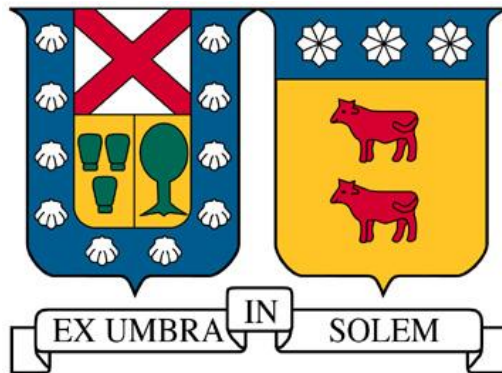


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE AERONÁUTICA  
SANTIAGO-CHILE



ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN FTD DE LA AERONAVE A320 PARA UN  
CENTRO DE CAPACITACIÓN EN TERRITORIO ARGENTINO.

CARLOS EDUARDO CHANDÍA LATORRE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUIA : SR. VICTOR POBLETE G.

PROFESOR CORREFERENTE : SRA. ANAMARIA ARPEA I.

JUNIO 2025



## 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 PREFACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN FTD DE LA AERONAVE A320 PARA UN CENTRO DE CAPACITACIÓN EN TERRITORIO ARGENTINO.

Nombre del candidato(a): Carlos Eduardo Chandía Latorre

Carrera / Grado: Ingeniería en Aviación Comercial

Campus: Santiago Vitacura ; Departamento: Departamento de Aeronáutica

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Víctor Poblete Gómez, 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

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:

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: 01/07/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 27/06/2025

; 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.*

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre, Olivia, y a mi padre, Carlos, quienes me han entregado todo lo que necesito en la vida, han priorizado siempre mi bienestar y me han apoyado en cada etapa y desafío que se me ha presentado. Sin ellos, nada de lo que he logrado hubiese sido posible, por lo que no podría estar más agradecido por todo lo que tengo gracias a ellos.

A Estefanny, mi hermana, quien durante mucho tiempo fue también mi segunda madre. Ha sido un pilar fundamental en mi vida y se ha sobrepuesto a una cantidad tremenda de obstáculos. Te admiro mucho, hermana mía. Estoy tremendamente orgulloso de lo que has logrado y de la familia que has formado.

A mis amigos, aquellos que he conocido a lo largo de los años y también durante esta carrera, quienes me han animado en momentos difíciles y me han entregado una perspectiva diferente frente a los diversos problemas que he debido enfrentar.

A Daniela, quien me ha entregado todo su apoyo incondicional en los momentos más complejos de mi carrera y de mi vida, me ha motivado a seguir adelante cuando solo quería resignarme y me ha prestado la ayuda que necesitaba, incluso cuando me rehusaba a pedirla.

A todos los profesores que he tenido desde los primeros años de mi educación hasta hoy, en esta etapa final de mis estudios superiores. Cada uno de ellos aportó su granito de arena para que yo sea quien soy hoy, y lo valoro inmensamente.

A mi mascota, quien ha sido indispensable cuando me sentía ofuscado y atrapado. Sin decir una sola palabra, puede transmitir un cariño inmenso y reconfortante, una calma que logra sobreponerse a cualquier dificultad.

## RESUMEN

El proyecto de evaluación para la implementación de un Flight Training Device (FTD) de un Airbus A320 en Argentina, para la empresa "Alas para Latinoamérica", está diseñado para abordar la creciente demanda de capacitación en simulación avanzada para pilotos comerciales. El objetivo principal del proyecto es dotar a la empresa de un FTD de alta calidad, que no solo cumpla con las normativas aeronáuticas argentinas y los estándares internacionales, sino que también ofrezca una solución rentable y eficiente para la formación de pilotos en el país.

El proceso de evaluación comenzó con una investigación del mercado local y regional, identificando la necesidad de una infraestructura que pueda proporcionar formación con tecnología de vanguardia, similar a la del Departamento de Aeronáutica de la USM en Chile. En este sentido, se realizó un análisis detallado tanto del macroentorno como del microentorno, que incluyó una evaluación de las tendencias globales en la formación aeronáutica, la situación económica y política de Argentina, así como la competencia existente en el mercado local. Se observó una demanda creciente de pilotos comerciales en América Latina, impulsada por el aumento del tráfico aéreo, lo que justifica la inversión en un dispositivo como el FTD de un A320.

Uno de los aspectos clave del estudio fue la cotización de los componentes necesarios para la construcción y operación del FTD. Esto incluyó desde la estructura física del simulador hasta los sistemas de software y hardware especializados que permiten replicar las condiciones de vuelo con una precisión óptima. Se evaluaron diversas opciones de proveedores, teniendo en cuenta factores como el costo, la calidad, la durabilidad y el cumplimiento de las normativas internacionales de aeronáutica. El objetivo fue asegurar que la empresa no solo adquiriera un dispositivo de calidad, sino que también mantenga la sostenibilidad financiera a largo plazo.

Se llevó a cabo un estudio en de las Regulaciones Argentinas de Aviación Civil (RAAC), en particular la Parte 60 Apéndice 2, que regula la calificación y operación de dispositivos de simulación de vuelo (FTD). La normativa específica los requisitos técnicos y operativos para la certificación y uso de estos dispositivos en territorio argentino. El FTD debe cumplir con

estrictos estándares de rendimiento y seguridad. Además, se identificaron los procedimientos necesarios para obtener la certificación de la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC).

La simulación de la aeronave A320 es elegida no solo por ser uno de los modelos más utilizados en la aviación comercial mundial, sino también por su capacidad de replicar escenarios de vuelo complejos, necesarios para la formación de pilotos comerciales. Además, se proyectó que su implementación reduciría los costos de capacitación externa, ya que permitiría que los pilotos locales se entrenen en el país, eliminando la necesidad de viajar al extranjero para realizar estos cursos.

El proyecto de implementar el FTD para "Alas para Latinoamérica" se basa en un análisis integral que combina aspectos técnicos, normativos y financieros. Se espera que este simulador no solo eleve los estándares de formación de pilotos comerciales en Argentina, sino que también posicione a la empresa como un líder en capacitación aeronáutica en la región. La inversión en este dispositivo, aunque considerable, se ve compensada por los beneficios a largo plazo, incluyendo la reducción de costos operativos y la mejora en la calidad de formación ofrecida.

## ABSTRACT

The evaluation project for the implementation of a Flight Training Device (FTD) of an Airbus A320 in Argentina, for the company "Alas para Latinoamérica", is designed to address the growing demand for advanced simulation training for commercial pilots. The main objective of the project is to provide the company with a high-quality FTD, which not only complies with Argentine aeronautical regulations and international standards but also offers a cost-effective and efficient solution for pilot training in the country.

The evaluation process began with a thorough investigation of the local and regional market, identifying the need for an infrastructure that can provide training with cutting-edge technology, like that of the USM Aeronautics Department in Chile. In this sense, a detailed analysis of both the macro and microenvironment was carried out, which included an evaluation of global trends in aeronautical training, the economic and political situation of Argentina, as well as the existing competition in the local market. A growing demand for commercial pilots was observed in Latin America, driven by increased air traffic, which justifies the investment in a device such as the FTD of an A320.

One of the key aspects of the study was the quotation of the components necessary for the construction and operation of the FTD. This included everything from the physical structure of the simulator to the specialized software and hardware systems that allow flight conditions to be replicated with optimal accuracy. A variety of supplier options were evaluated, considering factors such as cost, quality, durability and compliance with international aviation regulations. The goal was to ensure that the company not only procures a quality device but also maintains long-term financial sustainability.

An in-depth study of the Argentine Civil Aviation Regulations (RAAC) was carried out, in particular Part 60, which regulates the qualification and operation of flight simulation devices (FTD). The regulations specify the technical and operational requirements for the certification and use of these devices in Argentine territory. The FTD must meet strict performance and safety standards, which was a central factor in the choice of the A320 model, known for its robustness and reliability in advanced simulations. In addition, the necessary

procedures to obtain certification from the National Civil Aviation Administration (ANAC) were identified.

The FTD A320 was chosen not only for being one of the most widely used models in global commercial aviation, but also for its ability to replicate complex flight scenarios, necessary for the training of commercial pilots. In addition, its implementation was projected to reduce external training costs, as it would allow local pilots to train in the country, eliminating the need to travel abroad to take these courses.

The project to implement the FTD for "Alas para Latinoamérica" is based on a comprehensive analysis that combines technical, regulatory and financial aspects. This simulator is expected to not only raise the standards of commercial pilot training in Argentina, but also position the company as a leader in aeronautical training in the region. The investment in this device, while considerable, is offset by the long-term benefits, including reduced operating costs and the improved quality of training offered.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

ANAC: Administración Nacional de Aviación Civil (Argentina).

ALTA: Asociación Latinoamericana de Transporte Aéreo.

CEAC: Centro de Entrenamiento de Aeronáutica.

CEFEPRA: Centro de Formación y Entrenamiento de Pilotos de la República Argentina.

CIAC: Centro de Instrucción de Aeronáutica.

CMAE: Centros Médicos Aeronáuticos Examinadores (Argentina).

DAER: Departamento de Aeronáutica de la USM.

DGAC: Dirección General de Aeronáutica Civil (Chile).

EASA: European Union Aviation Safety Agency.

FAA: Federal Aviation Administration.

FFS: Full Flight Simulator.

FSTD: Flight Simulation Training Device.

FTD: Flight Training Device.

IATA: International Air Transport Association

INMAE: Instituto Nacional de Medicina Aeronáutica y Espacial (Argentina).

MCC: Multi Crew Cooperation.

OACI: Organización de Aviación Civil Internacional.

RAAC: Regulaciones Argentinas de Aviación Civil.

RPK: Revenue Passenger Kilometer.

USM: Universidad Técnica Federico Santa María.

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	2
<b>RESUMEN</b> .....	3
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	10
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	10
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES</b> .....	13
<b>1.1. Justificación</b> .....	14
<b>1.2. Objetivos</b> .....	16
<b>1.2.1. Objetivo general</b> .....	16
<b>1.2.2. Objetivos específicos</b> .....	16
<b>1.3. Metodología</b> .....	17
<b>1.4. Alcance</b> .....	18
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE</b> .....	19
<b>2.1. Antecedentes</b> .....	20
<b>2.1.1. Entrenamiento en escenarios virtuales</b> .....	22
<b>2.1.2. ALAS para Latinoamérica (Argentina)</b> .....	29
<b>2.2. Marco Teórico</b> .....	32
<b>2.2.1. Normativas Aeronáuticas</b> .....	33
<b>2.2.2. Estudio de Viabilidad Económica</b> .....	41
<b>2.3. Propuesta Metodológica</b> .....	49
<b>CAPÍTULO 3: DESARROLLO</b> .....	51
<b>3.1. Estudio legal: (Características técnicas para certificar categoría 4)</b> .....	52
<b>3.2. Estudio técnico</b> .....	57
<b>3.2.1. Proyecto cabina</b> .....	57
<b>3.2.2. Proyecto software y redes</b> .....	65
<b>3.2.3. Proyecto físico</b> .....	66
<b>3.2.4. Proyecto entrenamiento MCC/ELT (contenidos del curso)</b> .....	69

<b>3.3. Estudio de costos .....</b>	<b>72</b>
<b>3.4. Evaluación financiera .....</b>	<b>76</b>
<b>3.5. Sensibilización .....</b>	<b>78</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1. Proyección de la demanda de pilotos y del crecimiento anual de pasajero en Latinoamérica. ....	14
Gráfico 2.1. Centros de instrucción aeronáutica en la República Federal Argentina que se encuentran certificados. ....	21
Gráfico 3.1 Costos fijos representados gráficamente según su porcentaje. ....	75
Gráfico 3.2. Distribución de la variable “Demanda (Q)”.....	78
Gráfico 3.3. Distribución de la variable “Precio (P)”. ....	79
Gráfico 3.4. Distribución de la variable “Tasa de crecimiento de la Demanda (q)”.....	80
Gráfico 3.5. Distribución de la variable “Tasa de crecimiento del Precio (p)”. ....	81
Gráfico 3.6. Distribución de la variable “Tasa de crecimiento de los Costos”.....	82
Gráfico 3.7. Distribución de la variable “Crédito bancario”.....	83
Gráfico 3.8. Sensibilización del VAN mediante simulación de Montecarlo. ....	84
Gráfico 3.9. Contribución de las variables en la sensibilización del VAN. ....	85
Gráfico 3.10. Certeza de VAN igual o mayor a \$0 USD. ....	86
Gráfico 3.11. Sensibilización de la TIR mediante simulación de Montecarlo. ....	88
Gráfico 3.12. Contribución de las variables en la sensibilización de la TIR.....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Componentes necesarios para la cabina de un A320. ....	64
Tabla 3.2. Software necesario para FTD. ....	66
Tabla 3.3. Componentes necesarios para el montaje. ....	67
Tabla 3.4. Insumos necesarios para el montaje.....	67
Tabla 3.5. Hardware requerido para el FTD. ....	68
Tabla 3.6. Componentes para montar los servidores. ....	68
Tabla 3.7. Tarjetas de eje requeridas para el FTD.....	69
Tabla 3.8. Estimación de costos fijos. ....	75
Tabla 3.9. Estimación de costos variables. ....	76
Tabla 3.10. Estimación demanda (Q) y Precio (P) iniciales del curso. ....	76
Tabla 3.11. Estimación tasas de crecimiento. ....	76
Tabla 3.12. Valores para amortizar el crédito bancario. ....	77
Tabla 3.13. Amortización del crédito bancario. ....	77

Tabla 3.14. Percentiles según los valores de previsión de la VAN.....	87
Tabla 3.15. Estadísticas obtenidas respecto a la VAN.....	87
Tabla 3.16. Percentiles según los valores de previsión de la TIR. ....	90
Tabla 3.17. Estadísticas obtenidas respecto a la sensibilización de la TIR. ....	90
Tabla 4.1. Detalles de la simulación realizada en software Crystal Ball.....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Metodología del proyecto. ....	17
Figura 2.1. Diagrama del primer dispositivo de Realidad Virtual.....	23
Figura 2.2. Dispositivo Virtual Boy.....	24
Figura 2.3. Infografía sobre las diferencias entre RV y RA. ....	25
Figura 2.4. Entrenamiento virtual inmersivo. ....	26
Figura 2.5. Carta de Solicitud de evaluación inicial, actualización o restauración, Modelo 2-IVA. .	35
Figura 2.6. Declaración de calificación junto a la lista de configuración. ....	36
Figura 2.7. Diagrama de flujo para el proceso de certificación. ....	40
Figura 2.8. Estudio de viabilidad económica.....	41
Figura 2.9. Diagrama entorno legal interno.....	44
Figura 3.1. Dimensiones cabina de aeronave A320-200.....	59
Figura 3.2. Dimensiones laterales cabina del FTD de un A320.....	60
Figura 3.3. Dimensiones frontales cabina del FTD de un A320.....	61
Figura 3.4. Imagen referencial de Cabina A320. ....	63
Figura 3.5. Programa del curso MCC/ELT de Alas Educa. ....	71

## INTRODUCCIÓN

En América Latina, la demanda de pilotos capacitados y entrenados es particularmente alta, debido al crecimiento sostenido de la industria aeronáutica en la región. Según la Asociación Latinoamericana de Transporte Aéreo (ALTA), el tráfico aéreo en la región aumentó un 50% entre 2000 y 2019, lo que ha generado una mayor necesidad de pilotos capacitados para operar aeronaves comerciales.

En este escenario, la implementación de simuladores de vuelo se ha convertido en una herramienta efectiva para mejorar la eficiencia y reducir costos en la capacitación de pilotos. Los simuladores de vuelo permiten a los pilotos practicar escenarios de vuelo realistas y desarrollar habilidades críticas para la operación segura de aeronaves. Además, los simuladores pueden reducir significativamente los costos asociados con la capacitación en aeronaves reales.

En Argentina, la empresa Alas Educa ha reconocido la importancia de la capacitación de pilotos y ha decidido implementar un simulador de vuelo de un avión A320 para mejorar la calidad y eficiencia de su capacitación. Este proyecto tiene como objetivo evaluar la factibilidad y viabilidad de la implementación del simulador y determinar su impacto en la capacitación de pilotos.

La investigación que se presenta en este informe busca contribuir al conocimiento y comprensión de la implementación de simuladores de vuelo en la capacitación de pilotos en América Latina. El estudio se centra en la evaluación de la implementación del simulador de vuelo en Alas Educa y analiza los beneficios y desafíos asociados con esta tecnología.

## **CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES**

## 1.1. Justificación

La industria aeronáutica está en constante crecimiento, por causas de fuerza mayor como la pandemia de COVID-19 se vio frenada el año 2020 y 2021 principalmente, desde que se ha ido controlando tal problema el comercio y los vuelos han vuelto a abrirse y crecer nuevamente. *Durante 2023 el tráfico global de pasajeros, medido en RPK creció un 36,9% y en Latinoamérica las aerolíneas registraron un aumento de un 28,6% interanual (IATA, 2024).*

En cuanto a la demanda de nuevos pilotos a nivel mundial, la OACI estima que se necesitarán 790.000 pilotos para 2037, con un crecimiento anual del 3,4% (OACI 2020).

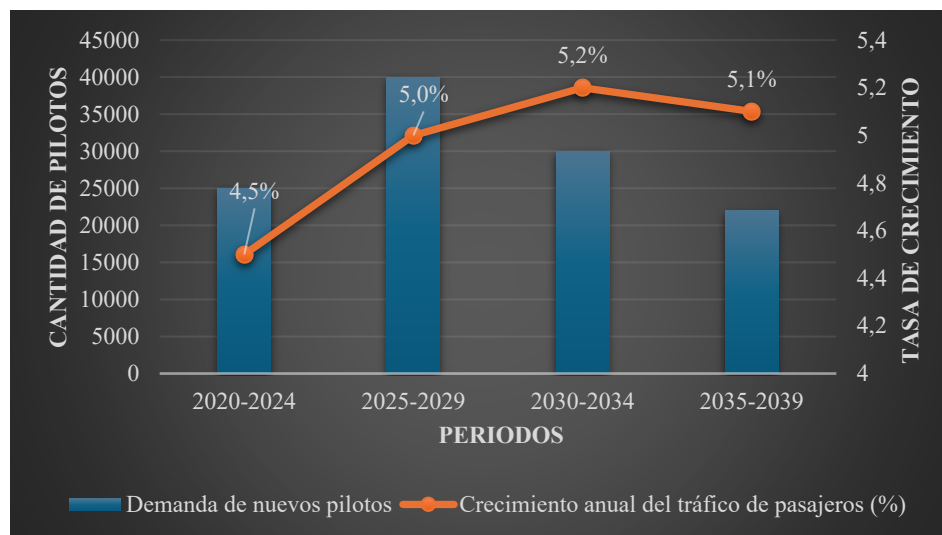


Gráfico 1.1. Proyección de la demanda de pilotos y del crecimiento anual de pasajero en Latinoamérica.

Fuente: Elaboración propia.

En la industria aérea argentina se presenta una creciente demanda de pilotos capacitados y entrenados para operar aeronaves comerciales. Según la Asociación Argentina de Pilotos de Líneas Aéreas (AAPLA), la demanda de pilotos en Argentina aumentó un 25% entre 2020 y 2022, llegando a 1500 pilotos necesarios anualmente.

Sin embargo, la formación de pilotos requiere una inversión significativa en recursos y tiempo. Según un informe de la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI), el costo promedio de formación de un piloto comercial es de \$70000 a \$100000 USD.

En el ámbito de la instrucción aeronáutica están los simuladores de vuelo que son herramientas utilizadas en la formación de pilotos y tripulaciones, permitiendo el entrenamiento en situaciones que serían peligrosas de recrear en un entorno real. Según la FAA y la EASA (European Union Aviation Safety Agency), la simulación de vuelo se ha convertido en un estándar para la obtención y renovación de licencias aeronáuticas. Los FTD (Flight Training Devices) son dispositivos que, sin ser simuladores completos (FFS), permiten el entrenamiento de procedimientos de cabina y manejo de situaciones críticas.

En Argentina, la necesidad de contar con dispositivos de entrenamiento de vuelo se ha convertido en una prioridad estratégica para el desarrollo de la aviación comercial y privada. Esto se debe al aumento constante en la actividad aérea del país y a la creciente demanda de pilotos capacitados para operar aeronaves modernas. Según datos recopilados por *Avion Revue Internacional* (2020), más del 70% del entrenamiento de pilotos comerciales en Argentina se realiza actualmente mediante simuladores avanzados, destacando la relevancia de estos equipos para la formación eficiente y segura.

El déficit de infraestructura local adecuada para entrenamiento obliga a los aspirantes y profesionales a desplazarse a otros países, lo que incrementa significativamente los costos y los tiempos de certificación. Un ejemplo es el CEFEPRA, ubicado en Córdoba, que no logra satisfacer completamente la creciente demanda. Este centro, además de entrenar a pilotos argentinos, también recibe solicitudes de otros países, como México, que solicitó 50 turnos de instrucción durante 2 meses para la formación de sus profesionales, evidenciando las limitaciones existentes en la capacidad operativa del sistema local (*Aeroespacio*, 2022).

Los simuladores de vuelo son herramientas que permiten reducir costos y mejorar la eficiencia en la capacitación de pilotos. Un estudio de la Universidad de Aviación Embry-Riddle estimó que la utilización de simuladores de vuelo puede reducir hasta un 40% el costo de formación de pilotos.

Para Alas Educa, expandirse hacia simuladores avanzados de vuelo no solo representa una oportunidad de negocio sino también una respuesta estratégica a la evolución del mercado. Actualmente, la empresa ya opera en Argentina y Chile, ofreciendo formación teórica y práctica. Sin embargo, su capacidad de capturar una mayor cuota de mercado está limitada sin la implementación de tecnologías de última generación como los FTD.

El ingreso a este segmento permitiría a la empresa no solo atender a pilotos en entrenamiento inicial, sino también ofrecer certificaciones avanzadas para pilotos experimentados que requieran habilitaciones específicas. A nivel regional, Alas Educa podría competir en mercados emergentes con alta demanda, posicionándose como un referente en la formación de calidad y reduciendo la dependencia de otras instalaciones internacionales.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

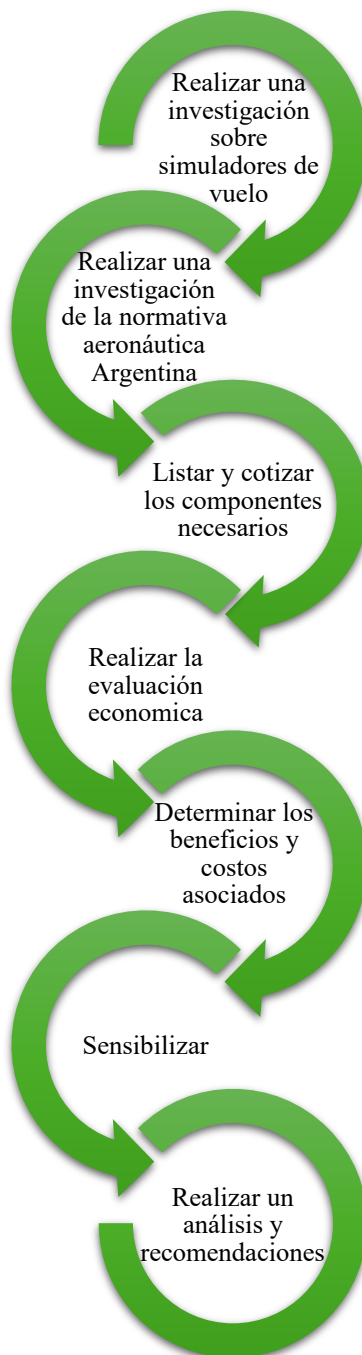
Evaluar la prefactibilidad técnica-económica para el desarrollo de un FTD correspondiente a una aeronave A320 en el territorio argentino para la empresa “Alas Educa”.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Estudiar los requerimientos legales en Argentina para la operación de FTD.
- Evaluar técnicamente la operación de FTD en Buenos Aires, Argentina para Alas Educa
- Evaluar económicamente la operación de FTD para Alas Educa.
- Sensibilizar variables relevantes para estimar puntos equilibrio.

### 1.3. Metodología

Para poder llevar a cabo el proyecto se plantea la siguiente metodología la cual permitirá ir cubriendo cada uno de los objetivos:



*Figura 1.1. Metodología del proyecto.  
Fuente: Elaboración propia.*

#### **1.4. Alcance**

El estudio es de carácter descriptivo-exploratorio dado que se pretende estudiar la normativa aeronáutica argentina que permita implementar un simulador de vuelo en dicho territorio y también dado que se tiene el conocimiento base de cómo construir un simulador de un A320, ya que se utilizará como modelo el que existe en el Departamento de Aeronáutica (DAER) y a la vez es exploratorio porque no se tiene el conocimiento ni las referencias del funcionamiento y de los beneficios económicos que implica poseer un Dispositivo de Entrenamiento de Vuelo en Argentina.

