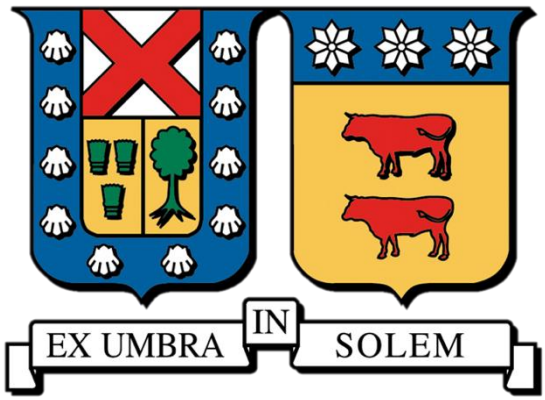
UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE AERONAUTICA
VITACURA-SANTIAGO-CHILE



ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DEL USO DE SIMULADOR DE NEGOCIOS AERONÁUTICOS EN INGENIERÍA EN AVIACIÓN COMERCIAL. CASO APLICADO: AIRWAYSIM

CARLO ALBERTO CRUCHETT LAVANDEROS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUÍA: SR. CRISTIAN CARVALLO GONZÁLEZ

PROFESOR CORREFERENTE: SR. MARTINUS POTTERS

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DEL USO DE SIMULADOR DE NEGOCIOS AERONÁUTICOS EN INGENIERÍA EN AVIACIÓN COMERCIAL. CASO APLICADO: AIRWAYSIM

Nombre del candidato(a): Carlo Alberto Cruchett Lavanderos

Carrera / Grado: Ingeniería en Aviación Comercial

Campus: Santiago Vitacura **Departamento:** Aeronáutica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

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

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

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

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

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

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

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

4.- FIRMAS

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

Fecha: 06/11/2026 **Firma:** Firma digital. C. Carvallo. 06-11-2026

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 07 de Agosto de 2026 **Firma:**

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

Índice

Introducción 6
Capítulo 1: Antecedentes generales. 8
1.1 Justificación del tema 9
1.2 Objetivos 12
1.3 Metodología 13
1.3.1 Diseño de la investigación 13
1.3.2 Instrumentos de recolección de datos 14
1.3.3 Plan de Análisis de Datos 14
1.4 Alcance y Limitaciones 15
1.4.1 Alcance 15
1.4.2 Limitaciones y Estrategias de Mitigación 15
Capítulo 2: Estado del Arte 17
2.1 Antecedentes 18
2.1.1 La simulación en la educación superior 18
2.1.2 Aplicaciones de la simulación en la gestión empresarial y la toma de decisiones 20
2.2 Marco teórico 21
2.2.1 Fundamentos Pedagógicos 22
2.2.2 Fundamentos de Gestión Aeronáutica 26
2.3 Discusión Bibliográfica 29
2.3.1 Búsqueda y hallazgos orientados a la gestión aerocomercial 29
2.3.2 Discusión 30
2.4 Propuesta Metodológica 33
Capítulo 3: Desarrollo 42
3.1 Análisis de la malla curricular y perfil de egreso 43
3.2 Medición del impacto de las Herramientas de Simulación 46
3.2.1 Análisis de Resultados Académicos 46
3.2.2 Análisis de Percepción Estudiantil 49
3.2.3 Relación entre variables cualitativas y cuantitativas a través del modelo TAM de Fred Davis 52
3.4 Propuesta de modelo de gestión, seguimiento y mejora continua 56
Conclusiones 60

Bibliografía..... 64

Anexos..... 66

Resumen ejecutivo

La formación en Ingeniería en Aviación Comercial (IAC) enfrenta una industria caracterizada por la interacción de variables financieras, operativas y comerciales en entornos cambiantes. La enseñanza convencional centrada en evaluaciones escritas tiende a enfocarse en la retención de contenidos teóricos, presentando restricciones para evaluar la capacidad de ejecución, la adaptabilidad y la toma de decisiones.

Este trabajo evalúa el impacto de la simulación de negocios aeronáuticos mediante la plataforma AirwaySim, como herramienta pedagógica para el desarrollo de competencias profesionales y la comprensión de la economía del transporte aéreo. La investigación analiza la integración del software en la malla curricular de IAC en la UTFSM, comparando el desempeño en el ciclo básico (segundo año) y en el ciclo profesional (cuarto año) en una muestra de 79 evaluaciones individuales distribuidas en tres cohortes.

La metodología tiene un enfoque mixto dividido en cuatro etapas: análisis del perfil de egreso, medición de rendimiento académico, evaluación de percepción estudiantil y formulación de una propuesta metodológica. El marco teórico combina los principios de la educación basada en competencias, la teoría de la carga cognitiva de Sweller, el ciclo de aprendizaje experiencial de Kolb y el modelo de aceptación tecnológica de Davis.

En el ámbito cuantitativo, la nota final promedio en las evaluaciones teóricas entre las distintas cohortes se situó en un rango de 77 a 78 puntos. En contraste, las calificaciones obtenidas en el simulador tuvieron variaciones según el nivel de avance curricular: en el ciclo básico la media fue de 66,8 puntos en la simulación, mientras que las cohortes del ciclo profesional alcanzan promedios de 94,98 (2024) y 80,87 (2025). El cálculo del coeficiente de correlación de Pearson entre las notas de certámenes y el desempeño práctico en el ciclo profesional ($N = 46$) arroja un valor de $r = 0{,}0960$, lo que indica una independencia entre ambos instrumentos de evaluación y confirma la presencia de casos donde rendimientos teóricos destacados no garantizan un desempeño equivalente en la simulación.

En el aspecto cualitativo, las encuestas de percepción reportan 88% de aprobación en usabilidad de la interfaz, trabajo en equipo y utilidad pedagógica percibida. Se constata una transición en el foco de los estudiantes: en el ciclo básico se privilegian elementos físicos como la información de las flotas, mientras que en el ciclo profesional la atención se desplaza hacia la planificación de rutas y la optimización de variables de mercado.

A partir de los hallazgos se diseña una propuesta de modelo de gestión, seguimiento y mejora continua de ciclo cerrado. El esquema se estructura en tres fases: captura de datos, establecimiento de umbrales de alerta y protocolos de ajuste pedagógico para la calibración del apoyo docente e incentivos.

Se concluye que la simulación de negocios aeronáuticos complementa la enseñanza tradicional, midiendo capacidades de aplicación práctica, trabajo colaborativo y resolución de problemas. La integración del simulador contribuye a la consolidación de las competencias sello definidas en el perfil de egreso institucional.


EX UMBRA
IN
SOLEM

Introducción

La industria de la aviación comercial, caracterizada por su dinamismo y complejidad, demanda profesionales con un conocimiento profundo de las operaciones aéreas, la gestión de recursos y la toma de decisiones estratégicas. En este contexto, la formación de los futuros Ingenieros en Aviación Comercial requiere herramientas pedagógicas innovadoras que complementen la enseñanza tradicional y permitan a los estudiantes desarrollar habilidades prácticas. La simulación se presenta como una alternativa efectiva, brindando un entorno seguro y controlado donde los estudiantes pueden experimentar y aprender de sus decisiones sin riesgos reales.

El uso de softwares de simulación ofrece una representación realista del entorno empresarial, permitiendo a los estudiantes tomar decisiones en áreas como planificación, la gestión de activos, la fijación de precios y el marketing. Estas herramientas integran elementos de gamificación, como puntuaciones, niveles y competencias, para crear una experiencia de aprendizaje más atractiva e inmersiva. Además, se alinea con los principios de la educación basada en competencias (EBC) al promover un aprendizaje activo y centrado en el estudiante.

Un entorno gamificado apoyado en la simulación permite a los estudiantes "aprender de la experiencia acumulada a través de interacciones con el entorno" (Razzaghi et al., 2024), fomentando un aprendizaje más significativo y duradero. Al gestionar una empresa virtual y enfrentarse a situaciones reales de mercado, los estudiantes podrán aplicar los conocimientos adquiridos de manera práctica en un entorno controlado. Esto favorece la comprensión de conceptos y el desarrollo de competencias clave en la gestión de negocios, tales como la optimización de recursos, la toma de decisiones bajo presión y la planificación estratégica.
La simulación, en combinación con la gamificación, puede aumentar la motivación y el compromiso de los estudiantes. Aguiar-Castillo et al. (2022) y Capatina et al. (2024) encontraron que la gamificación en la educación "puede aumentar la motivación de los estudiantes", "promover un aprendizaje profundo" y "mejorar la retención de conocimiento y el rendimiento laboral". Los softwares de simulación aprovechan la gamificación para ofrecer una experiencia de aprendizaje más atractiva e inmersiva, lo que puede resultar en una mayor participación y mejores resultados de aprendizaje.

El presente trabajo explora la validez del uso de simulación empresarial como herramienta de aprendizaje en estudiantes de Ingeniería en Aviación Comercial de la Universidad Técnica Federico Santa María. Se busca evaluar su efectividad en la adquisición de conocimientos, el desarrollo de competencias y la comprensión de la dinámica de la industria aérea. Se analizarán las características del software y se evaluará su potencial para complementar los programas de formación.

Como caso de estudio, se utilizará el software "AirwaySim" (AWS), donde se espera demostrar que este contribuye al desarrollo de competencias clave para el futuro desempeño profesional, como la toma de decisiones, el trabajo en equipo, la resolución de problemas y el pensamiento estratégico. Además, se evaluará si la herramienta ayuda a los estudiantes en sus procesos de toma de decisiones y a desarrollar habilidades blandas como la visión estratégica, la toma de decisiones y el análisis de datos.

Se busca mostrar que el uso de softwares de simulación se alinea al marco de la EBC facilitando la evaluación formativa, al permitir un seguimiento continuo del progreso del estudiante, a la vez que ofrece la posibilidad de implementar evaluaciones que tomen en cuenta el proceso de toma de decisiones. Esto promueve la formación integral de los estudiantes y les permite demostrar su capacidad para aplicar conocimientos en situaciones prácticas.

Este trabajo analizará cómo el uso de la simulación (en particular AWS) puede potenciar el aprendizaje práctico en los estudiantes de Ingeniería en Aviación Comercial, facilitando el desarrollo de competencias clave como el trabajo en equipo, la adaptabilidad y la comunicación, y mejorando su preparación para enfrentar los retos del sector aeronáutico. Se evaluará si la herramienta contribuye a un aprendizaje más profundo y al desarrollo de habilidades transferibles a entornos laborales reales.

"AirwaySim" se presenta como una herramienta pedagógica para la formación de Ingenieros en Aviación Comercial. Su capacidad para simular la gestión de una aerolínea, combinada con elementos de gamificación y un enfoque en el aprendizaje experiencial, tiene el potencial de mejorar la adquisición de conocimientos, el desarrollo de habilidades y la comprensión de la industria aérea. El presente estudio se adentrará en el análisis de esta herramienta y su viabilidad en el contexto de la educación en aviación comercial, considerando los principios de la EBC, la simulación, la gamificación y el aprendizaje experiencial.

Capítulo 1: Antecedentes generales.

1.1 Justificación del tema

La aviación comercial es una industria competitiva y sistémica, que demanda profesionales capaces de integrar el conocimiento teórico con un sólido "saber hacer" en entornos de alta presión. La complejidad del sector reside en la necesidad de armonizar variables como la explotación de la flota, el mantenimiento, la asignación de slots y la implementación de estrategias de gestión de ingresos y contingencias. En este entorno, cada decisión impacta de forma directa tanto en la experiencia del cliente como en la rentabilidad y la estructura de costos, especialmente en modelos de negocio de alta utilización y eficiencia (Kierzkowski, 2008).

Ante estos desafíos, la formación académica debe transitar hacia metodologías de experimentación activa que permitan gestionar la incertidumbre sin los riesgos inherentes al mundo real. La simulación se posiciona como un puente pedagógico para que el estudiante aprenda a dominar la carga cognitiva que supone la multicausalidad de la industria (Sweller, 1988). Al proporcionar un laboratorio de toma de decisiones, esta herramienta prepara al ingeniero para actuar con agilidad y resiliencia, transformando la teoría en una competencia profesional lista para las exigencias del mercado laboral.

La formación en la UTFSM se orienta al desarrollo de competencias transversales sello, como el compromiso con la calidad, la resolución de problemas y la comunicación efectiva (GETSAL, UTFSM), fundamentales para la gestión en aviación. Este perfil institucional requiere un modelo de Educación Basada en Competencias (EBC), el cual, según Argudín Vázquez (2006), tiene como eje central el desarrollo de habilidades y conocimientos prácticos que preparen de manera efectiva al estudiante para las exigencias del mundo profesional.

En este marco, los principios de la EBC avalan el uso de simulación de negocios como herramienta pedagógica, ya que permite que el estudiante demuestre su desempeño en escenarios reales y complejos. Como sostiene Tobón (2011), la competencia se perfecciona en la acción; así, el software se convierte en el espacio donde el alumno integra su formación técnica con el sello de excelencia de la universidad para resolver problemas propios del sector.

Según Kolb (1984), el aprendizaje es un ciclo donde la experiencia es clave: el alumno pasa de entender una idea a ponerla en práctica, transformando la información en conocimiento real al ver los resultados de sus decisiones. En este sentido, los simuladores digitales actúan como un laboratorio de negocios, lo que ayuda a comprender cómo funciona una empresa y cuáles son las consecuencias de cada elección, pero sin correr los riesgos económicos que existirían en el mundo real.

La simulación ofrece un entorno seguro para el aprendizaje y la gestión de procesos complejos. En este sentido, Grijalvo et al. (2022) destacan que los simuladores de negocios permiten a los estudiantes “experimentar y ver el impacto de sus decisiones y acciones dentro

de un entorno seguro y sin consecuencias en el mundo real". De esta forma, la herramienta ayuda a que el futuro ingeniero adquiera experiencia práctica contextualizada, fortaleciendo sus competencias de toma de decisiones para enfrentar las exigencias de la industria aeronáutica.

Uno de los mayores beneficios de usar simuladores es que transforman el aprendizaje en una experiencia motivadora. La gamificación, o el uso de elementos de juego en la educación, ayuda a que los estudiantes se mantengan interesados y comprometidos con la materia. Capatina et al. (2024) destacan que la gamificación mejora la retención de conocimientos y el rendimiento, ya que el estudiante aprende de forma activa y entretenida.

Un simulador puede ayudar a resolver este problema presentando la información de manera visual y organizada. Al utilizar herramientas multimedia y escenarios prácticos, se reduce el esfuerzo mental innecesario, permitiendo que el alumno se concentre en lo realmente importante: aprender a tomar decisiones estratégicas. Reduciendo esa barrera cognitiva inicial es posible mantener al estudiante motivado y que los temas difíciles sean más fáciles de procesar (reducción de la carga cognitiva).

El perfil del Ingeniero en Aviación Comercial exige una visión sistémica de la industria, donde las decisiones financieras, operativas y comerciales no pueden tomarse de forma aislada. La relevancia de usar un simulador radica en que permite al futuro profesional entender la interdependencia de los departamentos de una aerolínea. En el mundo laboral, un error en la planificación de rutas o una mala gestión del mantenimiento afecta directamente la rentabilidad y la puntualidad; el simulador permite experimentar esta realidad de manera integral.

Además, el ingeniero debe estar preparado para afrontar crisis y reestructuraciones tácticas en el Centro de Control de Operaciones. Como sostienen Clausen et al. (2005), "generar planes de recuperación es una tarea compleja, debido a que múltiples recursos (tripulaciones, aeronaves, pasajeros, slots y carga) deben ser re-planificados de forma simultánea". La integración de software de simulación en el modelo educativo actúa como un entorno de entrenamiento controlado que fortalece la tolerancia a la frustración y la velocidad de reacción del alumno frente al Disruption Management, formando profesionales capaces de evaluar decisiones críticas e implementar soluciones óptimas en cuestión de minutos.

A través del uso de simulación de negocios aeronáuticos, se busca integrar la comprensión teórica de modelos de negocio, indicadores económicos, conceptos teóricos acerca de la operación y la capacidad para gestionarlos.

Derivado de lo anterior, la presente investigación busca dar respuesta a la siguiente interrogante:

¿De qué manera la integración sistemática de simuladores de gestión influye en el desarrollo de competencias profesionales y en la optimización de la carga cognitiva de los estudiantes de Ingeniería en Aviación Comercial?

La resolución de esta pregunta es fundamental para esta investigación por tres razones estratégicas:

1. **Gestión Sistémica de Variables mediante KPIs:** Este simulador permite al estudiante desarrollar la capacidad de monitorear y equilibrar diversos indicadores técnicos y comerciales (como RASK, CASK, *yield* y *load factor*). A través de esta práctica, el futuro ingeniero aprende a priorizar aquellas variables que ofrecen un mayor beneficio esperado y a destinar los recursos limitados de la organización de manera adecuada, asegurando la sostenibilidad del modelo de negocio.

2. **Validación Institucional:** Proporciona a la universidad un entorno de evidencia para certificar que el egresado cumple con el perfil de egreso en cuanto a resolución de problemas complejos.

3. **Ventaja Competitiva y Resiliencia:** Se busca que el futuro profesional desarrolle una "alfabetización operativa" y la agilidad mental necesaria para liderar en entornos de crisis e interrupción operacional (Clausen et al., 2005), facilitando su inserción y éxito en el mercado laboral.

1.2 Objetivos

Objetivo general

Evaluar el impacto de la simulación como herramienta pedagógica en el desarrollo de competencias en estudiantes de Ingeniería en Aviación Comercial, considerando el perfil y las competencias de egreso y cuantificando su impacto en la adquisición de conocimientos y habilidades estratégicas.

Objetivos Específicos

- Analizar la malla curricular y el perfil de egreso de la carrera de Ingeniería en Aviación Comercial, identificando las áreas de gestión operativa y comercial donde la simulación puede fortalecer el aprendizaje basado en competencias.

