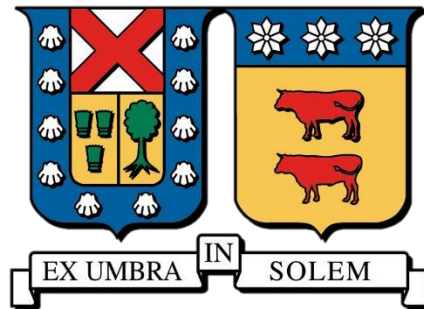


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE AERONÁUTICA
SANTIAGO – CHILE



**ESTUDIO DE CAPACIDAD DE CONTROL AVSEC NACIONAL EN
AEROPUERTO ARTURO MERINO BENÍTEZ**

ALMENDRA JESÚS ORMEÑO SALDÍAS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUÍA:

SR. VÍCTOR C. POBLETE G.

PROFESOR CORREFERENTE:

SR. MARTINUS G. POTTERS .

MAYO 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Estudio de Capacidad de Control AVSEC en Aeropuerto Arturo Merino Benítez

Nombre del candidato(a): Almendra Jesús Ormeño Saldras

Carrera / Grado: Ingeniería en Aviación Comercial

Campus: Vitacura Departamento: Aeronáutica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Víctor Poblete, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.


El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 05/06/2026 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 05-05-2026 Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Dedicatoria

A mi madre Cristina Saldías por darme todo y mucho más para ser lo que soy. A mi padre José Ormeño por apoyarme en cada paso sin dudar nunca. Gracias por el esfuerzo de cada día, amor incondicional y apoyo constante que me permiten soñar en grande.

A mis profesores y profesoras de cada etapa escolar, por sacar lo mejor de mí y enseñarme todo lo necesario para culminar esta etapa satisfactoriamente.

Menciones Especiales

A mis amigas y amigos, Antonia Segura, Francisca Duarte, Sofía Díaz, Darren Orellana, Nicolás Morgado y Reinaldo Herrera, por acompañarme con paciencia y fortaleza en este camino intenso de formación académica.

José Moraga, quien con gran entusiasmo me orientó en el camino correcto para aterrizar y dar los primeros pasos para esta investigación.

Constanza Espinoza, colega DGAC que con gran voluntad, disposición y motivación fue imprescindible para comprender el proceso de esta investigación desde dentro.

Agentes AVSEC DGAC, por permitirme observar su trabajo, responder mis dudas y sus buenos deseos para esta investigación.

Manuel Guerrero, amigos desde antes de aprender a leer, por ayudarme con la simulación de esta investigación.

Pablo Rivera, por facilitarme sin dudar la herramienta para el análisis de esta investigación.

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo abordó un estudio de capacidad del proceso de embarque nacional en el Aeropuerto Arturo Merino Benítez, centrándose en la validación de documentos de acceso a embarque mediante una comparación entre el sistema manual utilizado y la implementación de tecnologías de autoservicio como los e-gates. La investigación utilizó herramientas de simulación para proyectar el comportamiento del flujo de pasajeros hasta el año 2035, lo que reveló que el sistema original poseía una marcada incapacidad que derivaba en un colapso operativo prematuro frente al crecimiento de la demanda. Los resultados demostraron que, mientras el proceso manual, representado por el *Escenario 1*, vio reducida su eficiencia de cumplimiento a niveles críticos hacia el final del periodo evaluado, la implementación de e-gates en el *Escenario 2* permitió triplicar la cantidad de pasajeros atendidos bajo el estándar de 5 minutos de espera. Además, se logró desplazar el punto de saturación hacia horarios de mayor tráfico, garantizando una ventana de servicio óptima durante la hora punta real del terminal. Se determinó que no era factible seguir operando bajo un modelo ambiguo; la transición tecnológica representó la oportunidad definitiva para reorganizar el funcionamiento del proceso y plantear soluciones de mitigación con antelación. Finalmente, se estableció la necesidad de una fiscalización efectiva y un sistema de incentivos que asegurara un estándar mínimo de calidad de forma consistente y sostenible en el largo plazo.

Abstract

This study addressed a capacity analysis of the domestic boarding process at Arturo Merino Benítez Airport, focusing on the validation of boarding access documents by comparing the current manual system with the implementation of self-service technologies such as e-gates. The research utilized simulation tools to project passenger flow behavior up to the year 2035, revealing that the original system possessed a marked lack of scalability that led to premature operational collapse in the face of demand growth. The results demonstrated that, while the manual process—represented by Scenario 1—saw its compliance efficiency reduced to critical levels toward the end of the evaluated period, the implementation of e-gates in Scenario 2 allowed for tripling the number of passengers served under the 5-minute wait time standard. Furthermore, it was possible to shift the saturation point toward higher traffic periods, guaranteeing an optimal service window during the terminal's actual peak hours. It was determined that continuing to operate under an ambiguous model was not feasible; the technological transition represented the definitive opportunity to reorganize the process and propose mitigation solutions in advance. Finally, the study established the need for effective oversight and an incentive system to ensure a minimum quality standard in a consistent and sustainable manner over the long term.

Conceptos clave

- *Parte Aeronáutica*: el área de movimiento de un aeródromo y de los terrenos y edificios adyacentes o las partes de los mismos cuyo acceso está controlado.
- *Actos de Interferencia Ilícita*: actos o tentativas destinados a comprometer la seguridad de la aviación civil.
- *AVSEC: Aviation Security*, conjunto de medidas y recursos para prevenir y reprimir todos los actos de interferencia ilícita contra la aviación civil.
- *Control de acceso*: medidas implementadas por la DGAC y los operadores aeroportuarios para evitar el ingreso de personas no autorizadas a las áreas restringidas o seguras de los aeródromos.
- *Biomertía*: proceso mediante el cual un sistema captura características físicas únicas de un individuo para confirmar su identidad.

Índice

Contenido

Resumen Ejecutivo	2
Abstract.....	3
Conceptos clave	4
Índice	5
Introducción.....	10
CAPÍTULO I: Antecedentes generales.....	12
1.1 Justificación	12
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo general	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 Metodología	15
1.4 Alcance	17
CAPÍTULO II: Estado del Arte	18
2.1 Antecedentes	18
2.1.1 Security en Aviación.....	18
2.1.2 Caso Aeropuerto Salt Lake City	18
2.1.3 Normativa Internacional y Chilena	20
2.1.4 Recomendaciones adicionales	23
2.1.5 Proceso de ingreso a embarque	24
2.1.6 Nivel de Servicio IATA	28
2.2 Marco Teórico	31
2.2.1 Gestión del riesgo AVSEC	31
2.2.2 Aeropuertos con automatización de embarque.....	34

2.2.3 Técnicas de simulación	35
2.2.4 Teoría de Colas	36
2.2.5 Función Lognormal	37
2.2.6 Función Normal.....	38
2.2.7 Función Exponencial	38
2.2.8 Biometría en procesos	38
2.2.9 Software de simulación	39
2.3 Propuesta Metodológica.....	40
CAPÍTULO III: Desarrollo	42
3.1 Toma de Datos.....	42
3.1.2 Uso de la función lognormal	44
3.3 Simulación	45
3.3.1 Llegada de pasajeros	45
3.3.2 Escenario 1	45
3.3.3 Escenario 2	48
3.3.4 Proyección Pasajeros	49
3.4 Estimación costo hardware.....	49
3.5 Resultados	50
3.5.1 Resultados Escenario 1	50
3.5.2 Resultados Proyección Escenario 1	50
3.5.3 Resultados Escenario 2.....	51
3.5.4 Resultados Proyección Escenario 2.....	52
3.5.5 Análisis y comparación de resultados	52
3.6 Propuesta de mejora de ingreso Embarque Nacional.....	54
3.7 Consideraciones y puntos de mejora del proceso	56

Conclusión y recomendaciones	58
Bibliografía.....	60
Anexos.....	64
Anexo A:.....	64
Anexo B:.....	65
Anexo C.1.....	65
Anexo C.2:.....	65
Anexo C.3:.....	66
Anexo C.4:.....	66
Anexo C.5:.....	67
Anexo C.6:.....	67
Anexo C.7:.....	68
Anexo C.8:.....	68
Anexo C.9:.....	69
Anexo C.10:.....	69
Anexo C.11:.....	70
Anexo D.1:	70
Anexo D.2:	71
Anexo D.3:	71
Anexo D.4:	72
Anexo D.5:	72
Anexo D.6:	73
Anexo D.7:	73
Anexo D.8:	74
Anexo D.9:	74

Anexo D.10:	75
Anexo D.11:	75

Índice de Gráficos

Gráfico 1.1: <i>Pasajeros en la 30va hora punta de 2021-2025</i>	10
Gráfico 2.1: <i>Promedio de pasajeros domésticos transportados entre 2021 y 2025</i>	28
Gráfico 2.2: <i>Uso de la biometría para la seguridad de datos</i>	31
Gráfico 3.1: <i>Ajuste normal para A (tiempo de espera en fila)</i>	42
Gráfico 3.2: <i>Ajuste lognormal para A (tiempo de control AVSEC)</i>	43
Gráfico 3.3: <i>Ajuste normal para B (tiempo de espera en fila)</i>	43
Gráfico 3.4: <i>Ajuste lognormal para B (tiempo de control AVSEC)</i>	43
Gráfico 3.5: <i>Evolución pasajeros en fila Escenario 1 en 2025</i>	50
Gráfico 3.6: <i>Evolución pasajeros en fila Escenario 2 en 2025</i>	51
Gráfico 3.7: <i>Comparación de capacidad de Escenarios</i>	54

Índice de Figuras

Figura 1.1: <i>Metodología para el caso de estudio</i>	16
Figura 2.1: <i>Diagrama Ishikawa caso A</i>	19
Figura 2.2: <i>Diagrama de flujo proceso ingreso a embarque</i>	25
Figura 2.3: <i>Layout control AVSEC</i>	26
Figura 2.4: <i>Diagrama 6M</i>	27
Figura 2.5: <i>Propuesta metodológica para la problemática</i>	41

<i>Figura 3.1: Escenario 1 SIMIO®</i>	47
<i>Figura 3.2: Escenario 2 SIMIO®</i>	49
<i>Figura 3.1: Layout control AVSEC Escenario 2</i>	55

Índice de Tablas

<i>Tabla 2.1: Distribución AVSEC en Chile</i>	22
<i>Tabla 2.2: Preocupaciones sobre el uso de la biometría</i>	30
<i>Tabla 3.1: Cantidad de pasajeros por hora TI AMB</i>	46
<i>Tabla 3.2: Cantidad de pasajeros fuera del Nivel C Escenario 1</i>	51
<i>Tabla 3.3: Cantidad de pasajeros fuera del Nivel C Escenario 2</i>	52
<i>Tabla 3.4: Comparación capacidad del proceso</i>	53
<i>Tabla 3.5: Comparación de resultados escenarios</i>	55

Índice de Ecuaciones

<i>Ecuación 2.1: Cantidad de e-gates</i>	23
<i>Ecuación 2.2: Probabilidad que no exista ningún pasajero en la fila o siendo procesado</i>	36
<i>Ecuación 2.3: Cantidad de pasajeros promedio en fila</i>	37
<i>Ecuación 2.4: Tiempo promedio del pasajero en fila</i>	37
<i>Ecuación 2.5: Tiempo total en el sistema</i>	37
<i>Ecuación 2.6: Número promedio de pasajeros en el sistema</i>	37
<i>Ecuación 2.7: Función lognormal</i>	37
<i>Ecuación 3.1: Función lognormal para tiempo A</i>	44
<i>Ecuación 3.2: Función lognormal para tiempo B</i>	44

Introducción

El Aeropuerto Arturo Merino Benítez (AMB) comienza su historia en 1965 con un estudio para determinar la mejor ubicación para un nuevo terminal aéreo de Santiago en reemplazo al aeropuerto de Cerillos que ya no satisfacía los requerimientos de infraestructura para continuar las operaciones de ese entonces. (DGAC, 2023)

Así, en 1967 se inaugura AMB. Tras veinte años de operación y crecimiento, el terminal alcanzó un nuevo límite de capacidad, por lo que se construyó uno nuevo destinado a vuelos internacionales, inaugurado en 1994, con 25.000 m² de superficie y apto para transportar 4 millones de pasajeros anuales. Con el paso del tiempo y tras un crecimiento en las operaciones aéreas, en 1999 se inaugura una nueva ampliación para ofrecer una capacidad de 16 millones de pasajeros anuales. (DGAC, 2023)

Finalmente, en 2015 Nuevo Pudahuel se adjudicó la concesión del aeropuerto e inauguró en 2022 un nuevo terminal de pasajeros para vuelos internacionales (T2), estableciendo el terminal antiguo (T1) para vuelos nacionales ofreciendo una capacidad total de 30 millones de pasajeros anuales. El terminal nacional cuenta con 114.000 m² y capacidad para 20 millones de pasajeros anuales y un embarque de pasajeros ubicado en el tercer piso del edificio además de un acceso secundario exclusivo para funcionarios del aeropuerto y tripulación. (Nuevo Pudahuel, 2024)

Un indicador relevante para este estudio es la hora punta, que indica la cantidad de pasajeros que utilizan las instalaciones en la hora de mayor demanda de la terminal y sirve para dimensionar adecuadamente las instalaciones de esta. Para AMB se utiliza la hora punta 30 (PHP30) que corresponde la 30^o hora de mayor congestión de pasajeros durante un año.

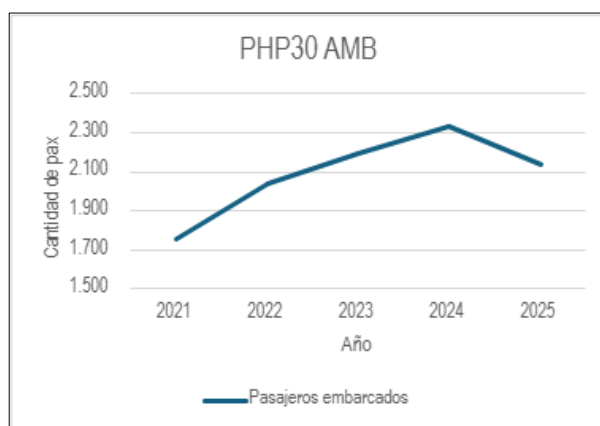


Gráfico 1.1: Pasajeros en la 30^{va} hora punta de 2021-2025.

Fuente: elaboración propia.

El proceso de ingreso a embarque nacional consiste en que el pasajero, una vez completado su check in, se dirige al control AVSEC (*Aviation Security*), donde presenta a personal AVSEC su identificación, como cédula de identidad o pasaporte y ticket de embarque del vuelo a embarcar, los cuales son revisados visualmente por el personal mencionado, quienes pertenecen a la Dirección General de Aeronáutica Civil, máxima autoridad aeronáutica de Chile. Posteriormente, el pasajero se somete a un control de seguridad aeroportuaria AVSEC, que comprende la revisión del equipaje de mano a través de sistemas de Rayos X y el paso por pórticos detectores de metales. Finalizado exitosamente lo anterior, de acuerdo con las regulaciones establecidas por DGAC, el pasajero recoge sus pertenencias y ya se encuentra en zona aeronáutica, en donde está la puerta de embarque correspondiente a su vuelo. (Dirección de Aeropuertos, Ministerio de Obras Públicas, 2011)

IATA (Asociación Internacional de Transporte Aéreo) establece recomendaciones para determinar el nivel de servicio (LoS), una herramienta de planificación aeroportuaria que ayuda a diseñar y expandir las terminales, así como a monitorear la capacidad de las instalaciones existentes. Esta herramienta se utiliza para mejorar la experiencia de los pasajeros en las terminales, optimizando los recursos y procesos. (IATA, s.f)

El nivel de servicio de AMB es C (bueno), con flujos estables, demoras aceptables y confort bueno. (DAP, MOP, 2001). Sin embargo, considerando las estimaciones de aumentos de pasajeros de 11,9%, este nivel de servicio podría verse afectado al acercarse cada año al límite de capacidad de la infraestructura. (Nuevo Pudahuel, 2024)

De lo anterior nace la necesidad de optimizar los recursos ya existentes, como metros cuadrados disponibles y personal AVSEC, para aumentar la capacidad sin la necesidad de grandes inversiones en construcción de infraestructura.

El siguiente trabajo busca proponer una mejora del proceso de ingreso a embarque nacional en AMB, a través de una estimación mediante simulación de escenarios para la automatización de la revisión de identificación y ticket de embarque en el control de seguridad aeroportuaria a través del uso de e-gates, con el fin de mantener el nivel de servicio establecido del aeropuerto a medida que el flujo de pasajeros anual se acerca al límite de capacidad de infraestructura.

CAPÍTULO I: Antecedentes generales

1.1 Justificación

Según estimaciones de la IATA, se espera que el número de pasajeros mundiales alcance los 5.200 millones en 2026, lo que significa un aumento del 4,4% en comparación con 2025 y la primera vez que el número de pasajeros supera la marca de los cinco mil millones y el número de vuelos alcanzará los 40 millones. (IATA, 2025)

Chile no se queda fuera de este panorama, el tráfico internacional y nacional alcanzó un total de 27 millones de pasajeros durante 2025, de los cuales 16,1 millones corresponde al tráfico doméstico. (JAC, 2025)

La calidad del servicio, diseño y funcionalidad de las terminales aeroportuarias contribuye a la impresión de un pasajero sobre el país de ese aeropuerto, dado que a menudo sirve como el primer y último punto de contacto para los viajeros que visitan un país. Un aeropuerto bien diseñado, eficiente y centrado en el cliente puede crear una primera y una última impresión positiva, lo que refleja bien en el país en sí. Por el contrario, un aeropuerto mal diseñado o ineficiente puede generar frustración y una percepción negativa. (Giraldo-Velásquez, 2017)

El Anexo 9 'Facilitación' de la OACI establece las recomendaciones y la guía para agilizar los procedimientos en tierra para la atención de aeronaves, pasajeros, carga y correo. Entrega un marco de referencia para administradores de operaciones aeroportuarias, describiendo obligaciones de la industria e instalaciones mínimas que deben proporcionar los Estados. Además, especifica los métodos y procedimientos para llevar a cabo las operaciones de despacho de manera que se cumpla con las leyes de los Estados, a la vez que se maximiza la productividad de los operadores de transporte aéreo, los aeropuertos y los organismos gubernamentales de inspección involucrados.

Entre las recomendaciones relevantes para este estudio se consideran:

Recomendación 3.17: Las autoridades públicas deberían cooperar con los explotadores de aeropuertos y las líneas aéreas para asegurar que se disponga de instalaciones y servicios adecuados para satisfacer las necesidades de los pasajeros, las tripulaciones, las aeronaves, la carga y el correo, y para facilitar el despacho eficiente de los mismos. (OACI, 2017)

Recomendación 4.6: Las autoridades públicas deberían considerar la posibilidad de utilizar tecnología que facilite el despacho de los pasajeros y el control de los documentos

de viaje, como la lectura electrónica de documentos, los quioscos de facturación automática y los sistemas de embarque automático. (OACI, 2017)

El nivel de servicio se define por el Manual de Desarrollo Aeroportuario (MDA) como un rango de valores con que se evalúa la capacidad de suministro para satisfacer la demanda. Permite la comparación entre varios sistemas y subsistemas del aeropuerto, además refleja la dinámica de la demanda en la infraestructura. "(DAP, MOP, 2011) El tiempo máximo de espera en fila para el proceso de control AVSEC es de 0 a 3 minutos para Corto a Aceptable y de 3 a 7 minutos para Aceptable a Largo según el MDA, mientras que el tiempo de control AVSEC es en promedio 30 segundos según la Junta de Aeronáutica Civil y Dirección de Aeropuertos. (JAC, DAP, 2024)

Un indicador relevante para este estudio es la hora punta, que indica la cantidad de pasajeros que utilizan las instalaciones en la hora de mayor demanda de la terminal y sirve para dimensionar adecuadamente las instalaciones de esta, evitando sobredimensionamientos y asegurando que la infraestructura pueda manejar los flujos de pasajeros eficientemente en momentos de mayor demanda, identificando los momentos en el día en que el pasajero experimentan mayores o menores tiempos de espera lo que ayuda a determinar los intervalos de tiempo en los que el servicio es más eficiente, es decir, cuando ha menos congestión y los tiempos de espera son más cortos, proporcionando información relevante para mejorar la experiencia del usuario. (DAP, MOP, 2011)

Para AMB se utiliza la hora punta 30 (PHP30) que corresponde la 30° hora de mayor congestión de pasajeros durante un año. (DAP, MOP, 201) Para el terminal nacional se tiene 1.752 pasajeros para 2021, 2.040 para 2022, 2.194 para 2023 y 2.335 para 2024 según datos de tráfico de pasajeros obtenidos de la Junta de Aeronáutica Civil. (JAC, 2024)

En marzo de 2025 se registró un aumento total de pasajeros del 9,1% respecto de marzo de 2024 en AMB (Gustavo Roe, 2025), lo que junto con el panorama mundial donde se espera que el número de pasajeros mundiales alcance los 5.200 millones en 2026 (IATA, 2025), se infiere que, con el crecimiento esperado, la terminal nacional alcance un límite de infraestructura aumentando los tiempos de espera y ralentizando el flujo de pasajeros en los distintos procesos del aeropuerto, como llegada a la terminal, check in, control de AVSEC, entre otros cuellos de botella, lo que implica la necesidad de evaluar medidas que favorezcan el flujo, mantenido el nivel C de servicio y prevenir consecuencias en la experiencia del pasajero como menos tiempo disponible para uso de instalaciones

comerciales como restaurantes, tiendas comerciales y salones VIP, atrasos en presentarse al vuelo a pesar de llegar al aeropuerto con la antelación recomendada, entre otras consecuencias. Asimismo, considerando que Nuevo Pudahuel a la fecha de diciembre de 2024 no descarta la ‘habilitación de un segundo punto de acceso para agilizar la circulación de pasajeros en la zona de embarques domésticos debido a la percepción negativa del pasajero debido a largos tiempos de espera se hace necesario implementar medidas que incorporen automatización para optimizar la infraestructura y espacio existente. (Pizarro, C, Emol, 2024) (Aviacionline, 2024)

Junto con lo anterior, se tiene que el alza en el tráfico de pasajeros ha provocado largas filas de espera, en donde no se cumple con el estándar de nivel de servicio y la percepción del pasajero es negativa respecto al proceso, tal como ocurrió en diciembre de 2024, en donde transitaron más de un millón de viajeros, lo que contribuyó a sobrepasar la marca de 26 millones, el flujo más alto de su historia. Actualmente, el promedio mensual es de 2,1 millones de pasajeros, aunque en noviembre de 2024 esa cifra escaló a 2.875.703, con 1.513.656 pasajeros nacionales. (La Tercera, 2024) Lo anterior evidencia que la capacidad de procesamiento de pasajeros se relaciona no solo con los tiempos de espera de atención, sino que también con el nivel de servicio y percepción del pasajero sobre este.