El proyecto se ve limitado por las regulaciones y normativas de la República Federal de Argentina y a posibles cambios y estándares impuestos por la ANAC, tales como la RAAC Parte 60 y la parte 121.

La investigación está centrada en implementar un FTD en la escuela de vuelo Alas Educa en la Republica Federal Argentina, lo que puede limitar una generalización de los resultados.

Todos los valores finales se trabajarán en dólares y se solicitarán presupuestos de los componentes en territorio chileno y a los proveedores del DAER.

## **CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE**

## 2.1. Antecedentes

La industria aeronáutica en América Latina ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años (sin considerar la pandemia de COVID-19). La demanda de pilotos calificados y entrenados es alta por lo que la implementación de simuladores de vuelo es una oportunidad para abordar dicho problema.

Los simuladores de vuelos son herramientas efectivas para mejorar la eficiencia y reducir costos en capacitación de pilotos. Un estudio de la universidad Embry-Riddle encontró que la utilización de simuladores de vuelo puede reducir hasta un 40% el costo de la formación de pilotos (2018).

La Universidad Técnica Santa María (USM) cuenta con el Departamento de Aeronáutica (DAER) que ofrece programas de capacitación para pilotos y técnicos aeronáuticos. El Departamento ha desarrollado un simulador de vuelo para el entrenamiento de sus estudiantes de aviación comercial.

Argentina actualmente cuenta con 474 Centros de Instrucción y Entrenamiento Aéreo de los cuales 379 se encuentran Activos (en operación) y del total de centros sólo 34 corresponden a Centros de entrenamiento como tal, de estos solo 32 se encuentran certificados para instruir. El resto de los centros se reparte en Aeroclubs, club de planeadores, clubs de paracaidismo y escuelas teóricas (ANAC, 2024).

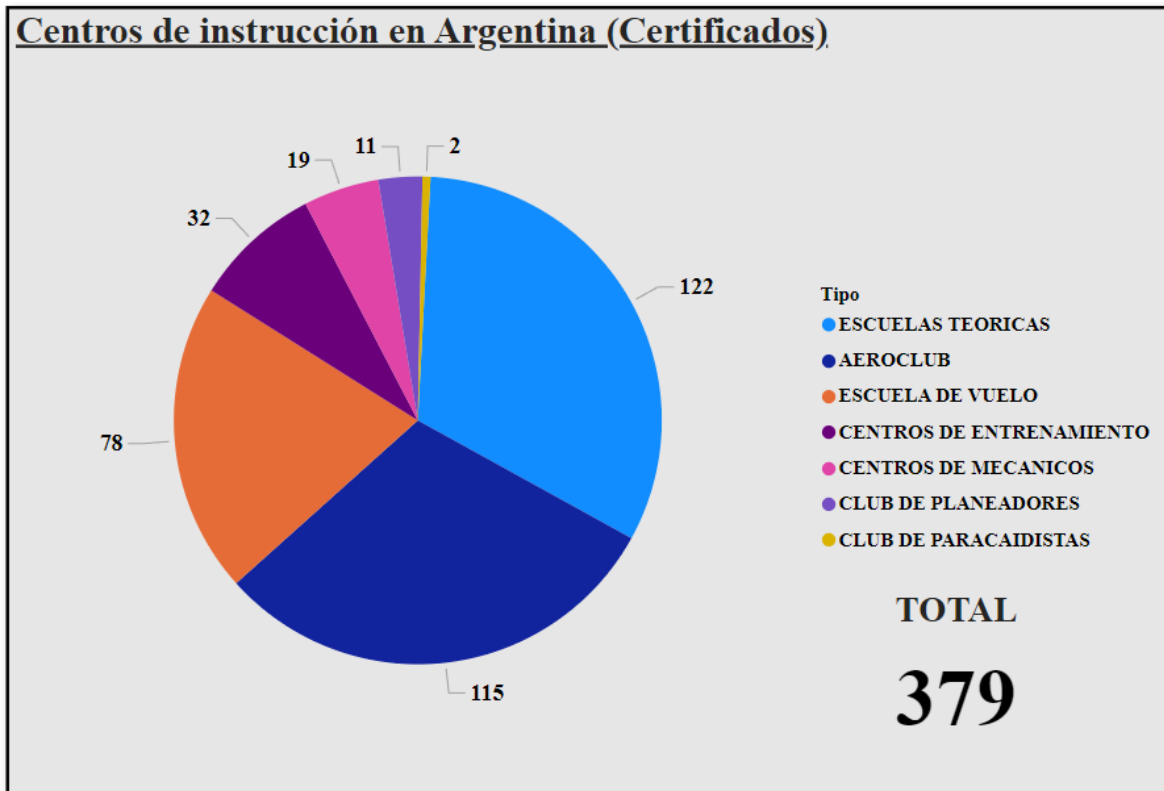


Gráfico 2.1. Centros de instrucción aeronáutica en la República Federal Argentina que se encuentran certificados.  
Fuente: Elaboración propia.

Alas Educa (Alas para Latinoamérica) es una empresa de capacitación aeronáutica con base en Argentina y presencia en Chile, la cual ofrece programas de capacitación para pilotos y tripulantes de cabina. Busca mejorar la calidad y eficiencia de su capacitación mediante la implementación de un simulador de vuelo por lo que ha solicitado al DAER la gestión para obtener este.

La investigación en simulación de vuelo es un campo en constante evolución, se desarrollan nuevas tecnologías y herramientas para mejorar la eficiencia y efectividad de la simulación.

### 2.1.1. Entrenamiento en escenarios virtuales

El entrenamiento en escenarios virtuales ha revolucionado la manera en que se capacita a profesionales en diversos campos, integrando tecnologías innovadoras como la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (RA) y la realidad mixta (RM). Estas tecnologías permiten la creación de entornos simulados en los que los usuarios pueden practicar habilidades, experimentar situaciones reales y recibir retroalimentación inmediata en un entorno seguro y controlado.

Este tipo de entrenamiento utiliza simulaciones interactivas para replicar situaciones reales en un formato digital inmersivo. Esta técnica prioriza el aprendizaje experiencial, en el que los participantes adquieren conocimiento a través de la práctica directa en entornos realistas, pero sin riesgos físicos ni económicos significativos.

Los escenarios virtuales, como se conocen actualmente, tienen sus raíces en una serie de desarrollos tecnológicos y conceptuales que comenzaron mucho antes de que existieran las herramientas modernas de realidad virtual. Estos entornos inmersivos han evolucionado a lo largo de décadas, pasando de ideas conceptuales y prototipos rudimentarios a aplicaciones avanzadas en diversos campos, incluyendo la educación, el entrenamiento y el entretenimiento.

Su origen se puede rastrear a mediados del siglo XX, con avances significativos tanto en el ámbito técnico como en el conceptual. Por ejemplo, en 1935, Stanley G. Weinbaum describió en su novela *“Pygmalion’s Spectacles”* un dispositivo que sumergía a los usuarios en una realidad generada artificialmente, anticipando elementos clave como la inmersión y la interacción sensorial.

En la década de 1950, Morton Heilig desarrolló el *“Sensorama”*, un dispositivo multisensorial que ofrecía experiencias cinematográficas inmersivas, incorporando elementos visuales, auditivos, táctiles y olfativos. Aunque rudimentario, este dispositivo sentó las bases para los desarrollos posteriores en simulación multisensorial.

Durante los años 60 y 70, la tecnología dio un salto con la creación de dispositivos como el casco de realidad virtual llamado *“The Sword of Damocles”*, diseñado por Ivan Sutherland

en 1968. Este sistema, considerado el primer visor de realidad virtual, utilizaba gráficos generados por computadora y un sistema de seguimiento de movimiento para ofrecer una experiencia visual interactiva en tiempo real.

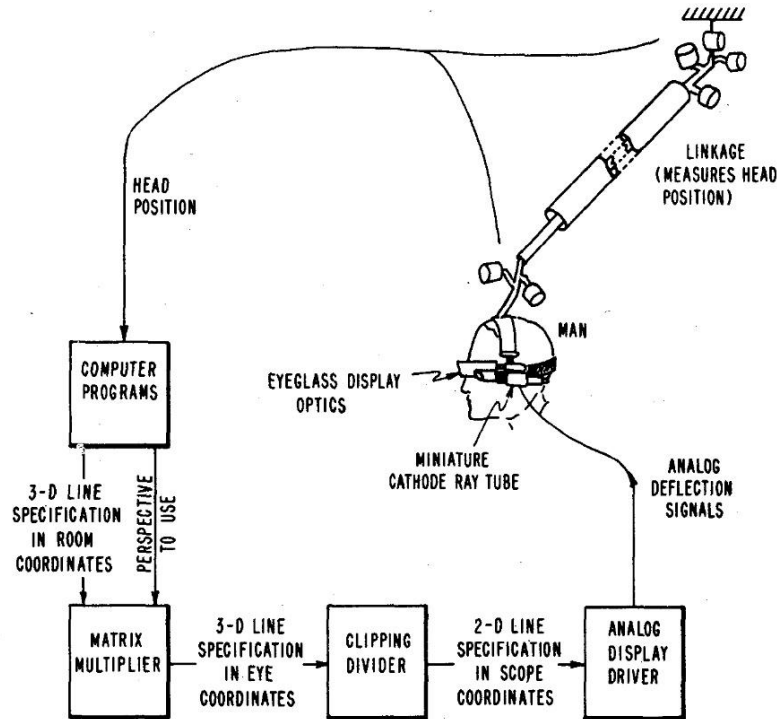


Figura 2.1. Diagrama del primer dispositivo de Realidad Virtual.  
Fuente: Ivan Sutherland, 1968.

En paralelo, los avances en gráficos computacionales y sistemas de simulación comenzaron a aplicarse en sectores específicos como el militar. Por ejemplo, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos desarrolló simuladores de vuelo básicos que, aunque no eran completamente inmersivos, sentaron las bases para futuros escenarios virtuales en la capacitación.

Los años 80 marcaron una expansión significativa en la realidad virtual y los escenarios virtuales, impulsada por la investigación académica y el interés comercial. Empresas como Atari y Sega comenzaron a explorar aplicaciones en entretenimiento, mientras que se introdujeron dispositivos como el "Data Glove", el cual es guante que permitió la interacción física con entornos virtuales. En los años 90, productos como el *Virtual Boy* de Nintendo buscaron llevar estas experiencias al consumidor promedio, aunque era una idea

revolucionaria para aquel entonces, la idea no fue bien ejecutada lo que provocaba mareos constantes en quienes la utilizaban.



*Figura 2.2. Dispositivo Virtual Boy  
Fuente: Nintendo.*

Con la llegada del nuevo milenio, los avances en hardware y software, como los desarrollos en motores gráficos 3D, transformaron radicalmente la calidad de los escenarios virtuales. Herramientas como *Unity* y *Unreal Engine* facilitaron la creación de entornos más detallados y dinámicos, ampliando su aplicabilidad a la educación, la medicina y el diseño industrial. Las primeras aplicaciones de realidad virtual comercialmente viables, como el *Oculus Rift* en 2012, democratizaron el acceso a estos entornos, permitiendo experiencias inmersivas en hogares y entornos profesionales.

Hoy en día, los escenarios virtuales abarcan una amplia gama de tecnologías, desde realidad virtual (RV) y aumentada (RA) hasta realidad mixta (RM). Estas herramientas han encontrado un lugar en sectores diversos: en medicina, se utilizan para simulaciones quirúrgicas y tratamiento de trastornos psicológicos; en educación, para facilitar la comprensión de conceptos complejos; y en entrenamiento, para preparar a profesionales en condiciones seguras y controladas.

El desarrollo de entornos virtuales ha avanzado también hacia la creación de plataformas como el metaverso, que combina elementos de RV y RA para construir experiencias compartidas en mundos virtuales persistentes. Esto promete una integración aún mayor entre lo virtual y lo real, ampliando las posibilidades de aplicación en el futuro.

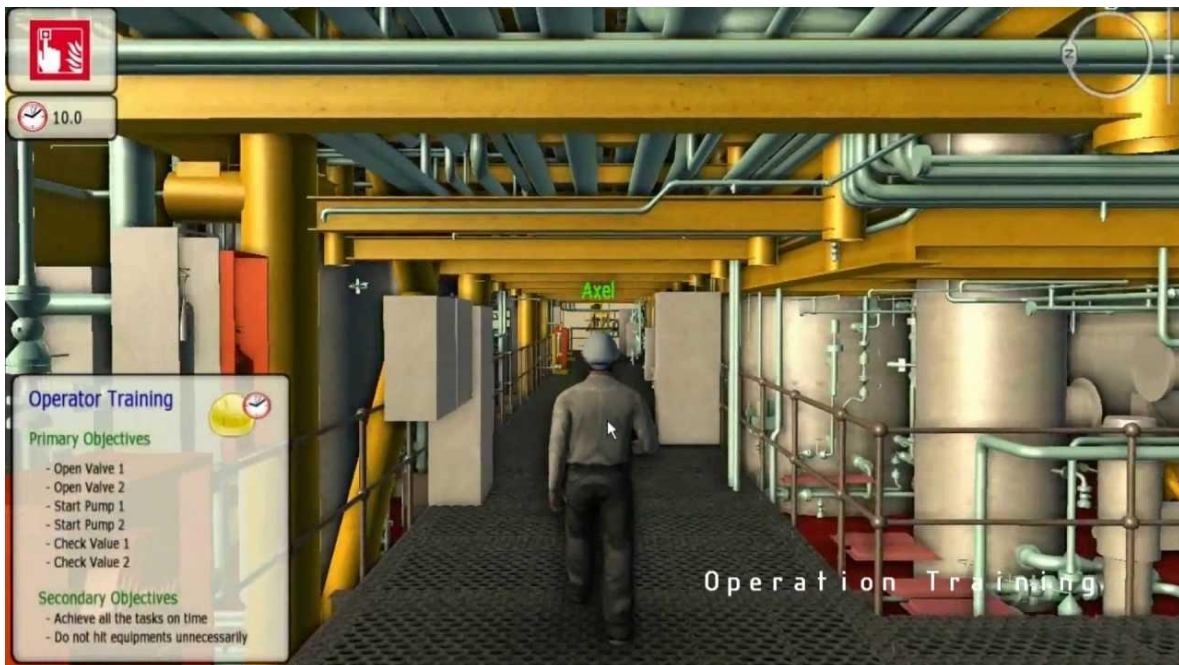


Figura 2.3. Infografía sobre las diferencias entre RV y RA.  
Fuente: Granasoft.

### a) Casos Industriales

La realidad virtual y aumentada han revolucionado diversos sectores, ofreciendo soluciones innovadoras en capacitación, diseño, mantenimiento y optimización de procesos. Estas tecnologías han demostrado ser herramientas efectivas no solo para mejorar la seguridad y eficiencia, sino también para reducir costos operativos y aumentar la productividad.

Una de las áreas donde la VR ha mostrado mayor impacto es en la capacitación de trabajadores en escenarios peligrosos o complejos. Por ejemplo, *ExxonMobil* utiliza VR para entrenar a sus empleados en la carga de buques cisterna de gas natural licuado, simulando situaciones de alto riesgo para que puedan perfeccionar sus decisiones bajo presión. Esta estrategia no solo mejora la seguridad, sino que también fomenta la confianza de los empleados al enfrentar escenarios críticos.



*Figura 2.4. Entrenamiento virtual inmersivo.  
Fuente: Exxon Mobil.*

Asimismo, *Walmart* implementó simulaciones de VR en más de 200 centros de entrenamiento para preparar a su personal ante eventos de alta presión, como el Black Friday. Estas simulaciones les permiten practicar estrategias de atención al cliente y manejo de multitudes, reduciendo significativamente los errores y mejorando la experiencia del cliente.

En el sector del transporte, *UPS* utiliza la VR desde 2017 para entrenar a sus conductores en situaciones de tráfico complejas y peligrosas. Esta metodología ha permitido a la compañía mantener altos estándares de seguridad, destacando que algunos de sus conductores llevan más de 25 años sin accidentes.

En ingeniería, la RV se utiliza para crear modelos tridimensionales de productos y estructuras, facilitando la identificación de problemas desde las primeras etapas del diseño. Por ejemplo, en el sector automotriz, ingenieros utilizan prototipos virtuales para evaluar y modificar diseños sin necesidad de construir modelos físicos. Esto no solo acelera el proceso de desarrollo, sino que también reduce costos y minimiza riesgos.

De manera similar, la VR ha transformado la industria aeroespacial. *Airbus*, por ejemplo, utiliza simulaciones para entrenar a sus mecánicos en la reparación de motores de avión, evitando daños a equipos reales y garantizando altos estándares de precisión.

La VR y AR son también herramientas clave para el mantenimiento preventivo y correctivo. En la industria energética, estas tecnologías permiten a los técnicos realizar inspecciones virtuales de infraestructuras críticas, como plataformas petroleras, sin exponerlos a riesgos innecesarios. Además, la AR facilita la identificación de problemas en tiempo real al superponer información relevante sobre los equipos físicos, mejorando la precisión y velocidad de las reparaciones.

En logística, la AR ha optimizado procesos como el "vision picking", utilizado por empresas como Intel. Esta técnica ayuda a los operarios a localizar y recoger productos de manera más eficiente, reduciendo el tiempo de recolección en un 29% y prácticamente eliminando errores en la selección de productos.

Las tecnologías inmersivas no solo transforman las operaciones internas de las empresas, sino que también generan un impacto significativo en áreas como marketing, ventas y experiencia del cliente. En el sector de la moda, por ejemplo, diseñadores utilizan VR para crear y visualizar colecciones en entornos virtuales, agilizando el proceso creativo y mejorando la precisión del diseño.

## **b) Casos en industria aeronáutica**

### **i) Certificación FTD**

Los dispositivos FTD son clasificados y certificados según estándares internacionales para garantizar su uso seguro y eficiente en la formación de pilotos. En Argentina, la ANAC regula los dispositivos FTD bajo las normativas del Reglamento Argentino de Aviación Civil (RAAC), que incorpora estándares FAA y EASA.

Su proceso de certificación consiste en presentar las especificaciones técnicas donde el fabricante u operador del FTD debe proporcionar datos detallados sobre la capacidad, configuración y simulaciones específicas del equipo. Posteriormente se realiza una validación inicial en la cual las autoridades evalúan los componentes como los sistemas visuales, de cabina y dinámicas de vuelo para verificar su precisión respecto a la aeronave que se replica.

En tercer lugar, se deben realizar las pruebas operativas, en estas se incluyen simulaciones prácticas supervisadas por inspectores de las autoridades, asegurando la funcionalidad bajo escenarios normales y de emergencia. Finalmente se emite la certificación una vez que se aprueba el dispositivo testado, esta puede ser de Nivel 5, 6 o 7 según su complejidad.

### **ii) Certificación simuladores**

Los simuladores completos (FFS) ofrecen capacidades avanzadas, siendo indispensables para la formación y recertificación de pilotos en aerolíneas comerciales. A continuación, se explican los procesos de certificación específicos y las autoridades competentes:

En Chile es La DGAC quien certifica los FFS siguiendo regulaciones establecidas por la ICAO, particularmente el Anexo 1 y el Manual de Certificación de Simuladores de Vuelo (Doc. 9625).

En el caso de Argentina el organismo correspondiente es la ANAC quien regula los FFS bajo el RAAC Parte 60, alineado con normativas internacionales (FAA, EASA).

El proceso de certificación de un FFS se puede describir a grandes rasgos en 4 pasos, los cuales son:

Primero se debe llevar a cabo una evaluación documental, esto implica revisar las características técnicas del simulador, incluyendo el nivel de compatibilidad con la(s) aeronave(s) que se pretenden replicar.

En segundo lugar, se procede a realizar pruebas funcionales donde los inspectores especializados y calificados realizan pruebas exhaustivas, incluyendo despegues, aterrizajes y maniobras de emergencia, asegurando que el simulador replica fielmente el comportamiento del avión real.

Luego de esto se debe realizar una calibración y validación, dado que el dispositivo debe cumplir con estándares de rendimiento dinámico, una precisión óptima de instrumentos y resolución visual.

Finalmente se tiene certificación final donde Los FFS son clasificados en niveles (A, B, C, D), siendo el nivel “D” el más avanzado, capaz de replicar casi todos los aspectos del vuelo real sin necesidad de prácticas adicionales en aeronaves físicas.

### **2.1.2. ALAS para Latinoamérica (Argentina)**

Alas para Latinoamérica o también llamada “Alas educa”, *es un Centro de Estudios Aeronáuticos dedicado a la formación de profesionales de excelencia con altos estándares de calidad en la industria a nivel global (Alaseduca.com).*

Esta organización surge con el objetivo de posicionarse como un centro de referencia en la región, capacitando a personas interesadas en carreras dentro de la aviación comercial, ejecutiva y corporativa. Su meta es *Acompañar a sus aprendices en su desarrollo profesional, aplicando sus conocimientos y habilidades adquiridas sumado a la vocación de servicio, espíritu de equipo y calidad humana.*

Cuenta con presencia en Chile y Argentina y con certificaciones en ambos países y su modalidad educativa se caracteriza por combinar cursos presenciales y a distancia. En el

ámbito presencial, ofrece programas como el curso para Tripulante de Cabina de Pasajeros (TCP), mientras que su modalidad a distancia incluye opciones como inglés para tripulantes y pilotos, clases preparatorias para exámenes de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) y cursos complementarios como lengua de señas para facilitar la inclusión en el entorno aeronáutico.

Además de la capacitación individual, "Alas Educa" ofrece formación adaptada a las necesidades del sector corporativo. Sus servicios incluyen asesoramiento en procedimientos y estándares de calidad, así como la elaboración de manuales operativos y auditorías. También se especializan en el reclutamiento y la selección de tripulación para aviación ejecutiva, alineándose con exigencias internacionales en seguridad y servicio VIP.

Los programas de "Alas para Latinoamérica" integran métodos pedagógicos de vanguardia. Por ejemplo, los cursos combinan clases teóricas con dinámicas prácticas como simulaciones y juegos de roles de situaciones reales. En el caso de su curso de aviación ejecutiva, los alumnos tienen la oportunidad de participar en talleres de servicio a bordo, planificación de menús y reconocimiento de tipos de aeronaves, lo que asegura una formación completa y alineada con las demandas de la industria.

La empresa se posiciona como una de las instituciones líderes en formación aeronáutica. Su visión incluye convertirse en la principal alternativa educativa en Latinoamérica, con un enfoque en la excelencia, el profesionalismo y el compromiso social. La institución promueve valores como honestidad, seguridad y trabajo en equipo, orientando a sus egresados hacia una inserción laboral exitosa tanto a nivel nacional como internacional.

Los cursos ofrecidos por "Alas Educa" cumplen con los estándares de certificación requeridos en el sector aeronáutico. Al finalizar los programas, los estudiantes reciben certificaciones oficiales que avalan su formación. Esto incluye acreditaciones específicas para tripulantes y pilotos, como las evaluaciones de competencia lingüística exigidas por la OACI. Además, se enfatiza el seguimiento personalizado para garantizar el éxito de los alumnos en sus respectivas áreas de especialización. Además, busca expandir su oferta educativa incorporando nuevas tecnologías, como simuladores de vuelo avanzados, y fortalecer sus alianzas estratégicas en el sector aeronáutico. Asimismo, planea aumentar su

alcance en América Latina, adaptándose a las cambiantes necesidades del mercado laboral y los avances en la aviación global.

La institución comenzó sus actividades en Argentina alrededor del año 2016, de acuerdo con la habilitación ANAC que obtuvo ese año. En Chile, su expansión llegó más tarde, con operaciones confirmadas desde 2018 y se encuentra habilitada por la DGAC bajo el marco de la certificación DAN 141 para operar como Centro de Instrucción Aeronáutica (CIAC), mientras que en Argentina se encuentra habilitado como CIAC y como Centro de Entrenamiento Aeronáutico (CEAC) bajo las certificaciones RAAC 141 y RAAC 142 respectivamente.

## 2.2. Marco Teórico

La implementación de un Flight Training Device (FTD) de un Airbus A320, solicitada por la empresa "Alas para Latinoamérica" en Argentina, se basa en una evaluación teórica que considera aspectos como la normativa aeronáutica, el análisis del mercado de aviación y los factores financieros que justifican su implementación. Esta evaluación proporciona una base sólida para integrar un sistema de simulación de alta tecnología en dicho mercado, destacando las ventajas operativas y económicas que esta inversión podría traer al país.