- Medir el impacto de las herramientas de simulación en la adquisición de conocimientos específicos relacionados con la gestión de aerolíneas, tales como la planificación de rutas, la gestión de flotas, la fijación de precios y el marketing identificando ventajas y desventajas y considerando las percepciones de los estudiantes y profesores sobre su usabilidad, efectividad y potencial de integración en el currículo.

- Evaluar el desarrollo de habilidades prácticas en los estudiantes, como la toma de decisiones estratégicas, la resolución de problemas, el trabajo en equipo y la capacidad de adaptación a situaciones cambiantes, a través de la experiencia con el software de simulación de negocios aeronáuticos AirwaySim.

- Diseñar un modelo de gestión, seguimiento y mejora continua para esta metodología de simulación en la carrera de Ingeniería en Aviación Comercial de la UTFSM, aplicable a las asignaturas de Taller de Integración de Competencias I y Empresas Aeronáuticas II, que permita evaluar su impacto en el aprendizaje y ajustar la estrategia pedagógica basada en indicadores de desempeño y percepción estudiantil.

1.3 Metodología

La presente investigación se enmarca en un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para obtener una visión integral del impacto de la simulación como herramienta pedagógica en el desarrollo de competencias de los estudiantes de Ingeniería en Aviación Comercial de la UTFSM. Este enfoque permite una mejor comprensión del problema de investigación al triangular datos provenientes de diferentes fuentes. Tal como lo sugiere Creswell (2009), "los métodos mixtos permiten una mejor comprensión del problema de investigación", ya que combinan las fortalezas de ambos enfoques para obtener una visión más completa y contextualizada del fenómeno estudiado.

1.3.1 Diseño de la investigación

El estudio se organiza en cuatro fases principales, siguiendo la taxonomía de los objetivos específicos

Fase 1: Análisis documental y revisión de la literatura

Se revisará la malla curricular y el perfil de egreso actual para identificar los hitos donde la simulación tiene mayor potencial de aporte. Del mismo modo, se llevará a cabo un proceso de identificación, evaluación y síntesis del conocimiento existente sobre el tema a investigar.

Fase 2: Medición de impacto técnico

En esta etapa de la investigación se utilizarán herramientas cuantitativas, que incluirán evaluaciones formativas para medir la adquisición de conocimientos y el desarrollo de habilidades a través de las calificaciones obtenidas. También se analizará la relación entre el desempeño de los estudiantes en la toma de decisiones y la gestión de recursos usando los resultados obtenidos en el simulador con su rendimiento académico en las asignaturas que tienen competencias en común con aquellas que busca desarrollar el simulador. Esto permitirá cuantificar el impacto del simulador en el aprendizaje y el desarrollo de competencias.

Fase 3: Evaluación de habilidades y percepciones

Las herramientas cualitativas, en línea con el alcance descriptivo y exploratorio de la investigación, incluirán cuestionarios a estudiantes para recoger sus percepciones y experiencias con el simulador. El objetivo es evaluar el desarrollo de habilidades blandas y la evaluación del software por parte de quienes lo usaron.

Fase 4: Formulación de la propuesta

Con los datos recolectados se generarán recomendaciones para integrar formalmente el simulador en la(s) asignatura(s) correspondientes.

1.3.2 Instrumentos de recolección de datos

Se utilizarán las siguientes herramientas:

- Cuestionarios tipo Likert: Para medir la percepción de usabilidad y efectividad del software por parte de estudiantes y profesores.

- Pruebas de conocimiento técnico: Enfocadas en los conceptos de gestión comercial y operativa que el simulador permite manipular.

- Análisis de reportes del software: Se utilizarán los datos de desempeño (KPIs) generados por el simulador para medir la efectividad de las decisiones tomadas por los alumnos.

1.3.3 Plan de Análisis de Datos

Para el análisis de datos se utilizarán técnicas cuantitativas como el análisis estadístico descriptivo e inferencial con el fin de obtener conclusiones de los datos obtenidos y extrapolarlos a una población generalizada (estudiantes de Ingeniería en Aviación Comercial que no forman parte de la muestra).

También se utilizarán técnicas cualitativas como el análisis de contenido de las respuestas a los cuestionarios para tomar en cuenta el feedback de los estudiantes, vinculándolo con el modelo de aceptación tecnológica (TAM) de Davis (1987). Según este modelo, una mejor percepción de la facilidad de uso del software se relaciona con una mayor motivación intrínseca, es decir que el estudiante percibe menor esfuerzo y frustración en el proceso de aprender a navegar el software por lo que tenderá a seguir usándolo. Del mismo modo, una mayor utilidad percibida se asocia con un mayor grado de motivación extrínseca, o sea que el estudiante percibe que es un medio eficiente para alcanzar resultados valiosos externos como obtener mejores calificaciones, comprender la gestión de aerolíneas o adquirir competencias para el mercado laboral.

Las calificaciones obtenidas por los estudiantes en evaluaciones sumativas a lo largo del semestre representan el componente de conocimiento técnico. En las asignaturas incluidas en el plan de aplicación del simulador están relacionadas a conceptos de gestión comercial, por lo que se usarán para buscar una relación entre el rendimiento académico de los estudiantes y su rendimiento en la simulación. Esto irá de la mano con el componente de competitividad, ya que aquellas aerolíneas virtuales que obtengan mejor puntuación en una serie de KPIs recibirán puntos de bonificación para la nota final por el uso de AirwaySim.

Finalmente, se realizará una triangulación de datos. Esto consiste en contrastar los resultados cuantitativos (qué tanto aprendieron) con los cualitativos (cómo percibieron el proceso). Este cruce de información permitirá evaluar de manera integral si la simulación es una herramienta efectiva para el desarrollo de las competencias sello de la UTFSM y las exigencias técnicas de la industria aeronáutica.

1.4 Alcance y Limitaciones

1.4.1 Alcance

El alcance del presente estudio se define como:

- Exploratorio: El alcance exploratorio de esta investigación se justifica por la novedad de la problemática y la necesidad de examinar la viabilidad de la simulación de negocios como herramienta pedagógica en la formación de ingenieros en aviación comercial. Si bien el uso de tecnología simulada está ampliamente extendido en el entrenamiento operativo de la aviación, su aplicación en la enseñanza de la gestión estratégica representa un campo en desarrollo; tal como afirman Filazoğlu et al. (2021), "existen muchas aplicaciones de simulación en el entrenamiento de pilotos y técnicos, pero la formación en gestión aeronáutica ha mantenido una educación predominantemente teórica". En este sentido, la investigación explora el impacto de la herramienta en el desarrollo de competencias directivas y en la comprensión sistémica del sector, orientándose a formular propuestas concretas para su integración en el plan de estudios. Este enfoque se alinea con lo planteado por Hernández Sampieri et al. (2014), quienes señalan que los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es "examinar un tema o problema de investigación poco estudiado".

- Descriptivo: El alcance descriptivo se justifica al buscar caracterizar con rigor académico cómo la simulación basada en computadoras influye en el aprendizaje y en la consolidación de competencias de los estudiantes. Más allá de explorar la viabilidad de la herramienta, la finalidad es detallar la relación entre la asimilación teórica y la ejecución práctica en la toma de decisiones. En el marco de la educación basada en competencias, Obaya et al. (2011) sostienen que "el desempeño en la educación está determinado por una manifestación externa que evidencia el nivel de aprendizaje del conocimiento y el desarrollo de las habilidades y de los valores del alumno". De este modo, la investigación mide, describe y cuantifica variables específicas del fenómeno tales como el rendimiento en pruebas de conocimiento, la capacidad de respuesta ante escenarios de disrupción y los indicadores operativos de gestión, cumpliendo con la premisa de Hernández Sampieri et al. (2014) de que los estudios descriptivos "buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis".

1.4.2 Limitaciones y Estrategias de Mitigación

Existen factores externos que podrían influir en los resultados y que deben ser considerados como limitaciones del estudio:

1. **Tamaño de la muestra:** Al tratarse de una carrera con un número acotado de estudiantes por nivel, los resultados obtenidos representan una tendencia dentro de este grupo específico y no necesariamente son generalizables a otras instituciones o carreras.
    - **Mitigación:** Al sostener el uso del simulador en dos asignaturas clave durante periodos distintos, se obtienen datos recurrentes de grupos con características similares, aumentando la consistencia de los hallazgos. Esta limitación se ve compensada por la especificidad del software. Al ser una herramienta diseñada exclusivamente para la gestión aeronáutica, **el estudio no busca una**

generalización universal, sino mostrar que en este contexto, la simulación de negocios aeronáuticos puede ser una herramienta pedagógica útil.

2. **Acceso a licencias:** El estudio depende de la disponibilidad de licencias del software y de la estabilidad de la plataforma técnica para el desarrollo de las sesiones de simulación.
    - **Mitigación:** Se promueve la institucionalización del recurso. La propuesta incluye la planificación presupuestaria anual para la adquisición de licencias suficientes para cubrir ambos niveles, **transformando el software de una herramienta de investigación en un activo pedagógico estándar de la carrera**.

3. **Conocimientos previos:** La diferencia en el nivel de conocimientos base de los estudiantes antes de iniciar la simulación podría influir en el desempeño observado.
    - **Mitigación:** El modelo utiliza la diferencia de niveles como una variable de control comparativa. **Al aplicar el simulador en asignaturas de segundo y cuarto año, el estudio permite medir el "salto de madurez" en la toma de decisiones.** Para mitigar el sesgo, se recomienda la aplicación de un pre-test de conocimientos básicos antes de la simulación, lo que permitirá medir el incremento de aprendizaje (delta) y no solo el resultado final.

4. **Número de períodos de análisis:** La utilización de periodos de análisis no consecutivos limita la observación de la maduración de competencias a largo plazo e introduce posibles sesgos, al igual que dificulta la atribución directa de los resultados al uso del simulador.
    - **Mitigación:** Implementación de un sistema de seguimiento de cohortes**. Al evaluar a los mismos estudiantes en su transición de segundo a cuarto año, se crea una trazabilidad real del impacto del simulador en su formación profesional.** Esto permite transitar de un análisis transversal (un momento en el tiempo) a uno evolutivo, alineado con el modelo de mejora continua propuesto.

Capítulo 2: Estado del Arte

2.1 Antecedentes

La Ingeniería en Aviación Comercial en la Universidad Técnica Federico Santa María forma profesionales con 5 años de estudios universitarios especializados en el campo del transporte aéreo y la aviación civil, cuyo ejercicio profesional se centra en el resguardo de los procedimientos de calidad y seguridad aeroespacial. De acuerdo con el perfil de egreso institucional, el ingeniero posee una sólida formación en ciencias básicas y de ingeniería, la cual se complementa con **amplios conocimientos en administración, gestión, legislación, economía y finanzas** (GESTAL-UTFSM). Esta formación integral permite al egresado desempeñarse con éxito en las áreas administrativas de organizaciones aeronáuticas a nivel nacional e internacional.

Para alcanzar este nivel de especialización, el proceso formativo debe garantizar que el estudiante no solo adquiera conocimientos teóricos, sino que desarrolle la capacidad de aplicarlos en entornos de alta complejidad operativa. En este sentido, la simulación surge como una herramienta para integrar las ciencias de la ingeniería con la gestión administrativa, permitiendo al futuro profesional experimentar con variables de economía y gestión en un entorno controlado.

A fin de contextualizar el uso de estas herramientas en la formación profesional, esta sección se estructura en tres ejes temáticos: La simulación en la educación superior, aplicaciones de la simulación en la gestión empresarial y una breve discusión bibliográfica.

2.1.1 La simulación en la educación superior

La integración de tecnologías inmersivas en la educación superior ha reestructurado la enseñanza de disciplinas técnicas y de ingeniería. En la literatura reciente, la simulación se posiciona como un soporte metodológico para mejorar los estándares de formación. De acuerdo con Dinçer (2023), la evidencia empírica confirma "un vínculo favorable entre la incorporación tecnológica y mejores resultados de aprendizaje, un mayor entusiasmo de los estudiantes y una retención superior del conocimiento". En este contexto, la adopción de simulación y aprendizaje basado en juegos responde a una transformación pedagógica orientada, según Hakak et al. (2019), a "superar la pasividad del aprendizaje tradicional", promoviendo un mayor compromiso cognitivo (*engagement*) mediante la interacción directa en entornos digitales.

En la enseñanza de la ingeniería y la gestión, la implementación de estos entornos virtuales facilita el desarrollo de competencias complejas dentro de un espacio de entrenamiento exento de riesgo operativo. Al respecto, Aguiar-Castillo et al. (2021) destacan que la gamificación en la educación superior estimula enfoques de "aprendizaje profundo" (*deep learning*), permitiendo al estudiante asimilar la dinámica de procesos estratégicos de negocio. Esta efectividad es respaldada por Sharma et al. (2024), quienes sostienen que la integración de mecánicas de juego en la educación universitaria potencia el rendimiento académico y favorece una "retención de conocimientos más duradera" al articular la teoría con la resolución práctica de problemas.

En el ámbito de la gestión, los simuladores han evolucionado para permitir que los estudiantes desarrollen modelos mentales complejos orientados a la toma de decisiones. Como señalan Elsawah et al. (2017), las herramientas de simulación se utilizan para "apoyar el aprendizaje y la toma de decisiones en sistemas complejos, permitiendo a los usuarios experimentar con opciones de políticas y comprender el comportamiento dinámico no lineal". Esto resulta fundamental en la formación en ingeniería, donde se requiere la capacidad de gestionar y ponderar múltiples variables interconectadas de forma simultánea.

Asimismo, la literatura evidencia que la simulación incrementa su efectividad pedagógica cuando se articula con mecánicas de gamificación. En el ámbito aeronáutico, Filazoğlu et al. (2021) destacan que la implementación de software especializado en la replicación de operaciones reales, como la gestión aeroportuaria o de aerolíneas, permite a los estudiantes "adquirir experiencia práctica y desarrollar habilidades operativas en un entorno controlado", reforzando las competencias profesionales y la motivación hacia el aprendizaje. De este modo, la simulación trasciende el ejercicio aislado para consolidarse como un entorno didáctico dinámico alineado con las exigencias de la industria.

Diversos estudios fundamentan que la simulación de negocios constituye un entorno eficaz para incrementar la motivación y la interactividad en el proceso de aprendizaje (Borrajo et al., 2010; Sharma et al., 2024). La gamificación, mediante la integración de mecánicas de juego en la educación superior, contribuye a sostener la atención y el compromiso del estudiante con la materia. Al respecto, Grijalvo et al. (2022) afirman que el diseño de marcos gamificados fomenta "un aprendizaje más activo y una mayor implicación del estudiante con los contenidos académicos". De manera complementaria, Capatina et al. (2024) señalan que la ludificación aplicada "potencia la retención del conocimiento, la transferencia de información y el desempeño práctico", al transformar la asimilación teórica en una experiencia interactiva orientada a la resolución de problemas.

No obstante, la efectividad pedagógica del compromiso motivacional requiere una estructuración adecuada de los estímulos para evitar la saturación en la memoria de trabajo. En este ámbito resulta fundamental la Teoría de la Carga Cognitiva postulada por Sweller (1988), la cual explica las limitaciones de la capacidad cognitiva humana para procesar nueva información. Como sostiene Sweller (1988), "si los requerimientos de procesamiento de una tarea superan la capacidad de la memoria de trabajo, el aprendizaje se ve gravemente obstaculizado", lo que exige diseñar entornos didácticos que minimicen el esfuerzo mental por parte del estudiante.

Los entornos de simulación abordan esta limitación al presentar datos operativos e indicadores de gestión de forma visual y estructurada. Al emplear interfaces dinámicas y escenarios contextualizados, el simulador disminuye la "carga cognitiva extraña" (*extraneous cognitive load*) (Sweller, 1988, p. 259), evitando el procesamiento de información irrelevante y enfocando los recursos atencionales hacia la "construcción de esquemas conceptuales para la toma de decisiones estratégicas" (Borrajo et al., 2010). En consecuencia, el software articula la motivación del alumno con la optimización del procesamiento cognitivo en la resolución de escenarios complejos.

2.1.2 Aplicaciones de la simulación en la gestión empresarial y la toma de decisiones

La simulación computacional y la gamificación se han consolidado en la educación superior como herramientas para la enseñanza de la gestión y la toma de decisiones estratégicas. Según Hakak et al. (2019), estas tecnologías permiten "superar la pasividad del aprendizaje tradicional" al poner al estudiante en entornos interactivos. En el ámbito organizacional, Capatina et al. (2024) afirman que el uso de plataformas simuladas "potencia la retención del conocimiento, la transferencia de información y el desempeño práctico", mientras que Aguiar-Castillo et al. (2021) destacan su efectividad para promover un aprendizaje profundo en la asimilación de procesos de negocio. Asimismo, el desarrollo de los Management Flight Simulators (MFS) permite la representación de marcos de decisión dinámicos; al respecto, Elsawah et al. (2017) sostienen que estas herramientas respaldan la comprensión de "sistemas complejos" y el comportamiento dinámico no lineal, facilitando la experimentación mediante el ensayo y error sin asumir riesgos financieros o consecuencias operativas reales (Borrajo et al., 2010; Grijalvo et al., 2022).

En el sector aeronáutico, la aplicación de simuladores ha evolucionado desde el entrenamiento puramente técnico de tripulaciones hacia la gestión estratégica y operativa. Como señala Dinçer (2023), la incorporación de simulación en la formación aeronáutica muestra una "correlación positiva con la retención de conocimientos y el rendimiento académico". Específicamente en la administración del sector, Filazoğlu et al. (2021) observan que, a diferencia de la instrucción teórica convencional, el uso de software de gestión aeroportuaria y de aerolíneas permite "adquirir experiencia práctica y desarrollar habilidades operativas en un entorno controlado". Esta capacidad de modelación es respaldada por Kierzkowski (2008), quien fundamenta el uso de la simulación computacional para analizar la interacción de los componentes funcionales en terminales y operaciones aéreas. De este modo, la simulación permite proyectar las consecuencias en cadena que decisiones de planificación (como la asignación de flota, el diseño de redes de rutas o la fijación de tarifas) generan sobre la estructura de costos y los indicadores de desempeño.