Skytrax World Airport Star Rating es el sistema de clasificación global más reconocido en la industria aérea, que evalúa la calidad de productos y servicios de un aeropuerto mediante una escala de 1 a 5 estrellas. A diferencia de los premios por votación, el Rating se basa en una auditoría profesional directa realizada por analistas de Skytrax, quienes evalúan entre 500 y 800 ítems en más de 30 puntos de contacto, desde la web y señalética hasta procesos críticos como seguridad, inmigración y flujo de pasajeros. Según los estándares de auditoría de Skytrax (2025), la obtención de la máxima calificación de cinco estrellas está condicionada a la consistencia técnica en el flujo de pasajeros. Específicamente, se exige que los procesos de control y embarque minimicen la intervención manual mediante el uso de tecnologías de autoservicio y biometría (e-gates), garantizando una experiencia de tránsito eficiente y sin fricciones (Skytrax Ratings, 2025).

En concreto, respecto del proceso en estudio se tiene el ranking a ‘Los mejores controles de seguridad aeroportuaria del mundo en 2026’, del cual los primeros 3 lugares son los aeropuertos de Hong Kong, Centrair Nagoya y London Heathrow respectivamente. Chile no figura en este ranking.

En consecuencia, una propuesta de diseño de embarque nacional en el Aeropuerto Arturo Benítez funcionaría como una posible contribución a la mejora en el nivel de servicio del proceso, considerando las proyecciones de aumento de flujo de pasajeros.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Proponer una mejora al proceso de ingreso a embarque nacional mediante la estimación con simulación de escenarios y evaluar el impacto de la incorporación de tecnología en el control de documentos para cumplir con el estándar de nivel de servicio asociada a la PHP30.

1.2.2 Objetivos específicos

- Revisión literaria de aeropuertos que hayan implementado tecnología de automatización en el proceso de embarque para conocer buenas prácticas.
- Analizar el flujo de pasajeros, PHP30 y tiempos de espera en el punto de acceso a la zona de embarque nacional del Aeropuerto Arturo Merino Benítez.
- Proponer una mejora proceso con la incorporación de tecnología y recursos para su implementación, como personal en turno, máquinas rayos X y pórticos detectores de metales, e-gates, entre otros.
- Comparar el impacto potencial de la implementación de uso de recursos individuales o combinados en el acceso a embarque nacional y sus implicancias en el nivel de servicio, tiempo de espera y capacidad, abordar falencias y puntos de mejora del proceso.

1.3 Metodología

La metodología de este trabajo comienza con una investigación y recopilación de información exhaustiva, centrada en la revisión literaria de aeropuertos que han implementado tecnología de automatización en el proceso de embarque. Esta fase comprende la búsqueda de papers y libros relevantes, así como el análisis de memorias anteriores en el repositorio USM y datos provenientes de entidades clave como Nuevo Pudahuel, DGAC, IATA y OACI. Posteriormente, se procede al análisis de la información recolectada para caracterizar el flujo de pasajeros, la PHP30 y los tiempos de espera en el acceso a la zona de embarque nacional del Aeropuerto Arturo Merino Benítez.

A continuación, se abordará la construcción de la propuesta de mejora del proceso, detallando la incorporación de tecnología y recursos como e-gates, personal en turno y equipos de seguridad. Mediante el uso de herramientas de simulación, se estima el comportamiento del proceso para comparar el impacto potencial de los recursos individuales o combinados en el nivel de servicio y la capacidad. Finalmente, se analizarán los resultados para abordar las falencias y puntos de mejora del proceso, formulando las recomendaciones pertinentes para la posible implementación de la propuesta.

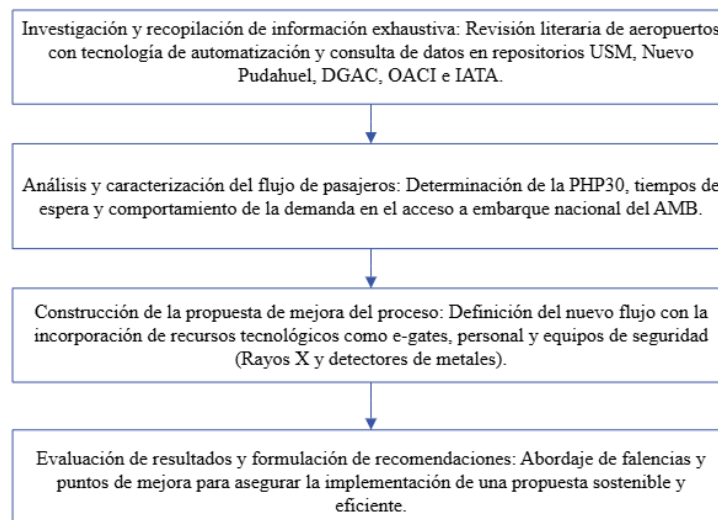


Figura 1.1: Metodología para el caso de estudio. Fuente: elaboración propia.

1.4 Alcance

Este trabajo tiene un alcance descriptivo, en donde caracterizará el flujo de pasajeros, hora punta y tiempos de proceso de control AVSEC para el ingreso a embarque nacional del Aeropuerto Arturo Merino Benítez entre 2021 y 2025, identificando cuellos de botella y cuantificando tiempos de espera.

Además, el alcance del estudio será correlacional y explicativo, ya que se analizará el impacto potencial una mejora del proceso de ingreso a embarque. Este contemplará la integración de tecnologías de automatización, así como la gestión y operación de personal y máquinas AVSEC, examinando la influencia de estos elementos, ya sea de forma independiente o combinada, sobre el flujo de pasajeros en el control de documentos de ingreso a embarque nacional. Se establecerán correlaciones directas entre estas variables de intervención y su incidencia en la configuración general del proceso de embarque, la reducción de los tiempos de espera, PHP30 y el nivel de servicio del aeropuerto. Dicho análisis se aplicará al terminal nacional de AMB, para hacer una comparación proyectando el flujo de pasajeros hasta el límite de capacidad.

CAPÍTULO II: Estado del Arte

2.1 Antecedentes

2.1.1 Security en Aviación

La industria del transporte aéreo promueve el crecimiento económico mundial y es un factor clave para el progreso y el desarrollo en muchos Estados, mejorando la conectividad en los vínculos comerciales, turísticos, políticos y culturales entre estos. En Chile, la industria del transporte aéreo contribuye 7.900 millones de pesos al Producto Interno Bruto (PIB) lo que corresponde al 2.3% y genera 211.000 empleos, considerando la cadena de suministro, gasto de empleados y turismo vinculado. (Luis Lautaro, 2026) Considerando que se prevé un aumento significativo del tráfico aéreo en el futuro, se necesita un marco de planificación a nivel internacional, regional y nacional para gestionar el crecimiento de forma segura y eficiente.

Respecto al control de ingreso al lado aire, se tienen casos que evidencian la importancia de contar con procesos confiables que velen por la seguridad.

2.1.2 Caso Aeropuerto Salt Lake City

Un hombre identificado como Wicliff Yves Fleurizard, residente de Texas, fue arrestado tras lograr abordar un vuelo de Delta Air Lines en Salt Lake City con destino a Austin, Texas, utilizando un pase de abordar falso. El incidente se ocurrió cuando Fleurizard, quien previamente había fotografiado los pases de abordar de otros pasajeros, utilizó la imagen en su teléfono para simular su credencial de embarque. Una vez a bordo, abrió la puerta de un compartimento de equipos de emergencia y, posteriormente, intentó ocupar un asiento ya asignado a otra pasajera legítima. Fue la vigilancia de una tripulante de cabina, al verificar la ocupación del asiento 21F y confirmar que el nombre de Fleurizard no aparecía en los registros del vuelo, lo que llevó al descubrimiento de la infracción y su posterior arresto. Se reveló que el individuo poseía un pase de "compañero" de Southwest Airlines, pero sus vuelos previos habían estado llenos.

Consecuencias:

La Fiscalía de Estados Unidos para el Distrito de Utah presentó cargos federales contra Wicliff Yves Fleurizard por lo que fue acusado formalmente de un delito federal: "Acceso fraudulento a un área de aeronave restringida" (un cargo que suele aplicarse a personas que evaden los puntos de control de seguridad, pero que aquí se utilizó por abordar con un pase falso), lo cual tuvo como resultado su arresto y procesamiento penal. Si bien la

acción no es una mera de procedimiento, cuenta como acción disuasoria directa que sienta un precedente legal. La justicia actuó para establecer que este tipo de fraude es un delito grave.

Asimismo, si bien Delta no emitió un comunicado público detallando cambios, es una práctica estándar de la industria y un requisito regulatorio que, tras un fallo de seguridad, la aerolínea realice una investigación interna obligatoria y presente un reporte a la Administración de Seguridad en el Transporte (TSA). Además, es altamente probable que haya emitido una directiva operativa interna (OPS Bulletin o similar) a todos sus agentes de puerta y tripulaciones sobre el escaneo obligatorio de todos los pases de abordar (digitales o en papel) en la puerta de embarque, sin excepciones.

Por otra parte, Southwest Airlines revocó de inmediato los privilegios de viaje de Fleurizard. (The Associated Press, 2024) (U.S. Attorney's Office, District of Utah., 2025) Para un análisis más detallado de las causas raíz de este incidente, el siguiente diagrama de Ishikawa desglosa los factores contribuyentes que llevaron al arresto de Wicliff Yves Fleurizard.

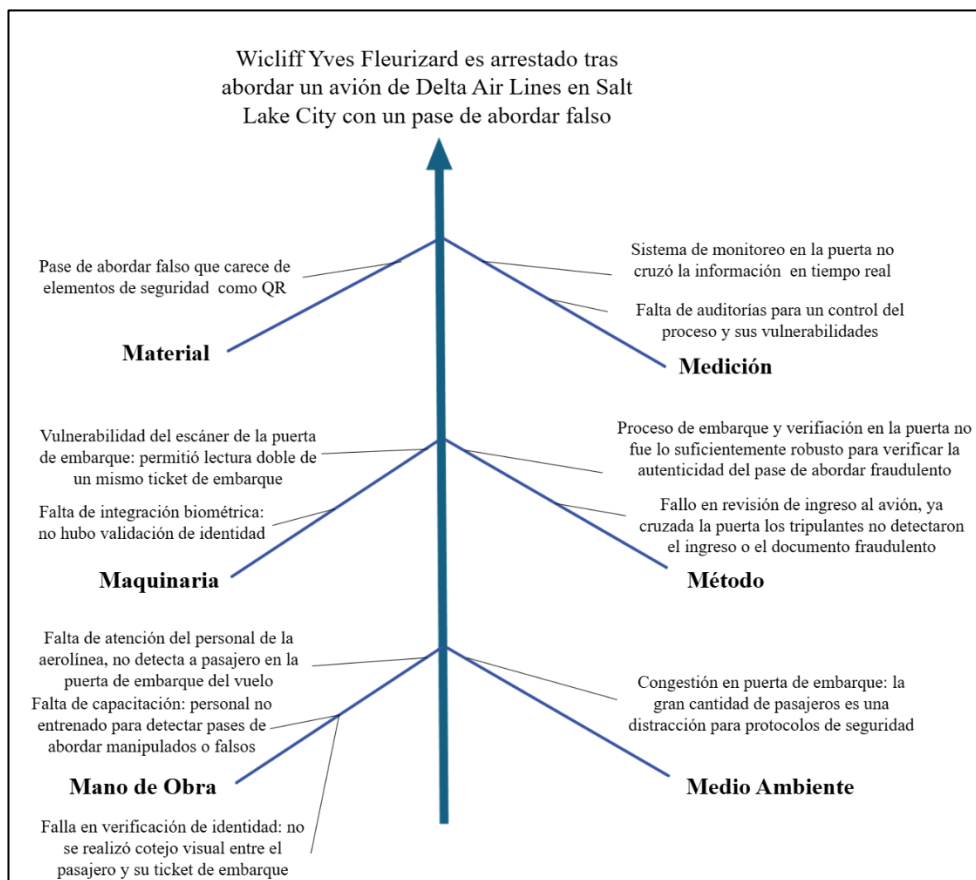


Figura 2.1: Diagrama Ishikawa Caso Aeropuerto Salt Lake City.

Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver, el Security en Aviación se basa en tres pilares fundamentales: personas, procesos y herramientas. (European Civil Aviation Conference, 2022, p. 5)

Los incidentes de seguridad tienen un impacto evidente en los viajeros, especialmente cuando provocan lesiones y la muerte, pero también al afectar la confianza en los viajes aéreos y perturbar los viajes y el comercio. Al garantizar la seguridad del sistema de aviación, los Estados contribuyen a generar confianza pública en su sistema y proporcionan una base sólida para el comercio y el turismo a nivel mundial. (IATA, 2017)

2.1.3 Normativa Internacional y Chilena

A) Organización de Aviación Civil Internacional

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) es un organismo de las Naciones Unidas que ayuda a 193 países a cooperar entre sí y a compartir sus cielos en beneficio mutuo. (OACI, s.f) Establece prácticas para todas las áreas de la aviación internacional con el objetivo de estandarizar y facilitar las operaciones en el espacio aéreo de los Estados soberanos. (Airports Council International, 2020)

La función legislativa más importante de la OACI es la formulación y adopción de normas y métodos recomendados (SARPS) para la aviación civil internacional. Estos se incorporan a los 19 anexos técnicos del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, también conocido como el Convenio de Chicago. (OACI, s.f)

2.1.3.B Anexo 17

Las medidas adoptadas por la OACI para prevenir y reprimir todos los actos de interferencia ilícita contra la aviación civil en todo el mundo son de vital importancia para el futuro de la aviación civil y para la comunidad internacional en general. Las SARP para la seguridad de la aviación internacional fueron adoptadas por primera vez por el Consejo de la OACI en marzo de 1974 y designadas como Anexo 17 del Convenio de Chicago. (OACI, s.f)

El propósito y la función principal del Anexo 17 es salvaguardar la aviación civil internacional contra actos de interferencia ilícita. Establece las normas y métodos recomendados (SARPs) necesarios para asegurar la protección de los pasajeros, tripulaciones, personal de tierra, público en general, aeronaves e instalaciones aeroportuarias frente a amenazas de seguridad. Su objetivo es proporcionar un marco global que ayude a los Estados miembros a implementar medidas uniformes de seguridad

aérea, contribuyendo así a la protección del sistema de transporte aéreo en todo el mundo (OACI, 2022).

La OACI lleva a cabo auditorías periódicas a través de programas como el Programa Universal de Auditorías de la Seguridad (USAP), para monitorear la implementación efectiva de estas SARPs por parte de los Estados. Complementariamente, proporciona material de orientación y programas de capacitación para asistir a los Estados en el desarrollo de sus capacidades de seguridad y fomenta activamente la cooperación internacional y el intercambio de información entre las naciones para abordar las amenazas emergentes y fortalecer la resiliencia global de la aviación. (OACI, 2022). (USAP, s.f)

2.1.3.C Dirección General de Aeronáutica Civil

La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), tiene como función 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, meteorología, aeroportuarios y seguridad operacional, con el propósito de permitir una actividad aérea segura, eficiente y sustentable, contribuyendo al desarrollo nacional. La Dirección General de Aeronáutica Civil establece las normas, disposiciones, métodos y procedimientos técnicos necesarios con el propósito de: a) proteger la seguridad de los pasajeros, la tripulación, el personal de tierra y el público en general en todos los asuntos relacionados con la salvaguardia de la aviación civil frente a actos de interferencia ilícita; y b) permitir dar una respuesta rápida a cualquier amenaza creciente a la seguridad.

(DGAC, 2022)

AVSEC (Aviation Security) es la especialidad encargada de prevenir actos de interferencia ilícita que puedan atentar contra la seguridad de las operaciones aéreas, pasajeros, tripulaciones y la infraestructura aeroportuaria, entre las cuales se destacan funciones de: 1) Control de Seguridad: revisión exhaustiva de pasajeros, equipaje de mano y facturado, 2) Control de Acceso: vigilancia de los ingresos y circulación de personas y vehículos a las zonas restringidas de los aeropuertos, 3) Fiscalización: inspección del transporte de mercancías peligrosas y verificación de la documentación requerida y 4) Seguridad Perimetral: vigilancia de recintos aeronáuticos y fiscalización de servicios de seguridad privada que operan en ellos.

Para el periodo de gestión 2024, la DGAC contó con una dotación institucional total de 5.315 funcionarios. De este total, el personal especializado AVSEC representa uno de los

estamentos operativos más grandes, distribuidos en unidades a lo largo de todo el país, de la siguiente manera:

Zona	Principales Aeropuertos / Aeródromos
Norte	Chacalluta (Arica), Diego Aracena (Iquique), Andrés Sabella (Antofagasta), El Loa (Calama), Desierto de Atacama (Caldera).
Centro	Arturo Merino Benítez (Santiago) , Eulogio Sánchez (Tobalaba), La Florida (La Serena), Mataverí (Isla de Pascua).
Sur	Carriel Sur (Concepción), La Araucanía (Temuco), Pichoy (Valdivia), Cañal Bajo (Osorno), El Tepual (Puerto Montt).
Extremo Sur	Carlos Ibáñez del Campo (Punta Arenas), Guardiamarina Zañartu (Puerto Williams), Teniente Marsh (Antártica).

Tabla 2.1: Distribución AVSEC en Chile. Fuente: elaboración propia.

Según la cuenta pública 2025 de la gestión 2024, el presupuesto total de la DGAC para el año fue de M\$ 290.015.288 (aproximadamente 290 mil millones de pesos chilenos) y se alcanzó un nivel de cumplimiento del 99,88% del presupuesto asignado. (DGAC, 2025)

2.1.3.D DAN 17

Las disposiciones establecidas en la presente Norma tienen como objetivo primordial la seguridad de los pasajeros, las tripulaciones, el personal en tierra y el público en general, en todos los asuntos relacionados con la protección contra los actos de interferencia ilícita en la aviación civil.

Las normas contenidas en la presente Norma son aplicables, dentro del territorio o en el espacio aéreo chileno, a las operaciones de la aviación civil internacional. Asimismo, estas normas podrán ser aplicables, a las operaciones de la aviación civil nacional, según sea el resultado de la evaluación de riesgos de seguridad que efectúe la Dirección General de Aeronáutica Civil.

Los controles y procedimientos de seguridad deberán causar un mínimo de interferencia o demoras en las actividades de la aviación civil, siempre que no se comprometa la eficacia de esos controles y procedimientos. (DGAC, 2022)

2.1.4 Recomendaciones adicionales

El Manual de Referencia para el Desarrollo Aeroportuario (ADRM) de la IATA proporciona orientación para el desarrollo de una infraestructura aeroportuaria que equilibre la capacidad con la demanda y satisfaga eficientemente los requisitos de los usuarios, al tiempo que se mantiene al día con la evolución de la tecnología. (IATA, s.f) Este manual indica en la sección 3.3.5.4 Control de la Tarjeta de Embarque (Control de Acceso a Áreas Seguras) que los operadores aeroportuarios y de aeronaves tienen la responsabilidad de cumplir con ciertos requisitos de seguridad relacionados con el control de acceso. Entre estos requisitos se encuentra la responsabilidad de impedir el acceso de personas no autorizadas a áreas seguras definidas del aeropuerto. Además, los planificadores deberán considerar el número adecuado de puntos de acceso/puertas automatizadas y el espacio necesario para ellas. Dependiendo del flujo de pasajeros, los aeropuertos pueden considerar una solución combinada, de modo que las puertas se utilicen para la mayoría de los pasajeros, con tecnología portátil para gestionar las pequeñas horas punta. Se deberán analizar diversas opciones durante el proceso de planificación, teniendo en cuenta el flujo de pasajeros actual y futuro. (IATA, 2022) De la misma manera, menciona el uso de e-gates, en donde indica el cálculo a realizar para determinar la cantidad de puertas de acceso para tarjetas de embarque:

En donde

- BP (Boarding Pass Access Gates): número total de puertas de acceso para tarjetas de embarque
- PHP30: a la demanda medida en treintava hora punta correspondiente para AMB
- PT (Process Time): tiempo de procesamiento por pasajero en las puertas de acceso para tarjetas de embarque, en segundos
- Δt : período peak de diseño
- MQT: tiempo máximo de espera en minutos

$$BP = \frac{PHP30 * \frac{PT}{60}}{\Delta t + MQT}$$

Ecuación 2.1: Cantidad de e-gates.

En donde BP (Boarding Pass Access Gates) corresponde al número total de puertas de acceso para tarjetas de embarque, PHP30 a la demanda medida en treintava hora punta correspondiente para AMB; PT (Process Time) como Tiempo de procesamiento por

pasajero en las puertas de acceso para tarjetas de embarque, en segundos, Δt a período peak de diseño y MQT como tiempo máximo de espera en minutos.

