Costo de construcción del edificio terminal.

$cost C_5$  = costo de construcción de la accesibilidad.

$P_{t,1}$  = Condición de la pista de aterrizaje, en el tiempo  $t$ .

$P_{t,2}$  = Condición de las calles de rodaje, en el tiempo  $t$ .

$P_{t,3}$  = Condición de la plataforma, en el tiempo  $t$ .

$P_{t,4}$  = Condición del edificio terminal, en el tiempo  $t$ .

$P_{t,5}$  = Condición de la accesibilidad, en el tiempo  $t$ .

$P_1$  = Condición inicial de la pista de aterrizaje.

$P_2$  = Condición inicial de las calles de rodaje.

$P_3$  = Condición inicial de la plataforma.

$P_4$  = Condición inicial del edificio terminal.

$P_5$  = Condición inicial de la accesibilidad.

$P_{worst,1}$  = Peor condición posible de la pista de aterrizaje.

$P_{worst,2}$  = Peor condición posible de las calles de rodaje.

$P_{worst,3}$  = Peor condición posible de la plataforma.

$P_{worst,4}$  = Peor condición posible del edificio terminal.

$P_{worst,5}$  = Peor condición posible de la accesibilidad.

$RSL_{t,1}$  = Vida útil restante de la pista de aterrizaje, en el tiempo  $t$ .

$RSL_{t,2}$  = Vida útil restante de las calles de rodaje, en el tiempo  $t$ .

$RSL_{t,3}$  = Vida útil restante de la plataforma, en el tiempo  $t$ .

$RSL_{t,4}$  = Vida útil restante del edificio terminal, en el tiempo  $t$ .

$RSL_{t,5}$  = Vida útil restante de la accesibilidad, en el tiempo  $t$ .

$SL_1$  = Vida útil esperada de la pista de aterrizaje.

$SL_2$  = Vida útil esperada de las calles de rodaje.

$SL_3$  = Vida útil esperada de la plataforma.

$SL_4$  = Vida útil esperada del edificio terminal.

$SL_5$  = Vida útil esperada de la accesibilidad.

## 5. Resultados

Este capítulo se muestra un caso de aplicación y para poder aplicar el modelo se utiliza el Aeropuerto Carriel Sur como ejemplo. Aquí se detallan las razones de condición y vida útil para poder obtener el valor del activo en un año dado como supuesto.

Luego se realiza un análisis de sensibilidad para estudiar el comportamiento del modelo frente a variaciones en la condición de diferentes componentes y en la asignación de los pesos. Se demuestra que ante mejoras en la condición el valor del activo aumenta y viceversa.

Finalmente se realiza una comparación de los métodos tradicionales versus el modelo propuesto: se compara el resultado obtenido con el valor mediante depreciación simple, costo de reposición y costo de reposición ajustado.

### 5.1 Caso de aplicación

Para poder obtener la valorización de un activo según el método de descomposición elemental y multi-criterio EDMC se utiliza el Aeropuerto Carriel Sur como caso de aplicación. Este método determina el valor de un activo según el valor de cada uno de sus componentes, tomando la perspectiva de dos actores clave, los usuarios y la DAP con razones de atributos de condición y vida útil, junto con los pesos relativos asignados por la agencia.

En la tabla 6 se muestran los valores de ejemplo para el cálculo con el costo total del activo y el costo de cada elemento, en la tabla 7 se muestran los valores de condición para cada componente de la infraestructura de este aeropuerto y en la tabla 8 se muestran los valores relacionados a la vida útil. Como supuesto se asume que el cálculo del valor se realiza en el año doce.

El cálculo del costo de los componentes se realizó mediante comparaciones con el valor del costo de construcción para otras infraestructuras aeroportuarias, dado por un documento solicitado a la DAP. Para todos los componentes, el valor es traído a valor presente, en miles de millones de pesos (MM). A continuación, se detalla el procedimiento seguido para cada componente.

### *5.1.1 Pista*

El costo de construcción se obtiene basándose en el costo de construcción de la pista del Aeródromo La Florida debido a que ambas pistas son de asfalto. Las pistas poseen el mismo ancho, pero varía el largo por lo que se calcula el costo del metro cuadrado del aeródromo La Florida y se multiplica por los metros cuadrados del Aeropuerto Carriel Sur. Se obtuvo un costo de \$16,28 MM (miles de millones).

### *5.1.2 Calles de rodaje*

El mismo procedimiento se siguió para calcular el costo de las calles de rodaje, usando como referencia el costo por metro cuadrado de las calles de rodaje del Aeródromo La Florida, ambas de la misma materialidad. Así, el costo de las calles de rodaje es \$8,48 MM.

### *5.1.3 Plataforma*

Para el cálculo de la plataforma se usó como referencia dos plataformas del Aeródromo La Florida, debido a que en ambos existe una plataforma de hormigón y una de asfalto. El costo de la plataforma de asfalto es de \$1,35 MM y la plataforma de hormigón tiene un costo de \$1.34 MM.