En el proceso de evaluación de proyectos, se emplean indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para determinar la viabilidad del proyecto. El VAN es crucial para calcular si los ingresos proyectados del simulador superarán los costos de la inversión inicial, mientras que la TIR ayuda a evaluar la rentabilidad del proyecto en relación con el costo de oportunidad del capital.

La normativa que regula el funcionamiento de los simuladores de vuelo en Argentina se encuentra en la Parte 60 de las Regulaciones Argentinas de Aviación Civil (RAAC). La Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC) es la entidad responsable de otorgar la certificación correspondiente, lo que implica cumplir con los estrictos requisitos de desempeño establecidos por esta normativa. Además, se toman como referencia los lineamientos de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) para la formación de pilotos y el uso de simuladores en programas de entrenamiento aeronáutico.

El análisis del mercado aeronáutico en Argentina y América Latina revela una creciente demanda de pilotos comerciales debido al aumento del tráfico aéreo. Sin embargo, en Argentina, existen pocas instituciones con simuladores de alta tecnología para la formación avanzada de pilotos, lo que obliga a muchas aerolíneas y estudiantes a buscar opciones de entrenamiento en el extranjero. Esto justifica la necesidad de un FTD A320 en Argentina, que proporcionaría una solución local para capacitar a pilotos sin incurrir en gastos adicionales de transporte y estancia en otros países.

La tecnología que rodea a los FTD de nivel 5 y superiores es fundamental para replicar con precisión las condiciones reales de vuelo. Estos dispositivos ofrecen una experiencia

inmersiva que permite a los pilotos entrenarse en condiciones extremas o anómalas, reduciendo el riesgo asociado a la práctica en aeronaves reales.

La gestión de riesgos es otro componente clave del proyecto. Se han identificado posibles riesgos, como fluctuaciones en el tipo de cambio, retrasos en la entrega de equipos o problemas técnicos durante la fase de instalación y pruebas del FTD. Para mitigar estos riesgos, se ha propuesto un plan que contempla estrategias de contingencia.

En cuanto a la representación de datos financieros y de mercado, se emplean diagramas como los de Gantt, gráficos de línea y barras, y diagramas de dispersión para facilitar la comprensión del proyecto. Estos diagramas permiten visualizar las proyecciones financieras a lo largo del tiempo y analizar la relación entre variables críticas.

El análisis de mercado se complementa con un enfoque macro y microeconómico. En el ámbito macroeconómico, se evalúan factores como el crecimiento del tráfico aéreo, las políticas gubernamentales en materia de aviación y la estabilidad económica del país. A nivel microeconómico, se analiza la oferta y demanda de formación aeronáutica, la capacidad de pago de los estudiantes y aerolíneas, y la competencia en el sector de la simulación de vuelo.

La implementación de este FTD no solo responde a una necesidad de mejorar la formación de pilotos en Argentina, sino que también posicionaría a "Alas para Latinoamérica" como un actor clave en la industria de capacitación aeronáutica regional, con proyecciones de expansión en otros países de América Latina.

### **2.2.1. Normativas Aeronáuticas**

#### **a) RAAC PARTE 60: APÉNDICE 2**

Dispositivo de instrucción de vuelo (FTD). Es una réplica de los instrumentos de la aeronave, equipo, paneles y controles en una cabina de vuelo abierta o una réplica de la cabina cerrada de un aeronave que incluye los equipos y los programas de computadoras necesarios para representar la aeronave (o grupo de aeronaves) durante operaciones en tierra y en condiciones de vuelo, deben tener la capacidad total en los sistemas instalados en el equipo, tal como está descrito en este RAAC y los Estándares de Calificación de rendimiento (QPS) para un nivel de calificación específico del FTD.

La RAAC Parte 60 regula los dispositivos de entrenamiento de vuelo (FTD, por sus siglas en inglés), estableciendo requisitos para su certificación y uso en entrenamiento aeronáutico en Argentina. El *Apéndice 2* se centra en los estándares de desempeño y calificación técnica de los FTD, asegurando que repliquen con precisión las características de vuelo del avión real correspondiente. Estos dispositivos son fundamentales para capacitar a pilotos sin recurrir exclusivamente a aviones reales, reduciendo costos y riesgos operativos.

Para que un FTD sea certificado bajo la RAAC Parte 60, se deben inspeccionar los componentes del simulador (hardware y software) y verificar la fidelidad de las simulaciones en comparación con las aeronaves reales. Además, se realizan pruebas de funcionamiento donde se incluyen maniobras normales y de emergencia. Son también requisito las inspecciones periódicas, estas son anuales y se ven las condiciones técnicas y operativas del dispositivo.

En Argentina, los FTD son utilizados tanto por aerolíneas comerciales como por instituciones educativas y militares. Por ejemplo, la Fuerza Aérea Argentina opera un FTD para el IA-63 Pampa III. Mientras que, por el lado civil, aerolíneas y centros de instrucción: Utilizan simuladores FTD para entrenamiento inicial y recurrente de pilotos.

Estos dispositivos son especialmente valorados por su capacidad de replicar condiciones meteorológicas adversas y procedimientos críticos, aspectos esenciales en el entrenamiento avanzado.

Fecha: \_\_\_\_\_

Señor Director ANAC  
Ciudad.-

Asunto: Solicitud de fecha de evaluación inicial/actualización

De mi consideración:

Por medio de la presente hacemos nuestra solicitud para la evaluación (inicial o de actualización) de nuestro Dispositivo de Entrenamiento de Vuelo (FTD) (**Tipo de Aeronave/Nivel**), (**Fabricante**), (**Número ID ANAC, si previamente fue calificado**), localizado en (**Ciudad, Departamento**) en las (**Instalaciones**) para el (**Fecha propuesta**). (La fecha de la evaluación propuesta no debe ser mayor a 180 días después de la fecha de esta carta.)

El FTD será explotado u operado por (**Nombre del centro de entrenamiento/explotador de servicios aéreos**), Designador ANAC (**Código de 4 letras**). El FTD será explotado u operado bajo una de las siguientes opciones:

El FTD será utilizado bajo el programa de entrenamiento de vuelo aprobado por la ANAC alexplotador y que forma parte de sus Especificaciones de Entrenamiento.

El FTD será utilizado únicamente en dry-lease

Asimismo, nos comprometemos a presentar una carta formal de solicitud para la evaluación a su personal de lasiguiente manera: (señale una)

Para las pruebas del QTG realizadas en la fábrica, dentro de los 45 días previos a la fecha propuesta para la evaluación con "1/3" de las pruebas adicionales en las instalaciones dentro de los 14 días previos a dichafecha.

Para pruebas del QTG realizadas en las instalaciones, a más tardar en los 30 días previos a la fechapropuesta para la evaluación.

Nosotros a nuestra solicitud formal anexamos los siguientes documentos:

Carta de Solicitud del explotador (Declaración de cumplimiento de la compañía) Carta de no objeción a esta solicitud por parte del inspector Principal de Operaciones.QTG completo.

*Figura 2.5. Carta de Solicitud de evaluación inicial, actualización o restauración, Modelo 2-IVA.  
Fuente: ANAC, RAAC Parte 60.*

DECLARACIÓN DE CALIFICACIÓN LISTA DE CONFIGURACIÓN	
Sección 1. Información y características del FTD	
Explotador	Ubicación FTD
Nombre:	Tipo de FTD:
Dirección:	Dirección:
Ciudad:	Ciudad:
Departamento:	Departamento:
País:	País:
Código postal:	Código Postal:
Administrador:	Teléfono/correo electrónico:
Designador del explotador:	Aeropuerto más cercano:
Tipo de evaluación solicitada: <input type="checkbox"/> Inicial <input type="checkbox"/> Mejora <input type="checkbox"/> Calificación Continua <input type="checkbox"/> Especial <input type="checkbox"/> Restablecimiento	
<b>Marca/Modelo/serie de la Aeronave:</b>	
Calificación inicial (Si aplica) Fecha: _____ Nivel: _____	Identificación del fabricante o número de serie:
Calificación de Mejora (Si aplica) Fecha _____ Nivel _____	eMQTG <input type="checkbox"/>
Bases de la Calificación: _____	
<input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> Estatus provisional	
Otra información técnica:	
ID ANAC FTD (si aplica):	Fabricante del FTD:
FSTD Convertible: <input type="checkbox"/> Sí: <input type="checkbox"/> No	Fecha de fabricación: _____ DD/MM/AA
ID relacionado de la ANAC (si aplica):	ID del explotador No:
Modelo del motor y datos de revisión:	Fuente del modelo aerodinámico:
Identificación FMS y nivel de revisión:	Fuente de información del coeficiente aerodinámico:
Fabricante del sistema visual/modelo:	Número de revisión de los datos de aerodinámica:
Revisión de datos de control del vuelo:	Pantalla de sistema visual:
Fabricante del sistema de movimiento / Tipo:	Identificación del computador(es) del FSTD:
<b>Autoridad de Aviación Civil (ANAC) (si aplica):</b>	
ID de la ANAC del FTD:	Fecha de la última evaluación de la ANAC:
Nivel de Calificación de la ANAC:	
Bases de calificación de la ANAC:	

*Figura 2.6. Declaración de calificación junto a la lista de configuración.  
Fuente: ANAC, RAAC Parte 60.*

### b) RAAC PARTE 121, SUBPARTE N; 121.407 Y 121.409

La RAAC Parte 121, Subparte N, establece los requisitos normativos para la formación, evaluación y certificación del personal de vuelo en operaciones aéreas comerciales regulares. Esta subparte es una de las más relevantes dentro de las regulaciones aeronáuticas argentinas, ya que busca garantizar altos estándares de seguridad operacional en el transporte de pasajeros y carga, en concordancia con los lineamientos de la OACI. Las normas abarcan aspectos fundamentales como el diseño de programas de entrenamiento, las calificaciones mínimas del personal y los procesos de revalidación periódica.

El transporte aéreo comercial requiere que las tripulaciones sean competentes no solo en la operación técnica de las aeronaves, sino también en la gestión de recursos de cabina y en la toma de decisiones críticas bajo presión. La Subparte N de la RAAC 121 se centra en garantizar que las tripulaciones estén preparadas para enfrentar los desafíos operativos, tanto en condiciones normales como en emergencias.

El entrenamiento inicial bajo la Subparte N está diseñado para preparar a los pilotos y asistentes de vuelo que ingresan por primera vez a un operador comercial. Este programa incluye instrucción teórica y práctica en una variedad de áreas críticas, como procedimientos de operación normal, manejo de emergencias, comunicación efectiva y uso de equipos de seguridad. La fase práctica generalmente se lleva a cabo en simuladores certificados, como FTD o FFS, que replican fielmente las condiciones de vuelo y permiten practicar maniobras avanzadas sin riesgos.

Por otro lado, el entrenamiento recurrente tiene como objetivo mantener la competencia de las tripulaciones a lo largo de sus carreras. La normativa establece que los pilotos y asistentes de vuelo deben participar en programas de actualización al menos una vez al año, que incluyan simulaciones de fallas críticas, emergencias médicas y procedimientos de evacuación. Este entrenamiento no solo refuerza el conocimiento técnico, sino que también garantiza que los tripulantes estén actualizados con los cambios en las regulaciones y tecnologías.

La Subparte N también detalla los procedimientos para evaluar la competencia del personal de vuelo. Estas evaluaciones pueden realizarse mediante exámenes teóricos, pruebas prácticas en simuladores o incluso en aeronaves reales, dependiendo de las circunstancias. Los operadores deben documentar todos los resultados de las evaluaciones y asegurarse de que el personal cumpla con los estándares mínimos establecidos antes de permitirles operar vuelos comerciales.

Una parte esencial del proceso de evaluación es la revalidación de las habilitaciones, que garantiza que los pilotos y asistentes de vuelo mantengan un nivel constante de desempeño. Las habilitaciones, como la de tipo de aeronave, deben renovarse periódicamente, siguiendo procedimientos estrictos que incluyen la demostración de habilidades en simuladores

certificados. Esto es especialmente relevante en aeronaves modernas, donde los sistemas automatizados requieren un dominio profundo para garantizar operaciones seguras.

Esta normativa fomenta el uso de simuladores para el entrenamiento debido a sus múltiples beneficios. Los simuladores permiten a los operadores reducir significativamente los costos asociados al uso de aeronaves reales durante el entrenamiento, al tiempo que minimizan los riesgos para la seguridad. Además, ofrecen la posibilidad de recrear escenarios que serían imposibles o demasiado peligrosos de realizar en vuelo real, como fallas catastróficas de sistemas, condiciones meteorológicas extremas o eventos inesperados en cabina.

En Argentina, los simuladores utilizados para el cumplimiento de esta normativa deben estar certificados bajo la RAAC Parte 60. Según datos de la ANAC, existen diversos centros de entrenamiento que ofrecen servicios de simulación avanzada, tanto en el ámbito comercial como en el militar. La certificación de estos simuladores asegura que cumplan con los estándares internacionales en términos de fidelidad técnica y operativa.

La RAAC 121, Subparte N, no opera de manera aislada, sino que está vinculada a otras normativas tanto nacionales como internacionales. Por ejemplo, las disposiciones de la OACI en el *Anexo 1 (Licencias al Personal)* y el *Anexo 6 (Operación de Aeronaves)* complementan las exigencias de la Subparte N, ofreciendo un marco global para la capacitación y evaluación del personal de vuelo.

A nivel local, la Subparte N también interactúa con las disposiciones de la *RAAC Parte 67*, que regula los requisitos médicos para el personal aeronáutico. Esto es crucial, ya que la certificación médica es un prerrequisito para la participación en programas de entrenamiento y operaciones aéreas.

Uno de los principales objetivos de la *RAAC 121, Subparte N*, es garantizar altos niveles de seguridad operacional. Las estadísticas globales de la OACI muestran que los programas de entrenamiento bien estructurados son un factor clave para reducir incidentes y accidentes en la aviación comercial. En Argentina, el cumplimiento estricto de esta normativa ha permitido mejorar los indicadores de seguridad, posicionando al país como un referente en la región en términos de calidad en la formación de tripulaciones.

Además, la implementación de esta normativa ha fomentado la creación de centros de entrenamiento especializados, como Alas para Latinoamérica, que ofrecen programas diseñados específicamente para cumplir con las exigencias de la RAAC 121. Esto no solo mejora la calidad del entrenamiento disponible, sino que también contribuye al desarrollo de la industria aeronáutica local.

La importancia de esta normativa no solo radica en la formación técnica, sino también en su impacto positivo en la industria aeronáutica nacional, promoviendo la implementación de tecnologías avanzadas y mejores prácticas en el entrenamiento de tripulaciones.

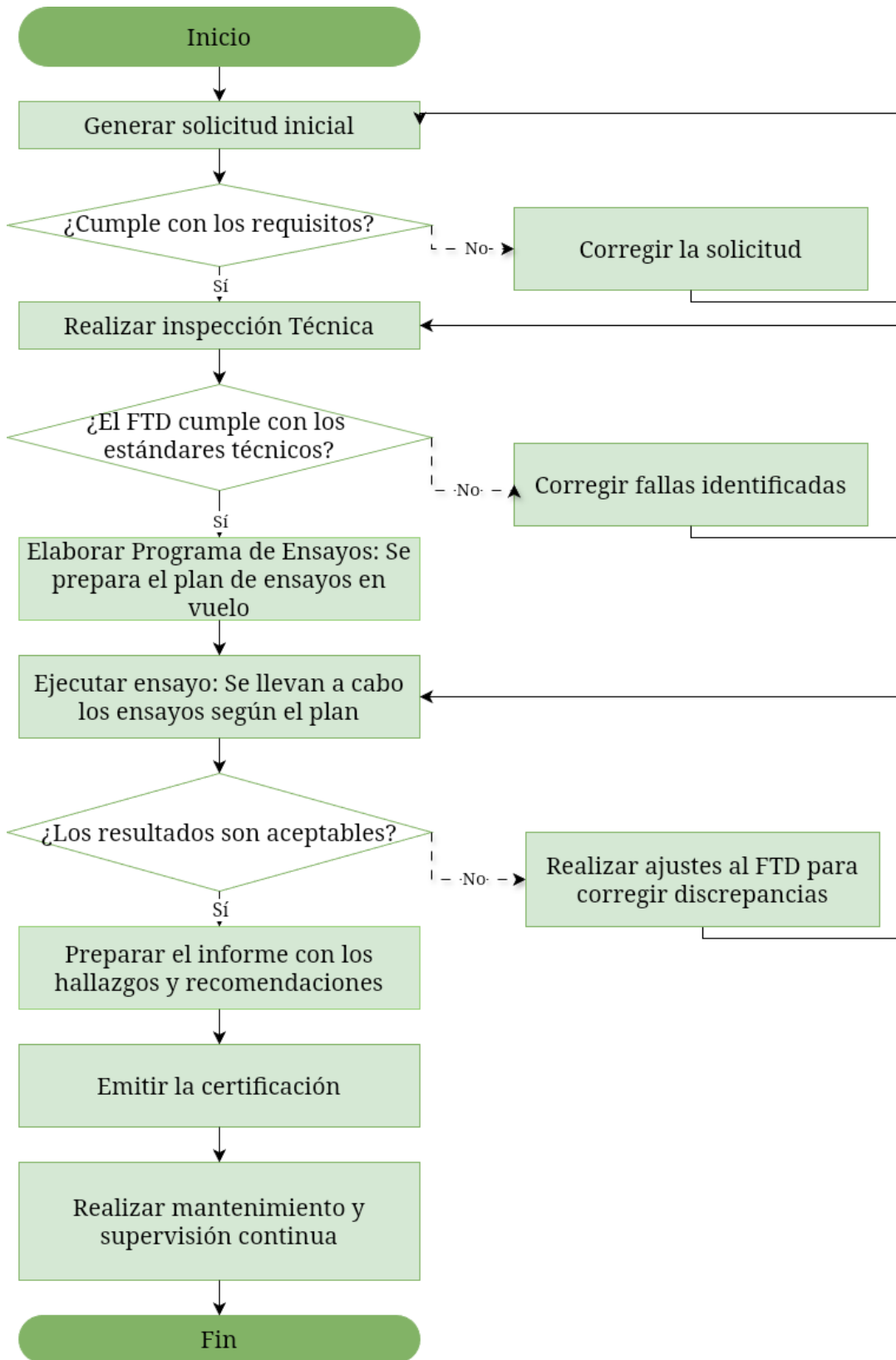


Figura 2.7. Diagrama de flujo para el proceso de certificación.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2. Estudio de Viabilidad Económica

Un estudio de viabilidad económica es una evaluación integral que analiza la viabilidad financiera de un proyecto antes de su implementación. Tiene como objetivo determinar si la propuesta es rentable y sostenible a largo plazo. Para ello, se examinan diversos aspectos, tales como los costos iniciales de inversión, los ingresos proyectados, los costos operativos y el retorno de la inversión (ROI).

También considera factores externos como las condiciones del mercado, la competencia, la demanda esperada y los riesgos económicos que podrían afectar el éxito del proyecto. Utiliza herramientas y metodologías como el análisis de costo-beneficio, la proyección de flujo de caja y la evaluación de riesgos para proporcionar una visión clara y detallada de la viabilidad financiera del proyecto.

Además, este estudio identifica las fuentes de financiamiento necesarias y evalúa su impacto en la rentabilidad general. También puede incluir un análisis de sensibilidad para determinar cómo variaciones en los supuestos clave afectan los resultados financieros.

Esto es crucial para la toma de decisiones informadas, ya que proporciona a los inversores y a los responsables del proyecto la confianza necesaria para avanzar, garantizando que el proyecto tiene una alta probabilidad de ser financieramente viable y exitoso.

Formulación y preparación			Evaluación
Obtención y creación de información		Flujo de caja	Evaluación Sensibilización
Estudio mercado	Estudio técnico	Estudio organizacional y legal	Estudio financiero
Estudio de impacto ambiental			

*Figura 2.8. Estudio de viabilidad económica*  
*Fuente: Sapag.*

## a) Estudio Legal

El Estudio Legal en el contexto de la gestión de proyectos es una fase crítica que asegura que el proyecto cumpla con todas las normativas legales aplicables en cada jurisdicción. En su obra "*Preparación y Evaluación de Proyectos*", Nassir Sapag Chain subraya la importancia de comprender el marco jurídico en el que se desarrollará un proyecto, destacando que los aspectos legales pueden influir de manera significativa en el éxito o fracaso de una iniciativa. Este estudio legal no solo cubre las leyes locales, sino que también considera los acuerdos internacionales, como los que rigen la industria aeronáutica a través de la OACI

Este estudio tiene como objetivo garantizar que todas las actividades del proyecto estén alineadas con las leyes vigentes, lo cual implica revisar el marco normativo aplicable, los contratos que se suscriben, los riesgos legales asociados, y la protección de la propiedad intelectual. Este análisis es crucial, especialmente en industrias altamente reguladas como la aeronáutica, donde el cumplimiento de las normativas internacionales de seguridad y las leyes locales es fundamental.

En la industria aeronáutica, los simuladores de vuelo y dispositivos de entrenamiento deben cumplir con los requisitos de certificación establecidos por las autoridades aeronáuticas nacionales e internacionales. En el caso de Argentina, la ANAC, es el organismo responsable de emitir las regulaciones para estos equipos. En este sentido, el estudio legal debe asegurarse de que todos los contratos relacionados con la adquisición, uso, o certificación de dispositivos como los FTD estén en conformidad con las leyes del país.

Según *Sapag Chain (2014)*, un estudio legal debe considerar varios aspectos clave, entre los que se destacan:

1° Cumplimiento Normativo: Las leyes de los países involucrados y las normas internacionales deben ser exhaustivamente revisadas. En el caso de la aeronáutica, esto incluye la normativa sobre certificación de simuladores y otros dispositivos de entrenamiento de vuelo, que deben cumplir con los requisitos de seguridad establecidos por la OACI y otras autoridades aeronáuticas internacionales. Además, el estudio debe asegurar que el proyecto cumpla con los tratados internacionales a los que los países están adheridos.

2° Contratos Legales: Un estudio legal exhaustivo debe revisar los contratos asociados con el proyecto. Estos contratos pueden incluir acuerdos con proveedores de tecnología, prestadores de servicios y otras partes involucradas en la implementación del proyecto. En la industria aeronáutica, esto también incluye acuerdos de licencia de software, adquisición de simuladores de vuelo y equipos relacionados, que deben ajustarse a las leyes comerciales y de propiedad intelectual.

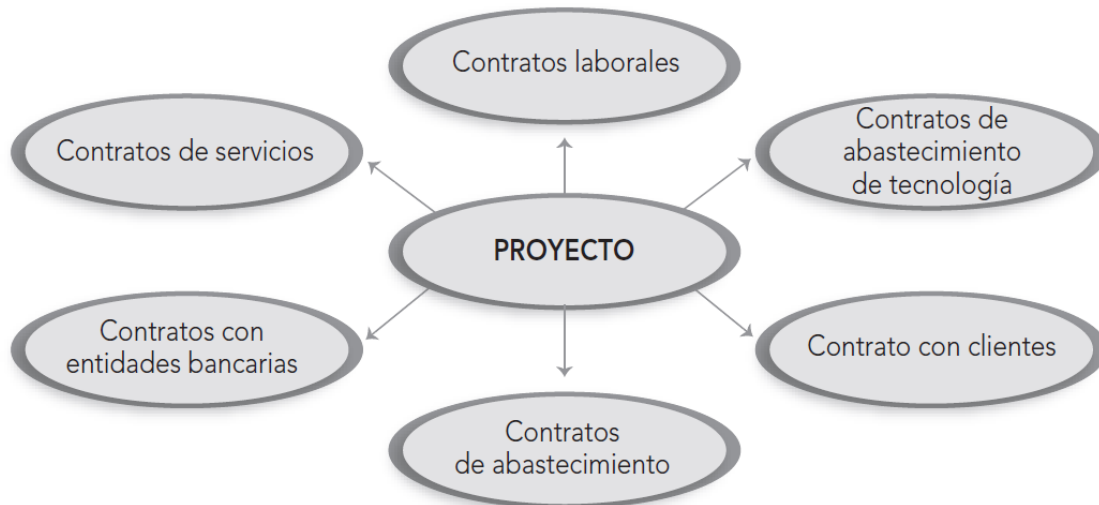
3° Riesgos Legales: Este componente implica identificar los riesgos que pueden surgir de un incumplimiento de las normativas legales. Las consecuencias de un incumplimiento legal pueden incluir sanciones económicas, la imposibilidad de operar el dispositivo de simulación o incluso la paralización del proyecto. En el caso de la industria aeronáutica, la falta de certificación de los dispositivos puede resultar en sanciones significativas, lo que hace que el estudio de riesgos sea esencial.