2.1.5 Proceso de ingreso a embarque

El proceso de ingreso a embarque se define de la siguiente manera: inicia con la llegada de un pasajero a una terminal, comenzando por la verificación de si posee un ticket de embarque y si va a chequear equipaje. Dependiendo de estas respuestas, el pasajero es dirigido a un mesón de check-in, un quiosco o auto-entrega de Equipaje (Self Bag Drop o SBD), o directamente al control AVSEC. Una vez en el control AVSEC, el personal correspondiente verifica visualmente si la documentación es válida y, si todo es correcto, se procede al escaneo con rayos X de todas las pertenencias y el paso del pasajero por el pórtico detector de metales. Finalmente, si el pasajero posee artículos prohibidos en aeronaves, indicando que debe abandonarlos o, en caso contrario, se le niega el embarque y se procede según las acciones AVSEC correspondientes. Si no hay artículos prohibidos, el pasajero ingresa al "lado aire" de la terminal. (DGAC, 2021)

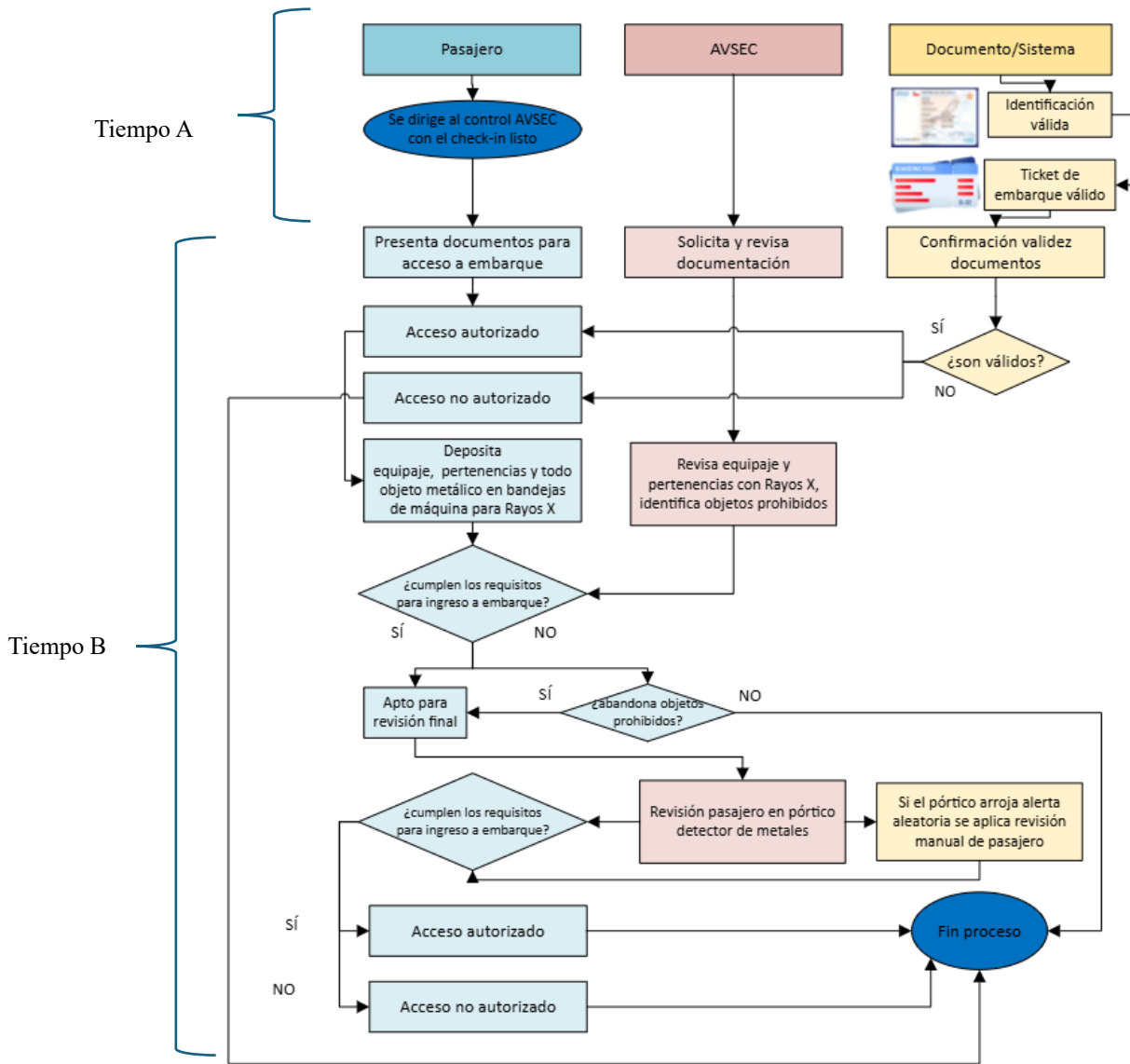


Figura 2.2: Diagrama de flujo proceso ingreso a embarque.

Fuente: elaboración propia.

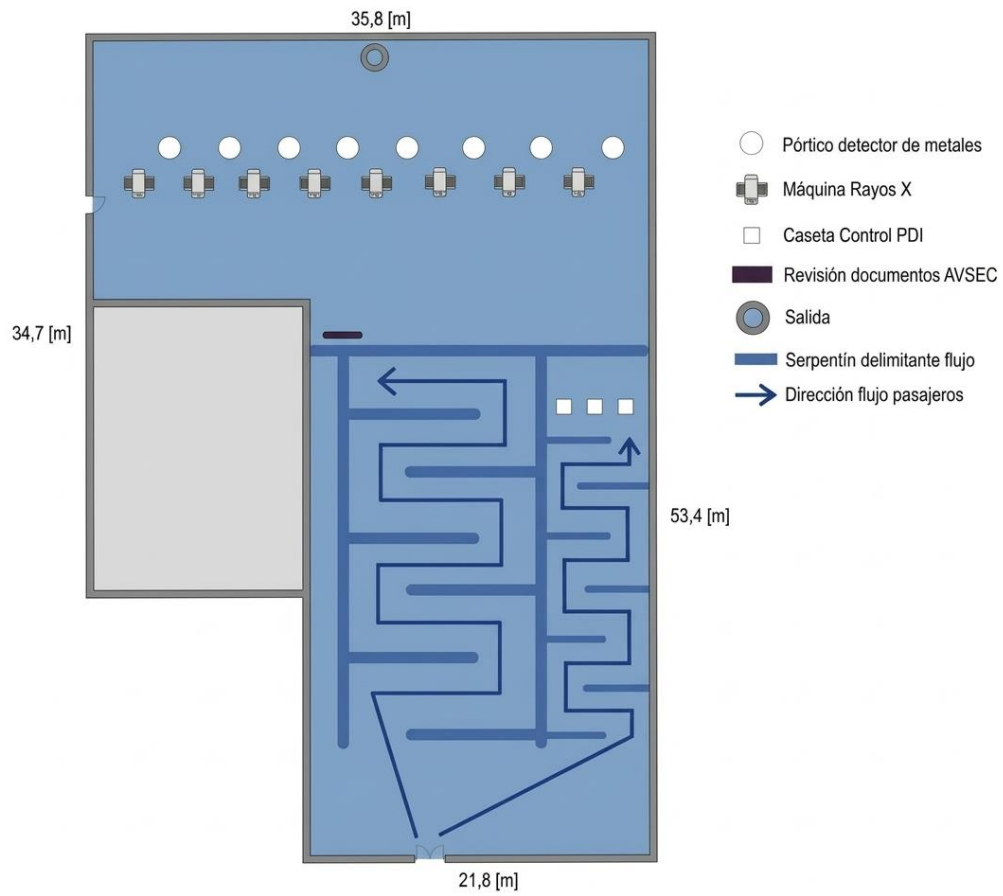


Figura 2.3: Layout control AVSEC. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se caracteriza el proceso de ingreso a embarque a través de 6 parámetros:



Figura 2.4: Diagrama 6M- Fuente: elaboración propia.

En este último punto, se tiene dentro del marco regulatorio el Anexo 9 OACI, que como tiene objetivo principal la facilitación de la aviación civil internacional. Esto se logra mediante el establecimiento de normas y métodos recomendados destinados a simplificar y agilizar los procedimientos de entrada y salida de aeronaves, pasajeros, carga y correo en los territorios de los Estados Contratantes. Busca eliminar obstáculos innecesarios al tráfico aéreo internacional, armonizando las regulaciones y prácticas para asegurar una operación más eficiente y fluida, reduciendo demoras y costos, y mejorando la experiencia general de los viajeros (OACI, 2022).

En Chile, se tiene el Reglamento de Facilitación del Transporte Aéreo Internacional (Decreto N° 232), que establece las normas y métodos recomendados, según corresponda, del Anexo 9 del Convenio de Aviación Civil Internacional. (MTT, 2015) Para cumplir con los objetivos anteriormente mencionados, se establece la Comisión Nacional

Facilitación, encargada de estudiar, proponer y promover medidas destinadas a simplificar los requisitos y procedimientos del transporte aéreo internacional de personas, mercancías y correo. Complementariamente, la Junta de Aeronáutica Civil (JAC) tiene entre sus funciones impulsar activamente dicha facilitación. Además, el reglamento promueve la utilización de tecnología para agilizar la revisión de documentos de viaje de pasajeros, tanto de llegada como de salida, y la implementación de sistemas de distribución de pasajeros para optimizar la rapidez de las inspecciones. Estos mecanismos buscan asegurar un flujo eficiente y expedito en los procesos fronterizos y operativos del transporte aéreo en Chile. (MTT, 2015).

2.1.6 Nivel de Servicio IATA

Asimismo, el proceso de ingreso a embarque está restringido a través de los Niveles de Servicio (LoS) de la IATA. Son una medida crucial para asegurar que la infraestructura aeroportuaria sea rentable y satisfaga las necesidades de aeropuertos, aerolíneas y pasajeros, al mismo tiempo que apoya el diseño, la expansión y la monitorización de la capacidad de las instalaciones existentes. Busca equilibrar la calidad del servicio con los costos operativos y de capital, garantizando una experiencia positiva para el pasajero y tiempos de espera aceptables. En donde el nivel A es excelente, siendo el más alto alcanzable y F inaceptable, siendo el más bajo. (IATA, s.f)

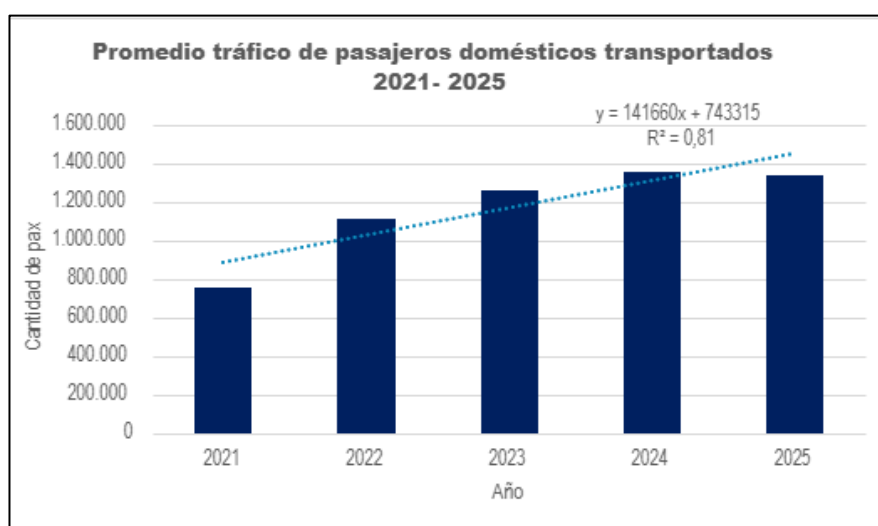


Gráfico 2.1: Promedio de pasajeros domésticos transportados entre 2021 y 2025.
Fuente: elaboración propia.

El Gráfico 2.1 muestra una tendencia de crecimiento en el tráfico doméstico, evidenciada por una pendiente de positiva de 141.660, lo que indica que el volumen de pasajeros aumenta en ese promedio anual. Con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,81$, el modelo lineal demuestra ser una herramienta robusta para la planificación, permitiendo proyectar la demanda futura basándose en el punto de partida de 743.315 pasajeros (intercepto). En conjunto, esta progresión ascendente subraya la necesidad de alinear la capacidad de la infraestructura con el ritmo de crecimiento operativo.

2.1.7 Estudios anteriores

Uso de biometría en aeropuertos

La biometría es un proceso mediante el cual un sistema captura identificadores biométricos únicos de un individuo para confirmar su identidad. Los identificadores biométricos se clasifican en fisiológicos y conductuales, siendo las primeras huellas dactilares, rostro, manos, olor, iris, huellas palmares y ADN. (Khan, N., & Efthymiou, M., 2021)

La Asociación Internacional de Identidad Biométrica (IBIA) la define como un «método automatizado para verificar o identificar la identidad de una persona viva basándose en características fisiológicas o conductuales» (IBIA, 2018). El uso de la biometría puede permitir la confirmación o identificación de una persona basándose en «quién es», en lugar de «lo que posee» (p. ej., un pasaporte) o «lo que recuerda» (p. ej., las respuestas a preguntas de seguridad). (Khan, N., & Efthymiou, M., 2021)

Aunque la tecnología de reconocimiento facial existe desde hace tiempo, la industria aeronáutica solo ha comenzado a integrarla en los procesos existentes recientemente, incluyendo la integración en programas de inteligencia artificial. Dado que los rasgos faciales son diferentes en cada persona, el objetivo es identificar rápidamente a impostores mediante la comparación de una imagen facial en vivo con una imagen previamente capturada de la base de datos. (Khan, N., & Efthymiou, M., 2021)

Beneficios del uso de biometría en aeropuertos

El uso de la biometría en el control de pasajeros en los aeropuertos ofrece una serie de beneficios que optimizan tanto la eficiencia operativa como la seguridad.

En primer lugar, facilita una verificación de identidad sin contacto, lo que no solo acelera significativamente el proceso para los viajeros, reduciendo tiempos de espera y fricciones, sino que también contribuye a la higiene y seguridad sanitaria. En segundo lugar, y de

manera crucial para la seguridad, los sistemas biométricos permiten una confirmación robusta y fiable de la identidad del viajero al momento de su entrada o salida. Esta tecnología mejora drásticamente la capacidad de detectar documentos fraudulentos, fortaleciendo así los controles fronterizos y la integridad del sistema migratorio. Asimismo, la implementación de la biometría transforma la experiencia del pasajero en un proceso más ágil y seguro, a la vez que dota a las autoridades de herramientas más precisas para la gestión de fronteras. (Khan & Efthymiou, 2021).

El Global Passenger Survey (GPS) es una encuesta anual realizada por la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) para recopilar información sobre las preferencias y experiencias de los pasajeros de aerolíneas a nivel mundial. Según los resultados obtenidos en 2024, se reveló que:

- 1 de cada 2 pasajeros ha utilizado datos biométricos en el aeropuerto.
 - El 46% de los pasajeros utilizaron datos biométricos en el aeropuerto en 2024. Este porcentaje es el mismo que en 2023.
 - El 73% de los pasajeros desea utilizar datos biométricos en lugar de pasaportes y tarjetas de embarque.
 - El 84% está muy o bastante satisfecho con el uso de la biometría. (IATA, 2024)
- Respecto de la garantía y la protección de datos siguen siendo los factores clave para la biometría se tiene que las mayores preocupaciones sobre el uso de la biometría son:

Aspecto	Porcentaje asociado
Violación de datos	58%
Datos siendo compartidos con otras organizaciones	50%
Falta de información sobre cómo se utilizan mis datos	43%
Desconocimiento de cuánto tiempo se almacenarán mis datos	21%
Desconocimiento de cómo puedo eliminar mis datos	19%

Tabla 2.2: Preocupaciones sobre el uso de la biometría. Fuente: elaboración propia según datos obtenidos de IATA.

Además, el 39% reconsideraría el uso de la biometría si se les garantizara su privacidad. Asimismo, respecto a la disposición del uso de esta tecnología, se tiene que los jóvenes menores de 25 años están más dispuestos a usar la tecnología para mejorar su experiencia de viaje. (IATA, 2024)

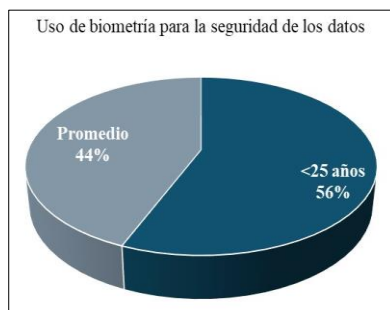


Gráfico 2.2: *Uso de biometría para la seguridad de los datos.*

Fuente: elaboración propia según datos obtenidos de IATA.

Finalmente, respecto a pasajeros de Latinoamérica y el Caribe se obtuvo que utilizan la biometría menos que otras regiones, pero muestran una fuerte disposición a adoptar la tecnología y reportan una alta satisfacción al usarla. (IATA, 2024)

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Gestión del riesgo AVSEC

Según lo indicado en la DAN 17, 2da edición de mayo de 2025, la Dirección General de Aeronáutica Civil adoptará medidas para evitar que se introduzcan, por cualquier medio, a bordo de las aeronaves al servicio de la aviación civil, armas, explosivos u otros artefactos, objetos o sustancias peligrosas que puedan utilizarse para cometer actos de interferencia ilícita y cuyo transporte o tenencia no estén autorizados. Además, aplicará medidas de seguridad aleatorias e imprevisibles, con el propósito de evitar actos de interferencia ilícita. (DGAC, 2025)

Respecto al control de Acceso, establecerá medidas para el control de acceso a las zonas de la parte aeronáutica de los aeródromos que presten servicios a la aviación civil con el objeto de evitar el ingreso de personas no autorizadas. Asimismo, establecerá en cada aeródromo que preste servicio a la aviación civil, zonas de seguridad restringidas, basándose en la evaluación de riesgos de seguridad que realicen las autoridades nacionales competentes. (ISO 31010:2019, 2019)

2.2.1.A Nivel de Riesgo

Conforme con lo anterior, el Programa Nacional de Seguridad de Aviación Civil (PNSAC), establece que los aeródromos, los servicios públicos, explotadores de aeronave, el explotador de los terminales, los FBO¹ y las empresas de servicios que realicen funciones en los aeródromos deberán contar con Planes de Contingencia, acorde a los procedimientos de seguridad dictados por la DGAC, para proporcionar una respuesta rápida, eficaz y coordinada frente cualquier acto de interferencia ilícita. Acorde a los riesgos evaluados por las DGAC, y las autoridades gubernamentales pertinentes, se establecerán cinco niveles de amenaza: Azul, Verde, Amarillo, Naranja y Rojo, siendo el primero una condición en la cual el aeródromo opera en situación de seguridad normal y el último en grado de amenaza extrema, es decir, seria e inminente. (DGAC, 2022) Los organismos contemplados en los planes de contingencia para responder a un acto de interferencia ilícita son:

- a) Autoridad política
- b) Autoridad aeroportuaria
- c) Servicios aeronáuticos del aeródromo
- d) Fuerzas Armadas
- e) Fuerzas de Orden y Seguridad Pública
- f) Explotadores aéreos
- g) Explotador del terminal
- h) Servicios públicos
- i) Otras organizaciones que se estimen relevantes para la respuesta. (DGAC, 2022)

2.2.1.B Control de Calidad

La autoridad aeronáutica ha establecido un Programa Nacional del Control de la Calidad en la Seguridad de la Aviación Civil (PNCCSAC) con el fin de verificar y asegurar el cumplimiento del Programa Nacional de Seguridad de la Aviación Civil (PNSAC) y validar su eficacia. Un mecanismo de lo anterior es el Departamento Auditoría Interna, el cual realizará las actividades de vigilancia continua al servicio de seguridad aeroportuaria de la DGAC establecido en los aeródromos de la red primaria y aquellos que determine la autoridad aeronáutica; asimismo se verificará el cumplimiento de la normativa sobre seguridad de la aviación en el Departamento Planificación, el Departamento Aeródromos

¹ Operador de Base Fija (o Fixed Base Operator).

y Servicios Aeronáuticos, el Departamento Recursos Humanos, la Escuela Técnica Aeronáutica, la Sección Infracional y toda organización interna que tenga responsabilidades en materias de seguridad de la aviación civil. (DGAC, 2022)

A) Personal de Seguridad Aeroportuaria

Son titulados en la Escuela Técnica Aeronáutica, previo cumplimiento de los requisitos contemplados en la Ley 18.834 “Estatuto Administrativo”, son contratados como funcionarios públicos y asignados a los aeródromos para desempeñarse como especialistas de seguridad aeroportuaria. Dicho personal tendrá, de acuerdo con su cargo y responsabilidad, entre otras funciones:

- a) Inspeccionar personas, su equipaje de mano y bodega.
- b) Fiscalizar, supervisar e inspeccionar carga, correo y courier, además de suministros y aprovisionamiento a bordo de las aeronaves.
- c) Operar tecnologías de inspección, de vigilancia y protección.
- d) Controlar accesos; verificar identidad y autorizar el ingreso de personas y vehículos a zonas restringidas del aeródromo.
- e) Fiscalizar y supervisar el área de movimiento y perímetro interior de los Aeródromos.
- f) Proporcionar protección armada a los recintos aeroportuarios dispuestos por la autoridad aeronáutica.
- g) Atender situaciones con pasajeros Insubordinados o disruptivos, a petición del comandante de una aeronave.
- h) Responder a las situaciones de amenaza e interferencias ilícitas de la aviación civil.
- i) Inspeccionar aeronaves, como actividades preventivas o de respuesta, en materias de seguridad aeroportuaria.
- j) Tractado de aeronaves ante amenazas de bomba o interferencias.
- k) Realizar las coordinaciones con otros organismos del Estado, de acuerdo a cada situación de seguridad que se presente.
- l) Inspeccionar y controlar las mercancías peligrosas que se presenten para su transporte por vía aérea, con aplicación en el aeródromo u otras dependencias bajo el control DGAC.