### *5.1.4 Terminal*

En el Plan de Obras Públicas para el Gran Concepción (Ministerio de Obras Públicas, 2006) se especifica que el costo de construcción del terminal de pasajeros de Carriel sur fue de \$24,6 MM, lo que traído a valor presente equivale a \$45,1 MM.

### *5.1.5 Accesibilidad*

Para el cálculo de las calles de acceso y los estacionamientos del Aeropuerto se utilizan los valores de construcción por milla de carril (Dojutrek et al., 2012), lo que equivale a \$0,72 MM para las calles y \$2,3 MM los estacionamientos.

**Tabla 5. Costo de los componentes**

Componente	Costo (\$MM CLP)	Porcentaje del costo total
Pista de aterrizaje	16.28	22.01%
Calles de rodaje	8.48	11.46%
Plataforma (Hormigón)	1.35	0.019%
Plataforma (Asfalto)	1.34	0.018%
Edificio terminal	45.1	60.97%
Accesibilidad	1.42	1.92%
<b>Costo total</b>	<b>73.97</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

La mejor y peor condición de los componentes viales está dada por la escala de clasificación de PCI para pavimentos aeroportuarios, siendo 55 la peor condición y 100 la mejor. La condición actual se obtuvo gracias al documento facilitado por la DAP: “Diagnóstico auscultación de pavimentos de la Red Primaria” (Dirección de Aeropuertos, 2021a). La condición actual del terminal de pasajeros se obtuvo mediante el cálculo del ACI (tabla 5).

**Tabla 6. Evaluación de la condición de un edificio**

Criterio de condición	Peso	Clasificación	Puntaje máximo	Puntaje actual
Infraestructura	3	1,2,3,4,5	15	15
Superestructura	5	1,2,3,4,5	25	25
“Cáscara” del edificio	2	1,2,3,4,5	10	10
Terminaciones interiores	2	1,2,3,4,5	10	8
Servicios	2	1,2,3,4,5	10	8
Puntaje total	14		70	66
$ACI = (\text{puntaje actual} / \text{puntaje máximo}) \times 100 = 66/70 \times 100 \approx 95$				

Fuente: Pacific Region Infrastructure Facility, 2020

**Tabla 7. Razón de condición**

Componente	Condición actual	Condición como nuevo	Peor condición posible	Razón de condición
Pista de aterrizaje	95	100	55	40/45
Calles de rodaje	82	100	55	27/45
Plataforma (H)	94	100	55	39/45
Plataforma (A)	94	100	55	39/45
Edificio terminal	95	100	40	55/60
Accesibilidad	90	100	55	35/45

Fuente: Elaboración propia

La vida útil de cada componente se obtuvo gracias a la entrevista con los trabajadores de la DAP y está relacionada con el material de construcción. En la tabla 9 se detallan los componentes, sus materialidades y sus vidas útiles.

**Tabla 8. Razón de vida útil**

Componente	Materialidad	Vida útil (años)	Año de construcción	Vida útil restante	Razón de vida útil
Pista de aterrizaje	Asfalto	20	2010	8	8/20
Calles de rodaje	Asfalto	20	2010	8	8/20
Plataforma (H)	Asfalto	20	2020	18	18/20
Plataforma (A)	Hormigón	50	2015	43	43/50
Edificio terminal	Hormigón	80	2020	78	78/80
Accesibilidad	Asfalto	20	2020	18	18/20

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9. Asignación de pesos**

Perspectiva	Peso asignado
$w_1 = \text{Usuarios}$	0.4
$w_2 = \text{Agencia (DGAC)}$	0.6

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos es posible calcular el valor del Aeropuerto Carriel Sur según la ecuación 13, dada por el modelo EDMC:

$$V_t = \left[ w_1 \left( \text{cost comp}_i \left( \frac{P_{t_i} - P_{worst_i}}{P_i - P_{worst_i}} \right) + \dots + \text{cost comp}_I \left( \frac{P_{t_I} - P_{worst_I}}{P_I - P_{worst_I}} \right) \right) + w_2 \left( \text{costo comp}_i \left( \frac{RSL_{t_i}}{SL_i} \right) + \dots + \text{cost comp}_I \left( \frac{RSL_{t_I}}{SL_I} \right) \right) \right] \quad (13)$$

$$\forall i \in I, \quad I = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

$$V_t = \left[ 0.4 \left( 16.28 \left( \frac{40}{45} \right) + 8.48 \left( \frac{27}{45} \right) + 1.35 \left( \frac{39}{45} \right) + 1.34 \left( \frac{39}{45} \right) + 45.1 \left( \frac{55}{60} \right) + 1.42 \left( \frac{35}{45} \right) \right) + 0.6 \left( 16.28 \left( \frac{8}{20} \right) + 8.48 \left( \frac{8}{20} \right) + 1.35 \left( \frac{18}{20} \right) + 1.34 \left( \frac{43}{50} \right) + 45.1 \left( \frac{78}{80} \right) + 1.24 \left( \frac{18}{20} \right) \right) \right] \quad (19)$$

$$V_{12} = 60.257 \text{ MM}$$

Esto quiere decir que, debido a su deterioro y a la vida útil restante del activo, al transcurrido los primeros doce años el activo ha disminuido su valor en 13.72 MM.