4° Propiedad Intelectual: La protección de los derechos de propiedad intelectual es otro componente clave del estudio legal. En el contexto de la aeronáutica, el software utilizado en los simuladores de vuelo o los diseños tecnológicos asociados con estos dispositivos son bienes intangibles que deben ser protegidos mediante derechos de autor, patentes y marcas registradas. Los contratos deben garantizar que los derechos de propiedad intelectual de las partes involucradas sean respetados, previniendo posibles disputas legales.

5° Aspectos Laborales: El estudio también debe contemplar las regulaciones laborales que afectan al proyecto, asegurando que los derechos de los trabajadores estén protegidos. Esto incluye las condiciones laborales del personal que opera y mantiene los simuladores de vuelo, así como las normativas sobre capacitación y certificación de los instructores de vuelo.

En la industria aeronáutica, los Estudios Legales son particularmente importantes debido a la alta regulación que existe en términos de seguridad, certificación y protección de la propiedad intelectual. Por ejemplo, los simuladores de vuelo deben cumplir con una serie de requisitos de certificación, tanto en términos de hardware como de software, establecidos por la OACI y las autoridades nacionales correspondientes. El incumplimiento de estas normativas no solo puede resultar en sanciones, sino también en la pérdida de licencias para operar o la imposibilidad de utilizar el equipo en entrenamientos oficiales.

También se debe evaluar la validez de los contratos relacionados con la adquisición de simuladores, licencias de software y otros elementos esenciales para el proyecto. Es fundamental contar con acuerdos detallados que especifiquen las responsabilidades de las partes involucradas, así como las implicaciones legales en caso de incumplimiento de los términos acordados.



*Figura 2.9. Diagrama entorno legal interno.  
Fuente: Preparación y evaluación de Proyectos, Sapag, 2014.*

## **b) Estudio de emplazamiento**

El estudio de emplazamiento es fundamental en cualquier proyecto, pues permite evaluar y seleccionar el lugar óptimo para su implementación. Este análisis integra factores técnicos, logísticos, económicos, sociales y ambientales para asegurar la viabilidad del proyecto en su ubicación específica. En el caso de un FTD, el emplazamiento debe considerar variables críticas como la cercanía a aeropuertos, accesibilidad para los usuarios, infraestructura tecnológica y regulaciones locales.

La proximidad a un aeropuerto principal o a instalaciones aeronáuticas es clave para el emplazamiento de un FTD. Esto facilita la integración con operaciones de vuelo reales y garantiza que los pilotos accedan fácilmente al dispositivo para sus entrenamientos. En Argentina, por ejemplo, ciudades como Buenos Aires o Córdoba son opciones estratégicas

debido a su conectividad aérea y su infraestructura existente. Además, el transporte público y las conexiones terrestres deben ser analizados para facilitar el acceso de los estudiantes y del personal técnico.

El estudio también debe incluir la disponibilidad de servicios básicos como energía eléctrica estable, internet de alta velocidad y condiciones climáticas adecuadas para el transporte y la operación del simulador. Según *Sapag (2014)*, estos factores son esenciales para garantizar la eficiencia operativa y reducir costos indirectos asociados al mantenimiento y operación.

Por otro lado la rentabilidad del proyecto está influenciada por los costos asociados al lugar seleccionado, como alquiler o compra del terreno, impuestos locales y costos de construcción. En Argentina, los costos inmobiliarios varían significativamente según la región; las áreas metropolitanas como Buenos Aires tienen precios elevados, mientras que localidades periféricas podrían ofrecer costos más bajos, aunque con posibles compromisos logísticos.

El marco fiscal también debe ser analizado. Incentivos locales, como exenciones tributarias o subsidios estatales, pueden ser determinantes en la decisión de emplazamiento. Según la *Cámara Argentina de Comercio (2023)*, algunas provincias ofrecen beneficios para proyectos que fomentan el desarrollo económico regional.

El impacto ambiental es un componente crucial en todo proyecto, ya que son muchos los proyectos que son descartados por no cumplir con las regulaciones medioambientales. Es necesario evaluar cómo la construcción y operación del FTD afectarán el entorno natural, asegurando el cumplimiento de las normativas locales e internacionales de sostenibilidad. Además, el impacto social, como la generación de empleo y la contribución al desarrollo educativo y tecnológico de la región, debe ser considerado.

En el caso del FTD en Argentina, es importante que el emplazamiento también considere la concentración de estudiantes y profesionales de la aviación en áreas clave.

### **c) Estudio organizacional**

El estudio organizacional tiene como objetivo definir la estructura interna y los recursos humanos necesarios para garantizar el éxito del proyecto. En el contexto de un Flight Training Device, este análisis identifica las necesidades de personal técnico, administrativo y operativo, así como los sistemas y procesos que garantizarán una gestión eficiente.

Una organización eficiente debe contar con una estructura clara que permita la coordinación efectiva de sus actividades. Para un FTD, se recomienda una estructura funcional, donde cada área (técnica, operativa, comercial y administrativa) tenga funciones y responsabilidades definidas. Según *Robbins y Coulter (2020)*, este tipo de estructura favorece la especialización y el control, elementos cruciales para la operación de un simulador de vuelo.

Por ejemplo, el área técnica debe encargarse del mantenimiento y actualización del simulador, garantizando que cumpla con las normativas de la RAAC. El área comercial, por su parte, debe desarrollar estrategias para atraer estudiantes y cerrar convenios con aerolíneas locales e internacionales.

El personal es un recurso clave en cualquier organización. En este proyecto se necesita personal altamente capacitado en áreas técnicas, como ingenieros en simulación y técnicos en aeronáutica. Además, se requiere personal administrativo con experiencia en la industria de la aviación para gestionar el contacto con las autoridades regulatorias y los clientes.

La capacitación es un elemento esencial. Según estudios de la *IATA (2022)*, el entrenamiento constante del personal técnico y operativo es indispensable para garantizar la seguridad y eficiencia en las operaciones de simulación. Por lo tanto, el plan organizacional debe incluir un programa de formación continua para los empleados.

El diseño de procesos internos claros y eficientes es otro aspecto esencial del estudio organizacional. Esto incluye la definición de procedimientos para la toma de decisiones, la asignación de recursos y la resolución de conflictos. Según *Porter (1985)*, la eficiencia operativa es un factor clave en la competitividad de una organización, y los procesos bien diseñados contribuyen significativamente a alcanzarla.

Los sistemas organizacionales, como los sistemas de gestión de la información, también desempeñan un papel crucial. Estos sistemas facilitan la comunicación interna, el seguimiento de indicadores clave de desempeño (KPIs) y la implementación de estrategias basadas en datos.

Este estudio también debe incluir la gestión de permisos y certificaciones requeridos por las autoridades aeronáuticas. En Argentina, la ANAC supervisa la operación de dispositivos como los FTD, y la organización debe garantizar el cumplimiento de sus requisitos para evitar sanciones o interrupciones en sus operaciones.

#### **d) Estudio de financiero**

El estudio financiero es una de las etapas más cruciales en la evaluación de un proyecto, ya que permite determinar la viabilidad económica y la rentabilidad a largo plazo de una inversión. En el contexto de la gestión de proyectos, el estudio financiero abarca la identificación, análisis y proyección de los flujos de dinero asociados a las diversas actividades del proyecto. La información obtenida a través de este estudio es esencial para la toma de decisiones y para asegurar que los recursos sean asignados de la manera más eficiente. A través del estudio financiero se evalúa el costo inicial de la inversión, los posibles ingresos futuros y los riesgos financieros asociados con el proyecto, lo cual permite realizar un análisis más integral que considere tanto los aspectos técnicos como los económicos.

Según Sapag en su libro *Preparación y Evaluación de Proyectos*, el análisis financiero de un proyecto incluye una evaluación detallada de los costos de inversión inicial, que abarcan tanto los gastos en activos tangibles como intangibles, como la compra de equipos, el desarrollo de software y la capacitación. Estos costos iniciales son seguidos por la estimación de los ingresos que el proyecto generará, los cuales deben proyectarse a lo largo de la vida útil del mismo. La estimación de ingresos no solo involucra la identificación de las fuentes de ingresos, sino también la estimación de las tasas de crecimiento y el análisis de la competitividad en el mercado. De acuerdo con la información financiera disponible, los flujos de efectivo proyectados deben reflejar la capacidad del proyecto para generar

ganancias suficientes para cubrir los costos y, eventualmente, generar un retorno de la inversión positivo.

El estudio financiero también incluye el análisis de la rentabilidad del proyecto, que se puede determinar mediante el uso de herramientas como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI). El VAN permite calcular el valor presente de los flujos de efectivo futuros, descontando las tasas de interés y considerando los riesgos asociados con los ingresos futuros. Este indicador es crucial para determinar si el proyecto es rentable a largo plazo. La TIR, por otro lado, muestra la tasa de rentabilidad efectiva que se espera obtener del proyecto, lo cual también ayuda a tomar decisiones sobre la viabilidad de la inversión. El PRI, por su parte, permite calcular el tiempo que tomará recuperar el monto invertido, lo cual es una métrica importante para evaluar la liquidez del proyecto en el corto plazo.

Es importante que el análisis financiero considere los riesgos asociados con los flujos de efectivo, tales como cambios en los precios de los insumos, fluctuaciones en la demanda del mercado o cambios regulatorios. Uno de los principales objetivos del estudio financiero es prever cómo afectarán estos riesgos a la rentabilidad del proyecto, y para ello se pueden utilizar herramientas como el análisis de sensibilidad o el análisis de escenarios. El análisis de sensibilidad ayuda a determinar cómo variaciones en las principales variables del proyecto (como el costo de materiales o el precio de venta de los servicios) pueden afectar el retorno esperado. El análisis de escenarios, por su parte, permite modelar diferentes futuros posibles y evaluar cómo las decisiones estratégicas pueden influir en la viabilidad financiera del proyecto.

Una parte fundamental del estudio financiero también es la evaluación de la estructura de financiamiento del proyecto. En este sentido, se deben analizar las fuentes de financiamiento disponibles, como la deuda, el capital propio o las inversiones externas, y determinar cómo cada una de estas opciones impactará en la rentabilidad del proyecto. Es fundamental tener en cuenta los costos asociados con cada fuente de financiamiento, como las tasas de interés y los plazos de pago, y evaluar cómo estos costos afectarán los flujos de efectivo y el retorno final. Además, el estudio debe considerar las implicancias fiscales del proyecto, ya que los

impuestos pueden tener un impacto significativo en los ingresos netos generados por el mismo.

El análisis financiero no solo es crucial para los inversionistas, sino también para los gestores del proyecto. Una vez que el proyecto ha comenzado, los gerentes deben monitorear continuamente los flujos de efectivo y realizar ajustes en función de las variaciones en los costos o en los ingresos. El estudio financiero no debe verse como un ejercicio puntual al inicio del proyecto, sino como una herramienta continua para la toma de decisiones. Para ello, es recomendable realizar auditorías y revisiones periódicas del estado financiero del proyecto, con el fin de asegurar que se mantenga en el camino correcto hacia la rentabilidad.

Finalmente, este estudio también incluye la consideración de los impactos económicos del proyecto sobre la comunidad o el entorno en el que se desarrolla. En proyectos de gran envergadura, como los relacionados con la infraestructura aeronáutica o el desarrollo de nuevas tecnologías en el sector de la aviación, es crucial analizar cómo los cambios en la economía local, como la creación de empleo o la mejora de la infraestructura, pueden influir en la percepción pública y en la sostenibilidad del proyecto a largo plazo. Según Sapag (2011), *un estudio financiero bien estructurado debe ser capaz de integrar no solo los aspectos cuantitativos del proyecto, sino también los efectos sociales y ambientales que puedan derivarse de su ejecución.*

### **2.3. Propuesta Metodológica**

Llevar adelante un proyecto de este tipo implica conocer, estudiar y analizar las variables y condiciones existentes. Se debe llevar un plan ordenado que integre cada herramienta de manera correcta. Por lo que se propone lo siguiente para determinar la viabilidad técnica-económica:

Primero se lleva a cabo una investigación acerca de la tecnología de los simuladores, su funcionamiento y como sus componentes trabajan, principalmente a nivel computacional y la manera que tienen distintos computadores de interactuar entre si para recrear un escenario realista de una cabina de avión.

Posteriormente se llevará a cabo una cotización de cada componente necesario para poder construir un FTD de las mismas especificaciones y dimensiones que posee el Departamento de Aeronáutica en el campus Vitacura de la USM.

Luego se debe realizar un barrido de información completo, utilizando los datos entregados por ANAC, Documentos de la OACI y la IATA y el análisis de la tecnología para comprender mejor la naturaleza de los dispositivos de instrucción existentes, además de datos estadísticos de la industria aeronáutica a nivel mundial, latinoamericano y argentino.

Una vez obtenidos los costos de cada componente, se lleva a cabo una categorización del FTD según la normativa aeronáutica argentina en base a todo lo que contiene el Dispositivo de Instrucción. Junto a esto se comienza a realizar la evaluación económica del proyecto, determinando los beneficios y costos asociados y diferentes indicadores económicos como la VAN, la TIR y el Payback.

Posteriormente se procederá a sensibilizar los datos para obtener los valores mínimos a los cuales se puede operar para obtener un margen positivo.

Finalmente se realizan las recomendaciones del proyecto y se determina la viabilidad de este considerando los aspectos económico, legal (normativo) y técnico.

## **CAPÍTULO 3: DESARROLLO**

### **3.1. Estudio legal: (Características técnicas para certificar categoría 4)**

La certificación de un FTD (Flight Training Device) de categoría 4 en Argentina es un proceso altamente técnico y regulado, diseñado para garantizar que el dispositivo cumpla con los estándares internacionales y las normativas locales de la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC). Este dispositivo debe replicar con fidelidad las características operativas de una aeronave específica y proporcionar un entorno seguro y efectivo para la instrucción de pilotos en procedimientos normales y de emergencia.

El marco regulatorio para dicho proceso está establecido por la ANAC, que actúa como la autoridad competente en aviación civil. Los requisitos específicos están alineados con las normativas internacionales emitidas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y las recomendaciones de la Federal Aviation Administration (FAA) de los Estados Unidos. Es crucial que el solicitante se familiarice con estas normativas, ya que proporcionan los parámetros técnicos y de calidad que deben cumplirse.

Esto comienza con la presentación de una solicitud formal ante la ANAC. Este documento debe incluir la información técnica del FTD, como sus especificaciones, capacidades y funciones. También es necesario adjuntar documentación adicional que demuestre que el dispositivo cumple con los estándares de simulación establecidos para un FTD de categoría 4. Dentro de los documentos esenciales se encuentran el Manual de Operaciones del dispositivo, el Programa de Instrucción y los registros de mantenimiento. Estos documentos son evaluados minuciosamente por la ANAC como parte del proceso de aprobación.

Los dispositivos de entrenamiento de vuelo (FTD) de categoría 4 están diseñados para proporcionar un entorno de aprendizaje altamente realista, pero con menor complejidad que un simulador de vuelo completo (Full Flight Simulator, FFS). A pesar de ello, los FTD deben cumplir con estrictos requisitos técnicos para garantizar que la instrucción brindada sea segura, precisa y alineada con las características de la aeronave que se está simulando. En este contexto, la ANAC establece directrices técnicas específicas que abarcan aspectos estructurales, de software, hardware y funcionalidad. A continuación se establecen los requerimientos técnicos:

### 1° Simulación Física y Sistemas de Control

- **Cabina Representativa:** El FTD debe incluir una cabina que reproduzca de manera realista la disposición de los controles y paneles de la aeronave simulada. Los materiales y acabados deben garantizar durabilidad y ser ergonómicamente adecuados para las operaciones de entrenamiento.
- **Controles de Vuelo:** Los sistemas de control (como palancas de mando, pedales y mandos de potencia) deben replicar las características físicas y la respuesta táctil de los controles reales. Esto incluye fuerzas de retroalimentación (feedback) que emulen con precisión las resistencias aerodinámicas de la aeronave real.
- **Paneles e Instrumentación:** Los paneles deben estar completamente funcionales y diseñados para simular con precisión los instrumentos de vuelo, de navegación y de gestión del sistema de la aeronave. Esto incluye pantallas de cristal líquido (PFD/MFD) y relojes analógicos en el caso de aeronaves más antiguas.

### 2° Sistemas de Visualización

- **Entorno Visual:** La experiencia de simulación debe incluir un sistema de visualización envolvente de alta resolución (mínimo 1080p o equivalente) para proyectar el entorno exterior. Este sistema debe mostrar el horizonte, condiciones climáticas, el terreno y otros elementos del espacio aéreo.
- **Campo de Visión:** Los FTD de categoría 4 generalmente requieren un campo de visión de 180° o mayor para simular maniobras y aterrizajes. Este rango asegura que el alumno pueda interactuar visualmente con el entorno de manera realista.
- **Escenarios Personalizables:** El software de visualización debe permitir la configuración de múltiples escenarios de vuelo, incluyendo despegues, aterrizajes y emergencias. También debe simular diferentes condiciones de luz, meteorología y tráfico aéreo.

### 3° Software de Simulación

- **Modelado Aerodinámico:** El FTD debe incorporar un software que simule de manera precisa las características aerodinámicas de la aeronave. Esto incluye

maniobrabilidad, velocidades máximas, configuraciones de flaps y comportamiento durante emergencias.

- **Fidelidad de los Sistemas:** El software debe simular los sistemas eléctricos, hidráulicos, neumáticos y de gestión de combustible de la aeronave. La simulación debe incluir interacciones entre estos sistemas para reflejar cómo afectan el rendimiento y las operaciones.
- **Actualizaciones:** Es crucial que el software sea actualizable para incorporar cambios en la aeronave simulada, nuevas regulaciones o avances tecnológicos. Esto garantiza la longevidad y relevancia del dispositivo.

#### 4° Sistemas de Sonido

- **Sonido Ambiental:** El sistema debe reproducir sonidos característicos del entorno de vuelo, como el ruido del motor, el flujo de aire y las alarmas. Esto ayuda a mejorar la inmersión durante el entrenamiento.
- **Alarmas y Notificaciones:** Las señales auditivas deben ser precisas y coincidir con las advertencias reales de la aeronave simulada. Esto incluye alertas de proximidad al terreno (GPWS), pérdida de sustentación (stall) y desconexión del piloto automático.

#### 5° Interfaz de Usuario

- **Estación del Instructor (IOS):** El FTD debe contar con una estación dedicada para el instructor. Esta interfaz debe permitir la configuración de escenarios, monitorear el desempeño del alumno y generar informes detallados de las sesiones.
- **Simplicidad y Funcionalidad:** La interfaz debe ser intuitiva, con controles accesibles para facilitar la interacción durante el entrenamiento. También debe incluir funciones para pausar, reiniciar y modificar simulaciones en tiempo real.

#### 6° Seguridad y Mantenimiento

- **Redundancia:** Es necesario implementar sistemas redundantes para evitar fallas críticas durante el entrenamiento. Esto incluye fuentes de alimentación y sistemas de almacenamiento de datos.
- **Mantenimiento Predictivo:** El FTD debe incorporar herramientas para monitorear el estado de sus componentes y predecir posibles fallos. Esto minimiza el tiempo de inactividad y optimiza los costos de mantenimiento.

#### 7° Pruebas y Calibración

- **Pruebas de Rendimiento:** Antes de la certificación, el FTD debe someterse a una serie de pruebas para validar la precisión de sus modelos aerodinámicos, la funcionalidad de los sistemas y la calidad de la experiencia visual.
- **Calibración Regular:** Una vez certificado, el FTD debe ser calibrado periódicamente para garantizar que los controles, sistemas y simulaciones sigan siendo precisos.

#### 8. Integración de Normativas Internacionales

Para garantizar la compatibilidad internacional, los FTD de categoría 4 deben cumplir con estándares como los establecidos en la Parte 60 de la FAA y/o las guías de la OACI (Doc 9625). Estas normativas detallan los requisitos específicos para cada categoría de simuladores y dispositivos de entrenamiento.

#### 9° Escalabilidad y Configurabilidad

- **Capacidad Modular:** El diseño del FTD debe permitir la adición de nuevos módulos, como sistemas específicos de aeronaves adicionales, sin requerir una reconstrucción completa.
- **Configuración Multitarea:** Algunos FTD de categoría 4 pueden configurarse para permitir la capacitación en diferentes modelos de aeronaves con una sola plataforma.

La certificación de un FTD de categoría 4 no solo implica cumplir con los requisitos técnicos y legales establecidos por la ANAC, sino también garantizar que el dispositivo pueda ofrecer una experiencia de entrenamiento confiable y precisa. La combinación de una cabina representativa, sistemas de visualización de alta calidad, simulación de sistemas realistas y

mantenimiento constante asegura que el FTD cumpla con los estándares más altos. Además, la capacidad de actualización y la alineación con las normativas internacionales consolidan su utilidad como herramienta de formación a largo plazo.

Una vez que se ha presentado la solicitud de certificación, la ANAC realiza una serie de evaluaciones técnicas para verificar que el FTD cumple con los requisitos establecidos. Estas evaluaciones incluyen inspecciones físicas del dispositivo, revisión de la documentación presentada y pruebas de funcionamiento. Durante estas pruebas, se verifica que el FTD opera de acuerdo con las especificaciones técnicas descritas en el Manual de Operaciones y que puede simular de manera efectiva los escenarios de vuelo para los que fue diseñado.

El programa de ensayos en vuelo es una etapa crítica en el proceso de certificación. Este programa incluye una serie de pruebas diseñadas para evaluar la precisión y confiabilidad del dispositivo en condiciones operativas reales. Estas pruebas son realizadas por técnicos especializados de la ANAC, quienes analizan los resultados y emiten un informe detallado. Si el dispositivo no cumple con los estándares requeridos, el solicitante deberá realizar ajustes o reparaciones antes de someterlo a una nueva ronda de evaluaciones.

Si el FTD cumple con todos los requisitos técnicos, operativos y legales, la ANAC emite un certificado que valida su uso para la instrucción de pilotos. Este certificado especifica las capacidades del FTD, incluyendo los tipos de aeronaves que puede simular y los escenarios de vuelo que puede reproducir. La emisión del certificado también marca el inicio de un proceso de supervisión continua, durante el cual el dispositivo debe someterse a inspecciones regulares y mantenerse en conformidad con los estándares vigentes.

Certificar un FTD no es un proceso único, sino un compromiso continuo con la calidad y la seguridad. Después de la certificación, el operador del FTD debe implementar un programa de mantenimiento riguroso que asegure su funcionalidad y precisión a lo largo del tiempo. Esto incluye la realización de inspecciones periódicas, actualización de software y reparación de componentes desgastados o defectuosos. La ANAC realiza inspecciones regulares para garantizar que el dispositivo se mantenga en condiciones operativas óptimas y continúe cumpliendo con los estándares de certificación.

Es por esto que se requiere una planificación meticulosa y un compromiso total con los estándares técnicos y legales. Desde la presentación de la solicitud hasta la emisión del certificado, cada etapa del proceso está diseñada para garantizar que el dispositivo cumpla con los más altos niveles de calidad y seguridad. Los operadores que deseen implementar un FTD deben asegurarse de trabajar estrechamente con la ANAC y seguir todas las normativas aplicables para garantizar el éxito de su proyecto. Este esfuerzo no solo permite la certificación del dispositivo, sino que también establece una base sólida para su operación segura y efectiva en el futuro.

### **3.2. Estudio técnico**

El estudio técnico de un proyecto es un componente crucial para garantizar que todas las fases del desarrollo sean viables desde un punto de vista operativo y tecnológico. En el contexto de la implementación de un Flight Training Device (FTD) para la empresa *Alas para Latinoamérica* (Alas Educa), el estudio técnico abarca varios aspectos, incluyendo el diseño de la cabina, los sistemas de software y redes, y el desarrollo de la infraestructura física. Cada uno de estos elementos es esencial para asegurar que el FTD no solo cumpla con los estándares operacionales y de seguridad, sino que también esté alineado con las necesidades formativas de los pilotos y las regulaciones internacionales.