En esta línea, los Management Flight Simulators (MFS) constituyen herramientas diseñadas para la gestión de sistemas dinámicos complejos. De acuerdo con Elsawah et al. (2017), la interacción con un MFS permite intervenir en los "modelos mentales" del estudiante, entendidos como las estructuras cognitivas internas mediante las cuales quienes toman decisiones evalúan e interpretan la realidad, al confrontar sus supuestos teóricos con la respuesta del simulador. En sus conclusiones, los autores afirman que el modelado dinámico resulta efectivo para "apoyar el aprendizaje y la toma de decisiones en sistemas complejos, permitiendo a los usuarios experimentar con opciones de políticas y comprender el comportamiento dinámico no lineal". En este contexto, esta aproximación permite analizar de forma cuantitativa cómo decisiones tácticas desencadenan efectos sobre la operación y los estados financieros de la empresa.

La efectividad pedagógica de estas herramientas radica en su capacidad para replicar la complejidad sistémica de los entornos organizacionales. Al respecto, Grijalvo et al. (2022) afirman que los juegos de negocios basados en computadora permiten enfrentar escenarios donde los estudiantes adaptan sus decisiones dinámicamente, promoviendo "un aprendizaje más activo y una mayor implicación con los contenidos académicos". Esta capacidad de

respuesta potencia el rendimiento estratégico, puesto que, como destacan Capatina et al. (2024), la simulación interactiva "potencia la retención del conocimiento, la transferencia de información y el desempeño práctico" al permitir que el alumno evalúe en tiempo real el impacto directo de sus acciones sobre los indicadores clave de desempeño.

El análisis transversal de los estudios aplicados a la simulación y la gamificación educativa (Borrajo et al., 2010; Grijalvo et al., 2022; Capatina et al., 2024; Razzaghi et al., 2024) revela una convergencia metodológica en su diseño experimental. En primer lugar, estas investigaciones construyen sus marcos de evaluación mediante entornos interactivos basados en modelos de lazo cerrado (*closed-loop*), donde las decisiones del usuario alteran en tiempo real el estado del sistema y generan retroalimentación inmediata. En segundo lugar, reemplazan la evaluación estática basada en pruebas escritas por la medición continua de indicadores operativos y financieros de desempeño, sometiendo al estudiante a escenarios dinámicos caracterizados por la incertidumbre y la interacción competitiva.

En cuanto a sus conclusiones, las evidencias aportadas por estos autores respaldan directamente la hipótesis central de esta investigación sobre la distinción entre la memorización teórica y el aprendizaje sistémico. Grijalvo et al. (2022) y Capatina et al. (2024) concluyen de manera similar que los entornos simulados potencian la retención del conocimiento, la transferencia de información y el desempeño práctico, demostrando que la asimilación conceptual por si sola no garantiza por sí sola la capacidad de ejecución. De forma complementaria, Borrajo et al. (2010) y Razzaghi et al. (2024) sostienen que la resolución de problemas en entornos complejos requiere un procesamiento cognitivo centrado en la adaptación y el análisis multicausal, validando que el dominio de competencias de gestión se consolida únicamente cuando el estudiante confronta la teoría con la toma de decisiones en tiempo real.

2.2 Marco teórico

El Marco Teórico constituye el sustento analítico que fundamenta la validez de la presente investigación. Una vez analizados los antecedentes y el estado actual de la tecnología educativa en el sector, resulta imperativo establecer los pilares científicos que justifican por qué el uso de simuladores avanzados favorece la adquisición de competencias profesionales de ingeniería. Para ello, esta sección se articula en dos dimensiones complementarias: en primer lugar, los fundamentos pedagógicos y psicológicos, orientados a la gestión de la carga cognitiva y al modelo de aprendizaje experiencial dentro del marco institucional de formación por competencias; y en segundo lugar, los fundamentos de gestión aeronáutica, que definen las variables críticas de rentabilidad, operación y toma de decisiones que el futuro profesional debe dominar.

2.2.1 Fundamentos Pedagógicos

Educación Basada en Competencias (EBC) y el Modelo Institucional

Argudín (2006) define la Educación Basada en Competencias (EBC) como una estructura pedagógica orientada a la "integración articulada de conocimientos, capacidades, habilidades, actitudes y valores". A diferencia de los modelos centrados en la retención memorística, este enfoque sostiene que una competencia constituye "la capacidad de actuar de manera eficaz en una situación determinada, apoyándose en los conocimientos, pero sin devaluarse en una mera acumulación de estos" (Argudín, 2006). De este modo, el conocimiento conceptual se configura como un recurso aplicable a contextos de operación.

Bajo la perspectiva de la autora, la EBC se estructura sobre tres principios fundamentales:

- **Enfoque holístico:** Los saberes conceptuales, procedimentales y actitudinales no se desarrollan de forma aislada, sino que "se movilizan de manera simultánea frente a la tarea".

- **El desempeño como evidencia:** La evaluación escrita tradicional resulta limitada para medir competencias, dado que el dominio práctico "se manifiesta únicamente a través de la ejecución y la resolución de problemas reales".

- **Reconfiguración de roles:** El estudiante asume la autorregulación de su aprendizaje, mientras que el docente transita desde la transmisión de contenidos hacia la facilitación de entornos estratégicos.

El núcleo del modelo radica en la articulación de la tríada del aprendizaje: el "saber" (conocimiento técnico), el "saber hacer" (habilidades operativas) y el "saber ser" (actitudes y valores). Esta interrelación busca una comprensión sistémica de la disciplina, preparando al estudiante para interactuar en entornos dinámicos donde la aplicación de la teoría no es lineal y exige adaptabilidad ante variables del entorno.

Por su parte, Tobón (2011) aborda las competencias desde la socioformación, enmarcándolas en el pensamiento complejo y la teoría de sistemas. Tobón define las competencias como "actuaciones integrales ante actividades y problemas del contexto, con idoneidad y compromiso ético, integrando el saber ser, el saber conocer y el saber hacer". Desde este marco, el individuo no demuestra competencia por la simple ejecución de tareas, sino por su capacidad para movilizar recursos conectados entre si frente a escenarios caracterizados por la incertidumbre y la multicausalidad.

El enfoque socioformativo delimita tres criterios para la estructuración curricular y la evaluación del desempeño:

- **Idoneidad:** El actuar del estudiante cumple con parámetros explícitos de calidad, eficacia y pertinencia técnica dentro de la disciplina.

- **Resolución de problemas del contexto:** Las actividades formativas se organizan en torno a desafíos reales del entorno profesional, superando los ejercicios teóricos descontextualizados.

- **Pensamiento complejo:** Capacidad del estudiante para "reconocer la interdependencia entre las variables de un sistema y anticipar el impacto global de sus decisiones".

La síntesis de ambas posturas teóricas define el marco conceptual aplicable a esta investigación. De Argudín (2006) se adopta la conceptualización de la competencia como una estructura tridimensional (saber, saber hacer y saber ser), junto con la premisa de que el logro educativo debe validarse mediante evidencias directas de desempeño en la acción. De Tobón (2011) se integra la noción de pensamiento complejo y la exigencia de que el aprendizaje ocurra mediante la resolución de problemas contextualizados y sistémicos. En conjunto, ambos referentes establecen que el desarrollo de una competencia profesional demanda un entorno donde el conocimiento abstracto se transforme en una ejecución práctica, medible y multivariable.

En la Universidad Técnica Federico Santa María, este modelo se traduce en las competencias sello del Ingeniero en Aviación Comercial, las cuales buscan formar profesionales capaces de gestionar integralmente las operaciones de empresas de transporte aéreo y aeropuertos, bajo un enfoque de eficiencia, seguridad y sostenibilidad (UTFSM, s.f.). Estas competencias se materializan a través de una malla curricular que incluye asignaturas como Infraestructura y Servicios Aeroportuarios (IAC012), Operaciones y Logística Aeronáutica (IAC018), Seguridad Operacional y SMS (IAC016), Sistemas Integrados de Gestión (IAC026), Empresas Aeronáuticas I (IAC007), Gestión Estratégica (IAC022), Decisiones Financieras Aeronáuticas (IAC023) y Taller de Integración de Competencias I y II (IAC003/009).

Las asignaturas del área de gestión e ingeniería demandan la integración de competencias orientadas al pensamiento crítico, la resolución de problemas y la toma de decisiones en entornos dinámicos. En este contexto, la simulación computacional y la gamificación se configuran como estrategias metodológicas afines a los principios de la Educación Basada en Competencias (EBC). Al respecto, Grijalvo et al. (2022) sostienen que estos entornos virtuales promueven un aprendizaje más activo y una mayor implicación del estudiante con los contenidos académicos, favoreciendo el trabajo colaborativo y la adaptabilidad ante escenarios imprevistos. De forma complementaria, Aguiar-Castillo et al. (2021) destacan que la gamificación contribuye a "fomentar la autonomía y el compromiso del estudiante con su propio proceso de aprendizaje". En consecuencia, la incorporación de plataformas de simulación facilita la transición desde la enseñanza teórica hacia la experimentación aplicada en la malla curricular; al manipular variables de ingresos, planificación de rutas y asignación de flotas, el estudiante evalúa los efectos de sus decisiones sobre el sistema en tiempo real.

Teoría de la Carga Cognitiva (Sweller)

La gestión en ingeniería en aviación comercial requiere el procesamiento continuo de variables operativas y financieras en entornos dinámicos. Esta complejidad deriva de la necesidad de equilibrar los requerimientos de la seguridad operacional con los objetivos de rentabilidad económica bajo restricciones temporales (Clausen et al., 2005). Desde la

perspectiva de la Teoría de la Carga Cognitiva (CLT), Sweller (1988) sostiene que el aprendizaje ocurre únicamente cuando la carga impuesta a la memoria de trabajo no supera su capacidad limitada de procesamiento. En la gestión aeronáutica, donde se integran simultáneamente factores de seguridad, costos, itinerarios y mantenimiento, la sobrecarga atencional afecta la toma de decisiones si no se estructuran adecuadamente los estímulos del entorno (Clausen et al., 2005; Sweller, 1988).

Sweller (1988) clasifica la carga cognitiva en tres dimensiones:

1. **Carga intrínseca:** Corresponde a la complejidad inherente al contenido específico de estudio, determinada por la interacción entre sus elementos (por ejemplo, la relación entre el *Revenue Management*, la capacidad ofertada y el factor de ocupación o *Load Factor*).

2. **Carga extraña (*extraneous load*):** Refiere al esfuerzo mental provocado por la forma en que se presenta la información. Las plataformas de simulación buscan minimizar este tipo de carga mediante interfaces estructuradas que evitan el procesamiento de elementos irrelevantes para la tarea.

3. **Carga germana o relevante (*germane load*):** Constituye el esfuerzo cognitivo dedicado directamente al procesamiento, la integración y la construcción de esquemas conceptuales para la toma de decisiones.

El valor metodológico de los entornos simulados reside en su capacidad para dosificar estas cargas de procesamiento. Al respecto, Elsawah et al. (2017) plantean que los simuladores de gestión permiten una progresión gradual en la complejidad de los escenarios operativos, lo que faculta al usuario para "experimentar con opciones de políticas y comprender el comportamiento dinámico no lineal". Esta secuencia favorece la automatización de esquemas cognitivos, liberando capacidad en la memoria de trabajo para abordar problemas de mayor complejidad.

En la formación en Ingeniería en Aviación Comercial, esta arquitectura didáctica facilita la integración de los contenidos de asignaturas como Decisiones Financieras Aeronáuticas y Operaciones y Logística Aeronáutica. La interacción continuada con el software permite al estudiante confrontar y refinar sus modelos mentales en un entorno controlado, reduciendo la saturación atencional frente a situaciones críticas y optimizando la efectividad de sus decisiones tácticas y estratégicas.

El Ciclo de Aprendizaje Experiencial de Kolb

La simulación computacional como estrategia pedagógica en ingeniería se fundamenta en el modelo de aprendizaje experiencial, el cual establece que el conocimiento no constituye un estado estático, sino "el proceso mediante el cual el conocimiento se crea a través de la transformación de la experiencia" (Kolb, 1984). De acuerdo con Kolb, el desarrollo de competencias ocurre cuando el estudiante transita de forma cíclica por cuatro etapas interconectadas. En el ámbito de la gestión aeronáutica, el uso de un simulador permite ejecutar este ciclo de manera iterativa:

- **Experiencia Concreta (EC):** El estudiante interactúa directamente con el entorno operativo de la aerolínea simulada, asumiendo la toma de decisiones iniciales sobre asignación de flota, planificación de redes de rutas y fijación de tarifas frente a escenarios de incertidumbre.

- **Observación Reflexiva (OR):** Tras la ejecución del período de simulación, el alumno examina los reportes de gestión e indicadores de desempeño (tales como el factor de ocupación o *Load Factor*, el *RASK* y el *CASK*), evaluando las desviaciones entre los resultados financieros y operativos obtenidos respecto a las metas proyectadas.

- **Conceptualización Abstracta (CA):** El estudiante integra las observaciones empíricas con los marcos teóricos de asignaturas de gestión y finanzas aeronáuticas, sistematizando la experiencia al comprender la dinámica causal que rige la relación entre las variables del sistema.

- **Experimentación Activa (EA):** El estudiante aplica las conclusiones teóricas en el ciclo subsiguiente de la simulación, probando hipótesis y nuevas estrategias tácticas para la optimización de los resultados operativos y financieros.

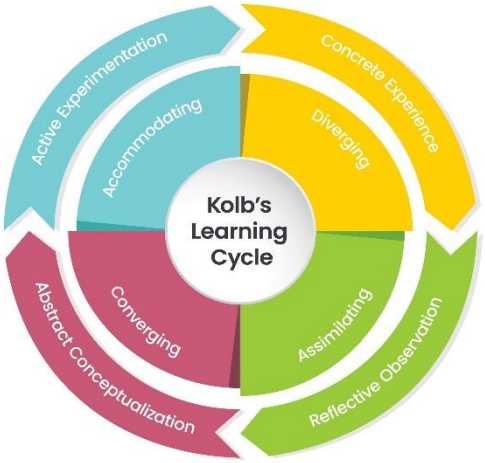


Figura 1: Ciclo de aprendizaje experiencial de Kolb. Fuente: Adaptado de *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*, por D. A. Kolb, 1984, Prentice-Hall

Esta metodología permite que el error sea integrado como un insumo valioso de información y no simplemente como una falla académica. Al experimentar de manera controlada las consecuencias sistémicas de sus acciones en la plataforma virtual, el estudiante consolida competencias operativas que promueven la "transferencia de información y el desempeño práctico" (Capatina et al., 2024) hacia el ejercicio profesional en la gestión aeronáutica.

Para finalizar esta fundamentación pedagógica, resulta pertinente contrastar cómo la simulación y la gamificación superan las limitaciones de los métodos de enseñanza tradicionales en la formación de competencias técnicas de ingeniería:

Característica	Educación Tradicional (Pasiva)	Simulación/Gamificación (Activa)
Rol del Estudiante	Receptor pasivo de información teórica.	Protagonista y gestor de su propio aprendizaje.
Escenario de Aplicación	Casos estáticos, lineales y simplificados.	Entornos dinámicos, volátiles y sistémicos.
Gestión del Error	Penalizado a través de evaluaciones puntuales.	Insumo crítico para el ciclo de mejora continua.
Naturaleza del Feedback	Diferido (entrega de notas o correcciones).	Inmediato y basado en resultados operativos.

Tabla 1: Comparativa entre Educación Tradicional y Simulación/Gamificación. Fuente: Elaboración propia a partir de la bibliografía.

2.2.2 Fundamentos de Gestión Aeronáutica

Los fundamentos de la gestión aeronáutica comprenden la estructura técnico-económica que determina la viabilidad operativa y la sostenibilidad financiera de las empresas de transporte aéreo (Doganis, 2009). Esta sección aborda las variables estratégicas del sector, tales como la gestión de ingresos (*Revenue Management*), la optimización del uso de la flota y la gestión de contingencias en la red de rutas (Clausen et al., 2005; Doganis, 2009). Al respecto, Doganis sostiene que la rentabilidad de las aerolíneas depende de "la capacidad de maximizar el ingreso por unidad de capacidad ofertada mientras se mantiene un estricto control de los costos operativos". En consecuencia, este marco conceptual define los indicadores métricos (RASK, CASK y factor de ocupación) y los modelos de decisión que las plataformas de simulación emulan para replicar la dinámica competitiva del mercado aeronáutico.

Gestión de Ingresos (Revenue Management) e Indicadores de Rendimiento

La gestión de ingresos, o *Revenue Management* (RM), se define como el proceso de optimización de los beneficios de una empresa de transporte aéreo mediante el control del inventario de asientos y el ajuste de las estructuras tarifarias en función de la demanda proyectada (Doganis, 2009). Como señala Doganis, el objetivo central de esta disciplina consiste en "maximizar los ingresos por vuelo mediante la asignación diferencial de la capacidad a distintos niveles tarifarios según la disposición a pagar del mercado". Para evaluar el impacto de estas estrategias sobre el desempeño operativo y la sostenibilidad económica de la operación, la industria emplea indicadores métricos estandarizados que permiten descomponer el rendimiento en términos de capacidad ofertada (ASK), tráfico de pasajeros (RPK) y eficiencia financiera (RASK y CASK).