## 5.2 Análisis de sensibilidad

Para considerar las posibles perturbaciones que tendría el valor del activo bajo diferentes escenarios se realiza un análisis de sensibilidad del modelo. En ese análisis se estudian las variaciones según cambios en la condición de los componentes y la vida útil del activo.

### 5.2.1 Cambios en la condición

Dentro de los cambios de condición se analizan los cambios de los componentes asociados a los pavimentos; pista de aterrizaje, calles de rodaje, plataforma y accesibilidad, calculando el valor del activo con una mejor y peor condición de  $\pm 5$  puntos en la escala PCI. La condición del edificio terminal también se analiza con  $\pm 5$  puntos en la escala de ACI.

**Tabla 10. Cambios en la condición de los componentes viales**

Componente	Condición inicial	Caso 1: mejor condición	Caso 2: peor condición
Pista de aterrizaje	95	100	90
Calles de rodaje	82	87	77
Plataforma (A)	94	99	89
Plataforma (H)	94	99	89
Edificio terminal	95	100	90
Accesibilidad	90	95	85
Valor (MM)	60.25	63.03	57.46

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la diferencia entre el valor inicial y los valores obtenidos calculando el valor con  $\pm 5$  puntos de condición es 2.79 MM para ambos casos. Según esto, se puede interpretar que el deterioro es lineal para la condición. También se puede concluir que al tener una mejora de un 5% en la condición el activo aumenta su valor en un 4.6% y viceversa.

El segundo escenario a evaluar es el del cambio de condición de un solo componente, para así analizar cuanto varía el valor dependiendo de la magnitud de un componente respecto al valor total. Para este escenario primero se calcula el valor cambiando solamente la condición de la pista, luego de la plataforma de asfalto y finalmente del edificio terminal, todas en  $\pm 5$  puntos de condición.

**Tabla 11. Cambios en la condición de la pista**

Componente	Condición inicial	Caso 1: mejor condición	Caso 2: peor condición
Pista de aterrizaje	95	100	90
Calles de rodaje	82	82	82
Plataforma (A)	94	94	94
Plataforma (H)	94	94	94
Edificio terminal	95	95	95
Accesibilidad	85	85	85
Valor (MM)	60.25	60.97	59.52

Fuente: Elaboración propia

En este caso se cambia la condición del componente vial con mayor costo de construcción (un 22% del costo total), obteniendo cambios en el valor de  $\pm 0.72$  MM, es decir, el valor cambia en un 1.2%.

**Tabla 12. Cambios en la condición de la plataforma de asfalto**

Componente	Condición inicial	Caso 1: mejor condición	Caso 2: peor condición
Pista de aterrizaje	95	95	95
Calles de rodaje	82	82	82
Plataforma (A)	94	94	94
Plataforma (H)	94	99	89
Edificio terminal	95	95	95
Accesibilidad	85	85	85
Valor (MM)	60.25	60.31	60.19

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que, para cambios en la condición de la plataforma de asfalto el cambio en el valor es sólo de 0.05 MM. Que el cambio de valor sea tan menor tiene directa relación con que el porcentaje del costo de la plataforma de asfalto según el costo total es sólo de un 0.018%, siendo el componente con menor costo de construcción del aeropuerto.

**Tabla 13. Cambios en la condición del edificio terminal**

Componente	Condición inicial	Caso 1: mejor condición	Caso 2: peor condición
Pista de aterrizaje	95	95	95
Calles de rodaje	82	82	82
Plataforma (A)	94	94	94
Plataforma (H)	94	94	94
Edificio terminal	95	100	90
Accesibilidad	85	85	85
Valor (MM)	60.25	61.75	58.74

Fuente: Elaboración propia

Al realizar aumentos en la condición del componente con mayor costo con relación al costo total, con un 60.97%, se genera un aumento del valor de 1.5 MM (2.43%), por otro lado, al disminuir la condición en la misma razón, el valor disminuye también en un 2.43%. Se puede concluir tras los cambios de valor de diferentes componentes que mientras mayor sea el costo del componente, tendrá una mayor influencia en el valor final del activo.

### 5.2.2 Cambios en la asignación de los pesos

El modelo toma como caso inicial un peso de 0.4 para los usuarios y de 0.6 para la agencia, esto quiere decir que para la agencia (DAP) la perspectiva de los usuarios (y la condición) pondera un 40%, mientras que la perspectiva de la agencia (y la vida útil) pondera un 60%. En la tabla 15 se muestran los cambios en el valor del activo modificando la importancia de cada perspectiva.