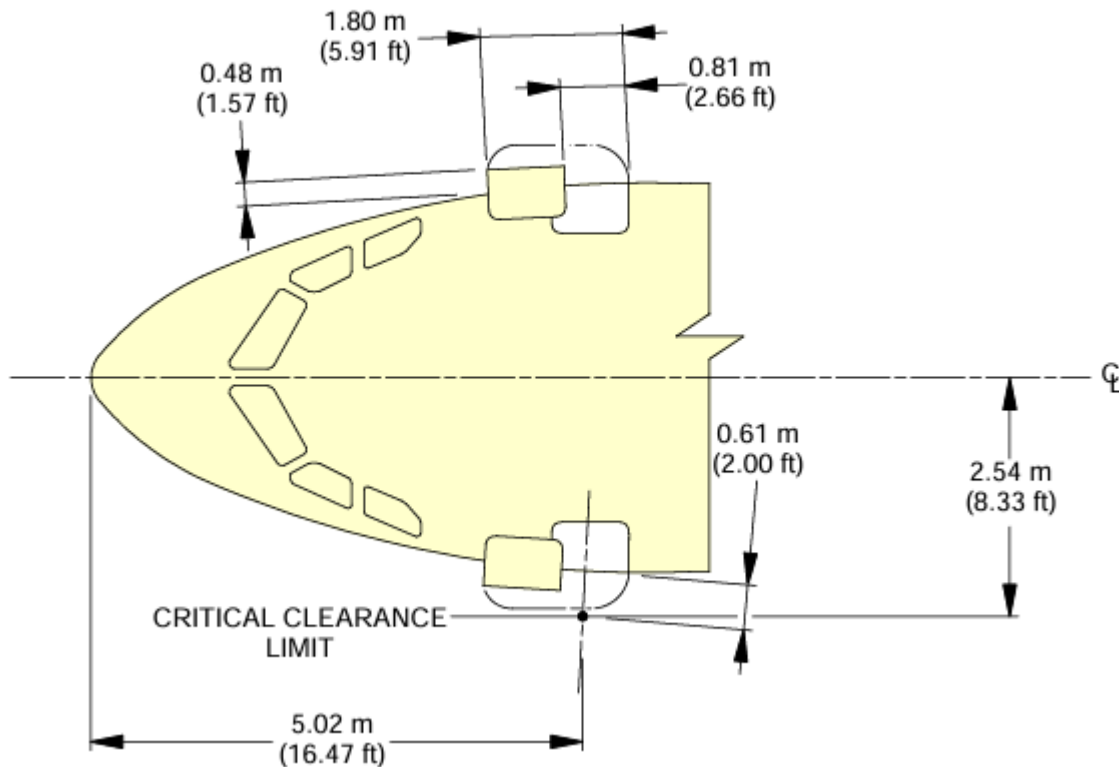
#### **3.2.1. Proyecto cabina**

La cabina del FTD es uno de los componentes más críticos, ya que se trata del espacio donde los pilotos recibirán su formación. El diseño y la construcción de la cabina debe estar alineado con las especificaciones del avión que se desea simular, en este caso, un A320, para proporcionar una experiencia lo más realista posible. La cabina debe replicar los controles, los instrumentos y las dimensiones físicas del avión, asegurando que los alumnos se familiaricen con todos los aspectos operativos y técnicos del vuelo, tal como lo harían en una aeronave real.

En primer lugar, es importante realizar un análisis detallado de los requerimientos técnicos de la cabina. Esto implica la elección de materiales de alta calidad y tecnología avanzada que puedan replicar de manera precisa los controles del A320. La cabina debe incluir un sistema de visualización con pantallas de alta definición, que ofrezcan una vista clara y precisa del entorno del vuelo. Además, es esencial que las pantallas sean configurables para representar diferentes condiciones de vuelo, como la noche, el mal tiempo, o diferentes situaciones de emergencia.

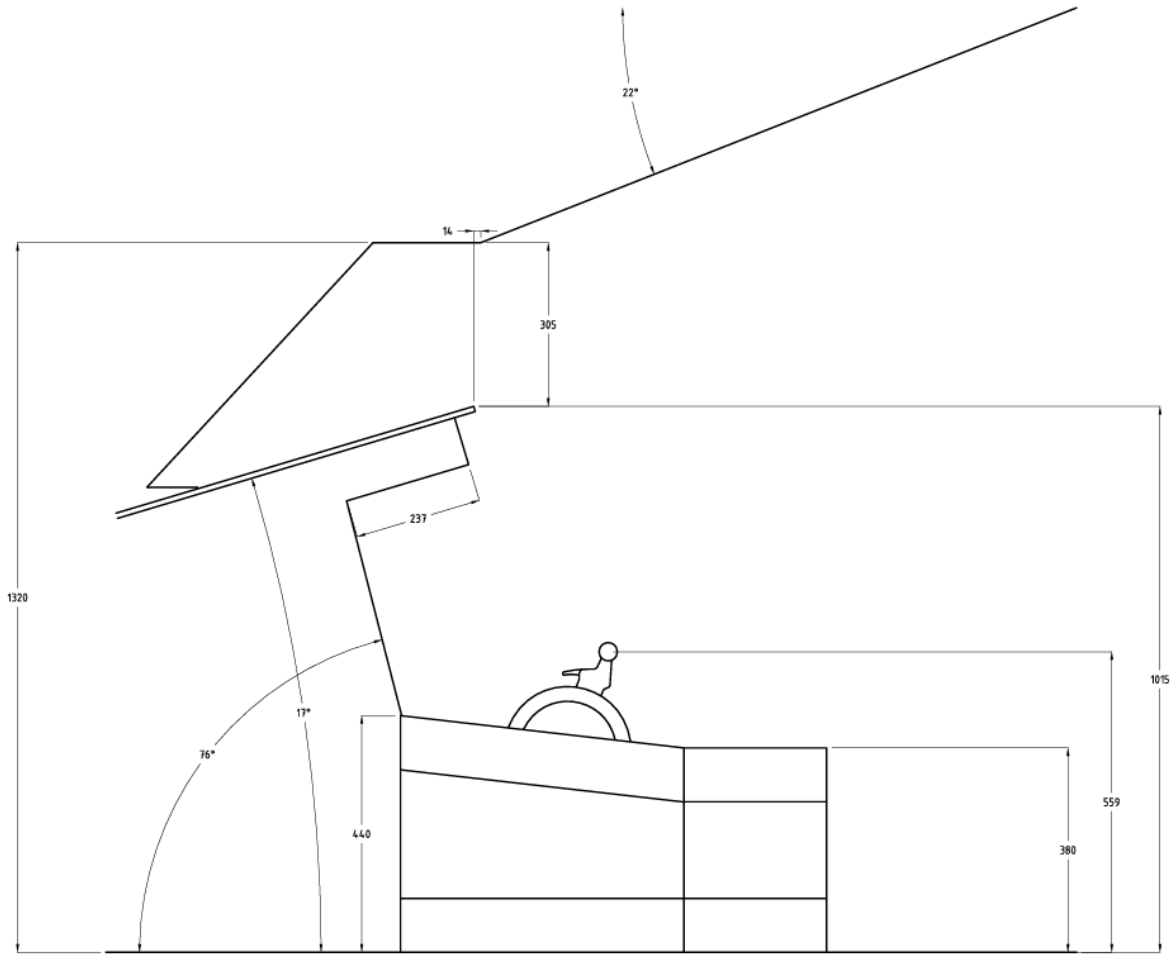
En cuanto a la ergonomía, la cabina debe diseñarse de manera que los instructores y los estudiantes puedan interactuar fácilmente con todos los elementos del simulador. El sistema de asientos debe ser ajustable y cómodo, permitiendo que los pilotos se sitúen en una postura que refleje la de un piloto real. Asimismo, deben instalarse sistemas de sonido y vibración que simulen las condiciones de un avión en vuelo, lo que incrementa el nivel de inmersión del alumno.

Otro aspecto importante es la integración de los controles físicos, como los mandos de vuelo, pedales y palancas, con los sistemas informáticos que operan en la cabina. Estos controles deben ser sensibles, precisos y realistas, de manera que el piloto pueda recibir la retroalimentación adecuada en función de sus movimientos.

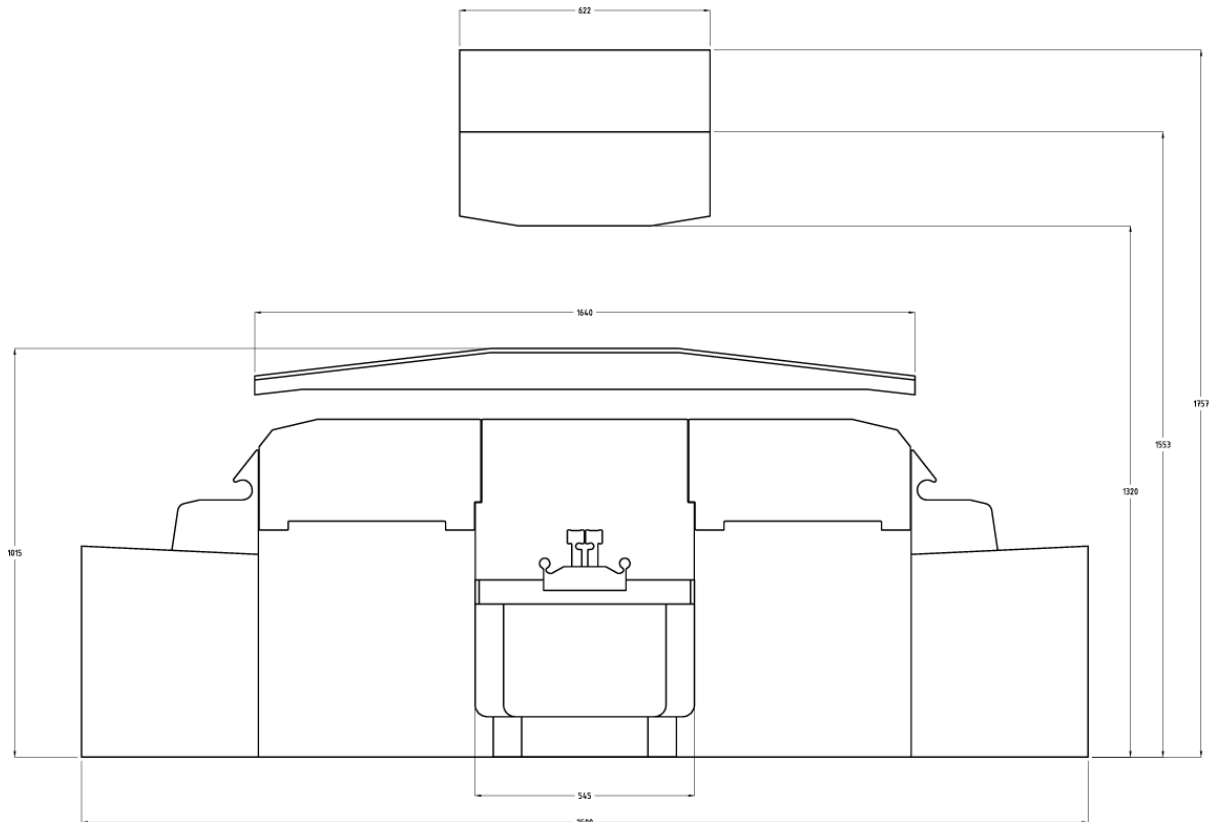


*Figura 3.1. Dimensiones cabina de aeronave A320-200*  
*Fuente: Airbus.*

Las medidas oficiales de una aeronave Airbus A320 permiten tener una mejor perspectiva para la confección del FTD. Estas consideraciones también ayudan a entregar una experiencia más inmersiva a los futuros pilotos comerciales que se preparan para controlar estas aeronaves y deben hacerlo bajo condiciones que le permitan simular todas las posibles situaciones de riesgo dentro de la aeronave para que puedan controlar cada situación que se presente.



*Figura 3.2. Dimensiones laterales cabina del FTD de un A320  
Fuente: Opencockpits.*



*Figura 3.3. Dimensiones frontales cabina del FTD de un A320  
Fuente: Opencockpits.*

Las dimensiones proporcionadas por Opencockpits para la cabina de un Flight Training Device (FTD) representan un diseño optimizado que busca reproducir fielmente las proporciones de una cabina de aeronave real. Este diseño está enfocado en garantizar una experiencia de entrenamiento altamente realista, permitiendo a los pilotos en formación familiarizarse con el entorno operativo y los controles de vuelo de manera efectiva. Según los datos entregados, la estructura alcanza una altura total de 1320 mm, lo que proporciona un tamaño compacto pero lo suficientemente amplio como para albergar todos los elementos necesarios del simulador. Esta altura asegura que se respete la ergonomía y que los componentes sean fácilmente accesibles para los pilotos durante las sesiones de entrenamiento.

El diseño de la sección superior de la cabina incluye una altura de 305 mm con un marco inclinado en un ángulo de 22 grados, lo que permite una disposición ergonómica de los instrumentos y las pantallas de navegación. Este ángulo es crítico para optimizar la

visibilidad y garantizar que los pilotos puedan acceder a la información necesaria sin generar distracciones durante el entrenamiento. Asimismo, la base de la cabina presenta una longitud de 559 mm en la sección frontal y una altura adicional de 380 mm en la parte trasera, lo que contribuye a una mayor estabilidad de la estructura y permite la integración adecuada de los sistemas electrónicos y mecánicos esenciales para el simulador.

Otro aspecto destacable del diseño es la incorporación de ángulos de inclinación cuidadosamente calculados, como el ángulo frontal de 76 grados, que contribuye a la correcta disposición del panel de instrumentos, facilitando el acceso visual y físico a los controles principales. Además, la altura del pedestal central, ubicada a 440 mm, está diseñada para coincidir con las proporciones ergonómicas estándar utilizadas en la industria, asegurando que los pilotos puedan operar los mandos durante períodos prolongados sin incomodidades ni fatiga. Este diseño refleja una atención meticulosa a los detalles para simular las condiciones reales de una cabina de avión.

La profundidad de la sección intermedia, de 237 [mm], es otro elemento importante que asegura una transición suave entre la base y la sección inclinada superior. Este espacio actúa como soporte estructural y alberga parte de los sistemas de instrumentación, garantizando una integración eficiente y manteniendo la fidelidad del diseño en comparación con la cabina original de la aeronave simulada. Cada una de estas dimensiones ha sido cuidadosamente calculada para proporcionar una experiencia inmersiva, replicando no solo las proporciones físicas de la cabina, sino también su funcionalidad operativa.

Estas medidas representan un diseño versátil y práctico que puede adaptarse a diferentes modelos de aeronaves según las necesidades del cliente. La precisión en las proporciones no solo es crucial para la ergonomía, sino que también facilita que los pilotos se familiaricen con los procedimientos operativos estándar de la aeronave simulada. Además, este diseño permite que los componentes electrónicos, como los paneles de control, sistemas de visualización y mandos de vuelo, se integren de manera eficiente en la estructura, maximizando la funcionalidad del simulador.

En conclusión, el diseño proporcionado por Opencockpits, con las dimensiones específicas detalladas, constituye una solución técnica confiable y altamente efectiva para los centros de entrenamiento que buscan desarrollar simuladores de vuelo. La fidelidad de las proporciones

garantiza no solo una experiencia de entrenamiento realista, sino también el cumplimiento de los estándares de calidad y normativas requeridas en el ámbito aeronáutico, posicionando a este diseño como una opción ideal para la formación de pilotos.



*Figura 3.4. Imagen referencial de Cabina A320.*

*Fuente: Opencockpits.*

Como se logra apreciar en la *Imagen 8* se ven marcados por líneas rojas los 3 paneles que posee la cabina, el Overhead, el Pedestal y el panel Frontal. Cada uno de estos posee componentes específicos, para poder entregar realismo y contar con un ambiente inmersivo se lleva a cabo una itemización de todos estos artículos.

Componentes	Unidades	Valor Dólar	Total USD
A320 cockpit shell	1	\$ 3.923	\$ 3.923
A320 interior	1	\$ 3.076	\$ 3.076
<b>A320 MIP</b>	1	\$ 2.178	\$ 2.178
1 Panel FCU.	1	\$ 1.173	\$ 1.173
- 1 Panel EFIS lado Capitán.	1	\$ 488	\$ 488
- 1 Panel EFIS lado Oficial.	1	\$ 488	\$ 488
- 1 Panel Autoland lado Capitán.	1	\$ 146	\$ 146
- 1 Panel Autoland lado Oficial.	1	\$ 146	\$ 146

Universidad Técnica Federico Santa María  
Departamento de Aeronáutica

Componentes	Unidades	Valor Dólar	Total USD
- 1 Panel Iluminación lado Capitán.	1	\$ 140	\$ 140
- 1 Panel Iluminación lado Oficial.	1	\$ 140	\$ 140
- 1 Panel Terrain.	1	\$ 53	\$ 53
- 1 Panel Tren de aterrizaje.	1	\$ 257	\$ 257
- 1 Panel Chrono.	1	\$ 212	\$ 212
- 1 Panel Brakes.	1	\$ 198	\$ 198
- 1 Gauge Accu-Press.	1	\$ 134	\$ 134
Monitor 19 pulgadas	3	\$ 73	\$ 219
fuelle poder 12 y 5 Volts (dual)*	3	\$ 63	\$ 188
A320 Sidestick Frame Captain side	1	\$ 892	\$ 892
A320 Sidestick Frame FO side	1	\$ 892	\$ 892
A320 Steel pedals	2	\$ 1.177	\$ 2.354
A320 Steel pedals link	1	\$ 133	\$ 133
A320 Professional Captain Seat	1	\$ 4.262	\$ 4.262
A320 Professional FO Seat	1	\$ 4.262	\$ 4.262
A320 SideStick Captain side	1	\$ 1.043	\$ 1.043
A320 SideStick Official side	1	\$ 1.043	\$ 1.043
A320 steering left	1	\$ 212	\$ 212
A320 steering right	1	\$ 212	\$ 212
<b>A320 Pedestal with Throttle</b>	1	\$ -	\$ -
A320 Chasis Pedestal	1	\$ 1.115	\$ 1.115
- 2 MCDU.	2	\$ 509	\$ 1.018
- 2 Panel de radio.	2	\$ 238	\$ 475
- 2 Panel de audio.	2	\$ 222	\$ 445
- 1 Panel de iluminación Capitán.	1	\$ 77	\$ 77
- 1 Panel de iluminación Oficial.	1	\$ 77	\$ 77
- 1 Panel de radar.	1	\$ 141	\$ 141
- 1 Panel ATC.	1	\$ 179	\$ 179
- 1 Panel de arranque de motores.	1	\$ 111	\$ 111
- 1 Throttle con el trim motorizado.	1	\$ 3.791	\$ 3.791
- 1 Panel de speed brake.	1	\$ 244	\$ 244
- 1 Panel de flaps.	1	\$ 292	\$ 292
- 1 Panel de cockpit door.	1	\$ 77	\$ 77
- 1 Panel de parking brake & rudder trim.	1	\$ 278	\$ 278
- 3 Paneles de cierre.	3	\$ 12	\$ 35
- 1 Panel de switching.	1	\$ 139	\$ 139
- 1 Panel de ecam.	1	\$ 204	\$ 204
Palanca Gravity Gear	1	\$ 672	\$ 672
A320 Overhead FWD	1	\$ 4.655	\$ 4.655
A320 OVH AFT (chassis + grey panels)	1	\$ 4.975	\$ 4.975

*Tabla 3.1. Componentes necesarios para la cabina de un A320.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Una vez ordenados y listados todos los componentes, se determina el valor de cada uno de estos dando un total de \$47.462 USD

### **3.2.2. Proyecto software y redes**

El software que opera el FTD es otro componente clave para el éxito del proyecto. Este sistema debe ser capaz de simular no solo el comportamiento del avión bajo condiciones normales de vuelo, sino también en situaciones de emergencia. El software debe ser desarrollado bajo estrictos estándares técnicos que aseguren su capacidad de replicar escenarios reales de vuelo de manera precisa. La calidad del software afectará directamente la efectividad del entrenamiento, ya que, si el sistema no responde adecuadamente a las acciones del piloto o a las condiciones de vuelo simuladas, la capacitación será deficiente.

El software debe ser capaz de integrar distintos subsistemas del avión, como los sistemas de navegación, control de vuelo, comunicaciones, y motores, y debe permitir que el instructor configure distintos escenarios de vuelo, tales como cambios de clima, fallos en los sistemas, y emergencias. La capacidad de personalizar estos escenarios es crucial para simular una variedad de situaciones que los pilotos pueden enfrentar durante sus vuelos reales. El software también debe ser modular y escalable para permitir futuras actualizaciones y mejoras.

Por otro lado, las redes informáticas que gestionan la operación del FTD deben ser de alta calidad y confiabilidad. La conectividad entre los distintos sistemas y dispositivos de la cabina debe ser fluida, con una comunicación eficiente entre las computadoras y las interfaces de usuario. Esto incluye tanto la red interna que conecta la cabina con el servidor que gestiona la simulación, como las redes externas que permiten el acceso remoto del instructor a los sistemas. Las redes deben estar diseñadas para minimizar los tiempos de latencia y evitar cualquier tipo de fallo durante el uso del FTD.

Además, el sistema de software y redes debe cumplir con las normativas de seguridad informática, protegiendo tanto la privacidad de los datos de los alumnos como la integridad de los sistemas operativos. Esto se logra implementando protocolos de seguridad robustos,

como cifrado de datos y acceso restringido a sistemas críticos. La calidad y seguridad del software y las redes son esenciales para la fiabilidad y la eficiencia operativa del FTD.

Software	Tipo	Valor USD	Duración
Prepar3d v5 pro	-	\$ 350	ilimitado
Prosim pro	licencia prosim	\$52.632	Único
	Actualización	\$10.526	Anual
Navigraph	-	\$86	anual
SIOC	8501	\$129	ilimitado
Mobiflight	-	\$0	ilimitado
Windows 11	Professional	\$14	ilimitado

*Tabla 3.2. Software necesario para FTD.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 3.2.3. Proyecto físico

El proyecto físico del FTD implica el desarrollo de la infraestructura necesaria para albergar tanto la cabina del simulador como los sistemas informáticos y las redes. Esto incluye la construcción del espacio físico donde se ubicará el FTD, teniendo en cuenta factores como la disponibilidad de espacio, las normativas de seguridad y los requerimientos de accesibilidad.

En primer lugar, el lugar donde se instalará el simulador debe contar con suficiente espacio para alojar la cabina, los sistemas informáticos asociados, y los equipos de respaldo. Debe garantizarse que haya una distancia adecuada entre los diferentes componentes del simulador, permitiendo que el personal técnico pueda realizar mantenimientos y ajustes fácilmente. Además, el espacio debe ser lo suficientemente grande para acomodar a los instructores y estudiantes, garantizando que las condiciones de trabajo sean cómodas y seguras.

Es fundamental que el proyecto físico cumpla con las regulaciones locales de seguridad, como las relacionadas con la protección contra incendios y la evacuación de personas en caso de emergencia. Las instalaciones deben contar con sistemas de ventilación adecuados, sistemas de alarma, y acceso de emergencia. También debe prestarse atención al aislamiento acústico, ya que los simuladores pueden generar ruidos altos durante su operación. Las

paredes y techos del espacio deben diseñarse para minimizar la transmisión del ruido hacia las áreas circundantes.

El diseño físico debe incluir la infraestructura tecnológica necesaria, como fuentes de alimentación ininterrumpida (UPS), sistemas de refrigeración para los equipos informáticos, y conexiones de red de alta velocidad. También se debe contemplar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar que todos los componentes físicos del simulador funcionen correctamente durante su vida útil.

Otro aspecto importante del proyecto físico es la integración del FTD en el entorno de la empresa. El simulador debe ser accesible tanto para los estudiantes como para el personal instructor, por lo que debe contemplarse la creación de áreas específicas para la formación, así como zonas de descanso para los instructores y las personas encargadas del mantenimiento.