- m) Fiscalizar y supervisar el desempeño y cumplimiento de las disposiciones legales y tareas encomendadas a los servicios de vigilancia privada que operen en los aeródromos.

2.2.1.C Elementos del proceso ingreso a embarque

El proceso de embarque tiene los siguientes elementos de entrada:

1. Pasajero: Busca ingresar al lado aire.
2. Documento de Identificación: Cédula de identidad o pasaporte. (ChileAtiende, 2024)
3. Tiquete de embarque (Boarding Pass): Físico o digital.
4. Recursos Humanos: Personal de seguridad AVSEC de DGAC.
5. Recursos Tecnológicos: Escáneres Rayo X (para pertenencias del pasajero) e iluminación adecuada.
6. Normativa y Procedimientos: DAN17.

Luego, se obtienen los siguientes elementos de salida:

1. Pasajero Autorizado para la revisión de pertenencias: El pasajero ha completado correctamente la verificación de documentos y puede avanzar a la siguiente etapa de seguridad.
2. Pasajero Autorizado para Embarque: El pasajero ha completado correctamente la revisión de pertenencias y detección de metales y puede ingresar a al lado aire y embarcar su vuelo.
3. Pasajero Rechazado/Derivado: El pasajero no cumple los requisitos (documentación inválida, identidad no coincidente, problemas con el pase de abordar) y es derivado a otro punto de atención (aerolínea u otro) o se le niega el acceso.
4. Registro: Data de la cantidad de pasajeros procesados.

2.2.2 Aeropuertos con automatización de embarque

En Latinoamérica, la implementación de e-gates y pasarelas biométricas ha transformado la gestión de pasajeros en terminales clave: México lidera con sus filtros migratorios autónomos en los aeropuertos de Cancún y CDMX (Terminales 1 y 2), permitiendo ingresos en menos de diez minutos para turistas con pasaporte electrónico (Secretaría de Relaciones Exteriores, 2026); Argentina ha modernizado el Aeropuerto de Ezeiza con 30 nuevos dispositivos de autogestión y pasarelas de última generación que validan

identidad en 60 segundos (Dirección Nacional de Migraciones, 2026); Uruguay mantiene al Aeropuerto de Carrasco como un referente regional con procesos biométricos que promedian los 15 segundos (Aeropuertos Uruguay, 2026), mientras que Perú se suma a esta vanguardia con la inauguración del nuevo terminal del Aeropuerto Jorge Chávez en marzo de 2026, diseñado para ser un hub tecnológico con controles automatizados integrados (Lima Airport Partners, 2026).

Para la implementación de e-gates en aeropuertos, es fundamental cumplir con los estándares internacionales del Documento 9303 de la OACI, que regula la interoperabilidad de los pasaportes electrónicos y el almacenamiento seguro de datos biométricos en chips RFID. Desde el punto de vista técnico, el sistema requiere hardware de captura de alta resolución con algoritmos de detección de vida (*liveness detection*) para evitar fraudes, además de una infraestructura de red robusta que permita la validación en tiempo real contra bases de datos de seguridad nacional e internacional como el Directorio de Claves Públicas (PKD) de la OACI. Asimismo, es requisito indispensable contar con un marco legal local de protección de datos personales que garantice el manejo ético y seguro de la información biométrica de los pasajeros durante el proceso de autenticación. (OACI, 2025)

2.2.3 Técnicas de simulación

2.2.3.A Método de Monte Carlo

El método de Monte Carlo tiene como objetivo principal realizar cálculos con distribuciones de probabilidad que no permiten soluciones analíticas directas, propagando la incertidumbre en modelos analíticos convencionales y permitiendo cálculos probabilísticos donde las técnicas analíticas son inviables. Su utilidad radica en la capacidad de tomar muestras aleatorias de distribuciones de entrada, realizar cálculos y repetir el proceso para construir una distribución de resultados, entregando estos, como una distribución de probabilidad o una estadística, como el valor medio. (Hillier, F. S., & Lieberman, G. J., 2001)

Aplicada al caso de estudio de este trabajo, esta técnica podría ser útil para la interpretación y el análisis de datos de llegada de pasajeros y tiempos de procesamiento en AVSEC. Simulando diferentes escenarios de flujo de pasajeros, considerando la variabilidad en los tiempos de llegada, los tiempos de procesamiento actuales en AVSEC y la dinámica de las filas. Por ejemplo, permitiría estimar la probabilidad de que los

tiempos de espera en las filas superen ciertos umbrales en diferentes momentos del día, o determinar la distribución de los tiempos totales de procesamiento de los pasajeros al considerar las interacciones entre los distintos puntos de control. Esto proporcionaría una comprensión más profunda de cómo la implementación de los e-gates podría impactar el flujo de pasajeros y la eficiencia operativa.

2.2.4 Teoría de Colas

Una manera de abordar la problemática de capacidad es utilizando la teoría de colas, que estudia la espera en todas sus diversas formas, utiliza modelos de colas para representar los distintos tipos de sistemas estas (que implican colas o filas de algún tipo) que surgen en la práctica. Las fórmulas para cada modelo indican cómo debería funcionar el sistema de colas correspondiente, incluyendo el tiempo promedio de espera que se producirá en diversas circunstancias. (Hillier, F. S., & Lieberman, G. J., 2001) El modelo M/M/s está formado por una serie de servidores asíncronos, denotados por S_i , donde $i \in \mathbb{N}$ y S corresponde a servidor, y una fila de pasajeros en espera de ser revisados. Los servidores asíncronos gestionan a los pasajeros en diferentes momentos (es decir, cada servidor en este modelo de cola es independiente de los demás). Cuando un pasajero termina su revisión por el servidor, otro pasajero de la fila ocupa esa posición para mantener el servidor en funcionamiento sin interrupciones. (Wang, M., 2017)

Las siguientes notaciones suponen que en el sistema existe un tiempo entre las llegadas de cada pasajero, por lo que se comporta con una tasa de llegada de Poisson, asimismo, los tiempos de procesamiento del servidor (S) también poseen un comportamiento exponencial y se usa el supuesto que hay más de un servidor que puede atender a cualquier pasajero y entre todos dichos servidores son iguales entre sí.

De lo anterior se define:

- a) Probabilidad que no exista ningún pasajero en la fila o siendo procesado

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^n}{n!} + \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^s}{s!} * \left(\frac{1}{1 - (\frac{\lambda}{s\mu})} \right)} \quad (2)$$

Con S número de servidores, λ tasa de llegada entre pasajeros y μ tiempo promedio de procesamiento de servidor.

- b) Cantidad de pasajeros promedio en fila
(Hillier, F. S., & Lieberman, G. J., 2001)

$$Lq = Po * \left[\frac{\frac{\lambda^{s+1}}{\mu}}{(s-1)! * \left(s - \frac{\lambda^2}{\mu}\right)} \right] (3)$$

- c) Tiempo promedio del pasajero en fila

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda} (4)$$

- d) Tiempo total en el sistema

$$W = Wq + \frac{1}{\mu} (5)$$

- e) Número promedio de pasajeros en el sistema

$$L = \lambda * W (6)$$

Es importante mencionar que el sistema es complejo y se ve afectado por más variables que su captura quedan fuera de esta teoría.

2.2.5 Función Lognormal

La distribución lognormal es aquella que describe una variable aleatoria positiva cuyo logaritmo natural se distribuye normalmente. En otras palabras, si $Y = \ln(X)$ sigue una distribución normal con media μ y desviación estándar σ , entonces X tiene distribución lognormal. Esta característica es especialmente relevante porque muchos fenómenos reales no se forman por sumas de efectos independientes, sino por la multiplicación de varios factores, y el uso del logaritmo permite que estos procesos multiplicativos se analicen como si fueran aditivos. La función de densidad de la distribución lognormal incluye esta relación al incorporar el logaritmo natural de la variable, lo que genera una curva asimétrica con cola hacia valores altos, característica frecuente en datos reales donde la mayoría de las observaciones son moderadas, pero existen algunos valores grandes que no pueden ignorarse. (Matthews, 2016) Su función de densidad se expresa como:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Ecuación 2.7 Función lognormal.

Lo que muestra una distribución asimétrica hacia valores altos, característica que la diferencia de la normal y la hace más adecuada para fenómenos con alta dispersión en valores positivos.

2.2.6 Función Normal

La distribución normal, también conocida como distribución gaussiana, es aquella que describe una variable aleatoria continua cuya función de densidad genera la clásica curva simétrica en forma de campana (campana de Gauss). Esta distribución está completamente determinada por dos parámetros: su media (μ), que define el centro de la distribución y su punto de máxima densidad, y su desviación estándar (σ), que cuantifica la dispersión de los datos alrededor de la media. Una propiedad fundamental es que aproximadamente el 68%, 95% y 99.7% de las observaciones se encuentran dentro de una, dos y tres desviaciones estándar de la media, respectivamente. (Johnson & Kuby, 2012). Su preeminencia en la estadística se debe al Teorema del Límite Central, el cual establece que, bajo condiciones generales, la suma de un gran número de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas tenderá a seguir una distribución normal, independientemente de la forma de la distribución original, haciendo de esta la piedra angular para la inferencia estadística y el modelado de fenómenos que resultan de la acumulación de numerosos efectos aleatorios pequeños y aditivos. (Johnson, R. R., & Kuby, P. J., 2012)

2.2.7 Función Exponencial

La distribución exponencial es aquella que describe el tiempo transcurrido entre eventos consecutivos en un proceso de Poisson, caracterizándose por su propiedad de falta de memoria, lo que implica que la probabilidad de que un evento ocurra en el futuro es independiente del tiempo que ya haya transcurrido. (Ross, 2014). Su función de densidad, que decae exponencialmente desde un valor máximo en el origen, genera una curva asimétrica con sesgo positivo, siendo el inverso de su parámetro de tasa (λ) a la vez su media y su desviación estándar. Esta distribución es fundamental para modelar duraciones de vida, tiempos de espera y tasas de fallo en contextos donde la tasa de ocurrencia de eventos es constante en el tiempo. (Ross, S. M., 2014)

2.2.8 Biometría en procesos

Un sistema biométrico es un proceso automatizado que i) utiliza un dispositivo electrónico para capturar dichos identificadores biométricos, ii) extrae datos biométricos del identificador enviado, iii) compara el identificador con datos previamente enviados, iv)

compara el identificador enviado con una plantilla, v) determina si la identidad enviada es auténtica.

Para que un sistema biométrico funcione, es necesario presentar documentos externos que contengan datos biográficos, como un pasaporte, para su registro en el sistema. La interacción inicial de una persona permitirá la captura de un identificador biométrico, como una huella dactilar o un escáner ocular, que se registra y vincula al documento externo presentado. Una vez conectados, el encuentro posterior de una persona con el sistema al volver a tomar sus datos biométricos se comparará con esta plantilla registrada, obtenida durante la fase de registro. Un sistema biométrico ideal debería considerar ciertos factores:

- Rendimiento: consiste en lograr una precisión y velocidad aceptables en la captura de datos biométricos, la necesidad de recursos y los factores operativos y ambientales que pueden afectarlo.
- Aceptabilidad: el grado en que las personas están dispuestas a permitir el uso de una característica específica.
- Elusión: la facilidad con la que se puede engañar al sistema biométrico mediante métodos fraudulentos. (CBP, 2021)

2.2.9 Software de simulación

2.2.9.A SIMIO®

Es un software para Windows que se utiliza para modelar, simular y animar sistemas 3D mediante técnicas de eventos discretos. Combina objetos y procedimientos, funcionando como un simulador de tipo mixto. Con él se pueden construir gemelos digitales que permiten crear modelos de comportamiento anticipatorio en los sectores de logística, industria y servicios. Es altamente adaptable en industrias como la aviación, especialmente en sistemas que involucran colas, como procesos de fabricación, infraestructura de transporte y operaciones de cadena de suministro. Permite modelizar el comportamiento de un sistema, simular resultados bajo situaciones hipotéticas y visualizar los resultados a través de animaciones 3D e informes numéricos. (SIMIO®, s.f)

2.2.9.B FlexSim

Es un software para Windows diseñado para modelar, simular, visualizar y monitorear dinámicas de sistemas en 3D a través de simulación de eventos discretos. Utiliza un entorno orientado a objetos que permite construir representaciones virtuales precisas,

funcionando como una plataforma versátil para el análisis de flujos. Con él se pueden desarrollar gemelos digitales que facilitan la experimentación con variables operativas en sectores como la manufactura, salud y almacenamiento. Es ampliamente utilizado en la industria logística para optimizar sistemas complejos de manejo de materiales, flujos de tráfico en terminales y procesos de embalaje. Permite predecir el rendimiento de un sistema, evaluar cambios de diseño sin riesgo y validar decisiones mediante estadísticas detalladas y animaciones tridimensionales inmersivas. (FlexSim Software Products, s.f.)

2.9.10 Elección simulador

Considerando que ambos programas son de utilidad para el proceso que se quiere modelar y que solo SIMIO® cuenta con licencia gratuita para estudiantes, se eligió este en la 19° versión para la investigación.

2.3 Propuesta Metodológica

La propuesta metodológica para la problemática consiste en la definición del proceso de ingreso a embarque nacional y sus variables relevantes, así como la recolección de datos; a través de mediciones de forma manual empleando un cronómetro que posteriormente serán ordenados en un Excel; como tiempos espera en fila (A) y de proceso de control AVSEC (B), hora punta y flujo de pasajeros de la terminal. Posteriormente, se realizará un análisis de los datos recolectados para la identificación de cuellos de botella, horario punta y la proyección del flujo de pasajeros. Luego, se hará una construcción y aplicación de modelos de análisis para el problema a través del método de Monte Carlo y Teoría de Colas. Finalmente, se simularán los tiempos de espera en el proceso de ingreso a embarque que integre el uso de e-gates con software SIMIO®, lo que permitirá tras la sensibilización de variables, determinar la cantidad de e-gates necesarias y máquinas de escáner de Rayos X para obtener tiempos de espera y procesos dentro del nivel de servicio C, y así proponer un diseño de proceso de ingreso a embarque que integre la automatización del control de pasajeros.

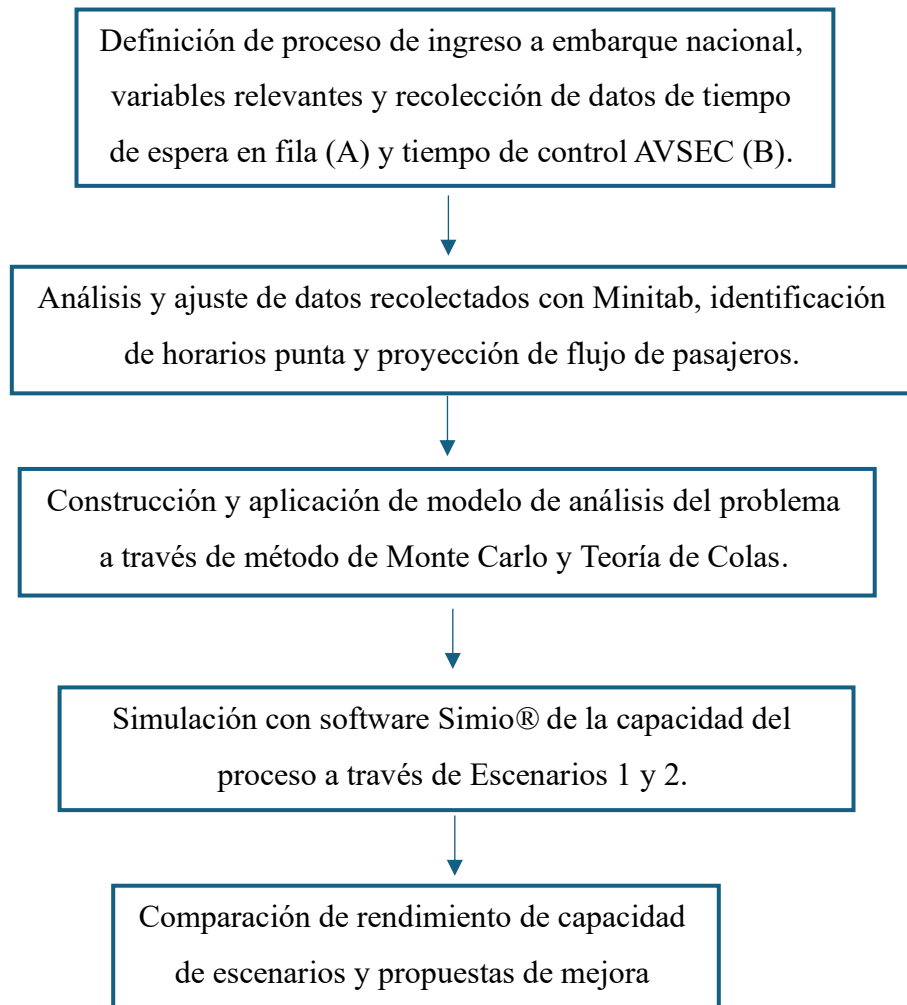


Figura 2.5: Propuesta metodológica para la problemática. Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO III: Desarrollo

3.1 Toma de Datos

Para la toma de datos se definen dos partes a medir del proceso de embarque, en donde A corresponde a tiempo de espera en fila en segundos, el cual inicia cuando el pasajero pasa la puerta del ingreso poniente del terminal nacional hasta que personal AVSEC le solicita los documentos para el ingreso a embarque. Por otra parte, se define B como el tiempo de control AVSEC en segundos, que comienza cuando personal AVSEC revisa visualmente los documentos solicitados y termina luego de que el pasajero pasa sus pertenencias por rayos X y pasa por el pórtico detector de metales cumpliendo satisfactoriamente el control de seguridad.

Para lo anterior se tomaron 205 mediciones correspondientes a 205 pasajeros diferentes entre los días 29 de agosto y 2 de septiembre de 2025 en horarios punta y valle del acceso poniente del terminal nacional de AMB, utilizando un cronómetro digital.

De lo anterior se obtuvieron las tablas 3.1 y 3.2 disponibles en la sección Anexos.

Para las tablas anteriores se tiene que la media es de 4 minutos 46 segundos y 3 minutos 7 segundos para A y B respectivamente, lo cual se encuentra fuera del rango Aceptable para el nivel de servicio C, según el Manual de Desarrollo Aeroportuario. (MDA, 2011) Al realizar un ajuste normal y lognormal con MINITAB, es un software estadístico diseñado para el análisis de datos y la mejora de procesos que sirve para aplicar diversas metodologías estadísticas, análisis de regresión, las pruebas de hipótesis y ajustes a distribuciones (Minitab, 2025), se obtuvieron las siguientes gráficas para A y B:

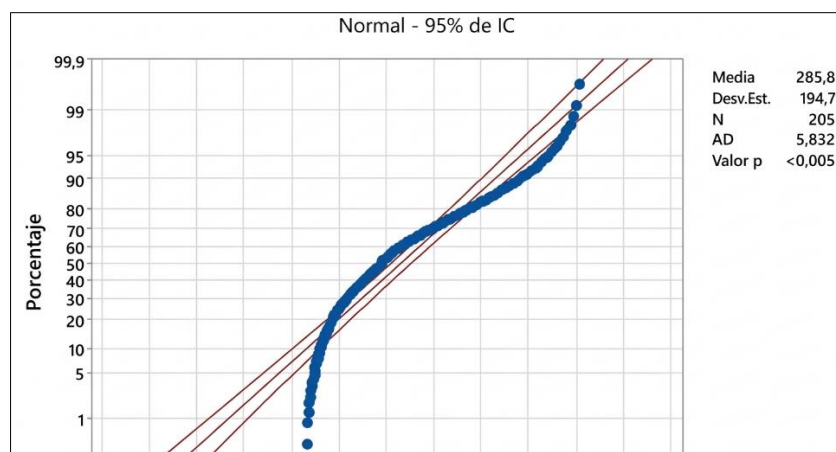


Gráfico 3.1: Ajuste normal para A (tiempo de espera en fila). Fuente: Minitab.

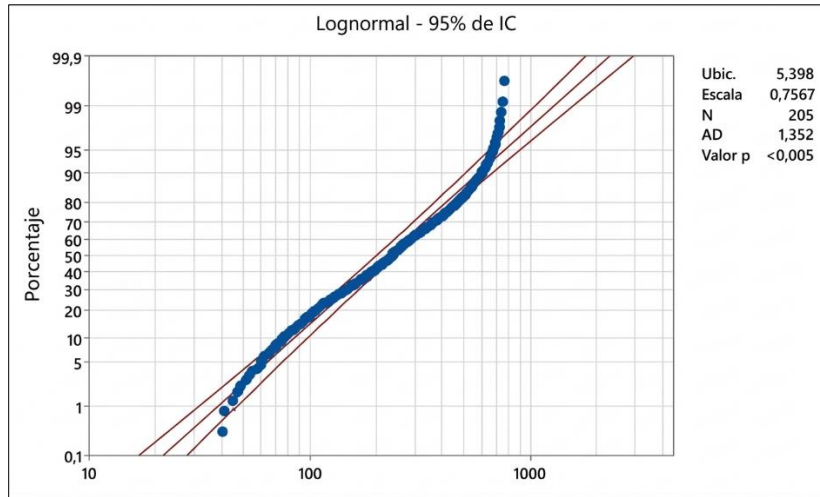


Gráfico 3.2: Ajuste lognormal para A (tiempos de espera en fila). Fuente: Minitab.