**Tabla 14. Cambios en los pesos**

	Inicial	Caso 1: mayor peso usuarios	Caso 2: menor peso usuarios
Usuarios	0.4	0.6	0.2
Agencia	0.6	0.4	0.8
Valor (MM)	60.25	61.61	58.88

Fuente: Elaboración propia

Con esto se puede concluir que cambiar la asignación de la ponderación de las perspectivas influye en el valor del activo y al aumentar el peso de los usuarios el valor del activo aumenta en 1.36 MM.

### 5.2.3 Comparación de los métodos tradicionales versus el modelo propuesto

En esta sección se calcula el valor del activo según los métodos tradicionales, para posteriormente realizar una comparación con el valor obtenido según el modelo EDMC homologado para la infraestructura aeroportuaria.

El valor del activo calculado según métodos de depreciación lineal se obtiene restando el valor de salvamento al costo histórico del activo, dividido por la vida de útil de este. La depreciación lineal (SLD, por sus siglas en inglés) viene dada por:

$$SLD = \frac{(P - S)}{t_s - t_p} \quad (14)$$

Donde:

$P$  = Costo histórico de construcción.

$S$  = Valor de salvamento. El valor de salvamento es igual al 60% del valor de construcción para la infraestructura horizontal y es igual \$1 para la infraestructura vertical, según la información entregada por la DAP.

$t_s$  = Año del salvamento.

$t_p$  = Año de construcción.

$t_s - t_p$  = Periodo de análisis.

Así, el valor libro ( $BV_t$ ) del activo se puede calcular según la ecuación 15:

$$BV_t = P - \frac{P - S}{t_s - t_p} (t - t_p) \quad (15)$$

Donde:

$P$  = Costo histórico de construcción.

$S$  = Valor de salvamento.

$t_s$  = Año del salvamento.

$t_p$  = Año de construcción.

$t_s - t_p$  = Periodo de análisis.

Con  $t$  = Año actual.

El método del costo de reposición escrito el valor de los activos se calcula mediante el producto de su costo histórico y una razón de condición dada según la condición actual y la mejor condición posible del activo.

$$V_{rep_t} = HC * \left( \frac{P_t}{P_{best}} \right) \quad (17)$$

Donde:

$HC$  = Costo histórico de construcción.

$P_t$  = Condición del activo en el tiempo  $t$ .

$P_{best}$  = Mejor condición posible del activo.

El método ajustado respecto a un límite de condición sigue la misma lógica que el método anterior, pero ocupa también la peor condición posible del activo como límite inferior de ésta. En la ecuación 18 se observa la forma de obtención del valor.

$$V_t = HC * \left( \frac{P_t - P_{worst}}{P_{best} - P_{worst}} \right) \quad (18)$$

Donde:

$HC$  = Costo histórico de construcción.

$P_t$  = Condición del activo en el tiempo  $t$ .

$P_{best}$  = Mejor condición posible del activo.

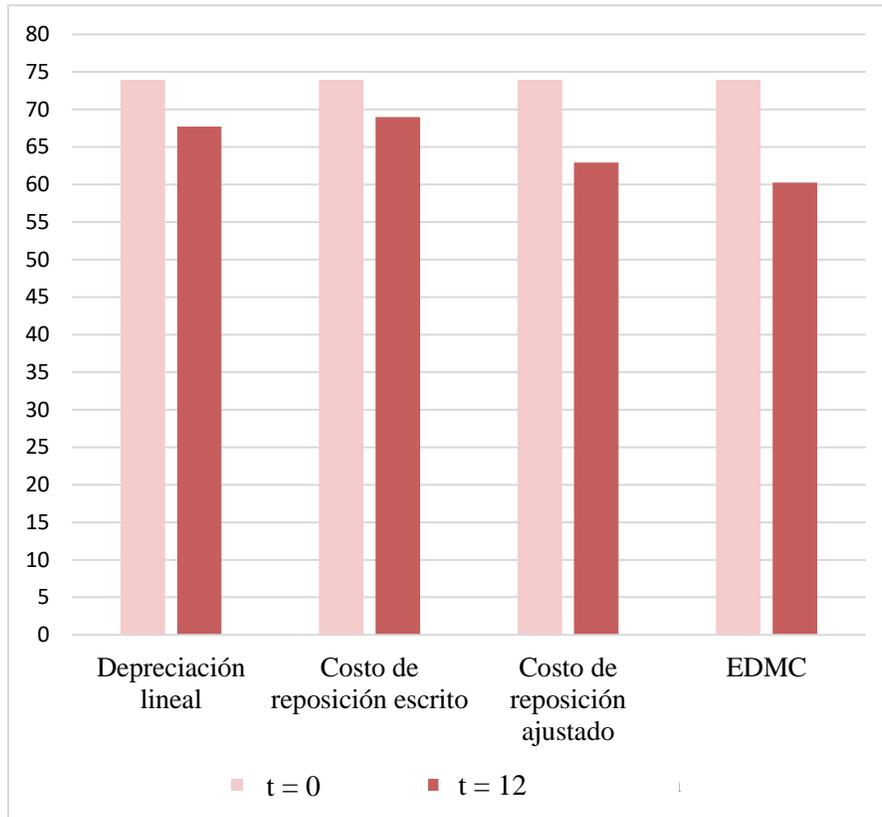
$P_{worst}$  = Peor condición posible del activo.