Indicadores de Capacidad y Tráfico

El fundamento de cualquier análisis en ingeniería de transporte aéreo reside en la medición de la oferta y la demanda. La oferta se cuantifica a través de los Asientos-Kilómetro Disponibles (ASK, por sus siglas en inglés), que representan la capacidad total de transporte de la aerolínea:

$$\boldsymbol{ASK = \sum (Asientos\ Disponibles\ x\ Distancia\ Volada)}$$

Por otro lado, la demanda efectiva se mide mediante los Pasajeros-Kilómetro Transportados (RPK), que contabilizan únicamente a los pasajeros que generan ingresos:

$$\boldsymbol{RPK = \sum (Pasajeros\ Pagos\ x\ Distancia\ Volada)}$$

La relación entre ambos indicadores determina el Factor de Ocupación o *Load Factor* (LF), el cual expresa el porcentaje de la capacidad instalada que ha sido efectivamente utilizada:

$$\boldsymbol{LF = \left(\frac{RPK}{ASK}\right) x\ 100}$$

Indicadores de Rendimiento Unitario y Rentabilidad

Para un análisis económico profundo, es necesario normalizar los ingresos y costos por unidad de capacidad. El *Yield* es la métrica que indica el ingreso promedio percibido por cada unidad de tráfico transportada:

$$\boldsymbol{Yield = \frac{Ingresos\ por\ pasaje}{RPK}}$$

Sin embargo, para medir la rentabilidad global de la operación en relación con la oferta, se emplean el RASK (Ingreso por Asiento-Kilómetro Disponible) y el CASK (Costo por Asiento-Kilómetro Disponible). El RASK refleja la capacidad de la aerolínea para generar ingresos a partir de su oferta total, mientras que el CASK mide la eficiencia operativa y el control de gastos:

$$\boldsymbol{RASK = \frac{Ingresos\ operativos\ totales}{ASK}}$$

$$\boldsymbol{CASK = \frac{Costos\ operativos\ totales}{ASK}}$$

Finalmente, el punto de equilibrio operativo se define mediante el *Break-even Load Factor* (BELF). Este indicador representa el porcentaje de ocupación necesario para que los ingresos operativos igualen a los costos operativos, asumiendo un nivel de *Yield* constante:

$$\boldsymbol{BELF = \left(\frac{CASK}{Yield}\right) x\ 100}$$

Bajo este marco, una operación se considera rentable solo cuando el Factor de Ocupación real es superior al *Break-even Load Factor*, o de manera equivalente, cuando el RASK supera al CASK (Doganis, 2009). Estas métricas permiten al ingeniero en aviación comercial diagnosticar si las desviaciones en la rentabilidad provienen de deficiencias en la gestión comercial (tarifas y ocupación) o de ineficiencias en la estructura de costos.

Gestión de Activos y utilización de la flota

La gestión de activos en la aviación comercial se centra en maximizar la productividad de la flota, dado que las aeronaves representan la inversión de capital más significativa para una empresa de transporte aéreo. La productividad de un avión está directamente relacionada con su utilización, la cual se define habitualmente como el número de horas de vuelo o de bloque que una aeronave realiza en un periodo determinado (Doganis, 2009).

Métricas de utilización de flota

Para cuantificar la eficiencia en el uso de los activos, se utiliza el indicador de Utilización Diaria, expresado generalmente en Horas de Bloque por día. Este valor refleja el tiempo total que la aeronave está en operación, desde que se quitan las calzas en el aeropuerto de origen hasta que se ponen en el de destino:

$$\boldsymbol{Utilización\ Diaria = \frac{\sum Horas\ de\ Bloque\ totales}{Número\ de\ Días\ en\ el\ periodo\ x\ Número\ de\ aeronaves}}$$

Una alta utilización permite diluir los costos fijos (como el *leasing* del avión, seguros y gran parte de los salarios de la tripulación) entre un mayor número de Asientos-Kilómetro Disponibles (ASK), reduciendo así el CASK unitario.

La Relación entre Utilización y Mantenimiento

No obstante, la maximización de la utilización diaria de la flota introduce restricciones operativas sobre la planificación del mantenimiento técnico. Al respecto, Kierzkowski (2008) sostiene que existe una relación inversa entre la intensidad en el uso de las aeronaves y la flexibilidad temporal para ejecutar intervenciones preventivas y correctivas. En modelos de alta utilización característicos de las aerolíneas de bajo costo o *Low-Cost Carriers* (LCC), la minimización de los tiempos de rotación (*turnaround times*) reduce los márgenes de holgura operacional, lo que exige una coordinación rigurosa entre la planificación comercial y el área de mantenimiento para evitar que las paradas programadas afecten la disponibilidad de la flota (Clausen et al., 2005; Kierzkowski, 2008).

En este contexto, la gestión de activos aeronáuticos enfrenta una disyuntiva estructural (*trade-off*) entre la maximización de las horas de vuelo por aeronave, orientada a la dilución de costos fijos operacionales, y la preservación de los requerimientos de aeronavegabilidad y confiabilidad técnica (Doganis, 2009; Kierzkowski, 2008). Esta optimización requiere un enfoque sistémico en el que el diseño de itinerarios e integre simultáneamente las proyecciones de demanda, la capacidad instalada en las bases de mantenimiento y los límites de ciclos operativos de los componentes de la flota, variables clave para garantizar la continuidad operacional y la sostenibilidad financiera de la aerolínea (Clausen et al., 2005; Doganis, 2009).

2.3 Discusión Bibliográfica

A diferencia del entrenamiento técnico de tripulaciones mediante simuladores de vuelo (cuya investigación se encuentra ampliamente estandarizada y consolidada), la aplicación de simuladores de gestión (Management Flight Simulators, MFS) en la toma de decisiones comerciales, financieras y operativas presenta un cuerpo de literatura en desarrollo y distribuido de forma heterogénea (Borrajo et al., 2010; Elsawah et al., 2017). Mientras la simulación técnica responde a marcos normativos de instrucción unificados, la simulación enfocada en la gestión de empresas se halla dispersa entre disciplinas como la ingeniería industrial, la pedagogía técnica y la administración estratégica (Borrajo et al., 2010; Capatina et al., 2024). En este escenario, la conducción de una revisión sistemática de la literatura permite identificar las brechas en la investigación aplicada a la gestión del transporte aéreo, fundamentando la necesidad de estructurar marcos metodológicos y pedagógicos específicos para esta área (Elsawah et al., 2017).

2.3.1 Búsqueda y hallazgos orientados a la gestión aerocomercial

Para dimensionar la brecha de investigación, se realizó un análisis métrico basado en un modelo de búsqueda en embudo (*funnel search*), utilizando bases de datos académicas (Scopus, Web of Science y Google Scholar). Este procedimiento permite visualizar cómo el volumen de publicaciones disponibles se reduce al transitar desde conceptos generales de la industria hacia herramientas específicas de toma de decisiones estratégicas.

Nivel de Búsqueda	Términos de Referencia	Resultados Aproximados
1. Industria General	*"Aviation" OR "Air Transport"*	> 400,000
2. Enfoque en Gestión	*"Aviation Management" OR "Airline Business"*	~ 6,000
3. Componente Tecnológico	*Nivel 2 + ("Simulation" OR "Gamification")*	~ 100
4. Nicho Específico (Brecha)	*Nivel 3 + ("Management Decision" OR "Business Game") NOT "Flight Training"*	**< 50**

Tabla 2: Análisis cuantitativo de la producción científica (periodo 2015-2025). Fuente: Elaboración propia tras búsqueda por título y palabra clave en Scopus, Web of Science y Google Scholar.

	Scopus	Web of Science	Scholar
Nivel 1	**<140000**	**<50000**	**<200000**
Nivel 2	**415**	**166**	**4430**
Nivel 3	**22**	**7**	**61**
Nivel 4	**0**	**0**	**47**

Tabla 3: Descomposición de los resultados de búsqueda según base de datos consultada. Fuente: Scopus, Web of Science y Google Scholar. **Nota: las queries de búsqueda se encuentran en los anexos.**

Este análisis revela que, si bien existe una vasta literatura sobre aviación, **la producción científica centrada específicamente en el uso de simuladores para la gestión de negocios aeronáuticos representa menos del 0.05% del conocimiento total del sector**. Al aplicar el filtro de exclusión *"NOT Flight Training"*, se observa que la mayoría de la investigación sobre simulación en aviación está capturada por el entrenamiento técnico de pilotos, dejando la formación de cuadros directivos y de ingeniería comercial en un segundo plano bibliográfico.

Esta disparidad numérica no responde a una menor complejidad del sector aéreo (el cual, según Doganis (2009), presenta una de las estructuras de costos y volatilidad más desafiantes del mercado) sino a una falta de sistematización en las herramientas de enseñanza para la gestión aerocomercial. Los datos confirman que el presente estudio aborda un área con una alta necesidad de formalización y una escasa saturación de soluciones documentadas.

2.3.2 Discusión

A partir del análisis de la literatura y los hallazgos métricos descritos, la discusión se articula en torno a tres ejes críticos que fundamentan la necesidad de integrar simuladores de gestión en la formación del Ingeniero en Aviación Comercial.

La primera tensión emergente de la literatura radica en la asimetría en el desarrollo de metodologías de simulación entre la instrucción de vuelo técnico y la formación en gestión aerocomercial. Mientras el entrenamiento de tripulaciones cuenta con un marco normativo y metodológico altamente consolidado, la evidencia bibliográfica demuestra que la enseñanza de la economía y la gestión estratégica de aerolíneas se ha sustentado de manera predominante en esquemas teóricos estáticos (Borrajo et al., 2010). Al respecto, Doganis (2009) sostiene que la estructura económica del transporte aéreo se caracteriza por "márgenes de beneficio reducidos y una elevada sensibilidad frente a fluctuaciones imprevistas en los costos operativos y la demanda", lo que exige habilidades de análisis dinámico que exceden los alcances de la enseñanza expositiva tradicional. En este sentido, Filazoğlu et al. (2021) señalan que la simulación de operaciones aéreas constituye un recurso metodológico esencial para que el estudiante "comprenda la interdependencia sistémica entre las variables aeroportuarias, financieras y comerciales", reduciendo la brecha entre la adquisición conceptual y la aplicación estratégica en entornos dinámicos.

La segunda tensión contrapone los límites de la enseñanza pasiva frente al impacto de los entornos de aprendizaje activo basados en simulación. La literatura revisada indica que las metodologías pedagógicas tradicionales en ingeniería suelen inducir un exceso de carga cognitiva extraña (*extraneous load*), lo que dificulta la retención conceptual y la estructuración de esquemas mentales de orden superior (Borrajo et al., 2010; Sweller, 1988). Al contrastar esta condición con los principios de la Teoría de la Carga Cognitiva (Sweller, 1988) y el Modelo de Aprendizaje Experiencial (Kolb, 1984), la bibliografía fundamenta que las plataformas de simulación (*Management Flight Simulators*, MFS) actúan como mediadores en la dosificación del procesamiento mental. Específicamente, Elsawah et al. (2017) plantean que la utilidad principal de un MFS radica en su capacidad para facilitar "la evolución y el refinamiento de los modelos mentales del usuario frente al comportamiento de sistemas complejos no lineales". De este modo, la evidencia sugiere que la interacción con simuladores permite experimentar con la complejidad sistémica en un marco de riesgo controlado, canalizando el esfuerzo cognitivo hacia la carga germana (*germane load*) para la construcción de esquemas de conocimiento transferibles al entorno profesional (Capatina et al., 2024; Elsawah et al., 2017; Sweller, 1988).

Finalmente, el análisis de la literatura evidencia una limitación metodológica recurrente: la escasez de investigaciones de carácter longitudinal centradas en la maduración progresiva de competencias directivas. Si bien perspectivas recientes como la de Dinçer (2023) destacan el impacto pedagógico de las herramientas digitales en la instrucción aeronáutica, el autor advierte que "persiste una limitada evidencia empírica sobre la retención y transferencia de competencias estratégicas a lo largo de los diferentes niveles del plan de estudios". Esta condición representa la principal brecha identificada en el estado del arte; aun cuando se constata un consenso en torno a la utilidad didáctica de los simuladores de gestión (*Management Flight Simulators*, MFS), existe una reducida presencia de marcos evaluativos que midan la evolución del desempeño del estudiante a medida que transita desde las asignaturas de ciencias básicas e ingeniería aplicada hacia los ciclos de síntesis profesional (Dinçer, 2023; Elsawah et al., 2017).

En consecuencia, la literatura analizada fundamenta la necesidad de implementar modelos de evaluación continua y retroalimentación en ciclo cerrado (*closed-loop*). Estos esquemas permiten auditar cuantitativamente la evolución en la toma de decisiones del estudiante, asegurando que la integración tecnológica en el aula responda a la consecución efectiva de las competencias definidas en el perfil de egreso de la carrera (Grijalvo et al., 2022).

La integración de la Educación Basada en Competencias (EBC) articula la convergencia entre el marco pedagógico y la definición del perfil de egreso profesional. Bajo el modelo de la EBC, la efectividad del proceso formativo no se evalúa por la acumulación declarativa de contenidos, sino por la "capacidad demostrada del estudiante para movilizar e integrar recursos (conocimientos, habilidades y actitudes) en la resolución de problemas en contextos profesionales complejos" (Argudín, 2006). En la ingeniería en aviación comercial, esta orientación exige transitar desde metodologías de evaluación memorísticas hacia la verificación del desempeño práctico frente a escenarios de incertidumbre operativa (Capatina et al., 2024).

A diferencia de los instrumentos de evaluación escrita tradicionales, las plataformas de simulación de gestión (*Management Flight Simulators*, MFS) permiten observar la ejecución de la competencia en tiempo real, facilitando la alineación de las actividades de enseñanza con los estándares que demanda la industria (Grijalvo et al., 2022). Bajo el marco de la EBC, el simulador evoluciona desde una herramienta complementaria hacia un sistema de evaluación auténtica y de diagnóstico situacional (Argudín, 2006; Borrajo et al., 2010). Esta condición fundamenta la necesidad de implementar modelos de seguimiento que no solo midan el dominio teórico de las métricas clave ($RASK$, $CASK$ y factor de ocupación), sino la capacidad del estudiante para administrarlas eficazmente en entornos competitivos (Capatina et al., 2024; Grijalvo et al., 2022).

Análisis comparativo de casos de estudio

Se presenta un cuadro que resume cómo las investigaciones presentes en la bibliografía midieron el impacto de la simulación y qué hallazgos específicos identificaron:

Autor y Año	Instrumentos y Métodos de Medición (¿Cómo se midió?)	Impactos Identificados y Conclusiones Principales (¿Qué se logró?)
Elsawah et al. (2017)	Mapas conceptuales pre y post-test, análisis de logs secuenciales de decisiones por rondas.	Reconfiguración y maduración de los **modelos mentales** del estudiante; corrección de sesgos estratégicos mediante el aprendizaje basado en el error controlado.
Filazoğlu et al. (2021)	Encuestas de percepción con escala Likert de salida, puntuación de rendimiento en escenarios de crisis.	Alta fidelidad percibida, incremento en la **autoeficacia para la gestión de contingencias** operativas y alta percepción de transferencia profesional.
Dinçer (2023)	Matrices de adopción tecnológica, análisis cualitativo de casos de éxito en educación aeronáutica.	Aceleración de la asimilación conceptual en entornos de alta densidad de información y mayor compromiso estudiantil.
Aguiar-Castillo et al. (2021)	Modelos de ecuaciones estructurales (SEM), escalas psicométricas basadas en el modelo TAM.	Incremento de la **motivación intrínseca** y el compromiso activo, impactando de forma positiva indirecta en la retención del conocimiento.
Grijalvo et al. (2022)	Correlación estadística entre logs de optimización de KPIs en el software y calificaciones tradicionales.	**Correlación positiva directa** entre la capacidad de priorizar recursos escasos dentro del simulador y el dominio académico de la gestión de operaciones.

Tabla 4: Cuadro resumen de instrumentos de medición y hallazgos en la bibliografía. Fuente: Elaboración propia a partir de la bibliografía revisada.

La literatura muestra una clara división en los tamaños muestrales. Por un lado, los estudios enfocados en el comportamiento educativo y la gamificación, como el de Aguiar-Castillo et al. (2021), recurren a grupos donde N > 200. Por otro lado, las investigaciones aplicadas a la ingeniería y la gestión aeronáutica compleja, como las de Elsawah et al. (2017) y Filazoğlu et al. (2021), operan intencionalmente con muestras acotadas (N < 50) vinculadas a cohortes de asignaturas específicas. Las principales limitaciones metodológicas reportadas por estos autores son su carácter transversal (evalúan un solo semestre), la dificultad para aislar

estadísticamente el efecto del software respecto de la cátedra teórica tradicional, y la dependencia de encuestas subjetivas autoaplicadas.

La brecha más crítica es la **ausencia de estudios longitudinales** que midan si estas competencias estratégicas persisten en el tiempo o impactan la inserción laboral del egresado. **El desafío metodológico actual es diseñar modelos curriculares continuos**, transitando de la intervención aislada en un aula hacia un sistema de monitoreo integrado que evalúe la toma de decisiones del estudiante a lo largo de su trayectoria académica.

2.4 Propuesta Metodológica

A continuación, se presenta la estructura global y el esquema secuencial del plan metodológico:

Para articular de manera sistemática los objetivos pedagógicos con el análisis de datos de ingeniería, la propuesta se divide en tres fases. Este diseño permite la recolección de métricas operativas y pedagógicas en distintos momentos del ciclo académico.