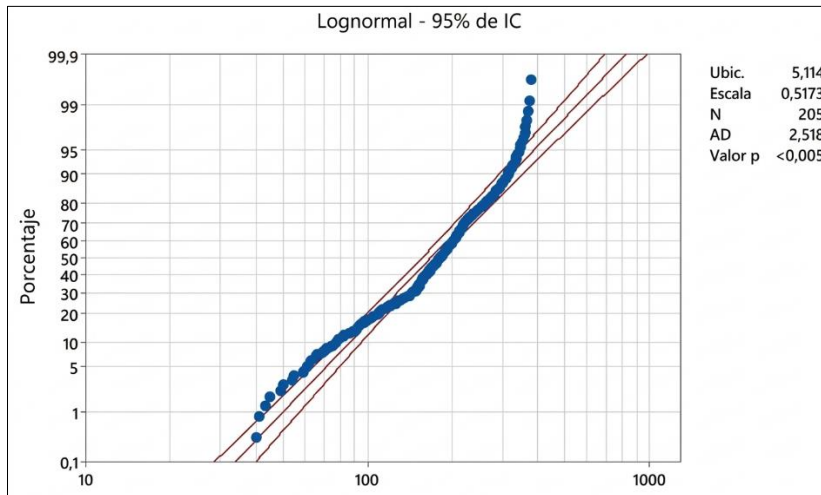


Gráfico 3.3: Ajuste normal para B (tiempo de control AVSEC). Fuente: Minitab.

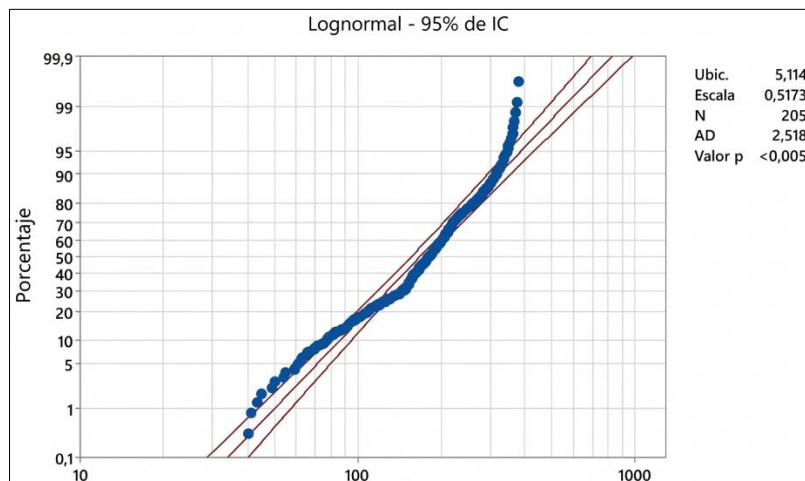


Gráfico 3.4: Ajuste lognormal para B (tiempo de control AVSEC). Fuente: Minitab.

Las gráficas de probabilidad generadas en Minitab muestran que los datos se ajustan mejor a una distribución lognormal que a una normal, ya que en el gráfico 3.1 y 3.3 normal los puntos se alejan de la línea de referencia, especialmente en los valores extremos,

indicando falta de simetría en los datos. En cambio, la gráfica 3.2 y 3.4 lognormal presenta una alineación mucho más cercana a la recta, lo que refleja que el comportamiento real de los tiempos observados coincide con una distribución sesgada hacia la derecha. Además, este comportamiento se ve confirmado por los indicadores estadísticos, donde el estadístico AD y el valor p presentan mejores resultados en el ajuste lognormal, confirmando que la distribución lognormal describe de manera más adecuada la variabilidad de los tiempos del proceso.

3.1.2 Uso de la función lognormal

En procesos aeroportuarios los tiempos de espera o atención pueden depender de varios elementos multiplicativos, tales como complejidad del pasajero, congestión, revisiones adicionales o carga de trabajo del personal. En estos escenarios, la lognormal permite modelar tanto los tiempos frecuentes y bajos como los tiempos prolongados que aparecen menos seguido, pero que impactan significativamente en la calidad del servicio y el dimensionamiento de recursos.

En base al ajuste lognormal obtenido por Minitab se tiene que la función de probabilidad para A y B es:

$$f(x) = \frac{1}{x0,76\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-0,73}{0,76}\right)^2}$$

Ecuación 3.1: Función lognormal para tiempo A. Fuente: elaboración propia.

De lo anterior, se tiene para A una media de 0,73 y una desviación estándar de 0,76, lo que implica una alta variabilidad en los tiempos de atención: la mayoría de los pasajeros completa el proceso en un tiempo relativamente corto, pero existe una proporción menor que tarda mucho más, generando una cola asimétrica típica de procesos operativos reales en aeropuertos.

$$f(x) = \frac{1}{x0,52\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-0,70}{0,52}\right)^2}$$

Ecuación 3.2: Función lognormal para tiempo B. Fuente: elaboración propia

Por otra parte, se tiene para B una media 0,70 y desviación estándar 0,52 del logaritmo del tiempo. Esto indica que el proceso es más estable y menos variable que el Tiempo A, con valores más concentrados alrededor de su media y menos dispersiones extremas. En términos operativos, un proceso así tiende a ser más predecible.

3.3 Simulación

3.3.1 Llegada de pasajeros

Para determinar la llegada de pasajeros, se utilizó el informe mensual de la JAC de Pasajeros Embarcados por Hora, el cual muestra el número de pasajeros embarcados, con destino doméstico en aerolíneas regulares, de Terminal Nacional del Aeropuerto Arturo Merino Benítez, a través del Sistema COPAE (Sistema para el Control de Pasajeros Embarcados) de la Dirección General de Aeronáutica Civil. Por cada aeropuerto/aeródromo se obtuvo el número de pasajeros embarcados por cada bloque horario. La estadística generada corresponde a periodos mensuales y acumulados.

Para la simulación se consideran dos escenarios: ‘Escenario 1’ representa el proceso actual en la terminal y ‘Escenario 2’ que representa la propuesta mejora del proceso de embarque nacional, ambos representando un día (24 horas) de control.

3.3.2 Escenario 1

Para configurar el proceso actual de embarque en SIMIO® se utilizó el server ‘Llegada’ que indica la distribución de arribo de pasajeros a la entrada del control de seguridad, es decir cuántos y cómo se presentan en el transcurso de 24 horas, comenzando a las 00:00 hrs.

Para configurar dicho server en el programa, se sumó la cantidad de pasajeros embarcados por cada hora de cada día del año para obtener el valor de pasajeros por hora para 2025. De lo cual se obtuvo la siguiente tabla:

Hora del día	Cantidad de pasajeros por hora en 1 año
0	20.180
1	4.919
2	1.303
3	7.817
4	335.741
5	322.396
6	406.356
7	472.806
8	391.337
9	302.830
10	290.941
11	391.793
12	337.143
13	305.460
14	302.478
15	319.005
16	356.243
17	347.891
18	326.202
19	310.501
20	324.710
21	267.048
22	98.002
23	61.647

Tabla 3.1: Cantidad de pasajeros por hora T1 AMB. Fuente: JAC y elaboración propia.

Otro server relevante es el ‘Control A’ que representa el tiempo de espera en fila, el cual se definió según la sección 3.1 Toma de Datos Tiempo A y se configuró según las mediciones y distribución obtenidas, es decir con una función lognormal y media y desviación estándar de 0,73 y 0,76 respectivamente; y representa el comportamiento de la espera en fila de cada pasajero en un día.

Es importante distinguir que el proceso A termina cuando inicia la inspección visual de los documentos de ingreso a embarque, asimismo B (control de AVSEC) comienza cuando inicia dicha revisión, pues el pasajero terminó de esperar en la fila.

Los entes ‘Server 1’ al ‘Server 8’ representan cada máquina de Rayos X y pórtico de metales, para los cuales se configuró que el pasajero se dirige a la máquina con menos pasajeros en fila para su utilización y un procesamiento al mismo tiempo de 5 pasajeros máximo, bajo supuestos.

Si bien en la realidad la revisión de equipaje y pertenencias por máquina de Rayos X es de a un pasajero, pues ingresan en orden en las bandejas, se entiende que puede haber hasta 5 bandejas en la cinta de dicha máquina, y lo que eso tarde es considerado como tiempo de control de ese Server en la simulación. Sin embargo, distinguir el proceso B (control AVEC completo) en subprocesos como B.1 Revisión de Documentos, B.2 Control de pertenencias con Rayos X y B.3 Paso por Pórtico, no enriquece las posibles conclusiones del caso en estudio, pues separar el tiempo de cada una de las partes del proceso entrega el mismo resultado final, considerando que la investigación apunta a mejorar los tiempos de espera en fila (A), no obstante, estos supuestos son relevantes para el análisis de resultados en donde es necesario asegurar que la simulación corresponde con el proceso real.

Finalmente, se tiene ‘Sink 1’, que es el punto por el cual pasan los pasajeros de la simulación una vez completaron el proceso.

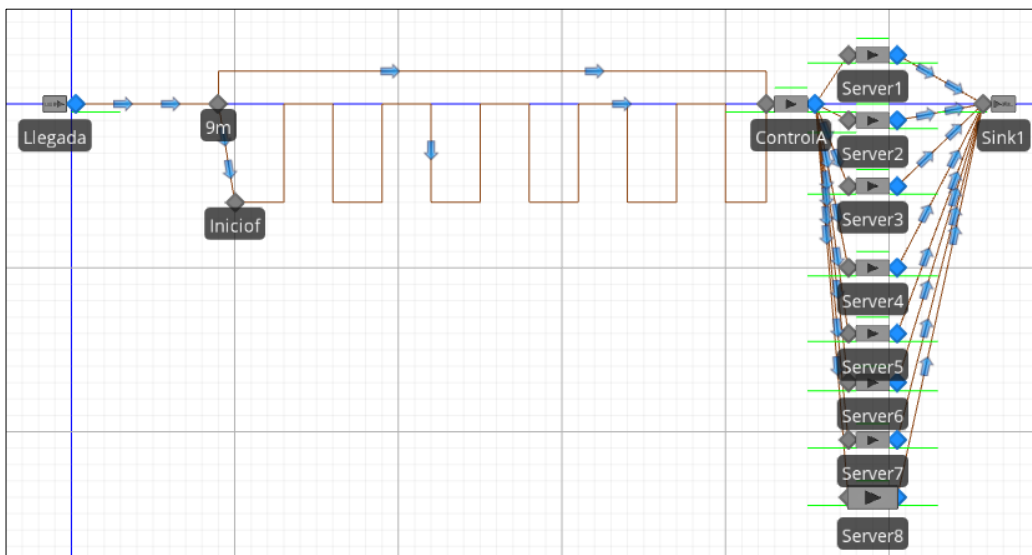


Figura 3.1: Escenario 1. Fuente: SIMIO®.

3.3.3 Escenario 2

Para configurar la propuesta de diseño de embarque en SIMIO® se utilizaron los mismos Servers con los mismos parámetros anteriormente mencionados, sumado a la implementación de 2 servers que representan los e-gates, lo cual se obtuvo de la *Ecuación 2.1.3 Cantidad de e-gates* del Manual de Referencia para el Desarrollo Aeroportuario de la IATA, en donde se reemplazaron las variables con los siguientes datos:

- PHP30 2025= 2.136 pasajeros
- Δt = año 2035, límite inicial de la concesión
- MQT= 5 min
- PT_1 = 60 s
- PT_2 = 120 s
- PT_3 = 180 s

De lo anterior, para un mismo PHP30, Δt y MQT, se obtuvieron los siguientes resultados:

- BP_1 = 1,04 e-gate, con PT = 60 s
- BP_2 = 2,09 e-gates, con PT = 120 s
- BP_3 = 3,13 e-gates, con PT = 180 s

Siguiendo con lo señalado, se consideró como supuesto un tiempo de proceso (PT) de 2 minutos para el desarrollo del Escenario 2, esto considera el tiempo que el pasajero tarda en entender dónde pararse, el tiempo de retirar el documento de identificación de la billetera, posibles errores de lectura al primer intento, como posicionar mal el código QR o el pasaporte, entre otras incidencias. De lo anterior y en consideración del supuesto se obtiene que se requieren 2 e-gates.

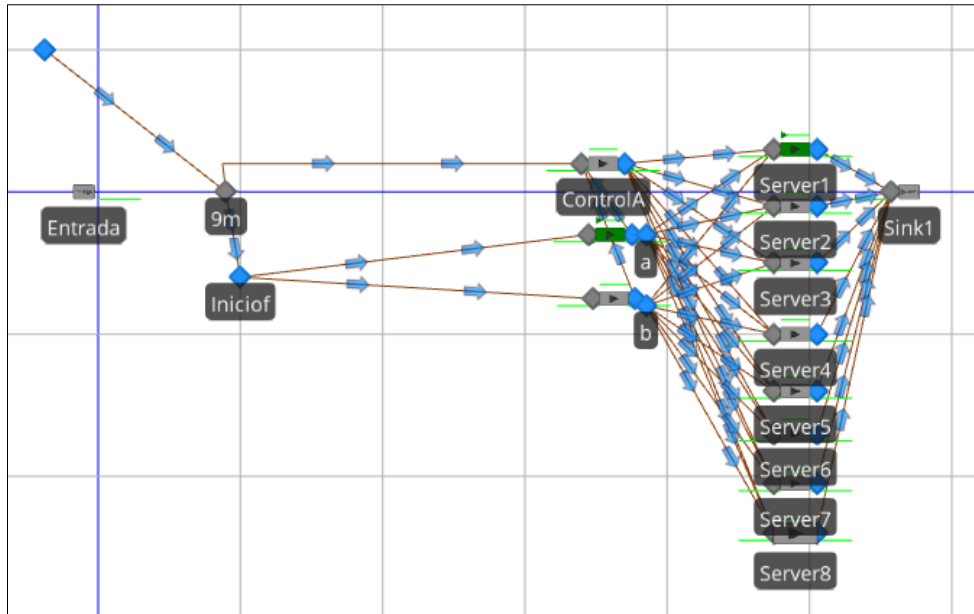


Figura 3.2: Escenario 2. Fuente: SIMIO®.

Adicionalmente, para este escenario se considera el paso de al menos 1% del total de personas por el control manual (Control A), lo que representa casos especiales y/o tripulación.

3.3.4 Proyección Pasajeros

Para ambos escenarios se realizó una proyección de flujo de pasajeros de 2025 hasta 2030, en donde se aumentó anualmente, desde 2026, la cantidad de pasajeros en un 2.5% según proyecciones de la Junta Nacional de Aeronáutica Civil.

3.4 Estimación costo hardware

Por otra parte, tras investigar valores de hardware de e-gates con biometría se tiene un valor aproximado entre 60.000 y 80.000 dólares (Soica, 2025)), según distintas compañías que ofrecen este servicio en Chile, entre las cuales se tienen: Soica, Brüken, Indra, Thales Group, entre otros.

Sin embargo, esto no contempla los costos de instalación, mantenimiento, software, conexión con base de datos del Registro Civil, capacitación del personal ni soporte en tiempo real.

3.5 Resultados

3.5.1 Resultados Escenario 1

Tras ejecutar el programa, se obtuvo un gráfico de pasajeros/horas del día, en donde se demuestra el comportamiento de llegada de estos, lo cual coincide con lo observado en la operación del terminal nacional, con un punto máximo de flujo de pasajeros entre 06:00 y 09:00 hrs, lo cual comprueba que la simulación se corresponde con la realidad.

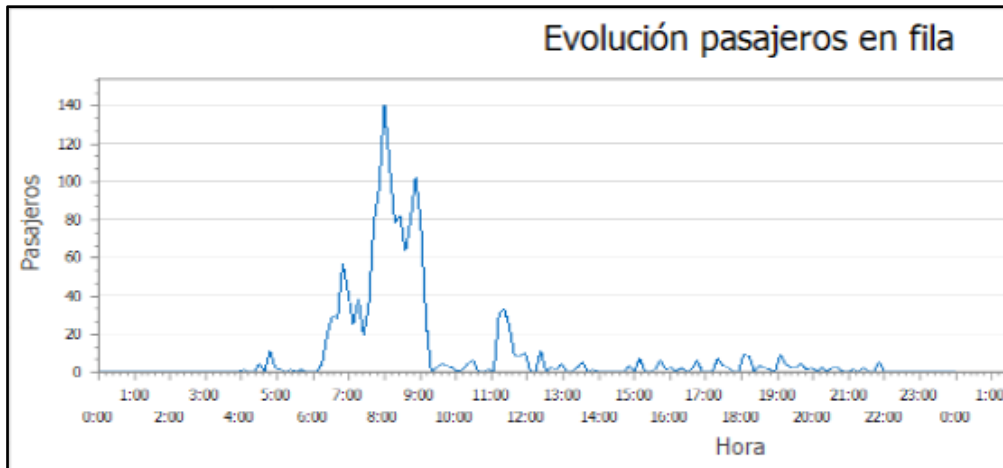


Gráfico 3.5: Evolución pasajeros en fila Escenario 1 en 2025. Fuente: SIMIO®.

En consecuencia de lo anterior, se obtiene que la simulación del Escenario 1 corresponde con la realidad.

3.5.2 Resultados Proyección Escenario 1

Adicionalmente, de la proyección de flujo de pasajeros indicada en la sección 3.2 *Simulación Tabla 3.1*, se obtuvieron gráficos ubicados en la sección *Anexos*, que muestran el tiempo de espera en fila respecto de la hora del día, lo que refleja cuánto debe esperar el pasajero en el control AVSEC, y en donde se debe cumplir el nivel de servicio C con espera en fila de 3 a 5 minutos según lo establecido por el Manual de Desarrollo de Aeropuertos, para lo cual se estableció una línea en rojo que indica el límite de 5 minutos. En la *Tabla 3.2* se tienen los resultados por año, en donde la Cantidad de pasajeros atendidos fuera del nivel C son quienes esperan en fila más del tiempo recomendado establecido de 5 [min].

Escenario 1		
Año	Cant. pasajeros fuera nivel C	Cant. pasajeros procesados
2025	1.141	17.282
2026	1.878	17.714
2027	2.039	18.056
2028	3.709	18.626
2029	5.173	19.272
2030	6.975	19.562
2031	7.483	20.069
2032	12.047	20.519
2033	13.860	21.149
2034	15.471	21.883
2035	15.860	22.353
Promedio	7.785	

Tabla 3.2: Cantidad de pasajeros fuera del Nivel C Escenario 1.

Fuente: elaboración propia.

Dado lo observado, se evidencia una relación directamente proporcional entre la cantidad de pasajeros totales con la cantidad de pasajeros fuera del estándar de Nivel de Servicio C, superando el 50% a partir de 2032.

3.5.3 Resultados Escenario 2

Como se evidencia en el gráfico, al igual que en el caso anterior, en este escenario se tiene un punto máximo de flujo de pasajeros entre 06:00 y 09:00 hrs, lo cual comprueba que la simulación se corresponde con la realidad tras la incorporación de 2 e-gates.

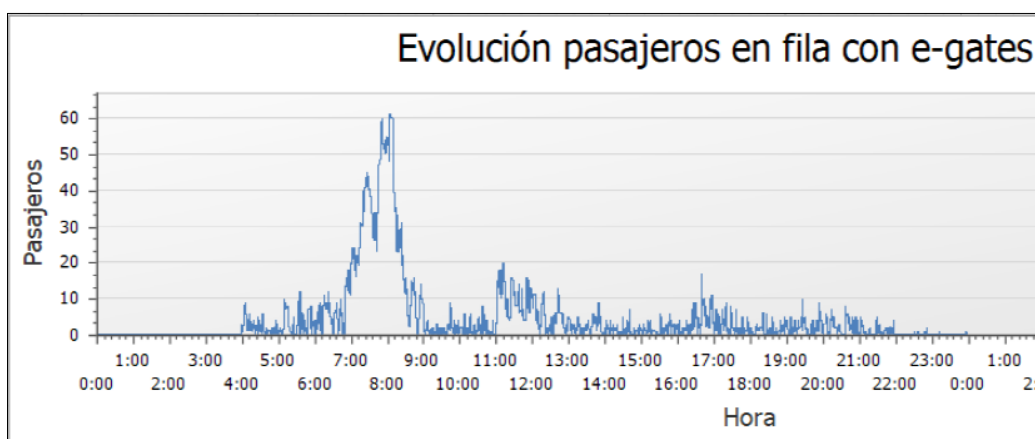


Gráfico 3.6: Evolución pasajeros en fila Escenario 2 en 2025. Fuente: SIMIO®.

3.5.4 Resultados Proyección Escenario 2

En la *Tabla 3.3*, obtenida de los gráficos del *Anexo D*, se tienen los resultados por año, en donde la Cantidad de pasajeros atendidos fuera del nivel C son quienes esperan en fila más del tiempo recomendado establecido de 5 [min].

	Escenario 2	
Año	Cant. pasajeros fuera nivel C	Cant. pasajeros procesados
2025	0	17.282
2026	337	17.714
2027	518	18.056
2028	756	18.626
2029	901	19.272
2030	1.365	19.562
2031	2.372	20.069
2032	3.012	20.519
2033	3.712	21.149
2034	4.698	21.883
2035	6.022	22.353
Promedio	2.154	

Tabla 3.3: Cantidad de pasajeros fuera del Nivel C Escenario 2.

Fuente: elaboración propia.

3.5.5 Análisis y comparación de resultados

Como muestra la *Tabla 6.2*, se tiene que la capacidad del proceso es representada por cantidad de pasajeros que cumplen con el estándar del Nivel C recomendado para la espera en fila, es decir, en 24 horas de simulación del proceso cuántos de ellos logran ser atendidos tras esperar hasta de 5 minutos antes de que colapse el proceso y la espera aumente dicho valor.

La capacidad del proceso en el *Escenario 1* es decreciente y sensible a la demanda, puesto que inicia con una capacidad de procesamiento de 3.694 en 2025 y decrece anualmente hasta llegar a procesar solo 861 pasajeros hacia el año 2035. Esto indica que el proceso actual no posee la robustez necesaria para absorber el crecimiento anual proyectado de 2,5%.