**Tabla 15. Valor del activo según métodos tradicionales**

	Depreciación lineal	Costo de reposición escrito	Costo de reposición ajustado	EDMC
Fórmula	$P - \frac{(P - S)}{t_s - t_p} (t - t_p)$	$HC * \left( \frac{P_t}{P_{best}} \right)$	$HC * \left( \frac{P_t - P_{worst}}{P_{best} - P_{worst}} \right)$	(13)
Valor (MM)	67.73	69.00	62.93	60.25

Fuente: Elaboración propia

**Figura 1. Comparación del valor de un aeropuerto usando métodos de depreciación lineal, costo de reposición escrito, costo de reposición ajustado y EDMC.**



Fuente: Elaboración propia

## 6. Discusión

### 6.1 Resultados

#### *6.1.1 Sobre los resultados obtenidos por el modelo*

Los resultados obtenidos por el modelo de valorización indican que un aeropuerto con un costo de construcción total de 73.97 MM disminuye su valor en un 18.6% debido al deterioro en la condición y la disminución en su vida útil restante. En cuanto al análisis de sensibilidad se puede observar que ante evaluaciones con una mayor condición en los componentes se obtiene un aumento en el valor, mientras que con peores condiciones el valor del activo disminuye. Esto es algo intuitivo ya que para los usuarios la condición es el atributo más relevante y si ellos ven una mejora/empeoramiento van a percibir el valor del activo como mayor o peor, respectivamente.

También es destacable que el aumento y disminución del valor se da en la misma magnitud, por lo que se puede interpretar que el deterioro de la condición es lineal para el modelo. Por otro lado, al analizar cambios en el valor de un solo componente a la vez el modelo aumenta o disminuye su valor proporcionalmente al porcentaje del costo de construcción del componente, frente al costo total del activo.

#### *6.1.2 Implicancias de los cambios en el valor*

##### a) Según la topología de los proyectos

Las iniciativas de inversión asociadas a la normalización tienen como objetivo de cumplir normativas nacionales e internacionales. Éstas podrían aumentar el valor de los activos en los casos en los que se construya infraestructura nueva en los componentes seleccionados para la valorización. Los proyectos del tipo construcción también aumentan el valor ya que generan nuevas infraestructuras para los activos.

En el caso de la conservación el aumento de valor va a depender del tipo de obras y cómo se conservan, por ejemplo, las obras menores como mantención de la pintura o demarcaciones no aumentaría de por sí el valor y se considera como un gasto patrimonial. Por otro lado, las obras de mantención que se realizan cada cinco o más años tenderán a aumentar el valor de los activos porque mejoran directamente la condición de estos, como sería el caso de la mantención de la carpeta de rodadura o pista, cambios de lozas y de drenajes. Al contrario, si no se realizan obras de

mantención de los componentes estos podrían ver disminuido su valor ya que la condición empeorará.

Los proyectos asociados al mejoramiento no generan aumentos en la capacidad operacional de la infraestructura, pero sí algunas características de los elementos debido a mejoras en la entrega de servicios o una mayor eficiencia en los mismos. En el caso de que las mejoras sean realizadas a la infraestructura vertical esta podría ver aumentado su valor debido a que los usuarios valoran estas mejoras y, por lo tanto, para ellos se ve una mayor condición.

Las iniciativas de reposición son las relacionadas al reemplazo o modernización de los servicios cuando ya llegaron al fin de su vida útil. Estas iniciativas aumentan el valor de los activos ya que renuevan la infraestructura, generando un aumento en su vida útil y así, en el valor total. Finalmente, las ampliaciones igualmente generarán un aumento en el valor de los activos al ampliar la superficie construida de los activos junto la capacidad y/o niveles de servicio de los componentes, tanto para la infraestructura vertical como horizontal.

#### b) Implicancias para las sociedades concesionarias

Dependiendo de cada licitación, las concesionarias van a tener diferentes objetivos que cumplir y uno de los objetivos más generales es la mantención de todas las obras preexistentes y nuevas del área de concesión. En el caso de la última licitación realizada en el año 2016 del Aeropuerto Carriel Sur algunos de los objetivos eran: la remodelación y ampliación del edificio terminal, la ampliación de la vialidad, de la plataforma comercial, de tres calles de rodaje y la explotación, operación y administración de las obras en el área de concesión.