Componentes	Unidades	Total USD
Unidades fierro perfil rectangular de 80 x 40 x 3 [mm]	16	\$683
Ruedas de trabajo pesado	6	\$212
Planchas de terciado fenolli 18 [mm]	6	\$138
Planchas de aluminio liso 3x1 [m] x 2[mm]	3	\$389
Planchas de aluminio diamantado	4	\$473

*Tabla 3.3. Componentes necesarios para el montaje.  
Fuente: Elaboración Propia.*

Insumos	Unidades	Total USD
Soldadura 7018 3/32	5Kg	\$37
Soportes de TV de 58	3	\$184
Disco de corte 4,5"	100	\$213

*Tabla 3.4. Insumos necesarios para el montaje.  
Fuente: Elaboración propia.*

Componentes	Unidades	Total USD
Procesador Intel Core i7-12700K 3.61 GHz	1	\$ 506
RamDDR4 8GB	4	\$ 100
Placa Gigabyte Z690 UD	1	\$ 427
Video Nvidia GeForce RTX 3060 TI 8 GB	1	\$ 363
Mouse	1	\$ 13
Teclado	1	\$ 7

Componentes	Unidades	Total USD
Procesador Intel i7-12700F 2.1 GHz	1	\$ 291
RamDDR4 8GB	4	\$ 100
Placa Asus Z790M-Plus D4	1	\$ 200
Video Nvidia GeForce GTX 1080 8GB	1	\$ 255
Mouse	1	\$ 13
Teclado	1	\$ 7
Monitor 24" tactil	2	\$ 1.179
Procesador Intel Core i5 3.10 GHz	1	\$ 158
RamDDR3 2GB	2	\$ 6
Placa Gigabyte H81M-H	1	\$ 157
Video Nvidia GeForce GT 730 2 GB	1	\$ 28
Procesador Intel Core i5 3.10 GHz	1	\$ 158
RamDDR3 2GB	2	\$ 6
Placa Gigabyte H81M-H	1	\$ 157
Video Nvidia GeForce GT 730 2 GB	1	\$ 28
TV 58" pulgadas	3	\$ 1.563

*Tabla 3.5. Hardware requerido para el FTD.  
Fuente: Elaboración propia.*

Componentes	Unidades	Total USD
switch 8 bocas gigabit	1	\$ 29
Router gigabit	1	\$ 75
gabinete rack sevirdor 19 32u	1	\$ 523
bandejas ranuradas fijas	4	\$ -
pdu 8 enchufes 16 amperes	1	\$ 30
UPS APC Smart-UPS 2200VA 230V	1	\$ 1.157

*Tabla 3.6. Componentes para montar los servidores.  
Fuente: Elaboración propia.*

Componente	Unidades	Total USD
<b>A320 Tarjeta Pedestal</b>	2	\$ 76
USBDimcontrol, para controlar toda la retroiluminación.	1	\$ 42
USBExpansion, para conectar las tarjetas Master al puerto USB.	1	\$ 49
Tarjeta Outs para conectar las salidas del audio capitán.	1	\$ 41
Tarjetas Master.	3	\$ 212
Tarjeta Display II	3	\$ 126
Tarjeta de entrada, para conectar radar y flood.	1	\$ 23
Tarjeta axes para los ejes de speed brakes y flaps	1	\$ 38
Tarjeta eje para gravity gear	1	\$ 38
Tarjeta eje panel iluminación CAP	1	\$ 38
Tarjeta eje iluminación PO	1	\$ 38

*Tabla 3.7. Tarjetas de eje requeridas para el FTD.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 3.2.4. Proyecto entrenamiento MCC/ELT (contenidos del curso)

El curso Multi-Crew Cooperation / Enhanced Leadership Training (MCC/ELT) es un programa de formación especializado para pilotos comerciales que buscan perfeccionar sus habilidades de trabajo en equipo, liderazgo y toma de decisiones en un entorno de cabina de vuelo con tripulación múltiple. Impartido en el simulador FTD A320, el curso está diseñado para cumplir con las regulaciones aeronáuticas argentinas, en particular las disposiciones de la RAAC Parte 61 y RAAC Parte 67, brindando una capacitación de alta calidad para preparar a los pilotos para enfrentar situaciones complejas en vuelos comerciales.

El curso tiene una duración total de 95 horas, divididas en 15 horas de teoría y 80 horas de práctica en el entrenador sintético de vuelo. Durante la parte teórica, los estudiantes aprenderán sobre la importancia del trabajo en equipo, el liderazgo en la cabina, y la gestión de recursos de la tripulación, cubriendo los principios básicos de la cooperación entre piloto y copiloto, así como la toma de decisiones bajo presión y las mejores prácticas para manejar situaciones críticas. A través de un enfoque basado en estudios de casos reales y simulaciones, los alumnos adquieren una comprensión profunda de cómo la comunicación y el liderazgo influyen directamente en la seguridad y eficiencia de las operaciones aéreas.

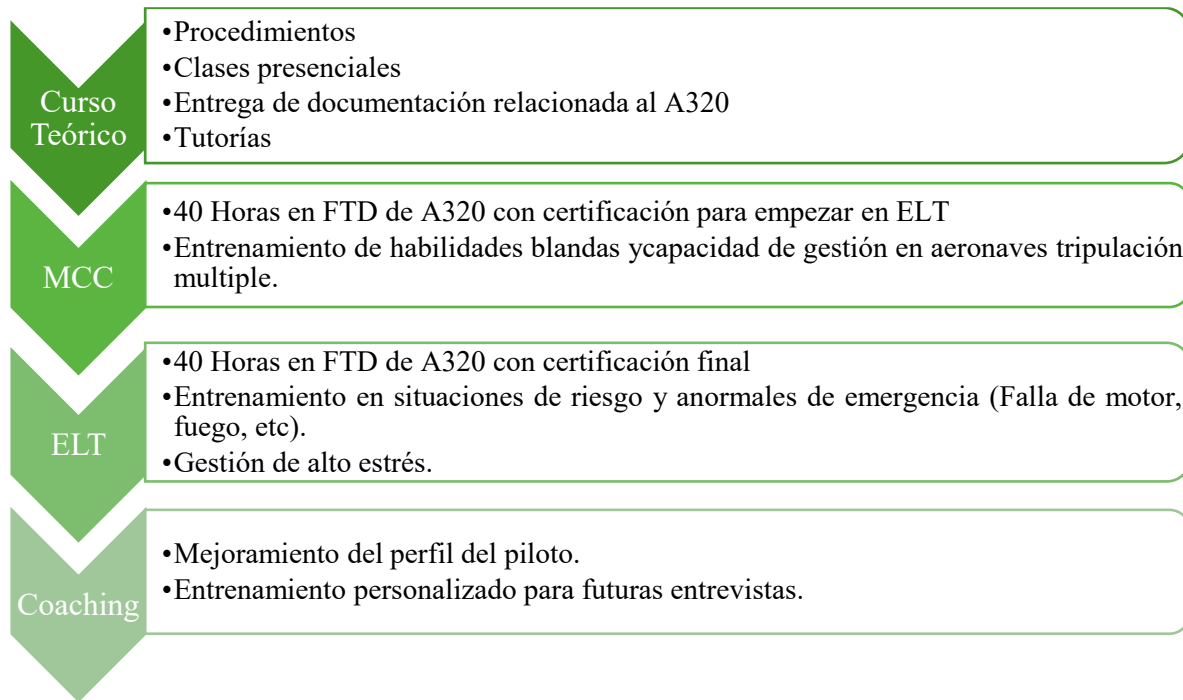
En cuanto a la parte práctica, los estudiantes se entrenarán en el simulador FTD A320, donde se simularán diversas condiciones de vuelo, tanto normales como anormales. A través de escenarios diseñados para poner a prueba su capacidad de reacción ante emergencias, los alumnos experimentarán situaciones como la falla de motor, incapacitación de la tripulación, y procedimientos de aterrizaje en condiciones adversas. Los ejercicios prácticos permitirán que los pilotos asuman los roles de Piloto al Mando y Piloto que Maniobra, mejorando la coordinación, toma de decisiones y el control en equipo.

El curso también abarca técnicas avanzadas de toma de decisiones en situaciones de alta presión. Los estudiantes aprenderán a utilizar modelos de toma de decisiones, como FORDEC (Facts, Options, Risks, Decide, Execute, Check) para gestionar adecuadamente las emergencias y optimizar el rendimiento de la tripulación. Además, se les instruirá en el manejo de los factores humanos que afectan la performance en la cabina, como el estrés, la fatiga y la gestión emocional.

Los participantes que deseen integrarse al curso MCC/ELT deben cumplir con un riguroso perfil de entrada el cual está orientado a pilotos comerciales que busquen perfeccionar sus habilidades para operar en un entorno de cabina de vuelo con tripulación múltiple, cumpliendo con los estándares de la industria aeronáutica. Los requisitos mínimos incluyen:

- Contar con licencia de Piloto Comercial vigente.
- Habilitación de vuelo por instrumentos.
- Un mínimo de 200 horas de vuelo acumuladas como piloto, demostrando experiencia en procedimientos operacionales y una base técnica sólida.
- Conocimientos básicos en factores humanos, gestión de recursos de cabina y procedimientos operacionales.
- Habilidad para trabajar en equipo y adaptarse a entornos de alta presión.
- Disponibilidad para participar en sesiones prácticas intensivas en simuladores.
- Compromiso con el aprendizaje teórico y práctico durante el curso.

Este curso está diseñado para aquellos pilotos que buscan desarrollar habilidades prácticas y teóricas fundamentales para desempeñarse con eficacia en aeronaves comerciales de gran capacidad, garantizando una formación integral para las exigencias del mercado aeronáutico y tiene un valor de \$4000 USD.



*Figura 3.5. Programa del curso MCC/ELT de Alas Educa.  
Fuente: Elaboración propia.*

Al finalizar el curso, los pilotos contarán con un perfil de egreso diseñado para asegurar que cuenten con las competencias necesarias para desempeñarse de manera eficaz en operaciones de cabina de vuelo con tripulación múltiple y bajo condiciones desafiantes. Los egresados poseerán:

- Capacidad para asumir los roles de Piloto al Mando y Piloto que Maniobra, aplicando procedimientos normales y de emergencia de manera coordinada.
- Dominio de las habilidades prácticas para operar sistemas de aeronaves complejas.
- Dominio avanzado de los principios de CRM (Crew Resource Management), asegurando una comunicación efectiva y toma de decisiones en equipo.
- Capacidad para distribuir tareas de manera eficiente, manteniendo altos estándares de seguridad y cumplimiento regulatorio.

- Habilidad para liderar equipos en la cabina, gestionando emergencias y situaciones imprevistas con calma y eficacia.
- Uso avanzado de modelos de toma de decisiones, como FORDEC, aplicados en escenarios de alta presión.
- Comprensión profunda de los factores que afectan el desempeño del piloto, como el estrés, la fatiga y las emociones, y estrategias efectivas para mitigarlos.
- Certificado de finalización del curso MCC/ELT, conforme a las normativas de la RAAC Parte 141, avalando la preparación para operaciones comerciales en aeronaves con tripulación múltiple.

Con estas competencias, los egresados estarán plenamente capacitados para comenzar su proceso de habilitación de tipo Airbus A320 y posteriormente integrarse a equipos de vuelo comerciales, asumiendo roles de responsabilidad y contribuyendo a la seguridad y eficiencia de las operaciones aéreas.

### **3.3. Estudio de costos**

Para la estimación y el estudio de costos del proyecto planteado de implementar un FTD en Buenos Aires, Argentina, junto al curso de MCC/ELT se realizó una investigación con el fin de proporcionar una base sólida para la evaluación financiera y la viabilidad del proyecto. El objetivo de este estudio fue determinar los costos asociados tanto con la operación del simulador como con la ejecución de los cursos, además de establecer una proyección de demanda que permitiera calcular los ingresos potenciales a lo largo de un periodo de 10 años. Este análisis incluyó no solo los costos directos, sino también los costos operativos y financieros asociados con la inversión en el FTD y la capacitación de los instructores.

Para comenzar, se establecieron los costos iniciales del proyecto, los cuales están estrechamente ligados a la adquisición e instalación del simulador FTD A320. La inversión inicial se calculó en USD 122.395, lo que cubre el costo de adquisición, el transporte, la instalación, y las adaptaciones necesarias del equipo. Esta cifra no incluye el costo de la infraestructura o los espacios adicionales que podrían ser necesarios para la operación del simulador, pero sí se considera como un componente crítico del capital inicial. Dado que este

es un costo significativo, se plantea que será depreciado a lo largo de 10 años, utilizando un sistema de depreciación lineal, lo que implica que cada año se registrará una depreciación de \$8,598.1 USD. Esta amortización representa la pérdida de valor del equipo debido a su uso, y es un factor crucial para calcular el flujo de caja del proyecto.

Una vez establecidos los costos iniciales, se llevó a cabo un análisis detallado de los costos operativos anuales. Este análisis incluyó tanto los costos fijos como los variables asociados con la operación del simulador y la gestión de los cursos de MCC/ELT. Los costos fijos anuales, que son aquellos que no dependen directamente de la cantidad de estudiantes, fueron calculados en \$46.999 USD. Este monto incluye gastos como los salarios de los instructores y personal de apoyo, el mantenimiento del simulador, seguros, servicios públicos, y otros gastos generales. Este tipo de costos se mantiene constante independientemente de la cantidad de estudiantes que participen en los cursos.

Además de los costos fijos, se estimaron los costos variables que dependen directamente del número de estudiantes inscritos en los cursos. Estos costos fueron calculados a una tasa de \$460 USD por estudiante. Estos incluyen materiales de capacitación, gastos administrativos, consumo de energía y otros costos relacionados con la entrega del curso. A medida que aumenta la demanda de cursos, estos costos también aumentarán proporcionalmente. La combinación de costos fijos y variables proporciona una visión más completa de la estructura de costos del proyecto.

Para estimar la demanda del curso de MCC/ELT, se consideraron varios factores, incluyendo la demanda existente en el mercado argentino y latinoamericano para este tipo de capacitación especializada, así como las características demográficas y económicas de Buenos Aires. Se asumió un mercado potencial de aproximadamente 50 estudiantes en el segundo año del proyecto, con un crecimiento anual de la demanda del 10% durante los siguientes 9 años. Este crecimiento se basa en una expansión gradual de la visibilidad del curso y en la estrategia de marketing, la cual tiene como objetivo atraer no solo estudiantes locales, sino también a aquellos provenientes de otros países de la región. Por lo tanto, la estimación para el año 10 del proyecto es de aproximadamente 107 estudiantes anuales.

La estimación de los ingresos anuales se realizó multiplicando el número de estudiantes por el precio promedio del curso, que se calculó en \$4000 USD por estudiante. Este precio es

competitivo dentro del mercado de capacitación de pilotos, considerando que es comparable a los costos de simuladores similares en otros países de América Latina. Los ingresos anuales aumentan a medida que crece la demanda, alcanzando los \$267,500 USD en el año 10 del proyecto. Es importante señalar que este análisis se basa en un curso de 90 horas, un tiempo de instrucción adecuado para el tipo de formación MCC/ELT que se ofrecerá. Durante este tiempo, cada estudiante recibirá instrucción práctica en el FTD, lo que optimiza la capacidad del simulador para cumplir con los requisitos del curso.

En resumen, la estimación de costos y de este proyecto de simulador FTD A320 para cursos de MCC/ELT en Buenos Aires se basaron en un análisis de los costos operativos, la demanda proyectada, y los ingresos potenciales. Este estudio proporcionó una visión clara de los costos asociados, así como de la rentabilidad a largo plazo del proyecto. Con una inversión inicial significativa pero razonable y una proyección de crecimiento constante de la demanda, el proyecto muestra un potencial positivo para generar retornos financieros sólidos a medida que se expande en los próximos años.

Personal: -1 técnico electrónico

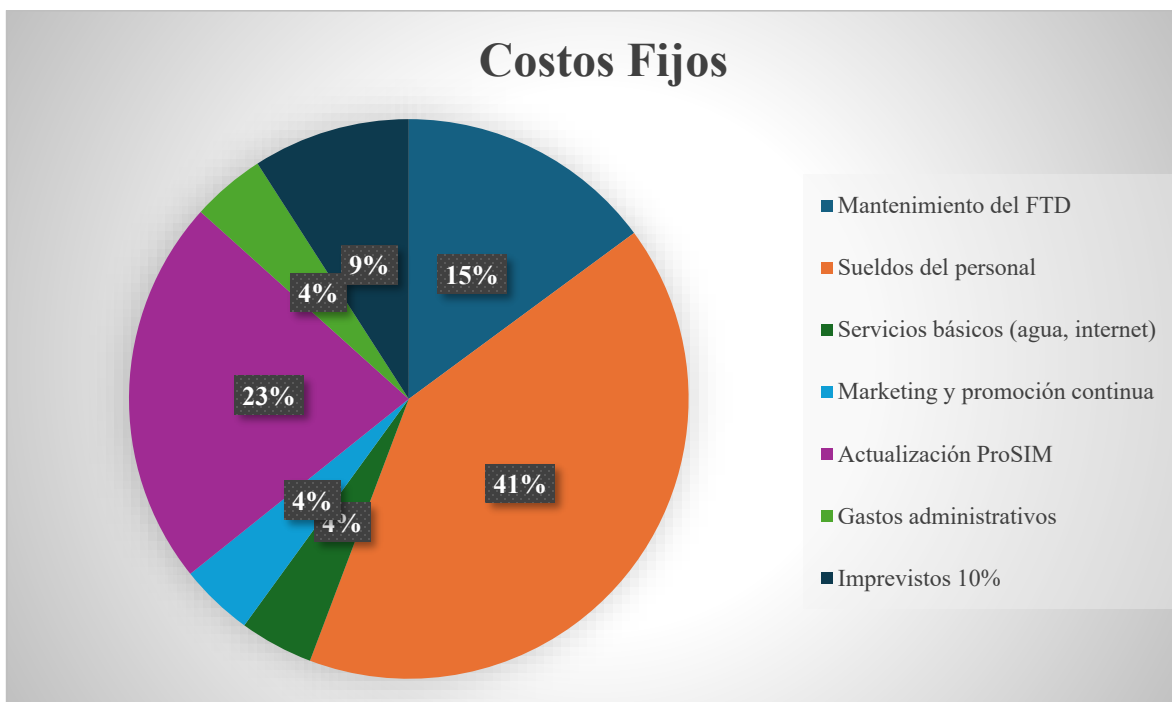
-1 oficinista

-2 instructores (part time, turnos de 6 hrs cada instructor)

-Ayudantes: sirve para abaratar costos (2)

Costos Fijos	USD\$ / Año
Mantenimiento del FTD	\$ 7.000
Sueldos del personal	\$ 19.200
Servicios básicos (agua, internet)	\$ 2.000
Marketing y promoción continua	\$ 2.000
Actualización ProSIM	\$ 10.526
Gastos administrativos	\$ 2.000
Imprevistos 10%	\$ 4.273
<b>Total Costos</b>	<b>\$ 46.999</b>

*Tabla 3.8. Estimación de costos fijos.  
Fuente: Elaboración propia.*



*Gráfico 3.1 Costos fijos representados gráficamente según su porcentaje.  
Fuente: Elaboración propia.*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Luz	\$ 216	\$ 238	\$ 261	\$ 287	\$ 316	\$ 348	\$ 383	\$ 421	\$ 463	\$ 509
Instructor	\$ 60.000	\$ 66.000	\$ 72.600	\$ 79.860	\$ 87.846	\$ 96.631	\$ 106.294	\$ 116.923	\$ 128.615	\$ 141.477
TOTAL	\$ 60.216	\$ 66.238	\$ 72.861	\$ 80.147	\$ 88.162	\$ 96.978	\$ 106.676	\$ 117.344	\$ 129.078	\$ 141.986

*Tabla 3.9. Estimación de costos variables.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.4. Evaluación financiera

Una vez determinados los costos, se realiza una estimación de la demanda inicial con la que contará el curso y el valor que tendrá este. El método para poder estimar la demanda se basa en la capacidad que tienen los instructores para entrenar a los pilotos, dado que se contará inicialmente con 2 instructores de turnos de 6 horas cada uno, cada instructor puede encargarse de 2 pilotos por turno, por lo que con 10 estudiantes pueden realizar sin problemas 5 turnos a la semana cada uno (30 horas semanales).

<b>Estudiantes periodo 1 (Q)</b>	<b>20</b>
<b>Precio del curso (P)</b>	<b>\$ 4.000</b>

*Tabla 3.10. Estimación demanda (Q) y Precio (P) iniciales del curso.*

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>tasa crecimiento demanda</b>	10,00%
<b>tasa crecimiento ingresos</b>	7,0%
<b>costos crecen</b>	2,5%

*Tabla 3.11. Estimación tasas de crecimiento.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Para el proyecto se plantea solicitar un crédito del 50% del valor de la inversión total por lo que se reúnen las siguientes cifras:

Crédito bancario (50% inv)	\$ 61.197
tasa (i)	7%
Tiempo (n)	10
Cuota	\$ 8.713

*Tabla 3.12. Valores para amortizar el crédito bancario.  
Fuente: Elaboración propia.*

Posteriormente se realiza la amortización del crédito en base a los valores mencionados recientemente. Los valores de amortización para cada año se pueden ver en la siguiente tabla:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Saldo inicial	\$ 61.197	\$ 56.768	\$ 52.029	\$ 46.958	\$ 41.532	\$ 35.726	\$ 29.513	\$ 22.866	\$ 15.754	\$ 8.143
Interés	\$ 4.284	\$ 3.974	\$ 3.642	\$ 3.287	\$ 2.907	\$ 2.501	\$ 2.066	\$ 1.601	\$ 1.103	\$ 570
Amortización	\$ 4.429	\$ 4.739	\$ 5.071	\$ 5.426	\$ 5.806	\$ 6.212	\$ 6.647	\$ 7.113	\$ 7.610	\$ 8.143
Saldo final	\$ 56.768	\$ 52.029	\$ 46.958	\$ 41.532	\$ 35.726	\$ 29.513	\$ 22.866	\$ 15.754	\$ 8.143	\$ 0

*Tabla 3.13. Amortización del crédito bancario.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 3.5. Sensibilización

Para llevar a cabo la sensibilización del proyecto se utilizó el software “Oracle Crystal Ball” el cual permite realizar simulaciones de Montecarlo y análisis de riesgo. De esta manera se podrá identificar cuáles son las variables que representan un mayor impacto en los resultados.

Es importante aclarar que las variables de la sensibilización junto a sus distribuciones son:

#### 1º Estudiantes en el periodo 1 (Q) con una Distribución de Poisson:

La distribución de Poisson es ideal para modelar eventos discretos en un intervalo de tiempo o espacio, como la cantidad de estudiantes inscritos en un curso. Esto es relevante porque la demanda puede considerarse un conteo de eventos sujetos a variabilidad aleatoria.

Esto permite estimar escenarios realistas de inscripción, especialmente en situaciones donde la demanda puede ser baja pero con probabilidad de incrementos significativos.

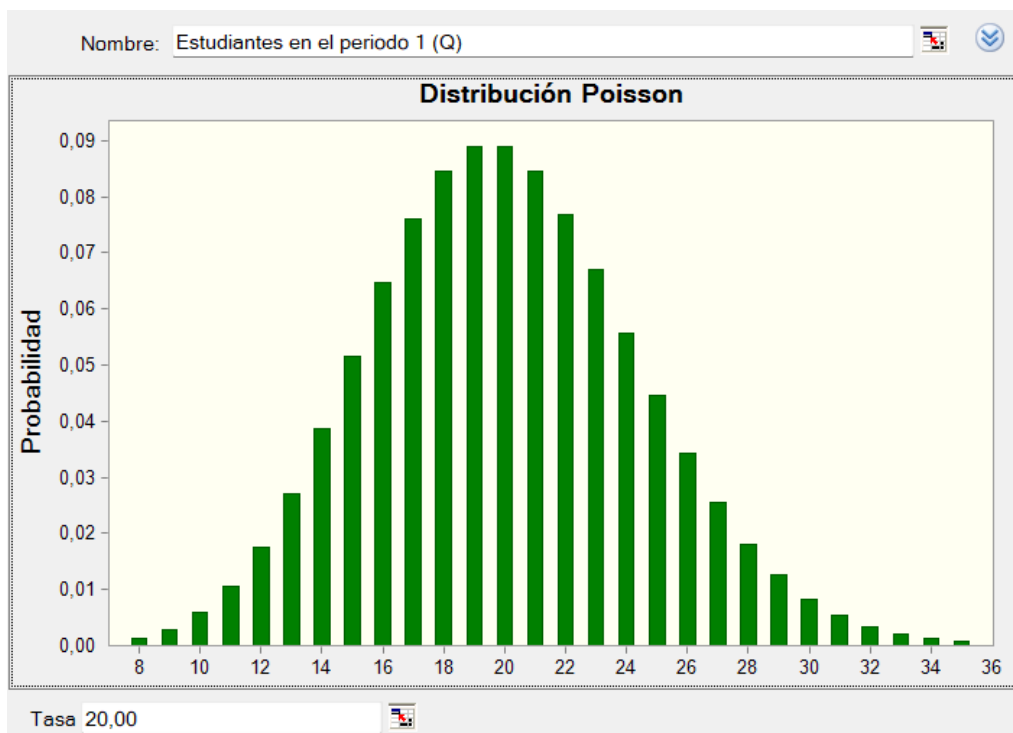


Gráfico 3.2. Distribución de la variable “Demanda (Q)”.

Fuente: Elaboración propia.