Por otra parte, la capacidad del *Escenario 2* es de 4.644 pasajeros en 2025, y logra oscilar entre 3.000 y 4.600 pasajeros hasta el año 2035, lo que considera el crecimiento anual proyectado. Adicionalmente, en este escenario se tiene que la cantidad de pasajeros atendidos con espera en fila menor a 5 minutos de 2025 (3.644 pasajeros) se alcanza en 2033 aproximadamente (3.769).

Año	Escenario 1: Proceso actual		Escenario 2	
	Cantidad de pax con atención < 5 [min]	Hora	Cantidad de pax con atención < 5 [min]	Hora
2025	3.694	7:41:00	4.644	7:59:06
2026	3.544	7:33:44	4.566	7:50:06
2027	2.727	7:21:00	4.405	7:57:11
2028	2.664	6:26:00	4.125	7:27:04
2029	2.502	6:27:00	4.085	7:30:35
2030	2.472	6:18:55	3.887	7:08:19
2031	2.468	6:19:51	3.838	7:12:58
2032	2.448	6:20:20	3.808	7:21:19
2033	2.354	6:22:51	3.769	7:10:29
2034	1.174	4:43:23	3.533	7:04:25
2035	861	5:00:46	3.193	6:31:42

Tabla 3.4: Comparación capacidad del proceso. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se tiene la hora como indicador relevante del proceso, pues muestra la capacidad de absorción de la demanda. Un desplazamiento de este valor hacia horarios más tempranos en las proyecciones del *Escenario 1* es evidencia de un colapso prematuro del sistema; es decir, el proceso agota su capacidad de atención menor a 5 minutos mucho antes de completar la jornada de alta demanda, que como se mostró en el *Gráfico 3.5* es de 6:00 a 9:00 hrs. Por el contrario, la estabilidad horaria del *Escenario 2* garantiza que el nivel de servicio se mantiene durante una mayor proporción de la operación diaria, validando utilidad de la mejora.

La comparación del *Gráfico 3.7* muestra la mejora del proceso, en donde mientras la curva del proceso actual, representada por la línea amarilla, muestra un colapso inminente hacia el final del período, por otra parte, la propuesta de mejora mantiene una trayectoria estable, representada por la línea azul.

La brecha creciente entre ambas curvas representa el costo de oportunidad en nivel de servicio que el aeropuerto estaría asumiendo de no implementar las mejoras proyectadas.

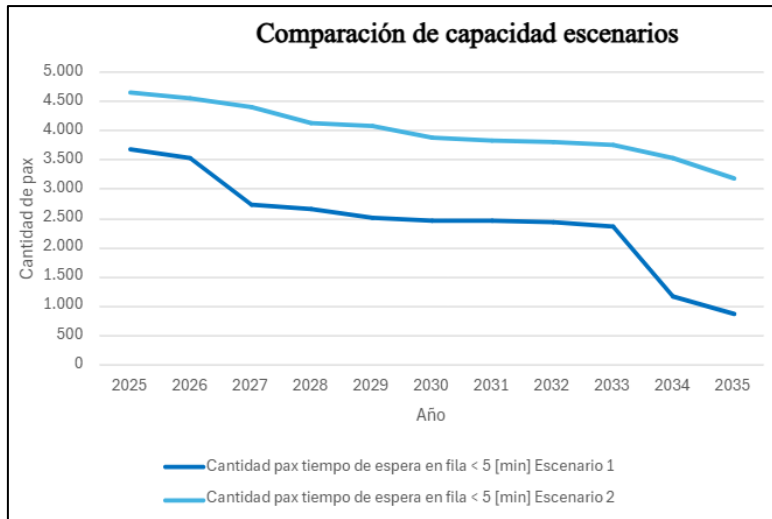


Gráfico 3.7: Comparación de capacidad de Escenarios. Fuente: Elaboración propia.

3.6 Propuesta de mejora de ingreso Embarque Nacional

Considerando lo anterior, la propuesta de mejora de ingreso a embarque nacional contempla 8 máquinas de rayos X, 8 pórticos detector de metales, 2 e-gates y 38 funcionarios AVSEC distribuidos de la siguiente manera: 1 funcionario de apoyo en e-gates, 8 funcionarios operadores de la máquina de rayos X, 8 funcionarios operadores de la estación de re-chequeo y/o registro de pertenencias, 8 funcionarios operadores con detector de metales manual, 8 funcionarios operadores de ETD, 4 funcionarios para entregar información los pasajeros respecto de los objetos metálicos que deben ser retirados y posición de equipajes en bandejas disponibles y 1 funcionario encargado de turno.

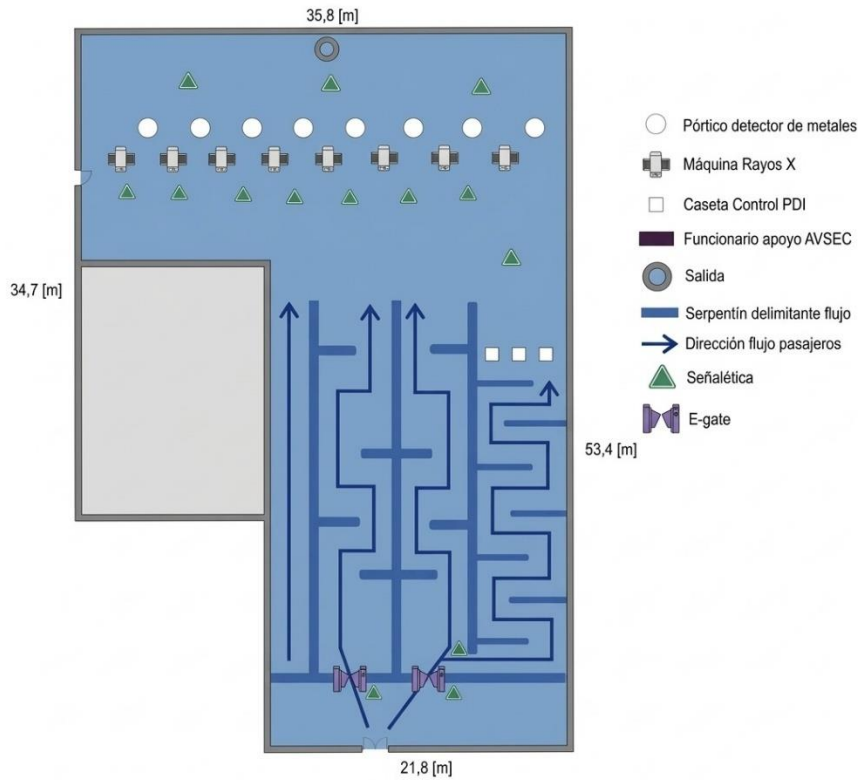


Figura 3.1: Layout control AVSEC Escenario 2. Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, un aspecto muy relevante es la que la propuesta considera la señalización de puntos relevantes para dirigir el flujo de pasajeros simbolizado con círculos blanco, entre estos puntos relevantes se considera: e-gate 1, e-gate 2, control secundario (revisión manual) cuando el control con e-gate no funciona o para ingreso de tripulación, paso para control PDI, marca inicio del control con máquina rayos X y dirección del proceso.

Esta propuesta evidencia la mejora del proceso a través de la disminución de cantidad de pasajeros fuera del nivel C en un 77% y disminución de tiempo máximo de espera en fila alcanzado por año de proyección de un 60%. Tal como se muestra en la siguiente tabla:

Año	Escenario 1		Escenario 2		% variación cantidad de pasajeros fuera de nivel C	% variación tiempos máximos de espera en fila alcanzados
	Cant. pasajeros fuera nivel C	Tiempo máximo de espera en fila alcanzado [min]	Cant. pasajeros fuera nivel C	Tiempo máximo de espera en fila alcanzado [min]		
2025	1.141	8	0	4.5	-100%	-44%
2026	1.878	13	337	7.5	-82%	-42%
2027	2.039	14	518	8	-75%	-43%
2028	3.709	18	756	8.2	-80%	-54%
2029	5.173	25	901	11	-83%	-56%
2030	6.975	39	1.365	11	-80%	-72%
2031	7.483	40	2.372	12	-68%	-70%
2032	12.047	49	3.012	12	-75%	-76%
2033	13.860	50	3.712	19	-73%	-62%
2034	15.471	73	4.698	19	-70%	-74%
2035	15.860	82	6.022	27	-62%	-67%
Promedio	7.785	37	2.154	13	-77%	-60%

Tabla 3.5: Comparación de resultados escenarios. Fuente: elaboración propia.

3.7 Consideraciones y puntos de mejora del proceso

A pesar de la saturación actual, la principal fortaleza del proceso radica en la consistencia de los protocolos de security, evidenciados en una secuencia lógica de filtros que garantiza la trazabilidad total desde la validación documental hasta la inspección física, de acuerdo con lo descrito en la Figura 2.2 de diagrama de flujo del proceso, en donde hay una clara separación de funciones de AVSEC y protocolos bien definidos, como por ejemplo, el funcionario que revisa los documentos no es el mismo que revisa el equipaje con Rayos X para el mismo pasajero; los objetos prohibidos están establecidos y aceptar o no el ingreso de estos a embarque no recae en el criterio de cada funcionario AVSEC, lo que permite mantener la integridad operativa y la seguridad de la aviación. Sin embargo, al aumentar el flujo de pasajeros la rigurosidad de los controles puede verse afectada.

Por otra parte, se identifican una serie de debilidades y puntos importantes de mejora.

El *Escenario 2* debe entenderse como una oportunidad para reconsiderar cómo funciona el proceso y plantearse soluciones o mitigación del impacto del tiempo de espera en fila con antelación al colapso y al fin de la concesión.

El sistema actual se observa una saturación del proceso, que se evidencia en el no cumplimiento del estándar, si bien todavía es funcional, a futuro solución apuntaría al sobredimensionamiento del terminal con más metros cuadrados y personal, lo cual es ineficiente y costoso a corto plazo.

La principal debilidad del sistema radica en la falta de estandarización y mecanismos de control. Al carecer de métricas mandatorias, consecuencias administrativas o incentivos económicos, los actores clave como el aeropuerto, aerolíneas y DGAC no enfrentan una obligación real para optimizar el flujo de pasajeros, lo que perpetúa la ineficiencia operativa.

Para mitigar el colapso del proceso, el aeropuerto debe adoptar estrategias de grandes terminales internacionales como Londres Heathrow, orientadas a aplanar la curva de demanda mostrada en los *Gráficos 3.5* y *3.6*. Una medida clave sería implementar tasas diferenciadas en horarios punta, similar al modelo de tarificación por congestión, incentivando a las aerolíneas a reprogramar sus vuelos hacia horarios valle mediante beneficios económicos. Complementariamente, es fundamental gestionar la percepción del tiempo del pasajero siguiendo el ejemplo del Aeropuerto de Changi, Singapur (nombrado Mejor Aeropuerto del Mundo en 13 ocasiones, entre ellas este año 2026), donde el uso de pantallas con tiempos de espera estimados y videos informativos

transforma la incertidumbre en una espera informada. Estas acciones no solo ayudan a que la permanencia en fila parezca menor para el usuario, sino que optimizan la operatividad del terminal al preparar al pasajero antes de llegar al punto de control, reduciendo así la fricción en el flujo.

Dado lo anterior, no se puede seguir operando bajo un modelo ambiguo; es necesario establecer una fiscalización efectiva y un sistema de incentivos que garantice un estándar mínimo de calidad para todos los pasajeros sostenible a largo plazo.

Conclusión y recomendaciones

En esta investigación, se abordó un problema común en todos aeropuertos del mundo: las largas filas y tiempos de espera de atención, en donde la percepción del pasajero es difícil de medir, pero en donde su experiencia se ve condicionada por la gestión e infraestructura del terminal.

Tras la revisión literaria de aeropuertos que han implementado tecnología de automatización en el proceso de embarque, junto con el análisis del flujo de pasajeros, PHP30 y tiempos de espera en el punto de acceso a la zona de embarque nacional del Aeropuerto Arturo Merino Benítez, se propuso una mejora al proceso de ingreso a embarque nacional que incluye la incorporación de tecnología e-gates en el control de documentos para cumplir con el estándar de nivel de servicio asociada a la PHP30, el cual contempla 8 máquinas de rayos X, 8 pórticos detector de metales, 2 e-gates y 30 funcionarios AVSEC. Adicionalmente, esta propuesta considera la señalización de puntos relevantes en la zona de control para dirigir el flujo de pasajeros, entre los cuales se destacan: e-gate 1, e-gate 2, control secundario (revisión manual) cuando el control con e-gate no funciona o para ingreso de tripulación, paso para control PDI, marca inicio del control con máquina rayos X y dirección del proceso. Lo anterior, con el fin de potenciar la infraestructura AVSEC existente sumado al uso de e-gates.

Esta propuesta de diseño aporta una mayor eficiencia en el Terminal Nacional de AMB, que considera el aumento de 2,5% anual del tráfico de pasajeros, junto con la reducción de tiempo de espera y como consecuencia, una mejora en la experiencia del pasajero, en donde se estima una disminución promedio del 77% en cantidad de pasajeros fuera del nivel C y una reducción del 60% en los tiempos máximos de espera alcanzados entre 2025 y 2035.

Sin embargo, a pesar de sus ventajas, el control biométrico enfrenta desafíos importantes, como la privacidad de los datos, en donde manejo de información biométrica requiere estrictos protocolos de seguridad para evitar filtraciones; la infraestructura tecnológica dado que se requiere de una gran inversión de recursos, como un mínimo de alrededor de 60.000 dólares en hardware, sumado a los costos de implementación, mantención y soporte del sistema y, por último. la aceptación de los pasajeros, ya que algunos aún desconfían de la tecnología y prefieren métodos tradicionales.

Dentro de las oportunidades de la implementación de la propuesta de diseño se tiene una mayor eficiencia durante el alto tráfico, reducción de tiempos de espera y mejora en la experiencia de pasajeros y trabajadores. Dentro de los desafíos, se destaca la inversión en

infraestructura, capacitación del personal, y garantizar la protección de datos personales bajo la Ley 19.628 sobre protección de la vida privada. (MINSAL, 1999)

Bajo un enfoque metodológico, esta investigación demuestra que el uso de herramientas tecnológicas para potenciar la infraestructura y recursos existentes tienen un impacto positivo directo en el Nivel de Servicio del Aeropuerto Arturo Merino Benítez, lo cual coincide el estándar mundial de aeropuertos.

Como líneas de investigación futuras, se recomienda un análisis económico para estimar costos de implementación de la propuesta.

Finalmente, a la luz de la evidencia recolectada, se recomienda implementar el diseño de proceso a embarque nacional paulatinamente, para lograr una transición que no provoque un mayor tiempo de espera al ya existente sin la implementación de la propuesta, permitiendo que los pasajeros y trabajadores se familiaricen con la nueva interfaz tecnológica de forma progresiva, reduciendo la incertidumbre y cuidando el Nivel de Servicio dentro de los estándares definidos para el Terminal Nacional.

Bibliografía

- Aeropuertos Uruguay. (2026, febrero). Tecnología biométrica y eficiencia operativa en la Terminal de Carrasco. Recuperado de <https://aeropuertodecarrasco.com.uy/tecnologia-biometrica/>
- Airline92. (2025, 30 de abril). Chile: Un hub regional bien posicionado en la aeronáutica. Recuperado de <https://www.airline92.com/noticias/industria-aeronautica/chile-hub-regional-bien-posicionado-aeronautica/>
- Airports Council International - North America. (2020, marzo). CHAPTER 9 SECURITY. Recuperado de <https://airportscouncil.org/wp-content/uploads/2020/03/CHAPTER-9-SECURITY.pdf>
- Aviacionline.com. (2024, diciembre 17). El aeropuerto de Santiago evalúa un nuevo acceso para embarques nacionales. Aviacionline.com. <https://www.aviacionline.com/el-aeropuerto-de-santiago-evalua-un-nuevo-acceso-para-embarques-nacionales>
- ChileAtiende. (2024, 13 de septiembre). Formulario Único de Ingreso a Isla de Pascua (FUI). Recuperado de <https://www.chileatiende.gob.cl/fichas/77683-formulario-unico-de-ingreso-a-isla-de-pascua-fui>
- Communications, European Civil Aviation Conference (ECAC). (2021, January 28). ECAC News No. 77: Aviation security. European Civil Aviation Conference. Recuperado de https://www.ecac-ceac.org/images/news/ecac-news/ECAC_News_77_Aviation_Security.pdf
- Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). (2021, agosto). ARTÍCULOS PROHIBIDOS EN AERONAVES. Recuperado de https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2021/08/Articulos_Prohibidos.pdf
- Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). (2022, 19 de agosto). DGAC: 92 AÑOS CUIDANDO LOS CIELOS DE CHILE. Recuperado de <https://www.dgac.gob.cl/dgac-92-anos-cuidando-los-cielos-de-chile/>
- Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). (2025, 19 de mayo). DAN 17, 2da edición. Recuperado de https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2025/05/DAN-17_ED2_19MAY2025.pdf
- Dirección General de Aeronáutica Civil. (2025, 9 de junio). Cuenta Pública. Recuperado de https://www.dgac.gob.cl/cuenta_publica/
- Dirección Nacional de Aeropuertos, Ministerio de Obras Públicas. (2011). Manual de Desarrollo Aeroportuario - DAP (2ª Edición).
- Dirección Nacional de Aeropuertos, Ministerio de Obras Públicas. (2011). Manual de Desarrollo Aeroportuario - DAP (2ª Edición). <https://www.mtt.gob.cl/archivos/37460>
- Dirección Nacional de Migraciones (DNM). (2026, febrero). Modernización de pasos fronterizos y pasarelas biométricas en Ezeiza. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/interior/migraciones/pasarelas-biometricas>
- DW. (2024, 13 de agosto). Man with no ticket boards 2 flights at Munich airport. [Hombre sin boleto aborda 2 vuelos en el aeropuerto de Múnich]. <https://www.dw.com/en/man-with-no-ticket-boards-2-flights-at-munich-airport/a-69932965>

European Civil Aviation Conference. (2022). ECAC News, (77). Recuperado de https://www.ecac-ceac.org/images/news/ecac-news/ECAC_News_77_Aviation_Security.pdf

FlexSim Software Products. (s. f.). Simulación 3D para la industria: Optimice sus procesos con FlexSim. <https://www.flexsim.com/es/>

Giraldo-Velásquez, C.M., Muñoz-Vélez, T.A., Valderrama, A.S. & Zapata-Aguirre, S. (2017). La calidad percibida del servicio. Un análisis de las infraestructuras aeroportuarias. Dimensión Empresarial, 15(1 Especial), 217-226. <https://doi.org/10.15665/rde.v15i1.1386>

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001). Introduction to operations research (7th ed.). MCGRAW HILL INC. Recuperado de <https://repository.unikom.ac.id/67197/1/Bab%2017%20Antrian.pdf>

IATA. (10 de diciembre de 2024). IATA: La demanda de pasajeros de 2024 superará los niveles anteriores a la pandemia. IATA. <https://www.iata.org/es/pressroom/2024-releases/2024-12-10-01/>

IATA. (s.f.). Airport passenger security level of service. IATA. <https://www.iata.org/en/services/consulting/airport-pax-security/level-of-service/>

International Air Transport Association. (2022). Airport Development Reference Manual (ADRM). Recuperado de <https://www.iata.org/en/publications/manuals/airport-development-reference-manual/>

International Air Transport Association. (2024). Global Passenger Survey 2024: Highlights. Recuperado de <https://www.iata.org/contentassets/43e93463336d4fadae5c474d2874aa46/gps-2024-highlights.pdf>

International Air Transport Association. (s.f.). IATA Level of Service (LoS) Best Practice. Recuperado de <https://www.iata.org/contentassets/d1d4d535bflc4ba695f43e9beff8294f/iata-level-of-service-paper-best-practice.pdf>

International Biometrics + Identity Association. (2018). The IBIA Glossary is Here!. Recuperado de <https://www.ibia.org/biometrics/glossary>

International Civil Aviation Organization. (2017, noviembre). GLOBAL AVIATION SECURITY PLAN. https://www.icao.int/SAM/Documents/2018-USAPCMA/Global_Aviation_Security_Plan_November_2017_en.pdf

International Civil Aviation Organization. (n.d.). Annex 17 - Aviation Security. Recuperado de <https://www.icao.int/security/sfp/pages/annex17.aspx>

International Civil Aviation Organization. (s.f.). Acerca de la OACI. Recuperado de <https://www.icao.int/about-icao/Pages/ES/default.aspx>

International Civil Aviation Organization. (s.f.). The Universal Security Audit Programme Continuous Monitoring Approach (USAP-CMA) and its Objective. Recuperado de <https://www.icao.int/security/usap/pages/default.aspx>

ISO 31010:2019. (2019). Gestión del riesgo - Técnicas de evaluación del riesgo. Organización Internacional de Normalización. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/795087326/ISO-31010-2019-Copy>

Johnson, R. R., & Kuby, P. J. (2012). Estadística elemental (11a ed.). Cengage Learning. Pearson. 2.2.4 Función Exponencial.