Todos estos objetivos se relacionan directamente con la infraestructura aeroportuaria y mediante el modelo se entrega información a las sociedades concesionarias sobre el valor de la infraestructura reflejando la condición y la vida útil de los activos. También, si se realizan mediciones todos los años, es posible analizar los cambios en el valor y analizar las posibles causas, con el objetivo de minimizar las pérdidas en el valor de la infraestructura.

## 6.2 Limitaciones de la investigación

### 6.2.1 Datos

La limitación más importante de la investigación es la fidelidad de los datos debido a que en la bibliografía sobre la industria aeroportuaria nacional, en particular de la Red Primaria Aeroportuaria, no se encuentran los datos requeridos como el costo histórico, datos sobre la condición o la vida útil de los componentes de la infraestructura. Esto generó un retraso en la investigación al tener que buscar diferentes opciones para obtener los datos necesarios.

### 6.2.2 Condición según el clima

Una limitación, debido al tiempo escaso para la realización de la memoria de título y a los objetivos de esta, no fue posible abordar la arista climática encontrada en cuanto a la condición de los pavimentos. Para poder valorar la infraestructura aeroportuaria correctamente es necesario considerar las condiciones climáticas según el lugar en donde está construido cada aeropuerto ya que los niveles de humedad y congelamiento afectan directamente en el deterioro de los pavimentos.

Así, si se desea aplicar el modelo a otros aeropuertos de la red nacional se recomienda cambiar los umbrales de condición para el cálculo del Índice de Condición de Pavimentos (PCI) según las condiciones climáticas de cada aeropuerto. Para esto se recomienda seguir la metodología presentada en el anexo 2 (Olea N, 2021), donde se presenta un mapa del país con una clasificación de macrozonas climáticas para poder identificar en qué macrozona se ubica cada aeropuerto.

## 7. Conclusiones

Con la investigación presentada se determinó el valor para una infraestructura aeroportuaria usando el caso del Aeropuerto Carriel Sur, mediante un modelo que toma como base el método de descomposición elemental multicriterio (EDMC), adaptado a la infraestructura aeroportuaria.

Para esto se siguió las etapas de investigación (u objetivos específicos) de las cuales se puede concluir que: según la primera etapa existen diferentes actores involucrados dentro del espacio de un aeropuerto y cada uno maneja diferentes componentes del mismo.

De la segunda etapa se concluye que cada organización posee diferentes objetivos, por ende, pueden valorar de forma diferente una misma infraestructura. En el caso de la Dirección de Aeropuertos, los componentes que más le interesan son los pertenecientes a la infraestructura horizontal, es decir, pistas, calles de rodaje y plataformas.

Luego, de la tercera etapa se puede concluir que para esta organización (DAP) es importante la condición de los activos, por lo que este atributo (condición) debe tener una mayor preponderancia en la función. Si es que se estuviese evaluando otra agencia, los atributos pudiesen tener otras razones, según los objetivos de la agencia.

De la última etapa sobre la generación de la función de utilidad, se puede concluir que el valor obtenido para el Aeropuerto Carriel Sur de Concepción, en el año 12, fue de 60.52 MM de pesos. Esto quiere decir que el aeropuerto disminuyó desde su  $t = 0$  a su  $t = 12$  en 13.72 MM de pesos debido a deterioros en la condición de sus componentes y a el paso de la vida útil de los mismos. También se puede concluir que aumentos en la condición de los activos generan un mayor valor y viceversa, por lo que se obtienen resultados lógicos y concordantes con la investigación.

Se puede concluir también que si el modelo propuesto es aplicado y se contabiliza año a año las variaciones en el valor se puede generar una mejora en la gestión de los activos. Esto gracias al manejo y conocimiento constante de las posibles disminuciones en el valor, debido a deterioros de la condición o disminución de la vida útil restante. De esta forma se puede monitorear y tomar decisiones sobre qué tipo de proyectos son necesarios según la disminución del valor. También se puede gestionar mejor los presupuestos, asignando eficientemente el presupuesto a proyectos de inversión que generen un mayor valor del activo.