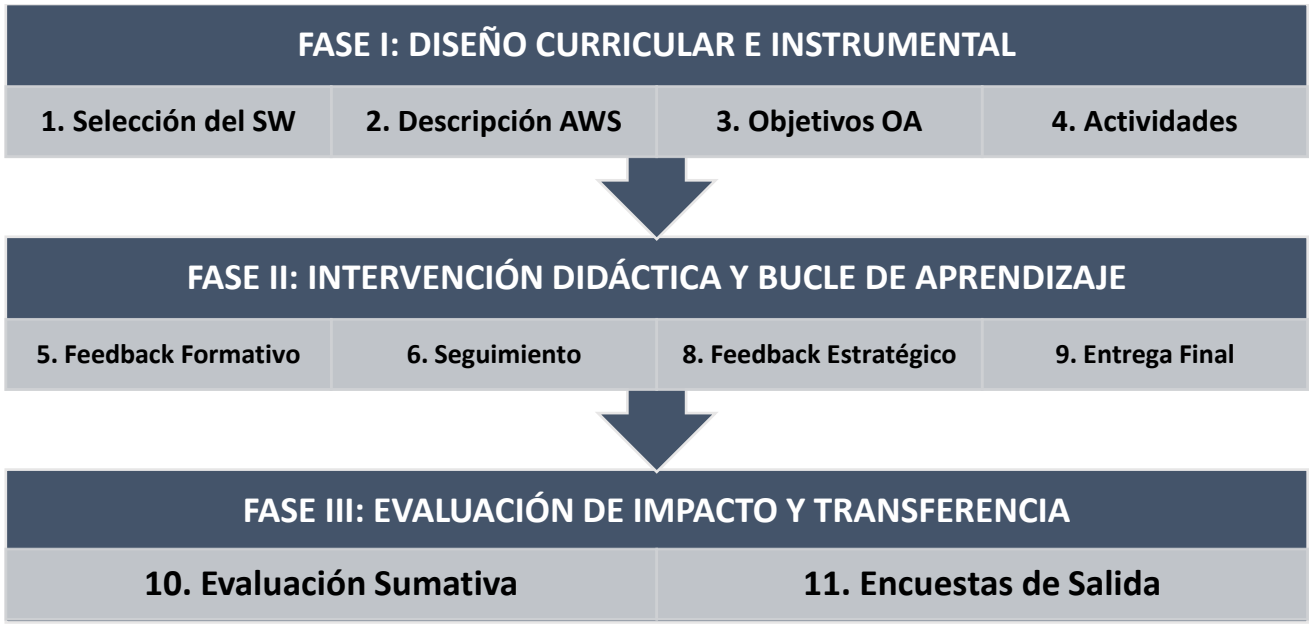


Figura 2: Esquema de propuesta metodológica. Fuente: elaboración Propia

Fase I: Diseño Curricular e Instrumental

La Fase I comprende el diseño y la estructuración didáctica de la evaluación basada en el simulador de gestión de aerolíneas AirWaySim. Esta fase articula la fundamentación teórica de los Management Flight Simulators con las exigencias del enfoque de Educación Basada en Competencias.

1. Selección del Software de simulación

La elección de AirWaySim responde a la necesidad de contar con una herramienta computacional capaz de modelar la complejidad no lineal, y el constante dinamismo propios de la industria.

La escala real del tiempo puede afectar el compromiso y motivación de los estudiantes debido a la dilatación del tiempo entre la toma de decisión y la manifestación de sus consecuencias. Según lo informado en la web del simulador (https://www.airwaysim.com) AWS resuelve esta barrera operando en un entorno de tiempo continuo acelerado, donde 20 minutos de tiempo real equivalen a 1 un día de simulación, por lo que en una hora real pasan 3 días en la simulación y, en total, en 24 horas reales se habrá simulado un periodo de 72 días. Esta aceleración permite a los estudiantes experimentar años de gestión financiera y operacional en un lapso lectivo de pocas semanas, comprimiendo los bucles de retroalimentación.

A diferencia de simuladores de negocios genéricos, AWS integra las variables fundamentales del negocio de transporte aéreo modeladas por Doganis, como determinación de la demanda por itinerario y elasticidad-precio, gestión de capacidad mediante ingresos por asiento disponible (RASK) y costos por asiento disponible (CASK), restricciones de infraestructura (slots aeroportuarios, capacidad de terminales) y la dinámica de competencia oligopólica directa en rutas compartidas.

AWS es una plataforma Software as a Service (SaaS) basada en la nube, accesible desde cualquier navegador web sin requerir instalación local. Esto elimina barreras de compatibilidad tecnológica y reduce la carga cognitiva extraña definida por Sweller (1988, 2011), permitiendo que el esfuerzo mental del alumno se concentre exclusivamente en la resolución de problemas estratégicos (carga germana).

2. Descripción del Simulador AirwaySim

Se definen los parámetros del entorno de simulación, según lo informado en el sitio de la plataforma (https://www.airwaysim.com):

- **Escenario Temporal:** La simulación recrea un mercado aerocomercial competitivo en un periodo histórico continuo que abarca desde el 3 de octubre de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2024.

- **Restricciones Mercado-Estratégicas:** Se consideran solo aeropuertos (internacionales) y aeronaves con capacidad menor a 100 asientos.

Dimensiones de Decisión Exigidas a los Estudiantes:

- **Selección de Base de Operaciones (Hub Principal):** Cada equipo debe seleccionar de forma obligatoria su sede principal entre 9 aeropuertos de alta densidad en las Américas (MMMX, MPTO, KATL, KMIA, SAEZ, SBGL, SBGR, SCEL y SPJC).

- **Selección de Flota y Estandarización (Fleet Commonality):** Los estudiantes deben decidir la adquisición de aeronaves mediante compra directa de fábrica o leasing en el mercado secundario. Se exige aplicar el concepto de fleet commonality.

- **Configuración de Cabina y Segmentación de Demanda:** Para cada aeronave, los estudiantes diseñan la densidad de asientos distribuidos en tres clases tarifarias: Turista (Y), Business (C) y Primera Clase (F).

- **Planificación de Rutas e Itinerarios:** Utilizando la herramienta de Planificación de Rutas, los estudiantes analizan la demanda diaria estimada por segmento, la oferta instalada por aerolíneas rivales y las restricciones de infraestructura. Se deben definir frecuencias y ventanas de rotación incorporando márgenes de resguardo (turnaround buffers) para prevenir la propagación de retrasos en cadena.

- **Política de Precios (Pricing) y Revenue Management:** Los equipos fijan las tarifas para cada clase y segmento de carga aérea. Deben monitorear semanalmente el comportamiento de la demanda para mantenerse sobre el Break-evan Load Factor (BELF) y asegurarse de que sus ingresos superen sus costos (RASK>CASK)

- **Mantenimiento Operacional y Calidad de Servicio:** Los estudiantes deben programar activamente las inspecciones técnicas de línea (Check A y B). El simulador penaliza severamente a las aeronaves con niveles de conservación técnica inferiores al 70%, generando fallas mecánicas, cancelaciones de vuelos, pérdida de reputación de marca y degradación de la puntualidad.

- **Estructura Directiva y Gobierno Corporativo del Equipo:** Para simular la toma de decisiones ejecutivas reales, cada grupo conforma una estructura directiva con roles definidos (CEO, Gerencia de Operaciones y Mantenimiento, Gerencia de Finanzas, Gerencia Comercial, Gerencia de Control y Gestión y Gerencia de Personas).

3. Objetivos de Aprendizaje (OA) y Matriz de Competencias (EBC)

Bajo el marco de la Educación Basada en Competencias (EBC) (Argudín, 2006), la intervención en AWS articula tres dimensiones de desempeño profesional alineadas con el Ciclo Experiencial de Kolb (1984):

Dimensión EBC (Argudín, 2006)	Objetivo de Aprendizaje (OA)	Indicador de Logro en Simulador (AWS)	Fase Kolb
Saber (Saber conocer)	OA 1: Analizar e interpretar la relación estructural entre las métricas operacionales y los indicadores financieros.	Diagnóstico de desviaciones en el Estado de Resultados y cálculo de márgenes por ruta.	Conceptualización Abstracta.
Saber Hacer	OA 2: Diseñar e implementar un plan de expansión comercial que contemple el dimensionamiento estandarizado de flota y programación de itinerarios.	Apertura rentable de rutas, maximización del LF, ingresos y disponibilidad técnica.	Experimentación Activa.
Saber Hacer	OA 3: Ejecutar tácticas de Revenue Management y marketing adaptadas a la intensidad del mercado simulado.	Captura de cuota de mercado e ingresos superando el promedio de la industria.	Experimentación Activa.
Saber Ser / Convivir	OA 4: Coordinar la toma de decisiones en equipo en entornos de incertidumbre y restricción de tiempo, asumiendo roles organizacionales específicos.	Cumplimiento del plan de negocios, resolución oportuna de contingencias operacionales y estabilidad del personal.	Experiencia Concreta y Observación Reflexiva.

Tabla 5: Matriz de Objetivos de Aprendizaje y Competencias establecidos para el periodo de simulación. Fuente: Elaboración propia en base a Educación basada en competencias: Nociones y antecedentes (Argudín, 2006)

4. Actividad de Entrada: Periodo de Prueba y Diagnóstico Cognitivo

La intervención metodológica inicia formalmente con una Actividad de Entrada o Periodo de Prueba (marcha blanca) programada durante las dos primeras semanas de simulación (del 1 al 12 de septiembre de 2025). Para incentivar la participación, se anuncia la primera entrega de puntos extra por ranking competitivo sobre los 7 KPIs al final de este periodo.

La inclusión de esta etapa de diagnóstico se justifica bajo tres pilares pedagógicos provenientes de la literatura sobre competencias, psicología cognitiva y simulación. En primer lugar, desde la perspectiva de la Teoría de la Carga Cognitiva (Sweller, 1988), al ingresar a un entorno como AirwaySim, el estudiante enfrenta una elevada densidad de información que incluye paneles directivos, menús de gestión de flota, estados financieros y mapas de itinerarios. La carga cognitiva extraña satura la memoria de trabajo de los alumnos, afectando negativamente la toma de decisiones. Por tanto, el periodo de prueba permite automatizar progresivamente la navegación por la plataforma sin la presión de una penalización académica.

En segundo lugar, dentro del marco de la Educación Basada en Competencias, esta etapa inicial cumple una función formativa centrada en la nivelación y la autorregulación del estudiante. Como sostiene Argudín (2006), "la evaluación inicial o diagnóstica en el enfoque

por competencias no busca calificar al estudiante, sino establecer la línea de base de sus esquemas previos de actuación y permitir la autorregulación inicial del aprendizaje antes de la intervención formal". De este modo, la marcha blanca habilita al docente para identificar la línea de base y las deficiencias conceptuales previas que cargan los estudiantes.

Finalmente, esta fase actúa como el punto de partida del Ciclo de Aprendizaje Experiencial de Kolb (1984), constituyéndose como la Experiencia Concreta inicial del modelo pedagógico. Los errores operacionales cometidos durante este lapso exploratorio generan una disonancia cognitiva inmediata al publicarse el primer ranking de prueba. Este impacto inicial activa de forma orgánica la segunda etapa del ciclo de Kolb, la Observación Reflexiva, preparando al estudiante para asimilar nuevos conceptos teóricos y ajustar sus decisiones estratégicas previo a la apertura del mercado simulado.

Fase II: Intervención Didáctica y Bucle de Aprendizaje

La Fase II gira en torno a la ejecución del ciclo de aprendizaje en el simulador AirwaySim (AWS). Esta fase articula el seguimiento, la retroalimentación sistemática, la reorientación estratégica y la evaluación sumativa de las competencias adquiridas por los estudiantes de Taller de Integración de Competencias I (IAC003) y Empresas Aeronáuticas II (IAC017).

5. Feedback Formativo

La dimensión formativa del modelo se estructuró a través de un calendario de publicación de cinco rankings intermedios distribuidos a lo largo del semestre: periodo de prueba, 3 hitos intermedios y el cierre de la simulación.

En cada publicación de resultados, se evaluó a las empresas en siete KPIs: Utilidades, Ingresos por Pasajeros, Ingresos por Carga, Valor de la Aerolínea, Factor de Ocupación de Pasajeros (LF Pax), Factor de Ocupación de Carga (LF Cargo) y Puntualidad Operacional. El incentivo competitivo asignó un punto (1,0 pt) a los equipos ubicados en el primer y segundo lugar de cada métrica, y medio punto (0,5 pts) al tercer lugar.

Desde la perspectiva del ciclo de aprendizaje experiencial de Kolb (1984), estos rankings actuaron como el nexo entre la Experiencia Concreta y la Observación Reflexiva. La retroalimentación permitió a los estudiantes evaluar sus decisiones comparando sus proyecciones con los datos reales producto de sus acciones en el mercado simulado. En este contexto, la vinculación entre la Observación Reflexiva y la Conceptualización Abstracta exige bucles de información periódicos, evitando que el tiempo transcurrido entre la toma de decisiones y la observación de sus resultados impida a los estudiantes establecer la relación causa-efecto oportunamente.

Asimismo, en el marco de la EBC, la evaluación formativa basada en métricas cuantitativas estimula la autorregulación del aprendizaje. Este seguimiento periódico muestra las brechas de desempeño respecto a los estándares de la industria, promoviendo la construcción de esquemas de conocimiento estratégico (Sweller et al., 2011).

6. Seguimiento

La etapa de seguimiento se consolidó mediante la entrega del Informe de Avance, que considera datos recopilados durante 12 días. Este hito exigió a cada grupo documentar y justificar los criterios utilizados en la configuración inicial de su empresa, específicamente en la elección del aeropuerto base (hub), la selección de aeronaves, el diseño de la red de rutas y la política de fijación de tarifas.

Adicionalmente, el informe requirió el análisis del comportamiento histórico de las métricas de capacidad e ingresos como ASK, RPK, LF, número de rutas, tamaño de flota, valor de la empresa e imagen de marca, junto con la redefinición de objetivos y estrategias comerciales para lo que resta del semestre. Este hito tuvo una ponderación académica del 30% de la nota de la entrega final.

En el marco de la Educación Basada en Competencias (EBC), el Informe de Avance funciona como una parada obligatoria. Argudín (2006) sostiene que el desarrollo de competencias complejas requiere momentos de explicitación verbal y escrita donde el estudiante no solo ejecute un procedimiento, sino que demuestre la comprensión de las variables que condicionan dicho procedimiento. Esta etapa obligó a los equipos a transitar de la ejecución mecánica a la conceptualización abstracta, evaluando las causas de las desviaciones en sus indicadores.

7. Feedback Estratégico

El Feedback Estratégico consistió en 3 instancias de publicación del ranking de desempeño y la respectiva asignación de puntos extra. Los ajustes en la estrategia de cada grupo son guiados por la intervención cualitativa del profesor, orientada a corregir los sesgos conceptuales y operacionales detectados durante las revisiones de avance.

Esta guía instructiva dentro de la simulación se ampara en la Teoría de la Carga Cognitiva (Sweller et al., 2011), la cual establece que el aprendizaje mediante simulación directa requiere una guía estructurada para evitar que el estudiante quede atrapado en bucles de ensayo y error ineficientes o en óptimos locales no viables.

8. Entrega Final (Informe Escrito y Presentación Oral)

La congelación del mercado virtual y la publicación del ranking final marcan el fin del periodo de simulación. Posteriormente, se dio paso a la entrega del Informe Final y a la Presentación Grupal.

Requisitos del Informe Final:

De acuerdo con las instrucciones del curso, el informe escrito exigió una estructura de análisis basada en datos exportados del simulador:

- **Análisis de Rutas:** Identificación y contraste de las dos mejores y dos peores rutas de la aerolínea, evaluando ASK, RPK, LF, puntualidad y la proporción porcentual de ingresos provenientes de transporte de pasajeros versus carga aérea.

- **Análisis Global de la Empresa:** Evaluación técnica del aeropuerto base, trayectoria de la flota total, expansión de la red de rutas y evolución de los estados financieros.

- **Análisis Financiero y Estratégico:** Confección de informes periódicos de pérdidas y ganancias, balance general, flujo de caja y la construcción de un análisis de Pareto (gráfico de torta o barras) para identificar las partidas que concentraron el 70% 80% de los gastos operacionales totales.

En la presentación final, cada equipo asumió el rol de un directorio. La presentación requirió la exposición de la estrategia adoptada, la justificación de las decisiones correctivas tomadas ante eventos competitivos y la defensa de los resultados financieros finales mediante gráficos de tendencia y métricas estandarizadas de la industria aeronáutica.

Fase III: Evaluación de Impacto y Transferencia

La Fase III constituye la etapa final de la propuesta y tiene como propósito medir el impacto del modelo pedagógico de bucle cerrado sobre la adquisición de competencias profesionales, evaluando de manera global el desempeño durante todo el semestre de los estudiantes en el simulador a través de un informe y una presentación final. Además, se evalúa la percepción de los estudiantes respecto a la transferencia de los aprendizajes al entorno laboral de la industria aeronáutica. Esta fase complementa los datos de rendimiento cuantitativo registrados en el simulador mediante la aplicación de instrumentos de evaluación de salida.

9. Evaluación Sumativa

La calificación final de la simulación combinó la evaluación sumativa ponderada del Informe Final y la Presentación Oral, integrando directamente la bonificación obtenida por concepto de incentivo competitivo a lo largo del semestre.

La evaluación de los productos finales se rige por cuatro criterios de desempeño establecidos en la rúbrica de evaluación:

1. **Planificación Inicial:** Se evalúa la toma de decisiones iniciales (early game): Modelo de negocio de la aerolínea, base de operación (BO), Selección de aeronaves, plan de adquisición, selección de rutas iniciales y definición de tarifas.

2. **Gestión Financiera y Comercial:** Se evalúa el la ejecución y elaboración de reportes: Proyecciones financieras, implementación de estrategias de marketing, flujo de caja, compra de aviones y apertura de nuevas rutas.

3. **Gestión Operacional y RRHH:** Evalúa desempeño en ámbitos de gestión. Optimización de horarios de vuelo, gestión de la imagen de la aerolínea, puntualidad y LF, gestión del mantenimiento y gestión de personas.

4. **Análisis del comportamiento de la Aerolínea en los ámbitos operacionales y financieros:** Se evalúa aspectos generales de la gestión de la aerolínea durante la simulación: Desempeño en la eficiencia operativa, mejora en la eficiencia financiera, desarrollo de estrategias creativas y capacidad de análisis de datos de simulación.

5. **Formato y conclusiones:** Se evalúa la estructura, ortografía, redacción y profesionalismo en la confección del informe y presentación final. En cuanto a las conclusiones, se espera que provengan del análisis del desempeño de la aerolínea y de la competencia en el mercado, el aprendizaje sobre el manejo de una aerolínea y oportunidades de mejora para la metodología de simulación

Los puntos acumulados por las aerolíneas durante los cinco hitos de ranking se sumaron a la nota ponderada final del trabajo grupal. Esta estructura sumativa asegura que la calificación final refleje tanto la rigurosidad del análisis académico (evaluada mediante rúbrica) como el éxito competitivo y operacional demostrado dentro del simulador. Como postula Argudín (2006), la evaluación por competencias en entornos universitarios debe integrar la evaluación de proceso (desempeño dinámico en el simulador) con la evaluación de producto (informe técnico y defensa oral), garantizando la validez y objetividad del logro de aprendizaje.