## 2° Precio del curso (P) con una distribución Beta PERT:

La distribución Beta PERT se utiliza frecuentemente para modelar variables donde se dispone de un rango definido (mínimo, máximo y más probable) y se busca capturar la subjetividad en las estimaciones. Dado que el precio del curso está influenciado por factores de mercado y decisiones internas, la Beta PERT es adecuada para reflejar el comportamiento esperado de esta variable.

Aplicando un mínimo de \$3500 USD, un esperado de \$4000USD y un máximo de \$4700 USD se pretende evaluar el impacto de fluctuaciones en el precio del curso dentro de los límites establecidos.

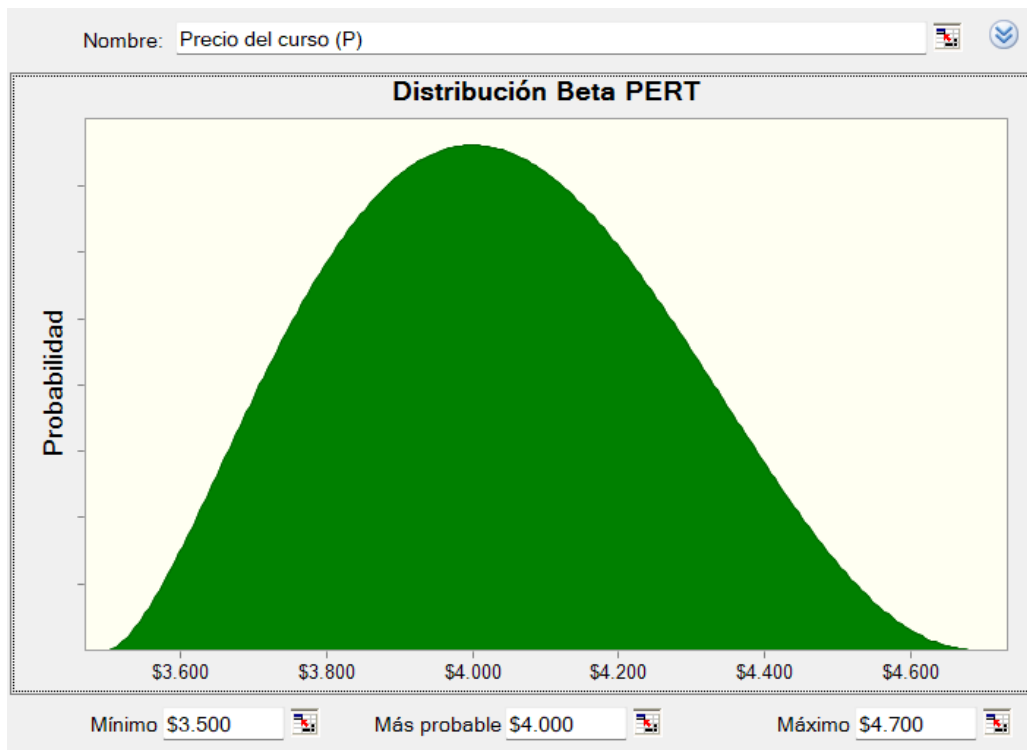


Gráfico 3.3. Distribución de la variable "Precio (P)".  
Fuente: Elaboración Propia.

### 3° Tasa de crecimiento de la demanda ( $q$ ) con una Distribución Normal:

Las tasas de crecimiento suelen fluctuar alrededor de un valor promedio con una variabilidad relativamente simétrica. La distribución Normal captura esta dinámica de forma efectiva, siendo una distribución ideal para modelar este tipo de datos.

Representa la incertidumbre en las proyecciones de crecimiento, considerando tanto escenarios optimistas como pesimistas.

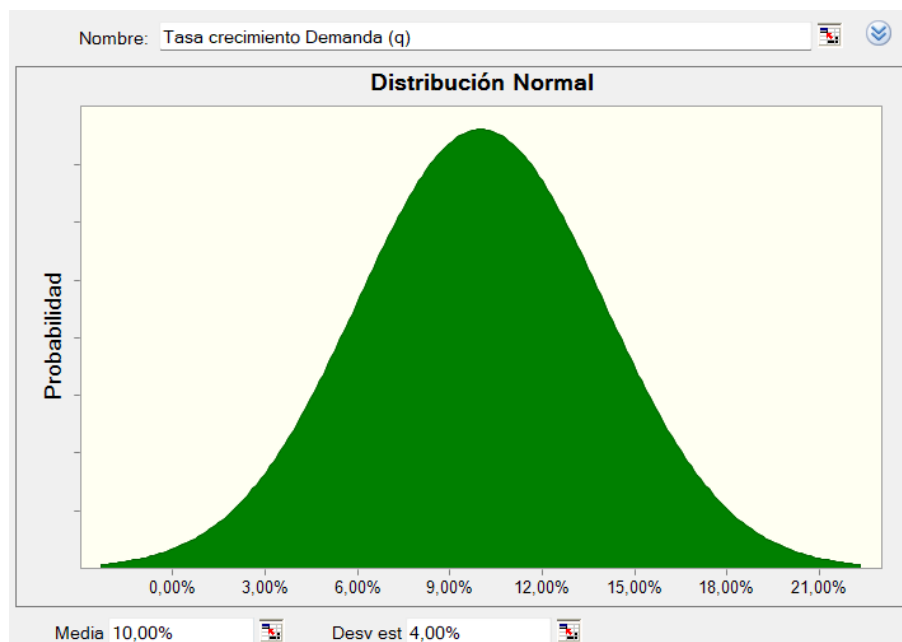
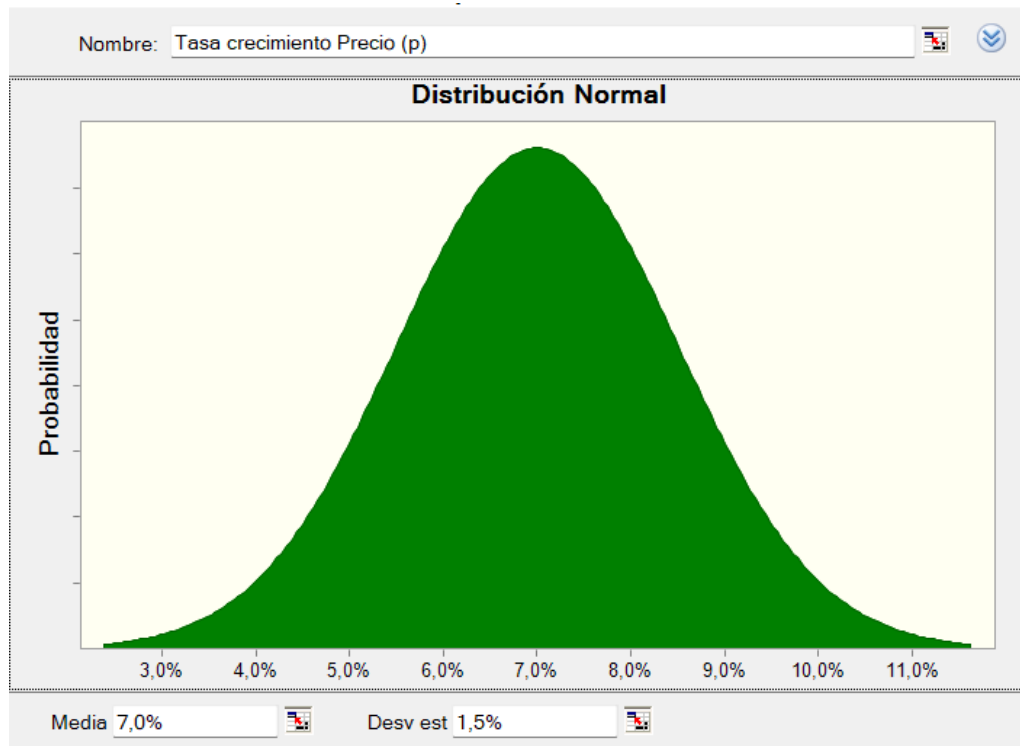


Gráfico 3.4. Distribución de la variable “Tasa de crecimiento de la Demanda ( $q$ )”.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4º Tasa de crecimiento del precio (p) con distribución normal

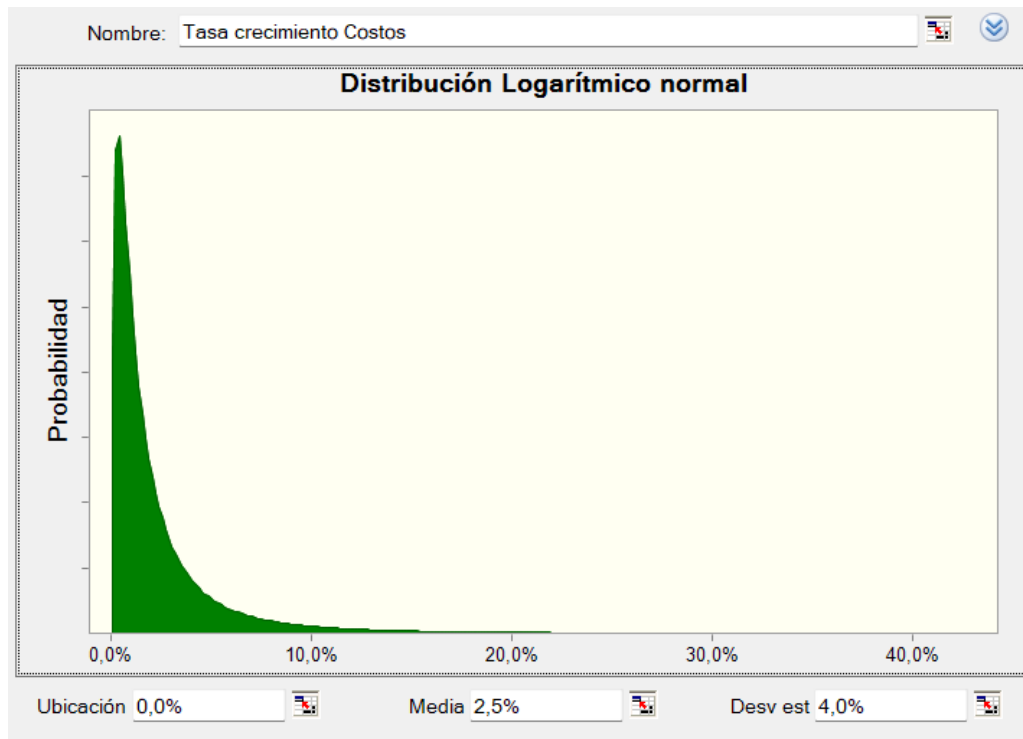
Al igual que con la tasa de crecimiento de la demanda (q), se utiliza la distribución Normal en este caso dado que este valor suele variar alrededor de un valor establecido (7% en este caso) y abarca tanto crecimientos como disminuciones de la tasa.



*Gráfico 3.5. Distribución de la variable “Tasa de crecimiento del Precio (p)”.*  
*Fuente: Elaboración propia.*

### 5° Tasa de crecimiento de los Costos

Los costos suelen tener un crecimiento exponencial y no negativo, por lo que una distribución Normal-Logarítmica es más apropiada para reflejar esta asimetría. Además permite modelar riesgos asociados a incrementos de costos inesperados y medir su impacto en la rentabilidad.

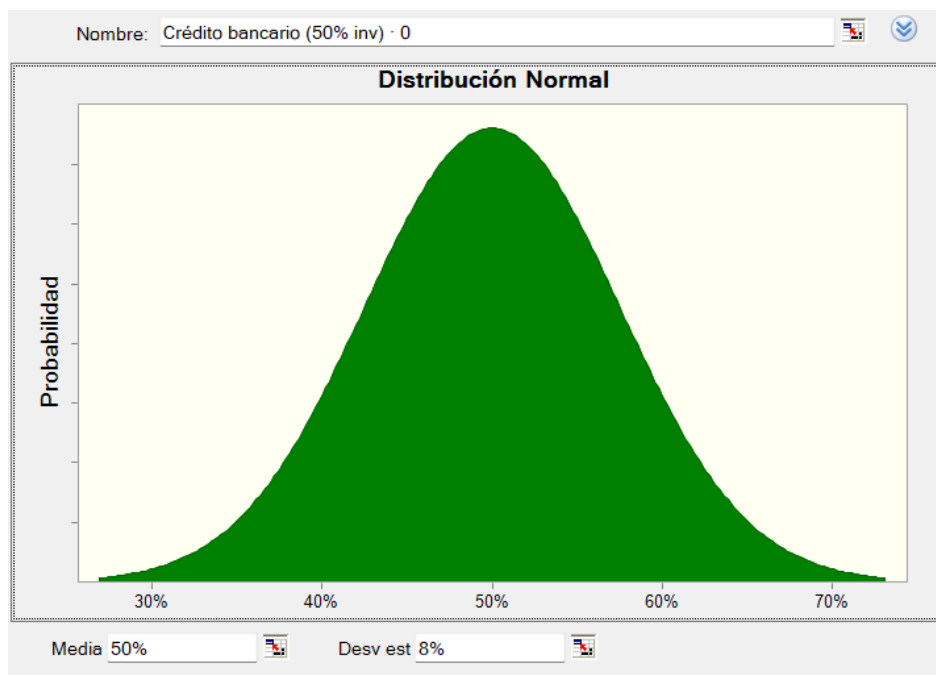


*Gráfico 3.6. Distribución de la variable “Tasa de crecimiento de los Costos”.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 6° Crédito bancario solicitado (porcentaje de la inversión) con una distribución Normal

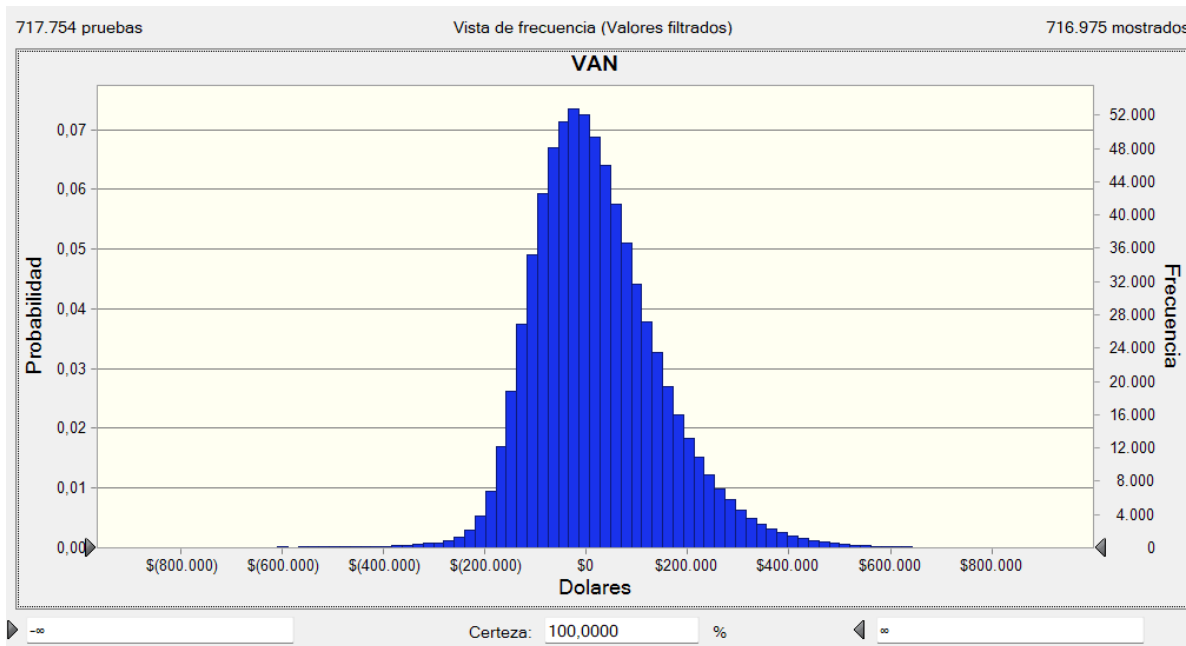
Este valor refleja decisiones financieras que suelen concentrarse alrededor de un promedio preestablecido, con desviaciones que no son extremas. Similar a lo que ocurre con las tasas de crecimiento del precio y de la demanda.

Ayuda a evaluar la sensibilidad del proyecto a cambios en el porcentaje de financiamiento, considerando el impacto de diferentes escenarios crediticios.



*Gráfico 3.7. Distribución de la variable “Crédito bancario”.  
Fuente: Elaboración propia.*

El gráfico a continuación muestra la distribución del Valor Actual Neto (VAN) luego de más de cien mil iteraciones (714.754 pruebas en total), simulando diversas combinaciones de ingresos, costos, demanda y tasas de crecimiento. Gran parte de los resultados se concentran alrededor de un VAN positivo, con valores que oscilan entre \$0 y \$200,000 USD. Sin embargo, una proporción considerable de iteraciones revela VAN negativos, lo que indica riesgos de pérdidas en ciertos escenarios adversos.



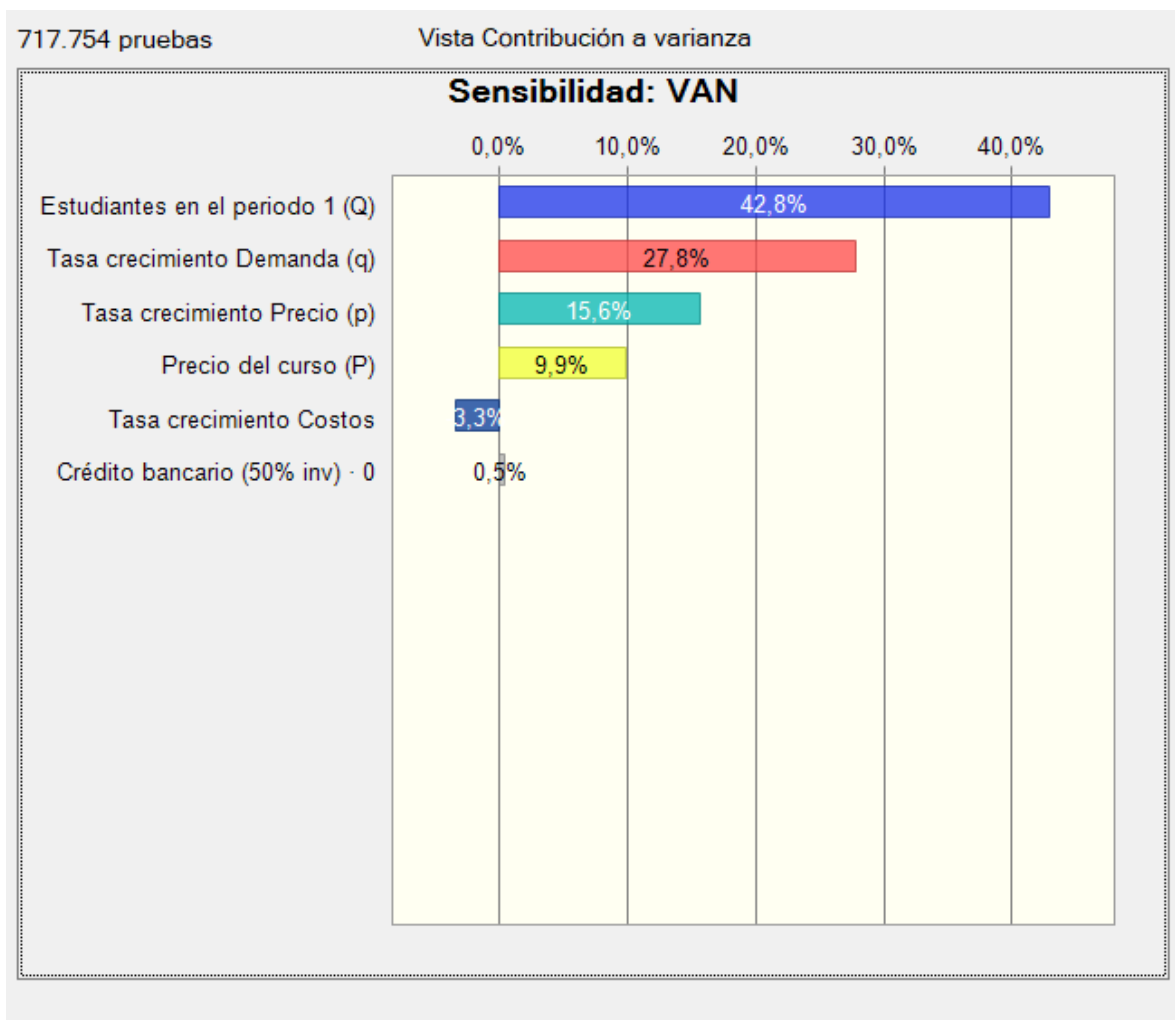
*Gráfico 3.8. Sensibilización del VAN mediante simulación de Montecarlo.  
Fuente: Elaboración propia.*

Los costos fijos anuales proyectados en \$46.999 USD pueden ejercer presión sobre el flujo de caja. Es recomendable optimizar el gasto en áreas no críticas como marketing o imprevistos.

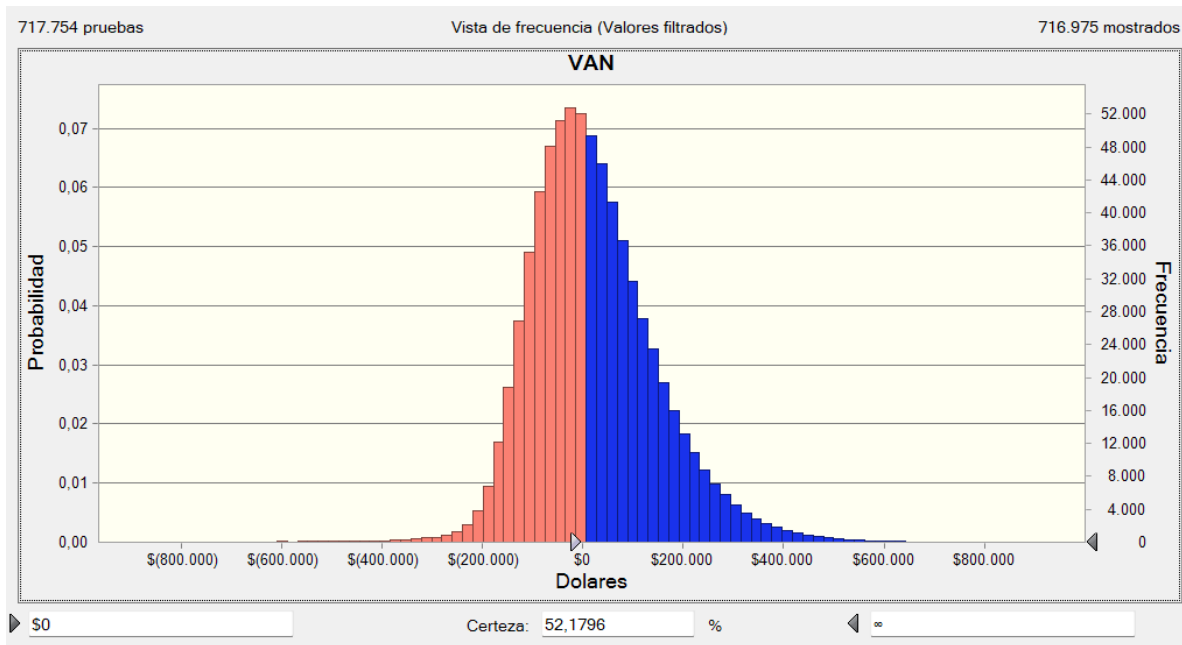
La estimación de ingresos proyectados de \$80.000 USD en el primer año alcanza \$346.799 USD al décimo año, pero este crecimiento depende de una tasa de aumento del 7% en ingresos y 10% en demanda. Sería conveniente evaluar alianzas con aerolíneas o centros de formación locales.

En el *Gráfico 3.9.* se puede observar la contribución de los diversos factores a la variación del VAN donde se tiene que las variables más influyentes son la Demanda (Q) y su tasa de crecimiento (q), es decir, que es mayormente dependiente de la cantidad que pueda reunir y una variación en la cantidad de estudiantes es significativa y de alto impacto en la rentabilidad.

Se recomienda monitorear al mercado con el fin de analizar los costos variables relacionados a la instrucción para mitigar fluctuaciones inesperadas. Además aplicar una estrategia de marketing eficiente que aumente la visibilidad del curso para atraer más estudiantes.



*Gráfico 3.9. Contribución de las variables en la sensibilización del VAN.  
Fuente: Elaboración propia.*



*Gráfico 3.10. Certeza de VAN igual o mayor a \$0 USD.  
Fuente: Elaboración propia.*

En el *Gráfico 3.10.* se observa que hay un 52,1796% de probabilidad de que el VAN sea igual o mayor a \$0 USD. Este resultado refleja cierto nivel de viabilidad del proyecto, pero aún existe un 48% aproximadamente de riesgo de obtener VAN negativo.