Sobre posibles investigaciones adicionales y como un posible trabajo futuro se puede recomendar una mayor profundización sobre las organizaciones involucradas en la aviación nacional, debido que existen incongruencias entre las organizaciones según lo comunicado respecto a sus funciones. De esta forma se podría acomodar el modelo presentado según las necesidades de cada agencia y valorizar diferentes elementos de la red aeroportuaria. Por otro lado, según la organización seleccionada y sus objetivos, se pudiese agregar también un factor relacionado con el rendimiento de la infraestructura

## Referencias

- Airport Engineering Division AAS-, F. (2014a). *AC 150/5380-7B, Airport Pavement Management Program (PMP), 10/10/2014*.  
[http://www.faa.gov/airports/resources/advisory\\_circulars/](http://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/).
- Airport Engineering Division AAS-, F. (2014b). *AC 150/5380-7B, Airport Pavement Management Program (PMP), 10/10/2014*.  
[http://www.faa.gov/airports/resources/advisory\\_circulars/](http://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/).
- Alyami, Z. (2017). *Asset Valuation: A Performance Measure for Comprehensive Infrastructure Asset Management*. [Tesis de doctorado]. University of Waterloo
- Alyami, Z., Tighe, S.L. (2016, junio). *A methodology for integrating asset valuation in transportation asset management*. En *Resilient infrastructure* (N.º TRA958).
- Alyami, Zaid & Tighe Susan L. (2017, junio). *Multi-attribute utility theory approach to value-based infrastructure asset management*. (N.º CON154)
- CGR. (2015, febrero). *RESOLUCIÓN 16: Normativa del sistema de contabilidad general de la nación*. Ley Chile. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. [www.bcn.cl/leychile](http://www.bcn.cl/leychile).  
Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1075059>
- Coordinación de Concesiones. (2015). *Sistema de Concesiones en Chile*. Ministerio de Obras Públicas. Chile.
- Coordinación de Concesiones de Obras Públicas. (2016). *Concesiones de Obras Públicas en Chile*. Ministerio de Obras Públicas. Chile
- CPA Australia. (2013). *Guide to valuation and depreciation* (2.<sup>a</sup> ed.).
- Dirección General de Aeronáutica Civil. (2005, agosto). *Léxico, Definiciones y acrónimos de la D.G.A.C.*
- Dirección de Aeropuertos. (2021a). *Diagnóstico auscultación de pavimentos aeroportuarios de la red primaria zona centro*. Ministerio de Obras Públicas. Chile
- Dirección de Aeropuertos. (2021b). *Misión*. Ministerio de Obras Públicas. Chile.
- Dirección General de Aeronáutica Civil. (2017a). *Concesiones dgac/mop*. Ministerio de Obras Públicas. Chile
- Dirección General de Aeronáutica Civil. (2017b). *DAN 14 154 Capítulo A Generalidades*. Ministerio de Obras Públicas. Chile
- Dirección General de Concesiones. (2022). *Segunda concesión aeropuerto carriel sur enero*. Ministerio de Obras Públicas. Chile.

- Dojutrek, M., Makwana, P., & Labi, S. (2012). *A Methodology for Highway Asset Valuation in Indiana*. Publication FHWA/IN/JTRP-2012/31. Joint Transportation Research Program. Indiana Department of Transportation and Purdue University. Indiana, Estados Unidos.
- Governmental Accounting Standards Board. (1997). *Basic financial statements and management's discussion and analysis for state and local governments*. Statement N°34 of the Government Accounting Standard Board. No 171-A. Estados Unidos.
- Junta de Aeronáutica Civil. (2020). *Plan Estratégico del Transporte Aéreo*. Chile.
- Kabir, G., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2014). A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10(9), 1176–1210. <https://doi.org/10.1080/15732479.2013.795978>
- Ministerio de Desarrollo Social. (2014). *Metodología de formulación y evaluación de proyectos de infraestructura aeroportuaria*. Chile.
- Ministerio de Obras Públicas. (2006). *Plan de Obras Públicas para el Gran Concepción*. Chile.
- Olea N. (2021). *Definición de umbrales según escala pci para actividades de mantenimiento y rehabilitación en pavimentos aeroportuarios de la red nacional*.
- Organización Internacional de Normalización. (2014). *Gestión de activos-Aspectos generales, principios y terminología*. [www.iso.org](http://www.iso.org)
- Pacific Region Infrastructure Facility. (2020). *Condition Assessment of Public Sector Infrastructure Assets*. [www.theprif.org](http://www.theprif.org)
- Pell, R., Svoboda, R., Eagar, R., Ondko, P., & Kirschnick, F. (2015). *Effective Infrastructure Asset Management A holistic approach to transformation*.
- Porras-Alvarado, J. D., Peters, D., Han, Z., & Zhang, Z. (2015). Novel utility-based methodological framework for valuation of road infrastructure. *Transportation Research Record*, 2529, 37–45. <https://doi.org/10.3141/2529-04>
- Quiroz, J. (2001). *Levantamiento infraestructura Chile*. Ministerio de Obras Públicas. Chile
- Srinivasan, R., & Parlikad, A. K. (2017). An approach to value-based infrastructure asset management. *Infrastructure Asset Management*, 4(3), 87–95. <https://doi.org/10.1680/jinam.17.00003>
- Tala, M. (2013). *Concesiones: Evaluación del sistema y desafíos para mejorar*.
- U.S. Department of Transportation. (2010). *Transportation Asset Management for Long-Term Sustainability, Accountability, and Performance*.
- Weldemicael, E., Author, --Corresponding, Li, S. X., Redd, L., & Redd Engineering, P. E. (2017). *Asset Valuation of Transportation Infrastructure: Proof of Concept in Colorado*.