10. Encuestas de Salida

El instrumento principal de recolección de información consiste en una Encuesta de Salida de carácter mixto, compuesta por elementos estructurados mediante escala Likert de 5 puntos (desde 1: Totalmente en desacuerdo hasta 5: Totalmente de acuerdo) y preguntas de respuesta abierta para la captura de apreciaciones cualitativas.

1. **Trabajo en Equipo:** Esta variable evalúa la facilidad en la toma de decisiones colectivas, la ausencia de conflictos y la percepción de mejora en los resultados del negocio virtual producto de la deliberación conjunta.

2. **Experiencia de Usuario - UX**: Este bloque mide la claridad interpretativa de las herramientas estadísticas, las tablas, los gráficos de *AirwaySim*, la estabilidad ante fallas técnicas y el reflejo empírico de sus decisiones en la interfaz.

3. **Utilidad Pedagógica Percibida:** Mide el impacto de la herramienta en la aclaración de conceptos complejos, el desarrollo de habilidades profesionales transferibles, el volumen de aprendizaje frente a cursos tradicionales y la recomendación de continuidad institucional.

La encuesta de salida se aplica en formato digital al finalizar el hito de las presentaciones grupales finales, una vez concluido el ciclo de la simulación. La población objetivo abarca a la totalidad de los estudiantes matriculados en las asignaturas Taller de Integración de Competencias I (IAC003, segundo año) y Empresas Aeronáuticas II (IAC017, cuarto año). Las respuestas se codifican segregando los datos únicamente por cohorte (IAC003 vs. IAC017), lo que permite contrastar estadísticamente las diferencias en la percepción de aprendizaje entre los alumnos de nivel inicial y avanzado.

La triangulación de datos en la Fase III permite contrastar las percepciones cualitativas de los estudiantes y los resultados académicos cuantitativos. Este procedimiento metodológico busca validar la efectividad del modelo de aprendizaje en bucle cerrado, vinculando las dimensiones perceptivas de la encuesta de salida con el logro conceptual verificado en las evaluaciones teóricas de las asignaturas Taller de Integración de competencias I (IAC003) y Empresas Aeronáuticas II (IAC017).

A partir del marco de carga cognitiva de Sweller et al. (1988), se plantea que la reducción de la carga extraña asociada a la usabilidad de la interfaz libera capacidad de procesamiento en la memoria de trabajo. Esto favorece la consolidación de esquemas conceptuales medidos en las evaluaciones teóricas.

Capítulo 3: Desarrollo

A partir del diseño conceptual presentado en la sección 2.4, este capítulo detalla la ejecución operativa de la propuesta. La metodología se despliega en tres fases que estructuran el uso del simulador a lo largo del semestre, transformando la experimentación en el aula en un proceso dinámico e iterativo de toma de decisiones.

3.1 Análisis de la malla curricular y perfil de egreso

El cumplimiento del primer objetivo específico exige ir más allá de una simple descripción de la malla curricular y requiere analizarla, poniendo especial foco en línea de formación profesional. Esta sección convierte el recorrido por el plan de estudios en un análisis sustentado en la literatura revisada. El propósito es demostrar de qué manera el simulador AirwaySim (AWS), articulado de forma troncal en Taller de Integración de Competencias (IAC003) y Empresas Aeronáuticas II (IAC017), funciona como la plataforma de integración para los conocimientos teóricos asociados a la operación.

La vinculación entre la base teórica dictada en las cátedras y las variables paramétricas de AWS se despliega de forma sinérgica a través de las siguientes asignaturas, designadas en esta investigación como críticas:

En el ámbito del Marketing Aeronáutico (IAC010), dictado en el séptimo semestre, los estudiantes asimilan los conceptos de segmentación de mercados, comportamiento de la demanda y elasticidad-precio. Doganis (2009) plantea que la fijación de tarifas en las aerolíneas modernas no es un proceso estático, sino una respuesta dinámica a la presión competitiva y a la estacionalidad temporal. En el simulador, esta teoría se operacionaliza a través del módulo de tarifas dinámicas y el sistema de gestión publicitaria. Los alumnos deben determinar el nivel de inversión en campañas de concientización de marca (brand awareness) a nivel de red y segmentar sus estrategias promocionales por ruta específica. Una mala interpretación de la elasticidad de la demanda en un mercado competitivo se traduce de inmediato en la pérdida de cuota de mercado (market share) ante competidores virtuales, validando empíricamente la necesidad de equilibrar el precio del boleto con el volumen de pasajeros capturados.

La infraestructura aeroportuaria y las restricciones físicas del entorno operativo se vinculan de manera directa con Infraestructura y Servicios Aeronáuticos (IAC012). Dentro de AWS, los estudiantes se ven forzados a negociar slots en los aeropuertos donde deseen operar, donde la disponibilidad horaria condiciona la viabilidad económica de una ruta. Asimismo, deben seleccionar proveedores de servicios de handling balanceando el costo operativo con la eficiencia de los tiempos de respuesta, lo que emula las decisiones estratégicas de conectividad y la configuración de redes Hub and Spoke descrita por Doganis (2009).

En el ciclo de cierre de la carrera (semestres noveno y décimo), los estudiantes se enfrentan a asignaturas de alta complejidad sistémica: Sistemas de Gestión de la Calidad (IAC020), Sistemas Integrados de Gestión en la Industria Aeronáutica (IAC026), Casos en la Aviación Comercial (IAC028) e International Aviation Features (IAC030). AWS provee un medio para observar estos conceptos en la práctica mediante su índice de confiabilidad operativa. Los retrasos y cancelaciones provocados por una mala planificación logística degradan la

reputación de la aerolínea virtual, lo que perjudica el valor de la marca y reduce el tráfico de pasajeros.

Por su parte, Casos e International Aviation Features exigen analizar fusiones, quiebras y la operación bajo marcos regulatorios globales. El simulador recrea estas condiciones macroeconómicas al forzar la competencia entregando a los estudiantes las herramientas para auditar sus propias decisiones empresariales a la luz de las condiciones de la industria a nivel internacional.

Es indispensable vincular la experimentación en el simulador con los indicadores que gobiernan la industria aérea real, formalizados por Rigas Doganis. El éxito o fracaso de las estrategias implementadas en AWS se audita cuantitativamente a través de la optimización del ingreso por asiento-kilómetro disponible (RASK) y el costo por asiento-kilómetro disponible (CASK). La viabilidad financiera de cualquier operador aéreo depende de la maximización de la brecha positiva entre ambos indicadores.

Doganis (2009) recalca que el gran dilema de la gestión aeronáutica es que el CASK está fuertemente influenciado por factores exógenos y rigideces operativas (como el precio del combustible y los costos de arrendamiento de aeronaves), mientras que el RASK depende de la sintonía entre el Yield Management y el Factor de Ocupación (Load Factor).

AWS enfrenta al estudiante directamente a este arbitraje. Si el alumno tiende a buscar de forma ingenua la maximización del Load Factor reduciendo agresivamente las tarifas, el simulador demuestra rápidamente que un factor de ocupación del 100% puede coexistir con pérdidas financieras severas si el RASK cae por debajo del umbral del CASK.

La herramienta fuerza el desarrollo de un pensamiento estratégico avanzado: para sobrevivir en el mercado virtual, el estudiante debe coordinar las decisiones de flota con las decisiones de itinerarios (maximizando los ASK útiles del avión) y las campañas de marketing (empujando el RASK al alza mediante la captura de pasajeros de alta contribución). El simulador se convierte así en un espacio dentro del plan de estudios donde estas teorías económicas dejan de ser fórmulas estáticas y se se entrelazan de manera dinámica.

Bajo los fundamentos de la EBC formulados por Argudín (2006) y Tobón (2011), una competencia profesional solo se consolida cuando el "saber conocer" se funde con el "saber hacer" ante un problema complejo del mundo real. Los contenidos aprendidos a lo largo de la carrera representan las piezas del "saber conocer", para poder evaluar una competencia, se deben considerar todas las piezas como un sistema.

Al introducir AWS de forma paralela en estos semestres, se obliga al alumno a transitar hacia el "saber hacer". La competencia emerge cuando el estudiante debe resolver el problema contextualizado de gestionar una aerolínea dentro del software. No se le evalúa por su capacidad de definir qué es el RASK en un examen escrito, sino por su idoneidad para rectificar un RASK deprimido mediante decisiones en tiempo real, cumpliendo con la exigencia de Argudín (2006) de centrar la educación en evidencias tangibles de desempeño.

Este proceso de absorción de competencias está regulado por la Teoría de la Carga Cognitiva de Sweller (1988). Durante el cuarto semestre (Taller de Integración de Competencias I), la carga intrínseca del simulador (la complejidad propia de la interfaz y a las reglas del mercado) podría ser muy alta para la memoria de trabajo del estudiante. Si en ese momento se le enfrentara a un escenario de crisis, ocurriría una saturación cognitiva que bloquearía el aprendizaje.

La metodología resuelve este riesgo mediante un esquema de carga adaptativa y andamiaje progresivo: en los semestres iniciales de uso, las actividades en AWS se estructuran mediante guías de laboratorio. Estas instrucciones paso a paso mitigan la carga cognitiva extraña, permitiendo que el cerebro del estudiante automatice los modelos mentales sobre el uso del software y asimile de forma controlada la relación causa-efecto de las variables comerciales. Una vez que estos esquemas se automatizan e internalizan en la memoria de largo plazo, la memoria de trabajo se libera de la carga operativa básica. Al llegar al octavo y noveno semestre, el estudiante ya posee la capacidad cognitiva disponible para abordar la carga intrínseca avanzada de gestionar escenarios dinámicos, crisis operativas o guerras de precios sin sufrir saturación.

Este tránsito conceptual encuentra su correlato en el Ciclo de Aprendizaje Experiencial de Kolb (1984). El uso continuado del simulador a lo largo del año académico garantiza que el estudiante complete las cuatro etapas del ciclo de forma iterativa y ascendente:

- Experiencia Concreta (EC): El alumno ingresa al simulador y ejecuta la apertura de rutas y la adquisición de aviones, enfrentándose a un mercado vivo.

- Observación Reflexiva (OR): Al cierre de cada ciclo de simulación, el sistema arroja los estados financieros y los reportes de KPIs. El estudiante observa los retrasos en sus vuelos o el déficit presupuestario y reflexiona sobre las causas de su bajo desempeño.

- Conceptualización Abstracta (CA): Impulsado por el error operativo, el estudiante regresa a los libros de texto y a las cátedras teóricas de la línea profesional (Marketing, Logística, SMS). Es aquí donde las teorías de Doganis cobran sentido: el alumno comprende la abstracción matemática del balance entre RASK y CASK porque la necesita para gestionar su empresa virtual.

- Experimentación Activa (EA): Con la retroalimentación del docente, el estudiante vuelve a ingresar al simulador e implementa una estrategia optimizada (reestructura la red, ajusta tarifas, calibra los descansos de tripulación), reiniciando el ciclo pedagógico a un nivel de madurez superior.

Este bucle de Kolb, vivido entre el cuarto y el octavo semestre, transforma el conocimiento atomizado en una estructura de pensamiento complejo. Al ingresar al noveno y décimo semestre, el estudiante ya no ve las asignaturas de Sistemas de Gestión de la Calidad (IAC020) o Sistemas Integrados (IAC026) como abstracciones burocráticas; las comprende como los marcos normativos e integrales necesarios para gobernar la complejidad sistémica que ya experimentó en el simulador.

Finalmente, este diseño metodológico robustece el perfil de egreso proyectando al futuro Ingeniero en Aviación Comercial hacia los desafíos reales de la industria aerocomercial global. Filazoğlu et al. (2021) demuestran en sus investigaciones que el uso de simuladores de gestión de alta fidelidad incrementa de forma drástica la autoeficacia percibida del estudiante y acelera la transferencia de habilidades blandas clave, tales como la toma de decisiones bajo presión, el trabajo en equipo multidisciplinario y la gestión adaptativa de contingencias operativas.

Al egresar habiendo operado un entorno multivariable como AWS, el estudiante de la UTFSM gana experiencia vigilando y gestionando varios indicadores relacionados entre sí, igual que tendría que hacerlo en su vida laboral. El simulador habrá actuado como un entrenamiento específico, permitiendo que el graduado ingrese a la industria no como un estudiante que domina teorías estandarizadas, sino como un ingeniero capaz de analizar un tablero de datos, prever el impacto sistémico de una disrupción operativa, priorizar recursos escasos bajo incertidumbre y trabajar en torno a los matices de la operación real.

3.2 Medición del impacto de las Herramientas de Simulación

Para dar cumplimiento al segundo objetivo específico de esta investigación, esta sección aborda el análisis de los cuestionarios aplicados a las cohortes de estudiantes de ambos cursos durante el segundo semestre de 2024. Antes de evaluar el rendimiento académico o la optimización de los KPIs técnicos dentro del software, es necesario comprender la percepción y el impacto conductual que genera la herramienta en el alumnado.

3.2.1 Análisis de Resultados Académicos

Con el propósito de dar cumplimiento al segundo objetivo específico de esta investigación y poner en marcha el plan de análisis de datos comprometido en el marco metodológico, se procedió a deconstruir la estructura de calificaciones de los estudiantes de Ingeniería en Aviación Comercial. El universo muestral total de este estudio comprende un registro consolidado de $\mathrm{N} = 79$ evaluaciones individuales, segregadas estratégicamente en tres cohortes académicas diferenciadas para aislar el impacto del software AirwaySim (AWS):

- **Ciclo Básico (2.º Año - Asignatura IAC003 "Integración de Competencias I", Semestre II-2024):** Compuesto por una muestra de $N_1 = 33$ **estudiantes**, distribuidos en 7 aerolíneas virtuales, operando bajo un esquema de andamiaje instruccional rígido.

- **Ciclo Profesional (4.º Año - Asignatura IAC017 "Empresas Aeronáuticas II", Semestre II-2024):** Compuesto por una muestra de $N_2 = 23$ **estudiantes**, organizados en 6 grupos, compitiendo en un entorno gamificado con recompensas en juego.

- **Ciclo Profesional (4.º Año - Asignatura IAC017 "Empresas Aeronáuticas II", Semestre II-2025):** Compuesto por una muestra de $N_3 = 23$ **estudiantes**, distribuidos en 6 equipos y un caso de control individual, lo que permite evaluar la eficacia de la propuesta pedagógica a lo largo del tiempo.

Por un lado, la comparación transversal entre el ciclo básico (N_1) y el ciclo profesional (N_2) permite cuantificar la maduración en la adquisición de competencias específicas. Por otro lado, el análisis comparativo entre las cohortes avanzadas (N_2 de 2024 frente a N_3 de 2025) aporta el control científico necesario para verificar la consistencia del rendimiento académico una vez retirado el andamiaje docente, legitimando la extrapolación de las conclusiones hacia la población general del perfil de egreso institucional.

Cohorte Académica	Promedio de Evaluaciones Teóricas y Participación	Nota Final por AirwaySim (AWS) (Con Puntos Extra)
IAC003 2024(2.º Año - Ciclo Básico)	77,20	66,81
IAC017 2024(4.º Año - Ciclo Profesional)	77,73	94,98
IAC017 2025(4.º Año - Ciclo Profesional)	78,00	80,87

Tabla 6: Comparación del promedio de evaluaciones teóricas y calificación obtenida por AirWay Sim. Fuente: Elaboración propia.

Un primer hallazgo es la homogeneidad del promedio de las evaluaciones teóricas y de participación entre las tres cohortes, manteniéndose en un rango de 6 puntos: 77,20 en el ciclo básico (2024), 77,73 en el grupo 2024 del ciclo profesional y 78,00 en la cohorte 2025. En el Ciclo Básico (IAC003 2024), el rendimiento neto en el software desciende a una media de 66,81, desalineándose del promedio teórico de 77,20. Este fenómeno se explica a través de la Teoría de la Carga Cognitiva de John Sweller (1988) ya que, al enfrentarse por primera vez a un software multivariable complejo, la mayor parte de los recursos cognitivos de los estudiantes de segundo año se consume en comprender la interfaz y la mecánica del sistema (lo que Sweller define como carga cognitiva extraña). Adicionalmente, al no tener esquemas mentales operativos previamente automatizados, los alumnos carecen de espacio en su memoria de trabajo para procesar las variables analíticas de la fijación de precios y la optimización de flotas. El simulador, por lo tanto, expone la brecha entre la teoría pasiva y la ejecución compleja en tiempo real.

En las cohortes avanzadas del Ciclo Profesional (IAC017 2024 y 2025), una vez que el andamiaje instrumental se asimila y se automatiza, el rendimiento en el simulador experimenta un incremento sustancial, alcanzando medias de 94,98 (2024) y 80,87 (2025). Este salto cuantitativo representa la activación exitosa del Ciclo de Aprendizaje Experiencial de David Kolb (1984) pues los estudiantes de cuarto año ya no operan por ensayo y error. Su madurez curricular les permite transitar fluidamente desde la conceptualización abstracta hacia la experimentación activa dentro del simulador, asimilando de inmediato el feedback financiero de la plataforma para ajustar su planificación de rutas en tiempo real. Por otro lado, el diseño instruccional del ciclo avanzado incorpora un sistema competitivo de puntos adicionales de mercado (bonificando con fuerza a equipos como Lax Lovers y The Boys Airlines), lo que aumenta la motivación del estudiante.