Es necesario contar con una cobertura de riesgos estableciendo un fondo de contingencia o buscar financiamiento bancario con condiciones flexibles para enfrentar periodos de baja rentabilidad.

Previsión: VAN (contin.)	
Percentiles:	Valores de previsión
0%	\$(95.623.172)
10%	\$(120.735)
20%	\$(81.162)
30%	\$(50.285)
40%	\$(21.994)
50%	\$6.211
60%	\$36.544
70%	\$71.496
80%	\$116.229
90%	\$185.273
100%	\$1.136.296

*Tabla 3.14. Percentiles según los valores de previsión de la VAN.  
Fuente: Elaboración propia.*

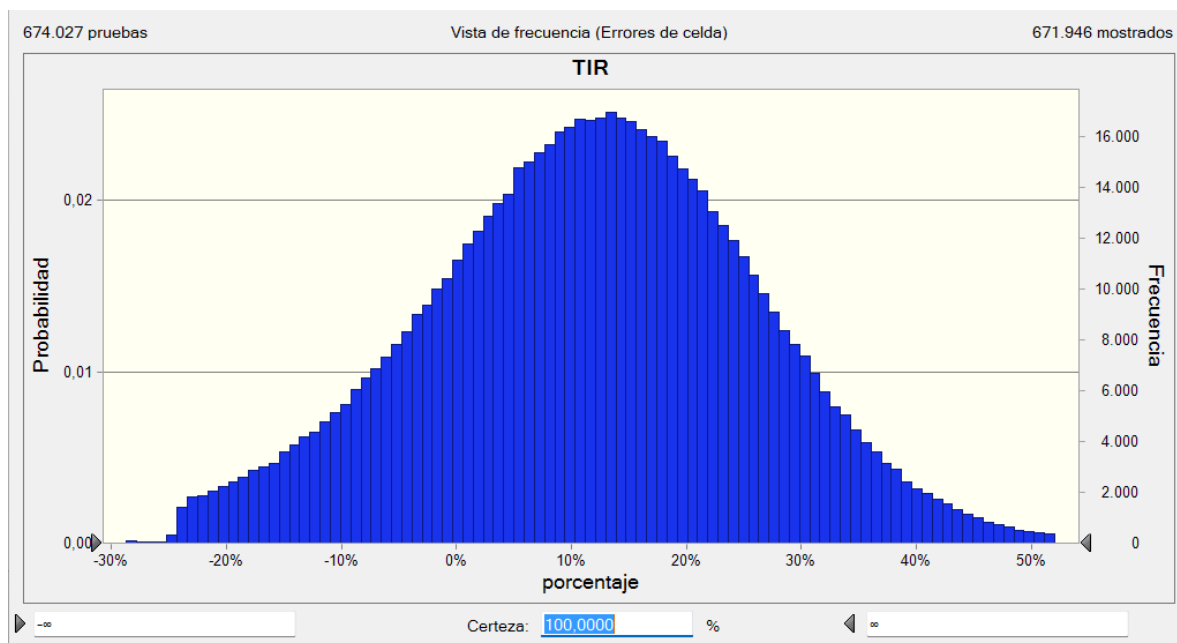
716.975 mostrados	
Estadística	Valores de previsión
Pruebas	717.754
Caso base	\$9.181
Media	\$16.774
Mediana	\$6.212
Modo	---
Desviación estándar	\$333.845
Varianza	\$111.452.345.73
Sesgo	-141,51
Curtosis	29.538,47
Coefficiente de va	19,90
Mínimo	\$(95.623.172)
Máximo	\$1.136.296
Error estándar m	\$394
Valores filtrados	8

*Tabla 3.15. Estadísticas obtenidas respecto a la VAN.  
Fuente: Elaboración propia.*

Respecto a la Tasa Interna de Retorno (TIR) se realizaron 674.027 pruebas, este valor es menor a las iteraciones de la VAN dado que ciertos valores arrojaban error por lo que se iban descartando.

En promedio se obtiene una TIR del 12% lo que es superior a la tasa de descuento en un 2% e incluso mayor al caso base de 11%, esto da entender que se tiene un buen escenario promedio dado que existe retorno de la inversión, pero por otro lado se cuenta con una desviación estándar del 14% lo que implica un rango amplio en los que se moverá principalmente la TIR teniendo escenarios negativos o desfavorables.

Dado que la amortización del crédito proyectado es de USD 4.429 a USD 8.143 anuales, es fundamental acelerar los pagos durante los años de mayor flujo de caja.



*Gráfico 3.11. Sensibilización de la TIR mediante simulación de Montecarlo.  
Fuente: Elaboración propia.*

Al igual que en el caso de la VAN, se observa que las principales variables que contribuyen en la sensibilización de la TIR son la demanda (Q) y su tasa de crecimiento (q), las cuales en conjunto representan un 72,5% de contribución. Esto hace que sea fundamental aplicar estrategias de atracción de nuevos estudiantes al curso y realizar alianzas claves con aerolíneas y entidades aeronáuticas.

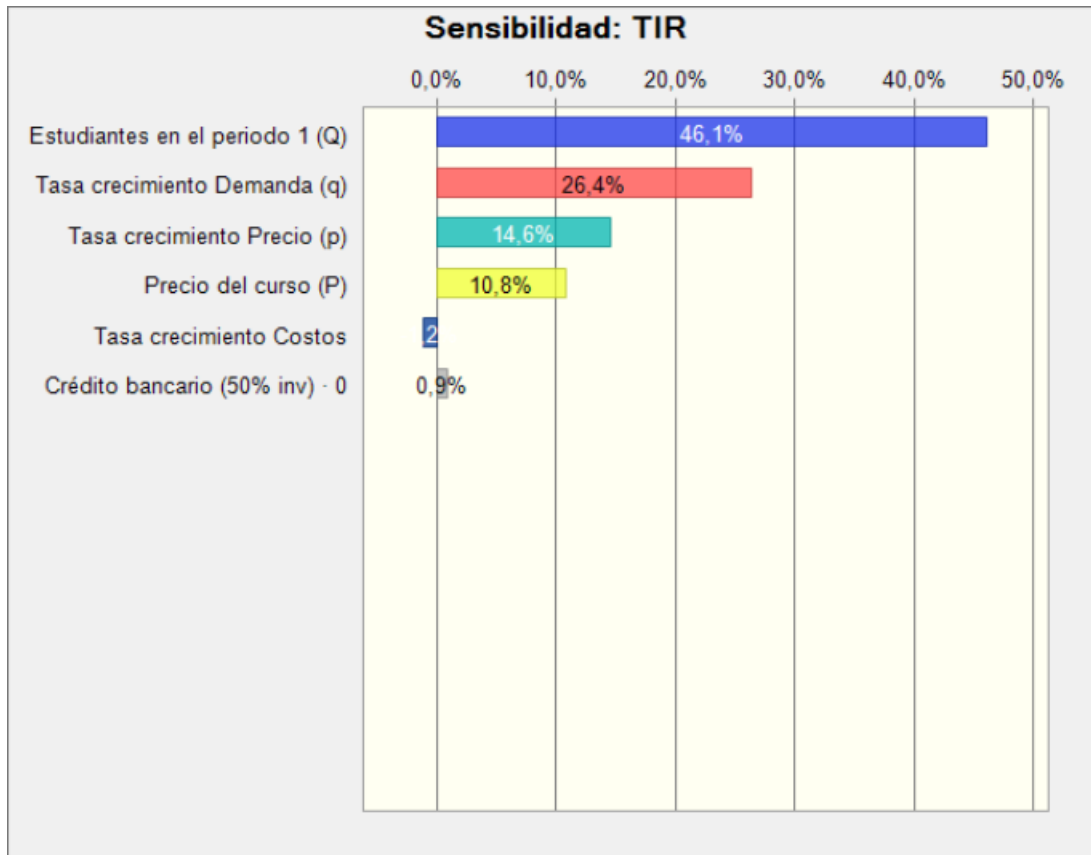


Gráfico 3.12. Contribución de las variables en la sensibilización de la TIR.  
Fuente: Elaboración propia.

Previsión: TIR (contin.)	
Percentiles:	Valores de previsión
0%	-71%
10%	-8%
20%	-1%
30%	4%
40%	8%
50%	12%
60%	16%
70%	19%
80%	24%
90%	30%
100%	92%

*Tabla 3.16. Percentiles según los valores de previsión de la TIR.  
Fuente: Elaboración propia.*

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	674.027
Caso base	11%
Media	12%
Mediana	12%
Modo	---
Desviación estándar	14%
Varianza	2%
Sesgo	-0,0223
Curtosis	2,91
Coefficiente de variación	1,24
Mínimo	-71%
Máximo	92%
Ancho de rango	164%
Error estándar medio	0%
Errores de celda	43735

*Tabla 3.17. Estadísticas obtenidas respecto a la sensibilización de la TIR.  
Fuente: Elaboración Propia.*

## CONCLUSIONES

La implementación de un Flight Training Device (FTD) de un A320 en Argentina, representa un avance significativo para la empresa Alas Educa y para la industria aeronáutica de la región.

El análisis legal subraya la importancia de cumplir con las normativas establecidas por la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC), alineadas con los estándares internacionales de la OACI y la FAA. El cumplimiento de estas normativas asegura no solo la certificación del dispositivo, sino también su operación segura y eficaz. Este marco regulatorio, aunque exigente, también ofrece la oportunidad de posicionar al FTD de Alas Educa como un referente de calidad en la región, fortaleciendo su reputación y capacidad competitiva.

En cuanto al estudio técnico, el diseño y construcción de la cabina del FTD destacan como un componente crucial para garantizar una experiencia de formación inmersiva y realista. La integración de controles físicos, sistemas de visualización de alta definición y simulación de condiciones reales de vuelo asegura que el dispositivo cumpla con las necesidades formativas de los pilotos y con los estándares operativos internacionales. Además, el desarrollo de software y redes, junto con la infraestructura física adecuada, proporciona una base sólida para la operación continua del simulador.

El análisis financiero realizado evidencia que el proyecto es rentable en el mediano y largo plazo. La inversión inicial de USD 122.395, que incluye la adquisición, instalación y adaptación del FTD, se amortizará a lo largo de 10 años, generando un flujo de caja sostenible. Las estimaciones de demanda inicial, con 20 estudiantes y un precio de \$4,000 USD por curso, reflejan un escenario optimista respaldado por el crecimiento proyectado de la demanda en un 10% anual y un aumento del 7% en los ingresos. Estos indicadores financieros, junto con un control estricto de los costos operativos y un crecimiento moderado de los mismos (2.5%), aseguran un margen positivo para la operación.

La evaluación financiera también resalta el uso de herramientas como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) para validar la viabilidad económica del proyecto. Estas herramientas no solo confirman que

el proyecto es rentable, sino que también permiten identificar puntos de equilibrio y sensibilizar las variables clave. Por ejemplo, el análisis de sensibilidad aplicado en el informe demuestra que el proyecto puede soportar fluctuaciones moderadas en los costos y la demanda sin comprometer su rentabilidad. Esto subraya la resiliencia del modelo de negocio planteado.

En este contexto, los gráficos generados a través de las iteraciones en Crystal Ball ofrecen información valiosa sobre la distribución probabilística de los resultados financieros. Estos muestran escenarios posibles basados en la variación de las variables clave, como el crecimiento de la demanda, los precios y los costos. Se observa que la demanda inicial y la tasa de crecimiento de los precios son factores determinantes. Además, el uso de simulación de Montecarlo, con más de cien mil iteraciones, proporciona un rango de certeza sobre los resultados, destacando que existe una alta probabilidad de que el VAN sea igual o mayor a cero, lo cual refuerza la viabilidad del proyecto.

En cuanto a la sensibilización de la TIR se revela que la estabilidad en los costos operativos y un manejo eficiente del crédito bancario son esenciales para mantener la rentabilidad. Estas interpretaciones ayudan a priorizar estrategias de mitigación de riesgos y a enfocar los esfuerzos de optimización en las áreas de mayor impacto.

Un aspecto adicional que merece destacarse es el impacto estratégico del proyecto en la industria aeronáutica argentina y regional. La implementación del FTD no solo contribuirá a satisfacer la creciente demanda de pilotos capacitados, sino que también reducirá la dependencia de centros de entrenamiento internacionales. Esto generará ahorros significativos en costos de desplazamiento y tiempo para los pilotos, además de fomentar el desarrollo local de tecnología y conocimiento. Además, el proyecto posicionará a Alas Educa como un líder en formación aeronáutica avanzada, atrayendo a estudiantes de toda la región y ampliando su cuota de mercado.

Sin embargo, también es importante considerar los posibles riesgos asociados al proyecto. Factores como cambios en las normativas aeronáuticas, fluctuaciones económicas y competencia en el mercado pueden afectar los resultados esperados. Por ello, se recomienda mantener un monitoreo constante de las variables clave y realizar ajustes en la estrategia de negocio según sea necesario. Asimismo, establecer alianzas con otras instituciones

educativas y centros de entrenamiento puede mitigar riesgos y ampliar las oportunidades de crecimiento.

En definitiva, el proyecto de implementación del FTD A320 para Alas Educa se presenta como una iniciativa viable, rentable y estratégicamente alineada con las necesidades del mercado aeronáutico regional. La combinación de un análisis detallado, una ejecución técnica robusta y una evaluación financiera rigurosa garantiza que este proyecto tenga el potencial de transformar el panorama de la capacitación aeronáutica en la región y de posicionar a Alas Educa como un referente en el sector.

## BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

- **Administración Nacional de Aviación Civil.** (n.d.). “Regulaciones Argentinas de Aviación Civil, Parte 61: Licencias para pilotos”. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar>.
- **Administración Nacional de Aviación Civil.** (n.d.). “Regulaciones Argentinas de Aviación Civil, Parte 67: Requisitos médicos”. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar>
- **Boeing.** (2021, February 24). “Boeing forecasts resilient aviation market for Latin America and Caribbean despite near-term challenges”. Aviator. Retrieved from <https://newsroom.aviator.aero/boeing-forecasts-resilient-aviation-market-for-latin-america-and-caribbean-despite-near-term-challenges/>
- **Boeing.** (2020). “Pilot and Technician Outlook 2020–2039”. Boeing. Retrieved from <https://www.boeing.com/commercial/market/commercial-market-outlook/>
- **Boeing.** (2021, February 25). “Boeing expects Latin American and Caribbean airlines to buy 2,610 jets by 2039”. Aerospace Technology. Retrieved from <https://www.aerospace-technology.com/news/boeing-expects-latin-american-and-caribbean-airlines-to-buy-2610-jets-by-2039/>
- **News Releases.** (2022, October 24). “Boeing Forecast: Latin America and Caribbean Fleet to Nearly Double Over Next 20 Years”. Boeing Media Room. Retrieved from <https://boeing.mediaroom.com/>
- **Bandura, A.** (1977). *Social Learning Theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- **Bloom, B. S.** (1956). *Taxonomy of Educational Objectives*. New York: David McKay.
- **Extracrew.** (2021). “Modelo FORDEC: Método en la aviación comercial”. Recuperado el 30 de noviembre de 2024, de <https://www.extracrew.com/articulos/crm-cockpit-resource-management/modelo-fordec-metodo/>
- **Federal Aviation Administration (FAA).** (2020). Advisory Circular 120-40, Simulación de Vuelo.

- **Gagné, R. M.** (1977). *The Conditions of Learning*. New York: Holt, Rinehart y Winston.
- **Hays, R. T., & Singer, M. J.** (1989). *Simulation Fidelity in Training System Design*. New York: Springer.
- **International Air Transport Association (IATA).** (2020). *World Air Transport Statistics 2019*.
- **International Civil Aviation Organization (OACI).** (2018). Documento 9625, *Manual de Simulación de Vuelo*.
- **International Civil Aviation Organization (OACI).** (2020). Documento 9955, *Global Air Transport Outlook 2020-2037*.
- **Kirkpatrick, D. L.** (1959). *Techniques for Evaluating Training Programs*. New York: American Society for Training and Development.
- **Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC).** (2020). *Informe Anual 2019-2020*.
- **Airbus.** (2020). *Global Market Forecast 2020-2039*.
- **International Air Transport Association (IATA).** (2023). *Air Passenger Market Analysis*.
- **Organización Internacional de Aviación Civil (OACI).** (2023). *Air Transport Monitor*.
- **Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F.** (2017). *Principles of corporate finance*. McGraw-Hill Education.
- **Gittinger, J. P.** (1982). *Economic analysis of agricultural projects*. Johns Hopkins University Press.
- **IATA.** (2022). *Global Aviation Outlook*. Asociación Internacional de Transporte Aéreo.
- **Johnson, G., Scholes, K., & Whittington, R.** (2008). *Exploring corporate strategy*. Pearson Education.
- **Kerzner, H.** (2017). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons.
- **Ministerio de Transporte de Argentina.** (2022). *Informe sobre políticas de aviación*. Gobierno de Argentina.

- **Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2013).** *Corporate finance*. McGraw-Hill Education.
- **Salas, E., Bowers, C. A., & Rhodenizer, L. (1998).** It is not how much you have but how you use it: Toward a rational use of simulation to support aviation training. *The International Journal of Aviation Psychology*, 8(3), 197-208.
- **Mauriz.** (s.f.). *Origen del mundo virtual: Descubre los entornos digitales*. Recuperado de [www.mauriz.es](http://www.mauriz.es).
- **Triunfa Emprendiendo.** (s.f.). *La evolución de la realidad virtual: Historia y avances a lo largo del tiempo*. Recuperado de [www.triunfaemprendiendo.com](http://www.triunfaemprendiendo.com).
- **Tech Formación.** (s.f.). *Descubre los orígenes de la realidad virtual*. Recuperado de [www.techformacion.net](http://www.techformacion.net).
- **Niixer.** (s.f.). *Historia de los mundos virtuales: Acercamiento a simulaciones inmersivas*. Recuperado de [niixer.com](http://niixer.com).
- **Sapag Chain, N. (2014).** *Preparación y evaluación de proyectos* (6ta ed.). McGraw-Hill.
- **Cámara Argentina de Comercio y Servicios.** (2023). *Incentivos regionales para proyectos de inversión*. Recuperado de <https://www.cac.com.ar>
- **Porter, M. E. (1985).** *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*.
- **Robbins, S. P., & Coulter, M. (2010).** *Administración* (10ª ed.). México D.F.: Pearson Educación.
- **Airbus.** (2024). *Airbus A320 family aircraft configuration manual* (AC\_A320\_0624). Recuperado de [https://aircraft.airbus.com/sites/g/files/jlcbta126/files/2024-06/AC\\_A320\\_0624.pdf](https://aircraft.airbus.com/sites/g/files/jlcbta126/files/2024-06/AC_A320_0624.pdf)
- **Avión Revue. (2021).** *¿Cómo se certifica un simulador de vuelo?* Avión Revue. Recuperado de <https://www.avionreuve.com/formacion-empleo/como-se-certifica-un-simulador-de-vuelo/>

## ANEXOS

USD / año	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ingresos		\$ 80.000	\$ 94.160	\$ 110.826	\$ 130.443	\$ 153.531	\$ 180.706	\$ 212.691	\$ 250.337	\$ 294.647	\$ 346.799
Costos Fijos		\$ 46.999	\$ 48.174	\$ 49.378	\$ 50.613	\$ 51.878	\$ 53.175	\$ 54.504	\$ 55.867	\$ 57.264	\$ 58.695
Costos Variables		\$ 60.216	\$ 66.238	\$ 72.861	\$ 80.147	\$ 88.162	\$ 96.978	\$ 106.676	\$ 117.344	\$ 129.078	\$ 141.986
<b>EBITDA</b>		\$ -27.215	\$ - 20.252	\$ - 11.413	\$ - 318	\$ 13.491	\$ 30.552	\$ 51.510	\$ 77.126	\$ 108.305	\$ 146.118
Depreciación		\$ 5.053	\$ 5.053	\$ 5.053	\$ 5.053	\$ 5.053	\$ 5.053	\$ 5.053	\$ 5.053	\$ 5.053	\$ 5.053
Depreciación (PC)		\$ 1.507	\$ 1.507	\$ 1.507	\$ 1.507	\$ 1.507		\$ 1.507	\$ 1.507	\$ 1.507	\$ 1.507
Amortización		\$ 4.429	\$ 4.739	\$ 5.071	\$ 5.426	\$ 5.806	\$ 6.212	\$ 6.647	\$ 7.113	\$ 7.610	\$ 8.143
<b>UAI</b>		\$ -38.204	\$ - 31.550	\$ - 23.044	\$ - 12.303	\$ 1.125	\$ 19.287	\$ 38.303	\$ 63.454	\$ 94.135	\$ 131.415
impuestos		\$ -13.371	\$ - 11.043	\$ - 8.065	\$ - 4.306	\$ 394	\$ 6.751	\$ 13.406	\$ 22.209	\$ 32.947	\$ 45.995

Universidad Técnica Federico Santa María  
Departamento de Aeronáutica

<b>UDI</b>		\$ -24.832	\$ - 20.508	\$ - 14.979	\$ - 7.997	\$ 731	\$ 12.537	\$ 24.897	\$ 41.245	\$ 61.188	\$ 85.420
Depreciación		\$ 6.560	\$ 6.560	\$ 6.560	\$ 6.560	\$ 6.560	\$ 5.053	\$ 6.560	\$ 6.560	\$ 6.560	\$ 6.560
Amortización		\$ 4.429	\$ 4.739	\$ 5.071	\$ 5.426	\$ 5.806	\$ 6.212	\$ 6.647	\$ 7.113	\$ 7.610	\$ 8.143
Prestamo	\$ 61.197										
Inversión	\$ 122.395	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 7.534	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Flujo de Caja</b>	<b>\$ -61.197</b>	<b>\$ -13.844</b>	<b>\$ - 13.948</b>	<b>\$ - 8.419</b>	<b>\$ - 1.438</b>	<b>\$ 7.291</b>	<b>\$ 16.267</b>	<b>\$ 31.457</b>	<b>\$ 47.805</b>	<b>\$ 67.747</b>	<b>\$ 91.979</b>
<b>Flujo de caja Acumulado</b>	<b>\$ -61.197</b>	<b>\$ -75.041</b>	<b>\$ - 88.989</b>	<b>\$ - 97.408</b>	<b>\$ - 98.846</b>	<b>\$ - 91.555</b>	<b>\$ - 75.288</b>	<b>\$ - 43.831</b>	<b>\$ 3.974</b>	<b>\$ 71.721</b>	<b>\$ 163.700</b>
Inflación		2,05%	2,11%	2,12%	2,14%	2,13%	2,14%	2,14%	2,14%	2,14%	2,14%
Factor	1,0000	1,0205	1,0420	1,0641	1,0869	1,1100	1,1338	1,1581	1,1828	1,2082	1,2340
<b>FC Corriente</b>	<b>\$ -61.197</b>	<b>\$ -14.127</b>	<b>\$ - 14.535</b>	<b>\$ - 8.959</b>	<b>\$ - 1.563</b>	<b>\$ 8.093</b>	<b>\$ 18.444</b>	<b>\$ 36.429</b>	<b>\$ 56.546</b>	<b>\$ 81.849</b>	<b>\$ 113.504</b>
<b>FC C Acumulado</b>	<b>\$ -61.197</b>	<b>\$ -75.325</b>	<b>\$ - 89.859</b>	<b>\$ - 98.818</b>	<b>\$ - 100.381</b>	<b>\$ - 92.288</b>	<b>\$ - 73.844</b>	<b>\$ - 37.415</b>	<b>\$ 19.131</b>	<b>\$ 100.981</b>	<b>\$ 214.485</b>

Fin de suposiciones

<b>Informe de Crystal: completo</b>	
Simulación iniciada el 12-01-2025 a las 17:26	
Simulación detenida el 13-01-2025 a las 2:37	
<b>Prefs ejecución:</b>	
Número de pruebas ejecutadas	717.762
Monte Carlo	
Inicialización aleatoria	
Control de precisión activado	
Nivel de confianza	95,00%
<b>Estadísticas de ejecución:</b>	
Tiempo de ejecución total (seg)	33044,30
Pruebas/segundo (promedio)	22
Números aleatorios por segundo	130
<b>Datos de Crystal Ball:</b>	
Suposiciones	6
Correlaciones	0
Matrices de correlación	0
Variables de decisión	0
Previsiones	2

*Tabla 4.1. Detalles de la simulación realizada en software Crystal Ball.  
Fuente: Elaboración propia.*