## Anexo 2: Macrozonas climáticas para el territorio chileno.



Fuente: Olea N, 2021

El color amarillo son los lugares donde hay climas secos y no congelados, el color verde simboliza los lugares húmedos y no congelados, el color naranja es seco congelado y finalmente el azul es húmedo y congelado.

### Anexo 3: Entrevista personal DGAC

Nombre: C.B.

Cargo: Encargado zonal de Programación y Control Presupuesto DGAC.

La entrevista comienza con una introducción por parte de la entrevistadora, acerca del modelo propuesto EDMC, homologado para la infraestructura aeroportuaria. A continuación, se presenta un tipeo de los insights más interesantes obtenidos en la entrevista.

- Por la distribución de responsabilidades ministeriales, el MOP es el que construye con recursos públicos la infraestructura horizontal de los aeropuertos y la DGAC es la encargada de administrarlos. La infraestructura vertical se construye mediante la Ley de Concesiones y, por lo tanto, mediante la Dirección de Concesiones.
- La DGAC eleva el requerimiento de arreglo de alguna falla al MOP, según donde se vea la falla, a la DAP si es en la infraestructura horizontal y a la Dirección de Concesiones si es en la infraestructura vertical.
- La DGAC administra la seguridad operacional de los aeropuertos del país.

## Anexo 4: Entrevista personal DAP

Nombre: J.T.

Cargo: Encargado Departamento de Construcción, perteneciente a las División de Infraestructura de la Dirección de Aeropuertos.

La entrevista comienza con una introducción por parte de la entrevistadora, acerca del modelo propuesto EDMC, homologado para la infraestructura aeroportuaria. A continuación, se presenta un tipeo de los insights más interesantes obtenidos en la entrevista.

- La Contraloría General de la República es la encargada de valorizar los activos del Estado de Chile, mediante las normas NIIC.
- Por un instructivo del Ministerio de Hacienda la DAP está obligada a informar mediante fichas la valorización junto con entregar un historial de valorizaciones en el periodo de operación del activo. Esto deben realizarlo cuando se hacen conservaciones de los activos de infraestructura horizontal.
- Las conservaciones de la DAP están permitidas solo si tienen un valor menor o igual al 30% del valor del activo, en caso de superar ese % la DAP está obligada a realizar proyectos de mejoramiento o normalización.
- La DAP revisa periódicamente el estado de los pavimentos mediante el método PCI, en la red primaria se realiza cada 2 a 3 años.
- La mayor preocupación de la DAP es la conservación de los pavimentos, para cumplir con la seguridad y estándares.

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**RESUMEN MEMORIA DE TÍTULO**

**Departamento** : Departamento de Ingeniería Civil Industrial  
**Carrera** : Ingeniería Civil Industrial  
**Nombre del memorista** : Valentina Monserrat Ferrada Jerez  
**Título de la memoria** : Valoración de infraestructura no vial; aeropuertos concesionados

**Fecha de la presentación oral** : 24 de octubre de 2022  
**Profesor(es) Co-Guía** : Profesor Tomás Echaveguren Navarro  
**Profesor(es) Revisores** : Profesora Marcela Parada Contzen

**Concepto** :  
**Calificación** :

**Resumen**

El objetivo general de la investigación es determinar el valor de una infraestructura aeroportuaria, basado en el método de descomposición elemental multicriterio (EDMC). La metodología seguida para lograr este objetivo fue de cuatro etapas: (1) la identificación de los macro componentes de los aeropuertos, (2) la corroboración de las perspectivas y pesos, (3) la selección de los atributos de las perspectivas y (4) la generación de la función de utilidad del modelo.

Para la obtención de resultados se utiliza como ejemplo el Aeropuerto Carriel Sur, ubicado en la comuna de Talcahuano, donde los cinco componentes identificados son la pista de aterrizaje, las calles de rodaje, la plataforma, el edificio terminal y la accesibilidad al aeropuerto. El valor se obtiene según costos históricos de construcción, la condición (dada por el índice de condición de pavimentos y el índice de condición de activos) y la vida útil restante de cada componente. De esta forma, el valor obtenido para el año 2022 del Aeropuerto Carriel Sur es de \$60,25 miles de millones de pesos.

De la investigación realizada se puede concluir que integrar el valor a la gestión de activos y contabilizar las variaciones en el valor año a año hará que se conozcan las disminuciones en el valor, pudiendo gestionar en un tiempo adecuado las mantenciones u otros futuros proyectos relacionados. Así, se puede gestionar de mejor forma los presupuestos, asignándolo a proyectos que aumenten el valor de la infraestructura aeroportuaria, mientras se mantienen los estándares de servicio de la infraestructura.