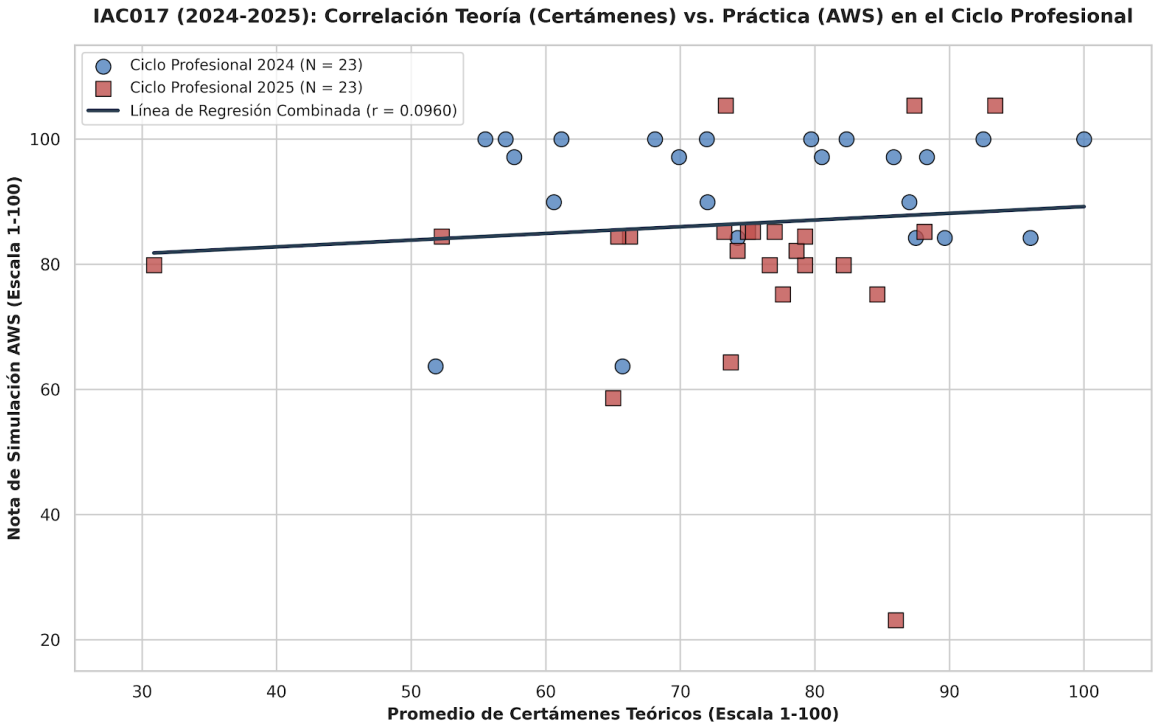


Figura 3: Correlación entre rendimiento teórico y operativo de ambos grupos del Ciclo Profesional. Fuente: Elaboración propia.

El análisis del gráfico en la Figura 2 muestra la dispersión de las cohortes del Ciclo Profesional 2024 y 2025. Este revela una recta de tendencia caracterizada por un coeficiente de correlación de Pearson residual de $r = 0{,}0960$. El gráfico demuestra que las calificaciones obtenidas en certámenes teóricos de lápiz y papel poseen poca capacidad predictiva sobre el rendimiento del estudiante en un escenario operativo real, evidenciando que ambos instrumentos evalúan dimensiones cognitivas totalmente independientes.

Al analizar el cuadrante inferior derecho del gráfico, se ubica el caso del estudiante 22 (denominado así por su posición en la lista anónima de estudiantes de su cohorte). Este alumno, a pesar de registrar uno de los promedios teóricos más altos de la cohorte (86,00 puntos en evaluaciones tradicionales), sufrió un colapso operativo en el simulador, obteniendo una calificación de apenas 23,10 puntos debido a su incapacidad para integrarse a la gestión de su aerolínea virtual.

Dado que el éxito en la plataforma exige un despliegue sinérgico del saber hacer en contexto y el saber convivir (Tobón, 2011) frente a presiones sistémicas reales como la coordinación de tripulaciones, la programación de turnos y el mantenimiento preventivo. De este modo, la dispersión de los datos y la presencia de este caso de control legitiman a AirwaySim no solo como un recurso didáctico complementario, sino como un instrumento de evaluación integral capaz de revelar las brechas o falencias en las competencias buscadas dentro de un ambiente controlado, desarrollando el perfil de egreso deseado por la UTFSM.

3.2.2 Análisis de Percepción Estudiantil

Este bloque se centra en medir las variables cualitativas asociadas a la simulación y la gamificación, específicamente el incremento en la motivación intrínseca y el compromiso activo (*engagement*). De acuerdo con Aguiar-Castillo et al. (2021), los entornos virtuales competitivos actúan como catalizadores del esfuerzo adaptativo del estudiante, transformando la experiencia de aula en un proceso lúdico y de alta fidelidad. Asimismo, evaluar estas valoraciones personales bajo los parámetros de aceptación tecnológica de Filazoğlu et al. (2021) permite validar si el usuario percibe una utilidad real en la plataforma. Estos datos sirven para establecer si el diseño instruccional logra mitigar la carga cognitiva extraña a través de una experiencia satisfactoria, sentando las bases psicológicas necesarias para la posterior toma de decisiones.

Se segregó la muestra total (N = 31) según la asignatura declarada entre Ciclo Básico (2.º Año - Asignatura IAC003) con 17 estudiantes, y el Ciclo Profesional (4.º Año - Asignaturas IAC017 y ACA305) con 14 estudiantes.

A continuación, se presenta el análisis de las variables definidas, relacionando los datos con el marco teórico expuesto previamente.

1. Variable: Trabajo en Equipo

Esta variable evalúa la facilidad en la toma de decisiones colectivas, la ausencia de conflictos y la percepción de mejora en los resultados del negocio virtual producto de la deliberación conjunta.

Resultados Ciclo Básico (2.º Año): El 74.5% de las respuestas consolidó una postura positiva (43.1% Totalmente de acuerdo y 31.4% De acuerdo), frente a un 11.8% de respuestas neutras y un 13.8% de respuestas de desacuerdo.

Resultados Ciclo Profesional (4.º Año): La percepción positiva asciende al 83.3% (47.6% Totalmente de acuerdo y 35.7% De acuerdo), registrando un 7.1% de neutralidad y un 9.5% de desacuerdo.

El incremento de la valoración positiva en el ciclo profesional se alinea con el Modelo de Modelos Mentales de Elsawah et al. (2017). En estudiantes de 4.º año, la toma de decisiones compartida bajo un entorno de alta densidad informativa reduce la carga individual al permitir una distribución de roles especializados (finanzas, operaciones, rutas). En contraste, los estudiantes de 2.º año, al poseer estructuras conceptuales aún en formación, experimentan mayores fricciones operativas iniciales dentro del grupo, lo que explica que el desacuerdo en la resolución de conflictos sea ligeramente superior en este bloque.

2. Variable: Experiencia de Usuario - UX

Este bloque mide la claridad interpretativa de las herramientas estadísticas, las tablas, los gráficos de *AirWay Sim*, la estabilidad ante fallas técnicas y el reflejo empírico de sus decisiones en la interfaz.

Resultados Ciclo Básico (2.º Año): El 91.2% de las valoraciones fue favorable (55.9% *Totalmente de acuerdo* y 35.3% *De acuerdo*), con un 5.9% neutro y apenas un 2.9% en desacuerdo.

Resultados Ciclo Profesional (4.º Año): Alcanza un 92.8% de aprobación (60.7% *Totalmente de acuerdo* y 32.1% *De acuerdo*), con un 7.1% neutro y un 0% de desacuerdo respecto a la usabilidad de la interfaz.

Estos datos validan la dimensión de Facilidad de Uso Percibida de la escala TAM. A pesar de que AWS es un simulador que contempla múltiples variables, la interfaz web es percibida como intuitiva por ambos grupos. El 0% de desacuerdo en 4.º año demuestra que el software supera la barrera de la "carga cognitiva extraña" (Sweller, 1988); el alumno no pierde tiempo intentando descifrar cómo funciona el sistema, sino que concentra su memoria de trabajo directamente en el análisis estratégico del mercado virtual.

3. Variable: Utilidad Pedagógica Percibida

Mide el impacto de la herramienta en la aclaración de conceptos complejos, el desarrollo de habilidades profesionales transferibles, el volumen de aprendizaje frente a cursos tradicionales y la recomendación de continuidad institucional.

Resultados Ciclo Básico (2.º Año): El **92.2%** de las respuestas respalda la utilidad del software (54.9% *Totalmente de acuerdo* y 37.3% *De acuerdo*), registrando un 5.9% neutro y un 2% en desacuerdo.

Resultados Ciclo Profesional (4.º Año): Registra un **88.1%** de valoraciones positivas (50% *Totalmente de acuerdo* y 38.1% *De acuerdo*), con un 9.5% neutro y un 2.4% en desacuerdo.

La alta valoración en ambos grupos sustenta la tesis de Aguiar-Castillo et al. (2021) respecto a cómo el componente gamificado y competitivo de los simuladores de negocios dispara la motivación intrínseca. Los estudiantes no perciben la actividad como una tarea impositiva, sino como un entorno de desarrollo profesional real.

A continuación, y a modo de resumen, se presentan gráficos que muestran las valoraciones de ambos grupos de estudiantes para cada grupo de variables.

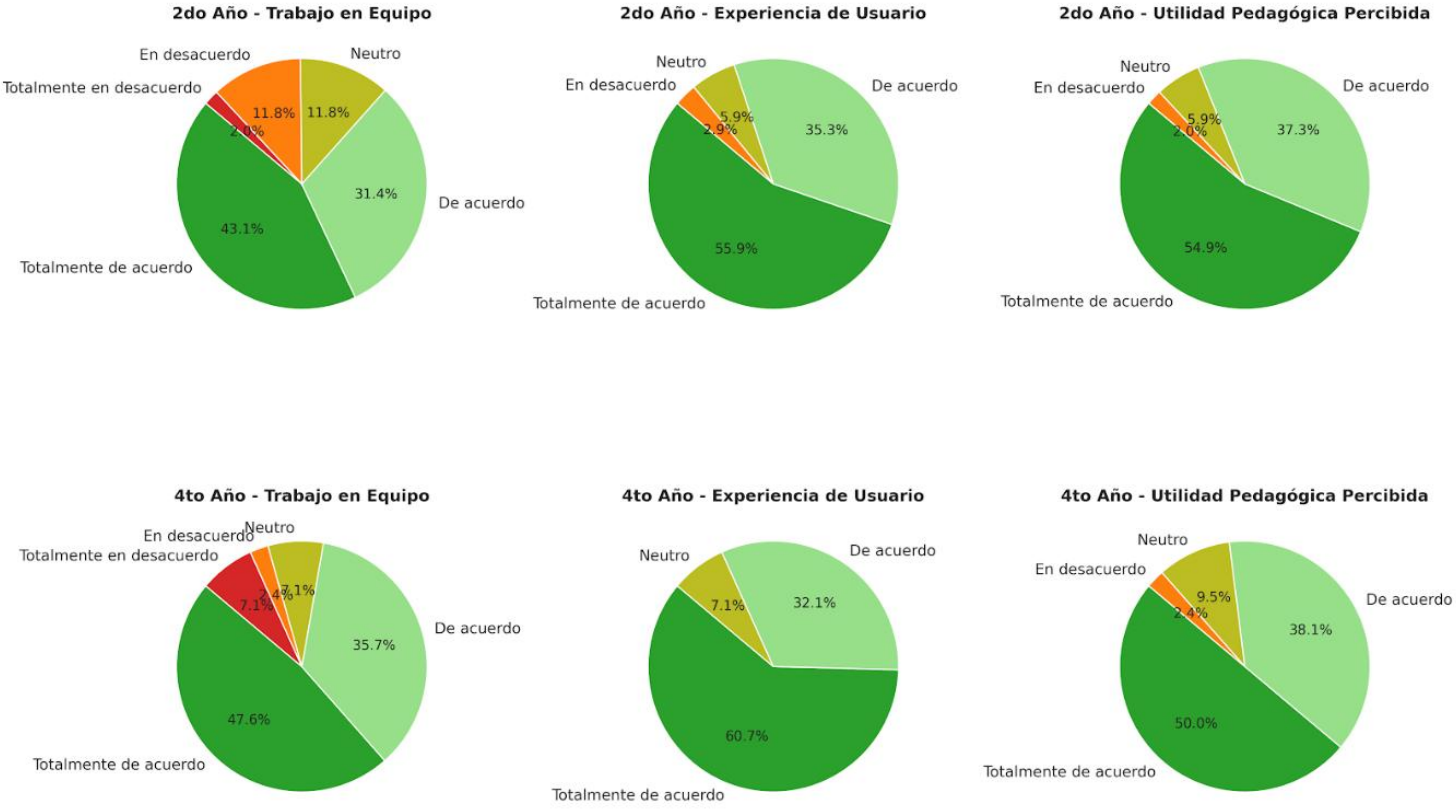


Figura 4: Gráficos de valoración estudiantil respecto de la utilidad pedagógica percibida, experiencia de usuario y trabajo en equipo reportada por estudiantes de 2do y 4to año durante el periodo 2024-2. Fuente: Elaboración propia en base a los cuestionarios de percepción aplicados a los estudiantes..

Para profundizar en la utilidad pedagógica y comprender cómo cambia el foco del estudiante según su nivel de madurez, se extrajeron las puntuaciones medias (escala 1-5) otorgadas a la relevancia de cada área de gestión interna dentro de AWS:

Area de gestión interna	Valoración ciclo básico	Valoración ciclo profesional	Variación
Planificación de rutas	4,47	4,93	+0,46
Gestión operativa	4,47	4,64	+0,17
Información de los aeropuertos	4,24	4,50	+0,26
Gestión financiera	4,35	4,43	+0,08
Marketing	3,59	4,00	+0,41
Sueldos del personal	3,76	4,07	+0,31
Información de las flotas	4,88	4,71	−0,17

Tabla 7: Variación en la valoración de cada área de gestión interna dentro de AWS entre los grupos de 2° y 4° año. Fuente: Elaboración propia en base a los cuestionarios de percepción aplicados a los estudiantes.

Este desglose de medias revela un comportamiento que ratifica las teorías de Sweller (1988) y Tobón (2011):

El Estudiante de Segundo Año (Ciclo Básico) otorga su máxima puntuación a la Información de las flotas (4,88/5,00). Metodológicamente, esto lleva a interpretar que el alumno de los primeros semestres utiliza el simulador para construir sus esquemas mentales primarios. Necesita comprender primero el objeto físico (el avión, sus asientos, sus características) para romper la abstracción. Su foco es estructural.

El Estudiante de Cuarto Año (Ciclo Profesional) desplaza su valoración máxima hacia la Planificación de rutas (4,93/5,00) y eleva significativamente el valor del Marketing (4,00/5,00) y la Gestión operativa (4,64/5,00). Al tener los conocimientos estructurales básicos ya automatizados en su memoria de largo plazo, el alumno avanzado experimenta el juego como un problema complejo de optimización sistémica (Tobón, 2011). Su foco es la red y el arbitraje financiero de la brecha RASK – CASK, priorizando variables dinámicas por sobre las estáticas.

3.2.3 Relación entre variables cualitativas y cuantitativas a través del modelo TAM de Fred Davis

Para comprender las causas del comportamiento de las calificaciones y la disociación entre el rendimiento teórico y el práctico, se procedió a cruzar los datos cuantitativos de desempeño con las encuestas de experiencia de usuario y valoración cualitativa. Este análisis se fundamenta en el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) propuesto por Fred Davis (1987), el cual postula que la adopción y el éxito en el uso de una herramienta informática están gobernados por dos variables críticas: la Percepción de Facilidad de Uso (PEOU) y la Percepción de Utilidad (PU).

El modelo TAM establece que una interfaz intuitiva minimiza el esfuerzo mental requerido para operar un sistema (Davis, 1987). Al contrastar las encuestas de percepción con los resultados académicos de las cohortes analizadas, se puede ver una relación directa entre la ergonomía del software y la maduración del aprendizaje.

En la cohorte IAC003 de segundo año, la nota media en el simulador se situó en 66,81 puntos, posicionándose como el registro de rendimiento más bajo de todo el espectro de estudio. Cualitativamente, los estudiantes de este ciclo básico reportaron mayores dificultades iniciales en la navegación y parametrización de variables, una aseveración que queda respaldada por los registros de valoración de la experiencia de la cohorte. Al analizar las respuestas abiertas sobre oportunidades de mejora del software, los alumnos manifestaron de forma explícita que la plataforma requiere de una "interfaz gráfica (HUD) más amigable para novatos" y demandaron "mejorar la introducción al simulador y los manuales" para hacer los procesos "más intuitivos y menos técnicos". Estas barreras de adopción inicial se trasladaron a la dimensión relacional del aprendizaje. Los registros de trabajo en equipo muestran que un 35,3% de los alumnos de segundo año declaró haber experimentado conflictos dentro del

grupo de simulación (indicando estar "en desacuerdo" o "totalmente en desacuerdo" con la ausencia de disputas), mientras que un 23,5% manifestó una posición "neutra" al evaluar si la toma de decisiones grupales había resultado una tarea fácil.

Bajo la Teoría de la Carga Cognitiva de John Sweller (1988), al enfrentarse a un entorno multivariable con una barrera técnica inicial el estudiante consume la mayor parte de su memoria de trabajo procesando la interfaz del sistema y la lógica de navegación. Al quedar agotada la capacidad de procesamiento de la memoria de trabajo en estos aspectos instrumentales, se reduce la disponibilidad de recursos mentales necesarios para asimilar y procesar la complejidad del negocio aeronáutico, como el equilibrio de flotas, la elasticidad de tarifas y la planificación estratégica de rutas (la carga cognitiva relevante). Esto explicaría la brecha de rendimiento frente a las cohortes del ciclo profesional (IAC017), de quienes se espera que posean esquemas cognitivos y de interacción previamente automatizados, lo que les permitiría liberar la memoria de trabajo para concentrarse en el análisis táctico y de mercado de la aerolínea.