Junta de Aeronáutica Civil. (17 de abril de 2024). Transporte aéreo alcanzó récord histórico con más de 28,2 millones de pasajeros en 2024. JAC. <https://www.jac.gob.cl/transporte-aereo-alcanzo-record-historico-con-mas-de-28-2-millones-de-pasajeros-en-2024/>

Junta de Aeronáutica Civil. (2015, Noviembre). Estudio Metodología tiempos de espera. <https://www.jac.gob.cl/wp-content/uploads/2015/11/Estudio-Metodologia-tiempos-de-espera.pdf>

Khan, N., & Efthymiou, M. (2021). The use of biometric technology at airports: The case of customs and border protection (CBP). International Journal of Information Management Data Insights, 1, 100049. Recuperado de <https://doras.dcu.ie/27549/1/1-s2.0-S2667096821000422-main.pdf>

Labra, A. (13 de enero de 2024). Las culpas cruzadas que desatan el caos en el aeropuerto de Santiago. La Tercera. <https://www.latercera.com/la-tercera-sabado/noticia/las-culpas-cruzadas-que-desatan-el-caos-en-el-aeropuerto-de-santiago/D2TXSJKDUNFY5MMMYEB3LS7DM/>

Lima Airport Partners (LAP). (2026, marzo). Lanzamiento del nuevo Terminal Único del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. Recuperado de <https://www.lima-airport.com/comunicados/nuevo-terminal-2026>

Matthews, R. (2016). Log-Normal distribution. Significance, 14(1), 8–10. <https://academic.oup.com/jrssig/article/14/1/8/7030062>

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2015, 9 de julio). Decreto N° 232. LeyChile, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1079309>

Minitab, LLC. (2025). Minitab Statistical Software. <https://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/>

Ministerio de Salud. (1999, 15 de septiembre). Decreto 594. LeyChile, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=141599>

Narváez-Gómez, J. E., Ordoñez-Luna, W. A., & Paz-Ruiz, N. E. (2018). Análisis y simulación de tiempos de espera aplicando teoría de colas en una terminal de transportes. Publicaciones e Investigación, 12(2), 35-43

Nuevo Pudahuel. (14 de marzo de 2024). Aeropuerto de Santiago T1. Nuevo Pudahuel. <https://www.nuevopudahuel.cl/noticia/np-aeropuertodesantiago-t1>

Nuevo Pudahuel. (2022, 1 de junio). Presentación Un terminal más espacioso ¿Cómo llegar al Aeropuerto de Santiago?. Recuperado de <https://www.nuevopudahuel.cl/sites/default/files/t2/infografia-es.pdf>

Nuevo Pudahuel. (2024, 19 de Noviembre). Aeropuerto de Santiago informa positivo desempeño de octubre. Nuevo Pudahuel. <https://www.nuevopudahuel.cl/noticia/aerpuertodesantiago-np-informeoctube>

Nuevo Pudahuel. (s.f). Información para el pasajero. Recuperado de <https://www.nuevopudahuel.cl/informacion-para-el-pasajero>

Organización de Aviación Civil Internacional. (2017). Anexo 9 — Facilitación (15ª ed.). Montreal, Canadá. Recuperado de https://www.jac.gob.cl/wp-content/uploads/2023/01/an09_cons_es.pdf

Organización de Aviación Civil Internacional. (2022, abril). Anexo 17. (Décima edición). Recuperado de <https://ffac.ch/wp-content/uploads/2020/10/ICAO-Annex-17-Security.pdf>

Organización de Aviación Civil Internacional. (2022, julio). Anexo 9 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional: Facilitación (Decimosexta edición). Recuperado de https://www.jac.gob.cl/wp-content/uploads/2023/01/an09_cons_es.pdf

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2025, mayo). Documento 9303: Documentos de viaje de lectura mecánica. Recuperado de <https://www.icao.int/publications/pages/publication.aspx?docnum=9303>

Roe, G. (2024, 25 de Julio). Pendiente récord en el Aeropuerto de Santiago: 7,5 millones de pasajeros en el primer trimestre de 2025. Aviacionline.com. <https://www.aviacionline.com/pendiente-record-en-el-aeropuerto-de-santiago-75-millones-de-pasajeros-en-el-primer-trimestre-de-2025>

Ross, S. M. (2014). Introduction to probability and statistics for engineers and scientists (5a ed.). Academic Press.

Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE). (2026, enero). Lineamientos para el uso de filtros migratorios autónomos en territorio mexicano. Recuperado de <https://www.gob.mx/sre/documentos/filtros-migratorios-autonomos>

SIMIO®-simulacion.es. (s.f.). ¿Qué es SIMIO®?. Recuperado de <https://www.SIMIO®-simulacion.es/>

Skytrax. (2025). About the World Airport Star Rating. Skytrax Ratings. Recuperado de <https://skytraxratings.com/about-airport-ratings>

The Associated Press. (2024, 20 de marzo). Passenger arrested after boarding plane in Utah with fake boarding pass. [Pasajero arrestado tras abordar avión en Utah con pase de abordar falso]. <https://apnews.com/article/passenger-arrested-fake-boarding-pass-92a3a31bf9ba6c63ba82d2565132cbc2>

U.S. Attorney's Office, District of Utah. (2025, 20 de mayo). Delta Airline Stowaway Sentenced to a Felony Conviction. [Polizón de Delta Airline Sentenciado por Delito Grave]. Departamento de Justicia de EE. UU. Recuperado de <https://www.justice.gov/usao-ut/pr/delta-airline-stowaway-sentenced-felony-conviction>

Wang, M. (2017). Application of the Queuing Theory in Characterizing and Optimizing the Passenger Flow at the Airport Security. Journal of Applied Mathematics and Physics, 5(9), 1620–1628. Recuperado de https://www.scirp.org/pdf/JAMP_2017091315572183.pdf

Anexos

A (Tiempo de espera en fila [s])													
40	68	92	112	142	174	208	240	276	329	398	478	573	685
41	70	94	114	145	177	211	243	280	334	403	484	580	693
45	72	91	116	147	179	213	246	283	338	408	490	587	701
47	70	96	118	149	181	215	238	287	342	413	496	594	709
48	74	98	120	151	183	218	248	286	346	418	502	601	718
51	75	96	122	153	186	220	251	290	351	423	508	609	726
53	78	99	124	155	188	222	254	294	355	428	514	616	735
55	76	102	126	157	190	225	256	297	360	433	521	623	743
58	79	104	128	159	192	227	257	301	364	439	527	631	752
60	82	102	130	161	194	229	258	305	369	444	534	638	761
61	81	104	132	164	197	232	262	309	374	450	540	646	
60	84	106	134	166	199	234	265	313	378	455	547	653	
62	86	108	136	168	201	237	266	317	383	461	553	661	
65	87	110	138	170	204	239	270	321	388	467	560	669	
67	89	110	140	172	206	237	273	325	393	472	567	677	

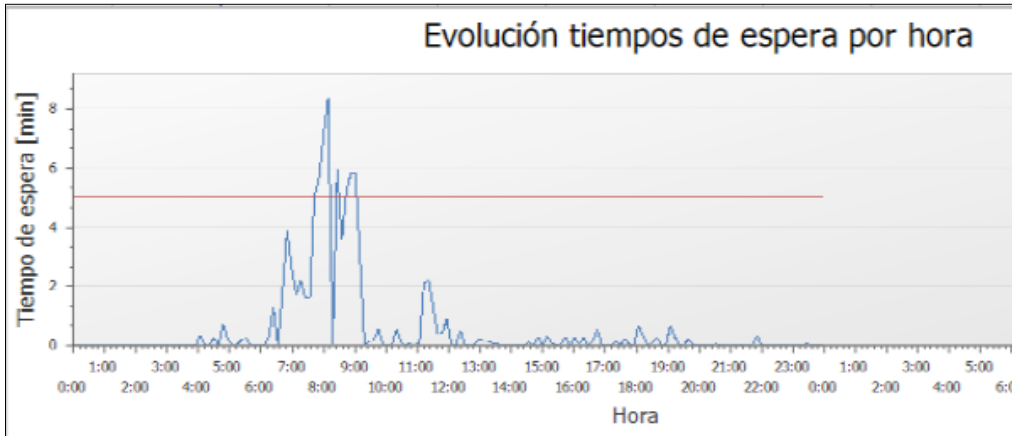
Anexo A: Tiempo de espera en fila en segundos. Fuente: elaboración propia.

B (Tiempo de Control AVSEC en [s])													
41	66	94	114	141	175	203	146	171	200	232	268	308	351
40	70	93	117	145	172	206	148	169	197	229	265	304	348
43	74	92	120	148	176	204	151	173	201	234	270	310	354
45	71	96	118	152	179	207	155	176	206	238	276	316	361
49	75	99	121	149	183	211	152	174	203	236	273	312	357
50	78	96	125	152	180	214	155	178	208	240	278	318	364
55	78	100	128	156	184	211	158	182	212	245	284	325	371
54	77	103	126	159	187	215	153	180	209	243	280	321	367
59	82	107	129	157	191	218	156	184	214	248	286	327	374
62	80	104	132	160	188	222	160	188	218	253	292	333	381
60	82	106	136	164	191	219	158	185	216	250	288	329	
63	85	109	133	167	195	223	162	189	220	255	294	336	
61	88	112	137	165	198	226	166	193	225	260	300	342	
65	91	109	140	168	196	148	163	191	222	257	296	338	
68	90	111	144	172	199	150	167	195	227	263	302	345	

Anexo B: Tiempo de control AVSEC. Fuente: elaboración propia.

Anexo C

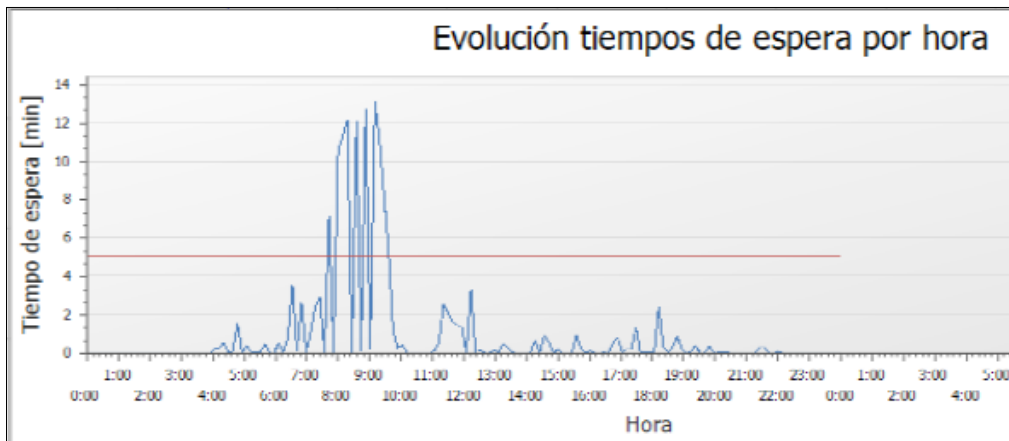
Como se ve en el Anexo C.1, en 2025 se tiene que toda el área arriba de la línea roja son los pasajeros que se encuentran fuera del nivel de servicio C, lo cual corresponde a 1.141 de un total de 17.282, es decir un 6,6% del total, si bien no es la mayoría de los pasajeros, en el gráfico se ven esperas de 9 minutos, lo cual es aproximadamente el doble del máximo recomendado.



Anexo C.1: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 1 en 2025.*

Fuente: SIMIO®.

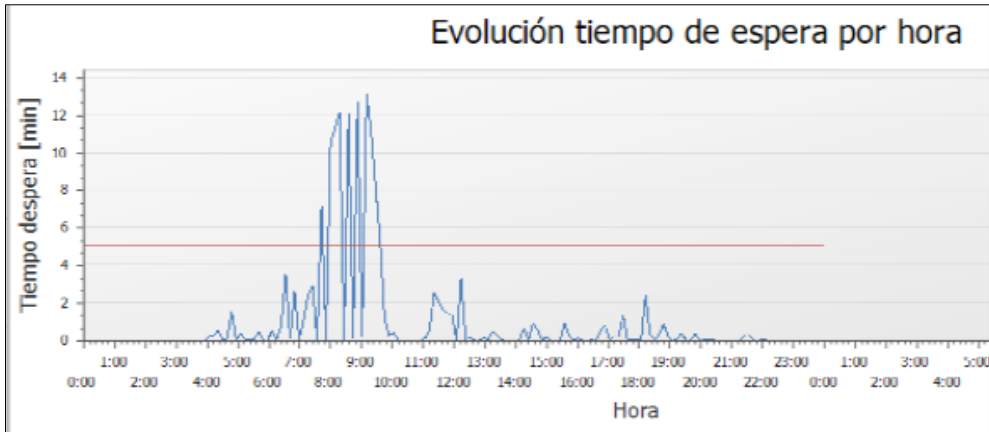
En el Anexo C.2, que corresponde a la proyección de 2026 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 1.878 de un total de 17.714, lo que corresponde al 10,6% del total.



Anexo C.2: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 1 en 2026.*

Fuente: SIMIO®.

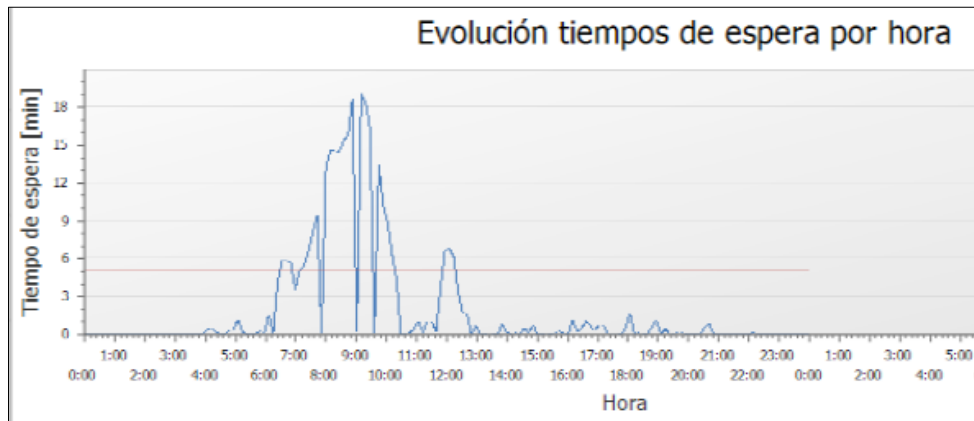
En el Anexo C.3 que corresponde a la proyección de 2027 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 2.039 de un total de 18.056, lo que corresponde al 11,29% del total.



Anexo C.3: Evolución tiempos de espera por hora Escenario 1 en 2027.

Fuente: SIMIO®.

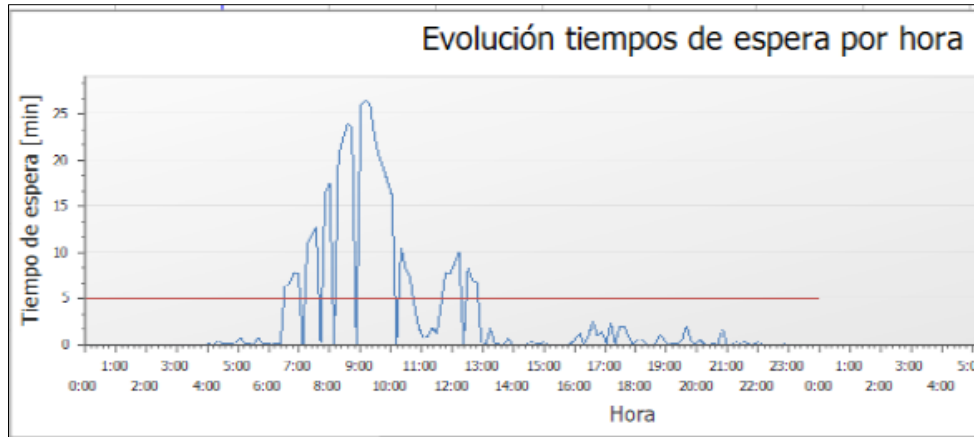
En el Anexo C.4, que corresponde a la proyección de 2028 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 3.709 de un total de 18.626, lo que corresponde al 19,91% del total.



Anexo C.4: Evolución tiempos de espera por hora Escenario 1 en 2028.

Fuente: SIMIO®.

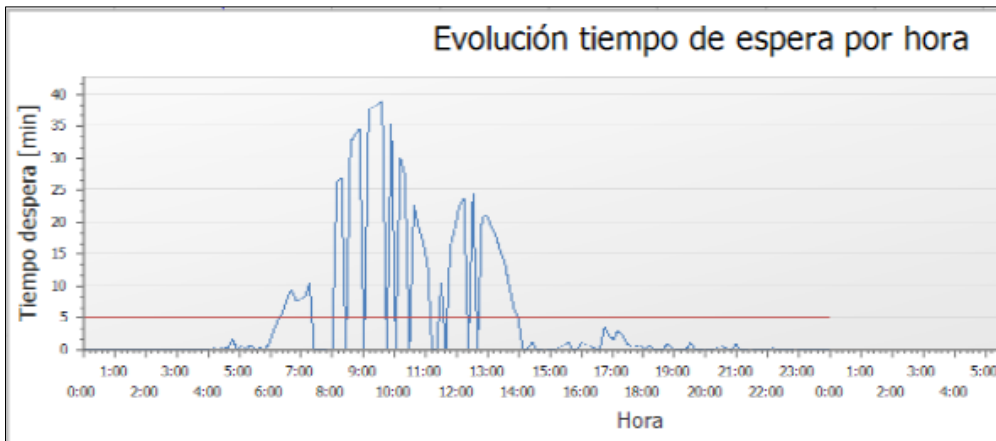
En el Anexo C.5, que corresponde a la proyección de 2029 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 5.273 de un total de 19.272, lo que corresponde al 26,84% del total.



Anexo C.5: Evolución tiempos de espera por hora Escenario 1 en 2029.

Fuente: SIMIO®

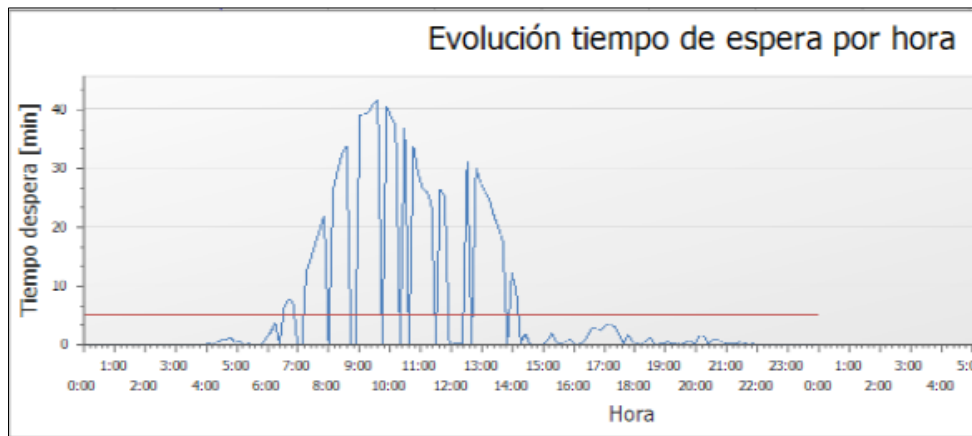
En el Anexo C.6, que corresponde a la proyección de 2030 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 6.975 de un total de 19.562, lo que corresponde al 35,66% del total.



Anexo C.6: Evolución tiempos de espera por hora Escenario 1 en 2030.

Fuente: SIMIO®

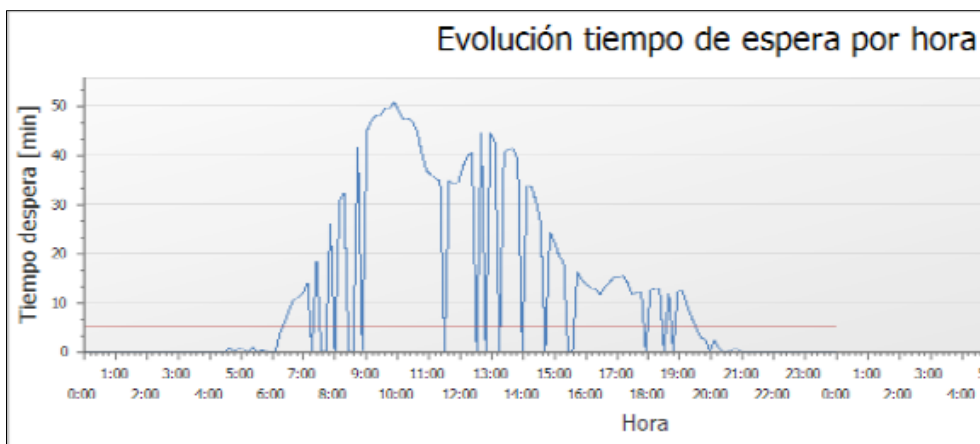
En el Anexo C.7, que corresponde a la proyección de 2031 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 7.483 de un total de 20.069, lo que corresponde al 37,29% del total.



Anexo C.7: Evolución tiempos de espera por hora Escenario 1 en 2031.

Fuente: SIMIO®

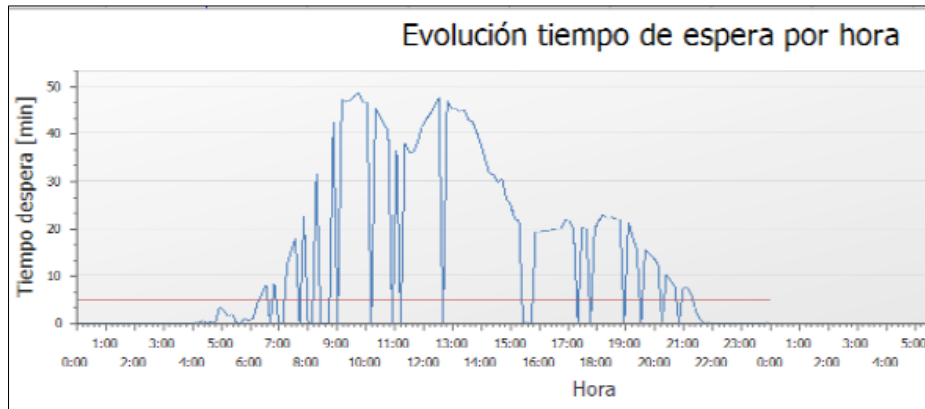
En el Anexo C.8, que corresponde a la proyección de 2032 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 12.047 de un total de 20.519, lo que corresponde al 58,71% del total.



Anexo C.8: Evolución tiempos de espera por hora Escenario 1 en 2032.

Fuente: SIMIO®

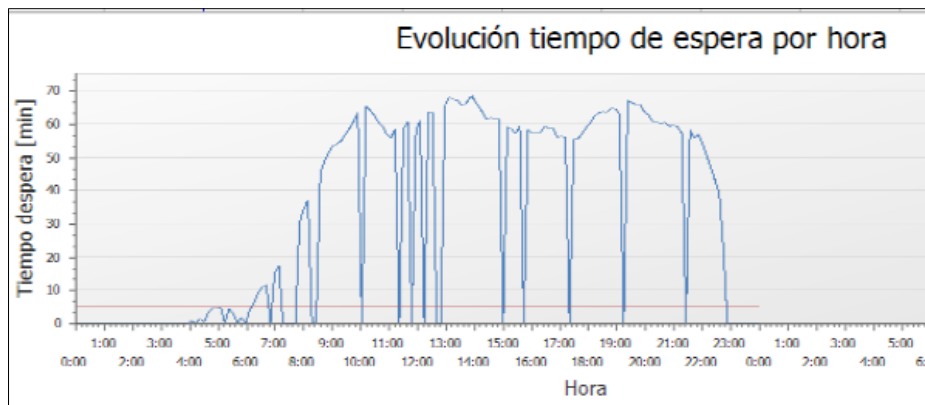
En el Anexo C.9 que corresponde a la proyección de 2033 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 13.860 de un total de 21.149, lo que corresponde al 65,54% del total.



Anexo C.9: Evolución tiempos de espera por hora Escenario 1 en 2033.

Fuente: SIMIO®

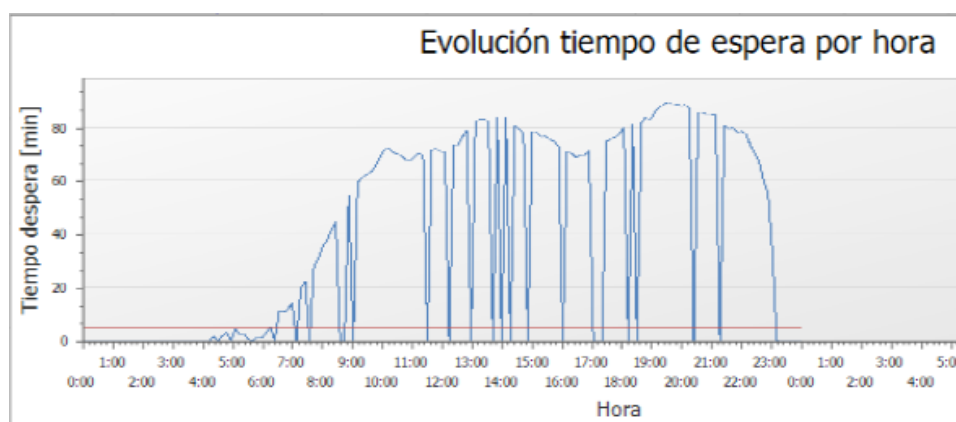
En el Anexo C.10, que corresponde a la proyección de 2034 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 15.471 de un total de 21.883, lo que corresponde al 70,7% del total.



Anexo C.10: Evolución tiempos de espera por hora Escenario 1 en 2034.

Fuente: SIMIO®

En el Anexo C.11, que corresponde a la proyección de 2035 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 15.860 de un total de 22.353, lo que corresponde al 70,95% del total.

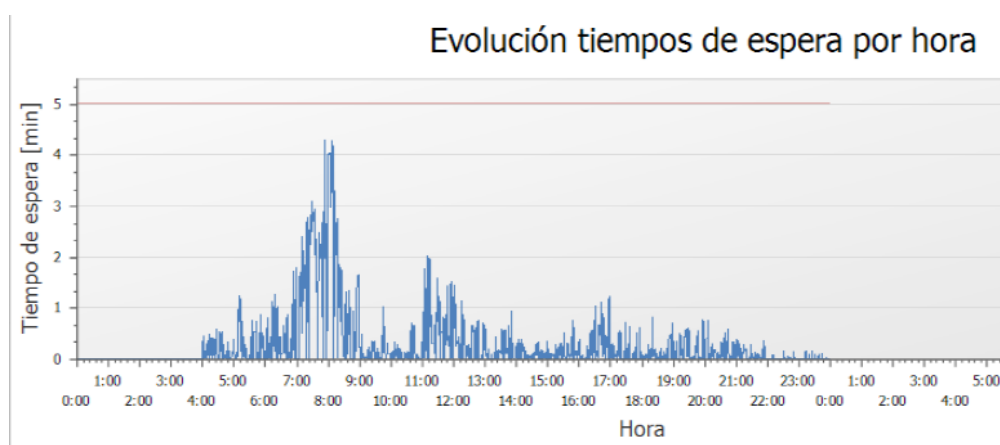


Anexo C.11: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 1 en 2035.*

Fuente: SIMIO®

Anexo D

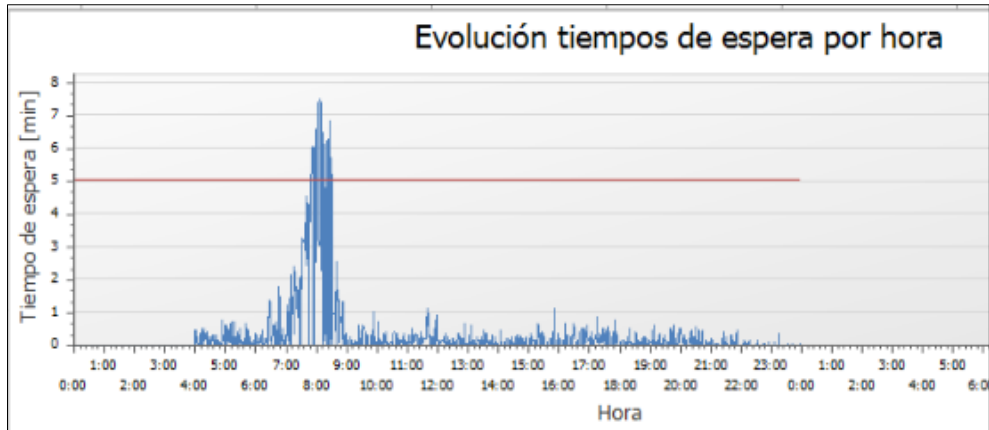
En el Anexo D.1, que corresponde a la proyección con 2 e-gates en 2025, se obtuvo que no hay pasajeros atendidos fuera del nivel de servicio recomendado de un total de 17.282.



Anexo D.1: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 2 en 2025.*

Fuente: SIMIO®

En el Anexo D.2, que corresponde a la proyección con 2 e-gates en 2026 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 377 de un total de 17.714, lo que corresponde al 1,9% del total.

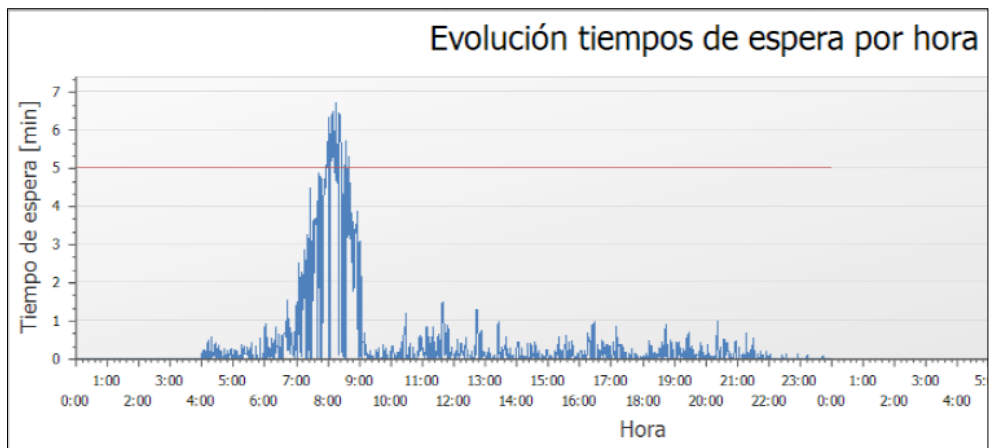


Anexo D.2: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 2 en 2026.*

Fuente: SIMIO®

Anexo D

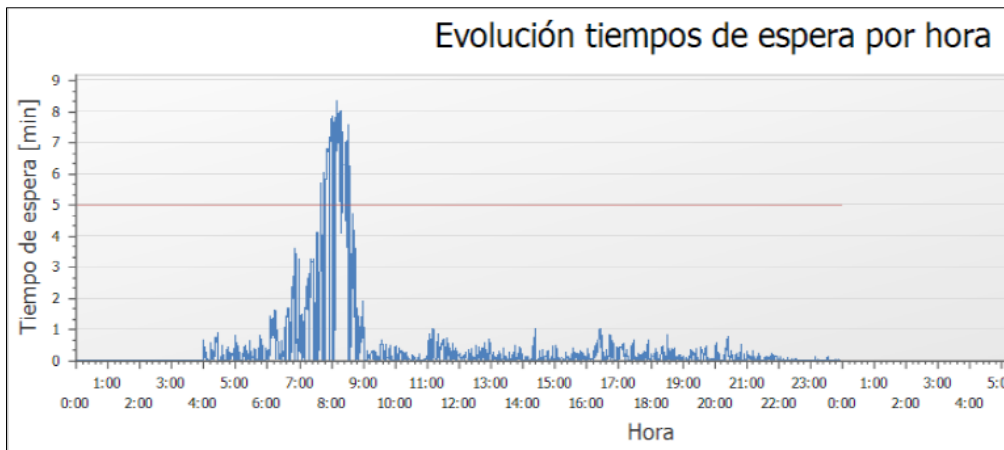
En el Anexo D.3, que corresponde a la proyección con 2 e-gates en 2027 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 518 de un total de 18.056, lo que corresponde al 2,87% del total.



Anexo D.3: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 2 en 2027.*

Fuente: SIMIO®

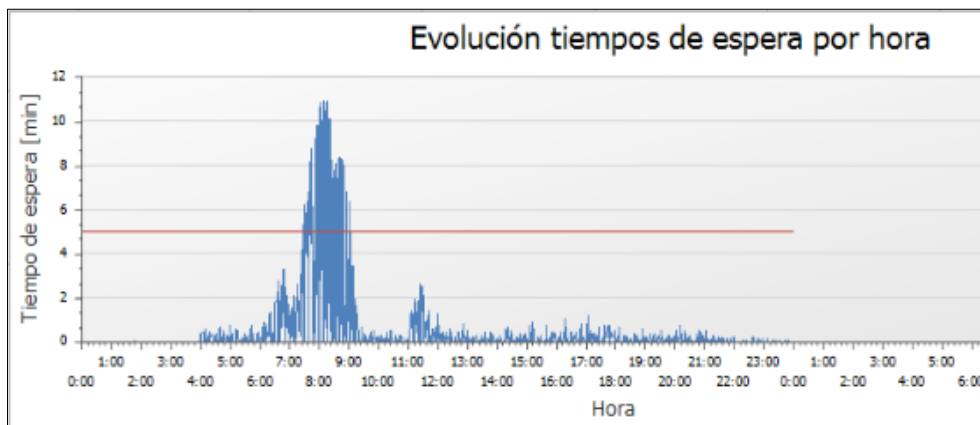
En el Anexo D.4 que corresponde a la proyección con 2 e-gates en 2028 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 756 de un total de 18.626, lo que corresponde al 4,06% del total.



Anexo D.4: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 2 en 2028.*

Fuente: SIMIO®

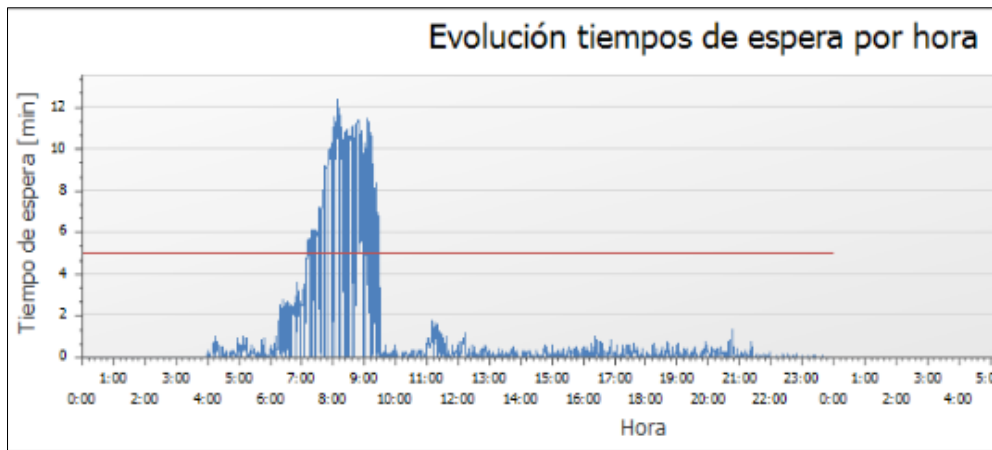
En el Anexo D.5, que corresponde a la proyección con 2 e-gates en 2029 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 901 de un total de 19.272, lo que corresponde al 4,68% del total.



Anexo D.5: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 2 en 2029.*

Fuente: SIMIO®

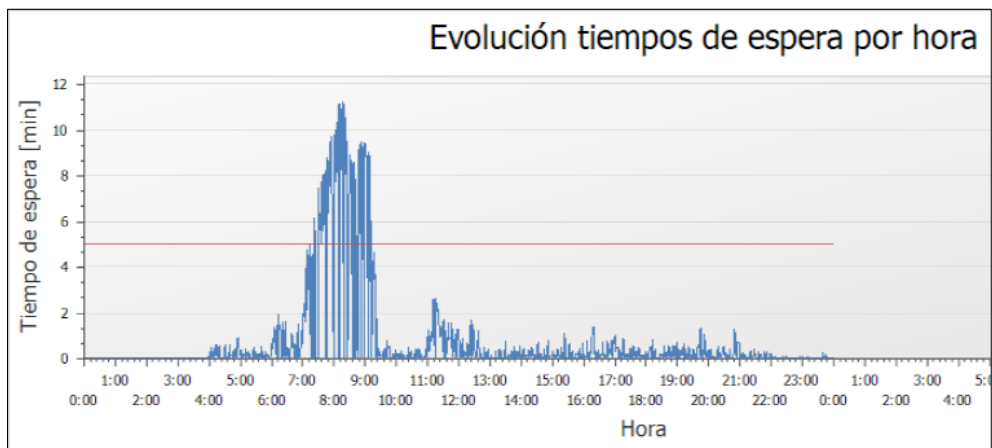
En el Anexo D.6, que corresponde a la proyección con 2 e-gates en 2030 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 1.365 de un total de 19.562, lo que corresponde al 6,98% del total.



Anexo D.6: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 2 en 2030.*

Fuente: SIMIO®

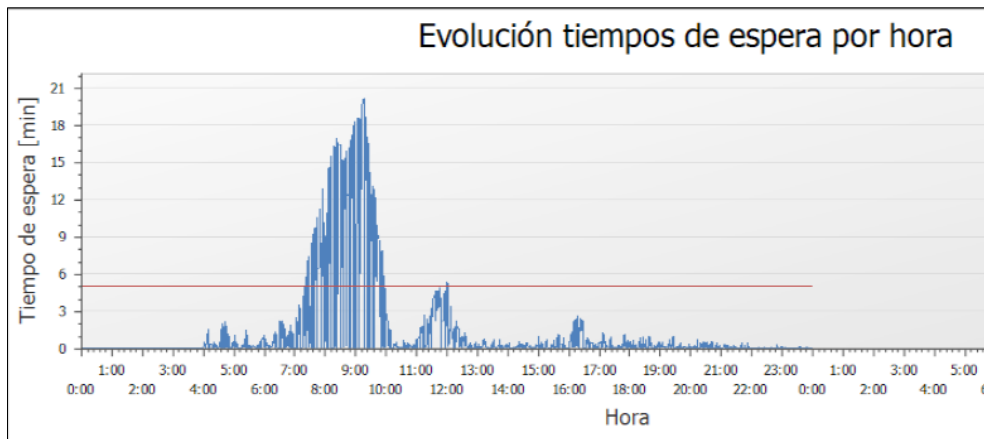
En el Anexo D.7, que corresponde a la proyección con 2 e-gates en 2031 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 2.732 de un total de 20.069, lo que corresponde al 11,82% del total.



Anexo D.7: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 2 en 2031.*

Fuente: SIMIO®

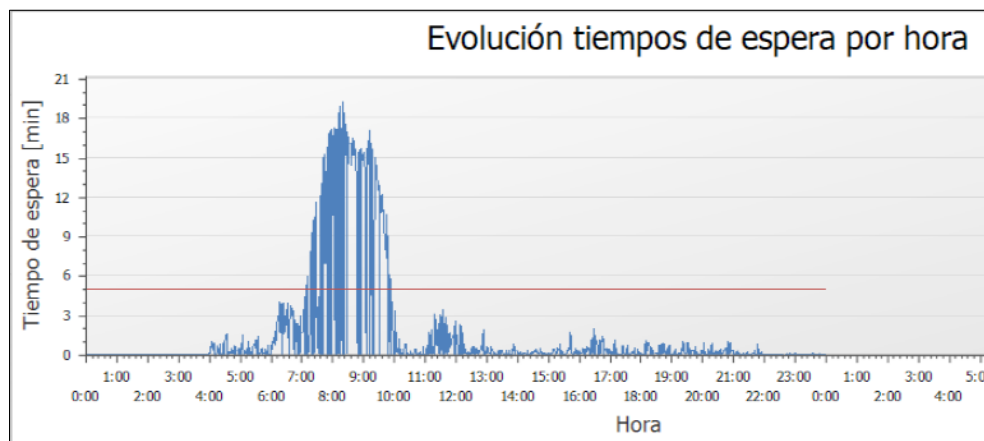
En el Anexo D.8, que corresponde a la proyección con 2 e-gates en 2032 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 3.012 de un total de 20.519, lo que corresponde al 14,68% del total.



Anexo D.8: Evolución tiempos de espera por hora Escenario 2 en 2032.

Fuente: SIMIO®

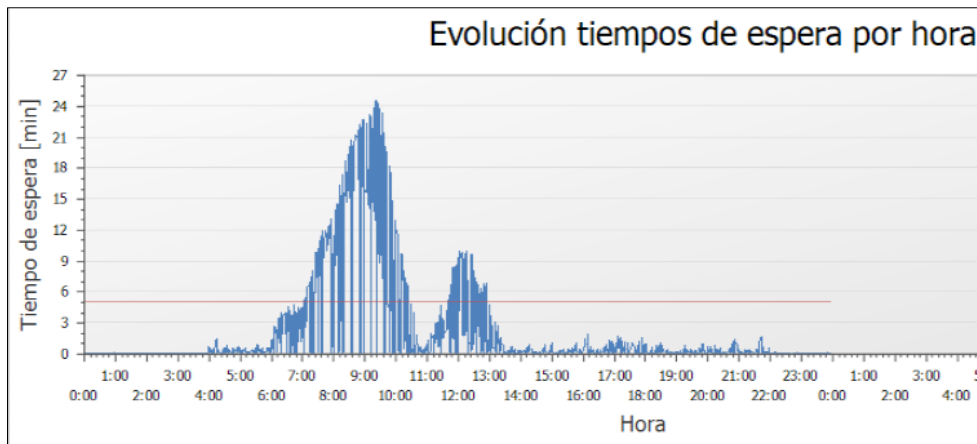
En el Anexo D.9, que corresponde a la proyección con 2 e-gates en 2033 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 3.712 de un total de 21.149, lo que corresponde al 17,55% del total.



Anexo D.9: Evolución tiempos de espera por hora Escenario 2 en 2033.

Fuente: SIMIO®

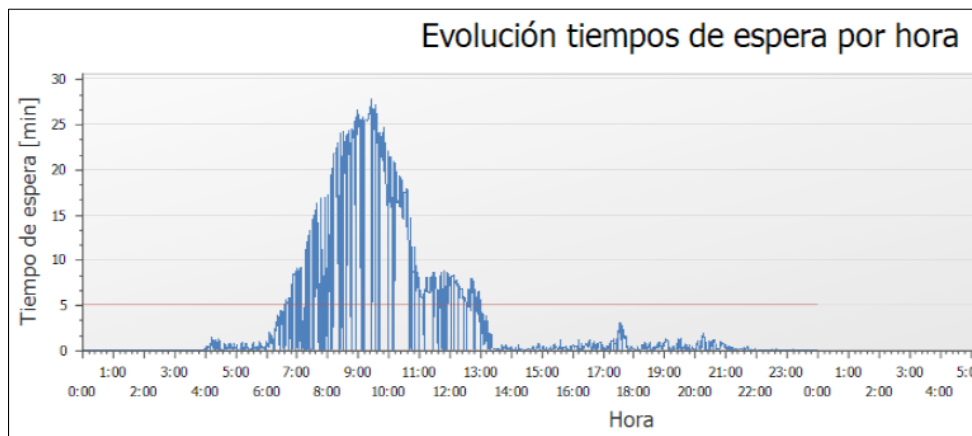
En el Anexo D.10, que corresponde a la proyección con 2 e-gates en 2034 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 4.698 de un total de 21.883, lo que corresponde al 21,47% del total.



Anexo D.10: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 2 en 2034.*

Fuente: SIMIO®

En el Anexo D.11, que corresponde a la proyección con 2 e-gates en 2035 con 2.5% de pasajeros más respecto del año anterior, se obtuvo que aumentó la cantidad de personas por fuera del nivel de servicio a 6.022 de un total de 22.353, lo que corresponde al 26,94% del total.



Anexo D.11: *Evolución tiempos de espera por hora Escenario 2 en 2035.*

Fuente: SIMIO®