En contraste, en las cohortes del ciclo profesional (IAC017 y ACA305), se observa una consolidación en las dimensiones del Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) de Davis (1987). De acuerdo con los registros de percepción final, el 92,9% de los estudiantes de este ciclo avanzado estuvo de acuerdo ("totalmente de acuerdo" o "de acuerdo") con que los gráficos y las tablas de la plataforma eran fáciles de interpretar, una cifra que alcanza un perfecto 100% de consenso (6 de 6 encuestados) al aislar únicamente a la cohorte avanzada de cuarto año de IAC017. Esta elevada percepción de facilidad de uso (PEOU) actuó como un antecedente directo de la utilidad percibida (PU) definida por Davis, donde el 100% de los alumnos de cuarto año validó que las herramientas estadísticas de la plataforma fueron de alta utilidad para sustentar la gestión de sus consorcios virtuales.

Al liberarse la memoria de trabajo de las trabas instrumentales de la plataforma, el promedio práctico de las cohortes de cuarto año experimenta un salto de casi 20 puntos de diferencia, llegando a los 80,87 puntos (2025) y 94,98 puntos (2024). Los alumnos logran volcar su capacidad de procesamiento en la toma de decisiones estratégicas complejas de la aerolínea virtual, lo que confirma la premisa de Sweller (1988) sobre la optimización del diseño instruccional en usuarios avanzados y permite, según lo expresado de forma directa por los propios estudiantes en la retroalimentación cualitativa del estudio, "ver cómo los conceptos que estudiamos en teoría se aplican de forma práctica dentro de la simulación" para que "el aprendizaje sobre el funcionamiento de las aerolíneas sea más dinámico y significativo".

La segunda dimensión del Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM), la Percepción de Utilidad (PU), se define como el grado en que un individuo cree que el uso de un sistema informático específico mejorará directamente su desempeño laboral o profesional. Al contrastar este principio teórico con los datos empíricos de las encuestas de valoración final aplicadas a la cohorte avanzada (IAC017), se evidencia un respaldo unánime hacia la herramienta. El 100% de los estudiantes de cuarto año encuestados manifestó estar de acuerdo o totalmente de acuerdo en que las herramientas estadísticas de la plataforma fueron de alta utilidad para respaldar la toma de decisiones gerenciales. Asimismo, un 83,3% de la muestra del ciclo profesional afirmó que la simulación les permitió desarrollar habilidades resolutivas y estratégicas que podrán aplicar de manera directa en su futuro campo laboral.

Esta valoración cuantitativa se entrelaza de forma armónica con el feedback cualitativo expresado por los propios alumnos, quienes destacaron el realismo de AirWay Sim para emular la volatilidad y rigurosidad del mercado aéreo. En sus testimonios literales, los estudiantes reportaron que la simulación les dio "la posibilidad de ver cómo los conceptos que estudiamos en teoría se aplican de forma práctica dentro de la simulación", subrayando que la plataforma los impulsó a poner "a prueba todo lo que sabíamos" y que "la experiencia permitió entender mejor el funcionamiento de las aerolíneas y cómo se lucha para mantenerse en el mercado, lo que hizo el aprendizaje más dinámico y significativo".

Esta elevada percepción de utilidad actúa como el verdadero motor que activa el Ciclo de Aprendizaje Experiencial de David Kolb (1984). El caso de éxito más emblemático de este proceso es el equipo Lax Lovers perteneciente a la cohorte IAC017 2025. Según los registros de calificaciones de la asignatura, este grupo alcanzó el promedio más alto de la simulación con un puntaje sobresaliente de 105,35 puntos (resultado de un buen desempeño impulsado por 17,5 puntos de bonificación), lo que les permitió culminar la asignatura con una Nota Final de 90,01 puntos. En las encuestas de experiencia de usuario, los integrantes de aerolíneas líderes como Drawbridge o Darkar reportaron un nivel de acuerdo del 100% respecto a la utilidad crítica de los tableros de control del software, tales como las curvas de demanda por ruta, los balances de utilización de flota y los reportes de competitividad del mercado. Para estos estudiantes, el software no fue percibido como un ejercicio académico, sino como un tablero de gestión real que dotó de sentido práctico a las herramientas del curso.

La alineación entre la teoría y la práctica en equipos como Lax Lovers o Darkar demuestra que cuando la utilidad percibida es alta, los estudiantes recorren de manera fluida las cuatro fases secuenciales del ciclo de Kolb. El proceso se inició en la fase de conceptualización abstracta, donde los estudiantes partieron desde el dominio de teorías macroeconómicas y los modelos de gestión de aerolíneas estudiados previamente e internalizados en los certámenes de cátedra. Posteriormente, transitaron hacia la experimentación activa al someter estos principios a la prueba de la competencia en tiempo real, modificando dinámicamente sus estructuras tarifarias, configurando itinerarios y ejecutando compras estratégicas de aeronaves en respuesta a los movimientos del mercado. La tercera fase, correspondiente a la experiencia concreta, se materializó al procesar las repercusiones de sus políticas comerciales en el sistema; un hecho respaldado por el 100% de los encuestados de IAC017, quienes confirmaron en el cuestionario que todas las decisiones que iban tomando se vieron reflejadas de manera directa y tangible en el desempeño financiero y operativo de la simulación.

Finalmente, el ciclo se cerró con una fase de observación reflexiva durante la cual los estudiantes, a través del informe final, auditaron en profundidad sus reportes de Yield Management y analizaron sus brechas de rentabilidad mediante el balanceo constante del ingreso medio por asiento-kilómetro disponible (RASK) frente al costo medio por asiento-kilómetro disponible (CASK). Esta madurez reflexiva queda demostrada al constatar que el 100% de los estudiantes del ciclo profesional declaró haber realizado Benchmarking durante la simulación, observando las estrategias comerciales, tarifas y flotas de la competencia para aprender de ellas y recalibrar sus propias decisiones. De este modo, la sinergia entre el modelo de aceptación tecnológica de Davis (1987) y el ciclo experiencial de Kolb (1984) explica cómo AirWay Sim transforma el conocimiento teórico en una competencia ejecutiva profunda y transferible al futuro laboral de los estudiantes.

La triangulación con el modelo TAM aporta fundamentación para interpretar la baja correlación lineal ($r = 0{,}0960$) entre los certámenes teóricos tradicionales y el desempeño en el simulador. Las evaluaciones escritas miden exclusivamente la retención conceptual en un entorno controlado e individual. Un estudiante puede memorizar a la perfección fórmulas matemáticas y conceptos aislados, pero carecer de la pericia para interpretar tableros de control y ajustar sus estrategias de manera adecuada bajo presión. En contraposición, se debe considerar que los certámenes son individuales y la gestión de la aerolínea virtual otorga una nota grupal, por lo que podría haber estudiantes "acarreando" a su grupo.

Según Yolanda Argudín (2006) y Sergio Tobón (2011), la competencia laboral es una articulación compleja de saberes. Las encuestas de coevaluación en equipos con menor rendimiento (como Arackar Air en 2024 o Ipanema en 2025) revelaron fricciones en la comunicación y sesgos en la delegación de tareas. Así, el modelo TAM y las valoraciones de usuario demuestran que el simulador evalúa el saber convivir y el saber hacer en contexto, variables que un certamen teórico es, por definición, incapaz de medir.

La siguiente tabla resume el cruce entre los indicadores numéricos, las dimensiones del modelo TAM y las teorías del aprendizaje revisadas en el Marco Teórico:

Dimensión TAM (Davis, 1987)	**Indicador Cuantitativo**	**Hallazgo Cualitativo (Encuestas UX)**	**Fundamentación Teórica / Pedagógica**	**Impacto en el Perfil de Egreso UTFSM**
Facilidad de Uso (PEOU)	Salto en Nota promedio de AWS de 66,81 (2.º Año) a 80.87 (4.º Año 2025).	92,8% valora la interfaz como intuitiva y ergonómica en el ciclo profesional.	Teoría de la Carga Cognitiva (Sweller, 1988): La automatización del uso libera memoria de trabajo para el análisis estratégico.	Autonomía técnica y rápida adaptabilidad a softwares especializados.
Utilidad Percibida (PU)	Rendimiento máximo en equipos líderes (105,35 pts en Lax Lovers).	100% de acuerdo en la utilidad de tableros de control y balances financieros del sistema.	Ciclo de Kolb (1984): Experimentación activa guiada por feedback financiero en tiempo real.	Capacidad para la toma de decisiones estratégicas y resolución de problemas.
Aceptación Integral y Realismo	Baja correlación (r=0,0960) frente a certámenes escritos.	Identificación de fricciones grupales y exigencia relacional en coevaluaciones.	EBC (Argudín, 2006; Tobón, 2011): Disociación entre memorización pasiva y ejecución operativa bajo presión sistémica.	Validación del simulador como instrumento de evaluación auténtica del saber convivir y liderazgo ético.

Tabla 8: Cuadro resumen del cruce entre los indicadores numéricos, las dimensiones del modelo TAM y las teorías del aprendizaje revisadas en el Marco Teórico. Fuente: Elaboración propia.

3.4 Propuesta de modelo de gestión, seguimiento y mejora continua

Para dar cumplimiento al cuarto objetivo específico, esta sección presenta el diseño de un Modelo de Gestión, Seguimiento y Mejora Continua en torno al eje de simulación de la carrera, compuesto por las asignaturas de Taller de Integración de Competencias I (IAC003) y Empresas Aeronáuticas II (IAC017). La propuesta tiene como propósito sistematizar la recolección anual de datos de rendimiento operativo y de percepción de usabilidad para diagnosticar desviaciones didácticas a tiempo, calibrar la estrategia docente y asegurar que la simulación evolucione en sintonía con las competencias del perfil de egreso.

En lugar de estructurar una propuesta teórica aislada, este modelo de gestión se construye desde una base construida con elementos de los casos de estudio revisados en la bibliografía. En primer lugar, se incorpora el rastreo de esquemas conceptuales y modelos mentales de Elsawah et al. (2017) para diagnosticar cualitativamente cómo los estudiantes de cuarto año asimilan la toma de decisiones complejas y la adaptabilidad ante la incertidumbre operativa. En segundo lugar, el modelo asimila el enfoque de evaluación multidimensional de Grijalvo et al. (2022), integrando la encuesta de usabilidad y utilidad del Modelo TAM de Davis (1987) para equilibrar las destrezas técnicas duras con la experiencia de usuario y evitar la sobrecarga de la memoria de trabajo. En tercer lugar, se replica la especificidad técnica del sector aéreo validada por Filazoğlu et al. (2021) y Dinçer (2023), utilizando los indicadores clave de rendimiento del simulador (tales como RASK, CASK y factores de ocupación) como disparadores de alerta pedagógica ante vacíos conceptuales específicos. Finalmente, se adopta el esquema de gamificación competitiva y calibración de recompensas analizado por Aguiar-Castillo et al. (2021) para auditar el impacto de los sistemas de puntos adicionales de mercado, garantizando que el diseño del componente de competitividad mantenga una alta motivación intrínseca sin distorsionar la rigurosidad de las calificaciones.

El modelo tiene como propósito asegurar que la incorporación de herramientas tecnológicas como AirWay Sim no sea un hito aislado o dependiente del criterio de un docente de turno, sino un proceso institucionalizado, auditable y en constante optimización. El flujo de decisiones pedagógicas y los indicadores de control consta de tres fases y un canal de retroalimentación.

Fase 1: Protocolo de captura de datos

La recolección de información se realiza de forma semestral al cierre de cada ciclo de simulación. Esta fase se alimenta de tres fuentes de datos con metodologías diferenciadas y complementarias, asegurando un enfoque multidimensional como el propuesto por Grijalvo et al., (2022):

A. Monitoreo de KPIs operativos de la industria aérea

Inspirado en los trabajos de Filazoğlu et al. (2021) y Dinçer (2023), el simulador no se evalúa únicamente por calificaciones tradicionales, sino por el desempeño de los grupos en variables reales de la industria. Al final de cada periodo de simulación, el docente debe extraer del sistema un reporte consolidado con las métricas de RASK, CASK y Factor de Ocupación

B. Evaluación de percepción de usabilidad y carga cognitiva (Encuesta TAM)

Siguiendo la revisión sistemática de Grijalvo et al. (2022) y fundamentado en el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) de Fred Davis (1987), se aplica a los estudiantes un cuestionario estandarizado al término de la asignatura. El cuestionario utiliza una escala de Likert de 1 a 5 puntos para medir dos dimensiones críticas:

- **Percepción de Facilidad de Uso (PEOU):** Evalúa si la interfaz del software añade o no una "carga cognitiva extraña" (Sweller, 1988) que dificulte el aprendizaje conceptual.

- **Percepción de Utilidad (PU):** Mide el grado en que el alumno valora el simulador como una herramienta de entrenamiento real.

C. Rastreo de Modelos Mentales y Esquemas Conceptuales

Tomando de la metodología de Elsawah, McLucas y Mazanov (2017), se administra un ejercicio de Mapeo Causal de Negocio en formato Pre-Test (semana 1 de clases) y Post-Test (semana de cierre). Los estudiantes deben graficar, según su percepción, las relaciones entre las variables críticas de una aerolínea. El equipo docente evalúa el cambio en la densidad de conectividad (número de enlaces entre conceptos técnicos) y la presencia de bucles de retroalimentación, evidenciando la transición desde un pensamiento lineal hacia un pensamiento sistémico.

Fase 2: Umbrales de Alerta

Una vez capturados los datos de la Fase 1, se procesan y se definen límites específicos para resguardar la correcta aplicación de la metodología. El modelo gatilla tres alertas tempranas:

Alerta 1: Carga Cognitiva Extraña

Si el PEOU promedio de la cohorte es inferior a 75 puntos, existe riesgo de que el simulador esté generando una barrera de entrada técnica. Los alumnos gastan demasiada energía mental descifrando cómo usar el software en lugar de analizar el negocio de aerolíneas, saturando su memoria de trabajo (Sweller, 1988).

Alerta 2: Fracaso Financiero

Si más de un grupo opera con márgenes negativos ($RASK < CASK$) o con Factores de Ocupación promedio inferiores a su Break-even Load Factor significa que los estudiantes no están logrando conectar las clases teóricas con las decisiones tácticas del simulador, revelando un vacío conceptual que debe ser corregido.

Alerta 3: Disfuncionalidad

Si se observan calificaciones individuales de coevaluación intermedia inferiores al 60% o si se encuentran asimetrías de participación, el simulador podría estar penalizando el

desempeño de la aerolínea debido a disfunciones relacionales dentro del grupo, reproduciendo casos de colapso operativo por falta de liderazgo colaborativo (Tobón, 2011).

Fase 3: Protocolos de Ajuste Pedagógico

La activación de cualquiera de las alertas de la Fase 2 obliga a tomar de acciones remediales para reencauzar la experiencia didáctica antes del cierre del semestre o en la planificación del ciclo siguiente:

- **Acción ante Alerta 1:** El docente debe reestructurar el andamiaje instruccional. Esto implica diseñar guías paso a paso simplificadas y programar sesiones de inducción adicionales dirigidas a mejorar la comprensión del funcionamiento del software

- **Acción ante Alerta 2:** Se debe incorporar un taller de "Análisis de Diagnóstico Financiero" grupal, donde se auditan los balances de las aerolíneas virtuales para enseñar a los estudiantes a identificar fugas de rentabilidad y aplicar estrategias de fijación de precios y de marketing.

- **Acción ante Alerta 3:** El docente interviene de manera directa como mediador en los grupos que presenten problemas de convivencia. Se propone una reestructuración de funciones en los equipos afectados, buscando la rotación de liderazgos y generando minutas de compromisos individuales para sincerar las competencias del saber convivir (Argudín, 2006).

Canal de Retroalimentación de Lazo Cerrado (Mejora Continua)

La verdadera innovación de esta propuesta radica en que las salidas (Fase 3) no solo resuelven problemas inmediatos en el aula, sino que alimentan la calibración anual del plan metodológico.

Al finalizar el año académico, se debe contrastar el coeficiente de correlación de Pearson ($r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}$) obtenido entre los certámenes teóricos y la nota del simulador. Si el valor de r permanece cercano a cero ($r \approx 0.0960$), pero los indicadores cualitativos TAM demuestran una alta percepción de usabilidad y utilidad, el modelo convalida que la brecha no es un error de los estudiantes, sino una propiedad del diseño evaluativo.

Esta evidencia empírica al simulador como una herramienta de evaluación auténtica e integral del perfil de egreso (Argudín, 2006; Tobón, 2011). Asimismo, basándose en la metodología de gamificación y torneos competitivos de Aguiar-Castillo et al. (2021), se revisará anualmente el impacto del sistema de incentivos y puntos adicionales. Esto permitirá ajustar los criterios de bonificación para mantener una alta motivación intrínseca en los estudiantes sin generar distorsiones que alteren artificialmente las calificaciones de las actas de notas finales de la universidad.

La correlación entre las dimensiones del Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) de Davis (1987) y el desempeño en el simulador es lo que conecta la adquisición de conocimientos

técnicos y el desarrollo de habilidades prácticas. Los datos consolidados del estudio muestran que la facilidad de uso percibida (PEOU) influye en el rendimiento operativo de los estudiantes. Al disminuir la complejidad de operación del software (reflejada en la transición del ciclo básico al ciclo profesional, donde la valoración positiva la usabilidad pasó de 91,2% a 92,8%), se libera capacidad en la memoria de trabajo para el procesamiento relevante de los contenidos (Sweller, 1988). Esta reasignación de recursos cognitivos permite al estudiante asimilar la utilidad percibida (PU) y mejorar sus resultados cuantitativos, pasando de un promedio de 66,81 puntos en la cohorte básica a promedios de 80,87 y 94,98 puntos en las cohortes profesionales. Debido a que no se dispone de las respuestas individuales desagregadas de la encuesta TAM para casos específicos de la muestra, el análisis se limita a estas tendencias grupales.

Conclusiones

El análisis de la malla curricular y del perfil de egreso de Ingeniería en Aviación Comercial identifica que las asignaturas del eje de administración presentan una separación entre la adquisición de conceptos teóricos y la capacidad de ejecución en entornos dinámicos. Al mapear el avance curricular en las asignaturas de Taller de Integración de Competencias I (IAC003) y Empresas Aeronáuticas II (IAC017), se evidencia que las áreas de gestión operativa (planificación de rutas y gestión de flotas) y de gestión comercial (fijación de precios y marketing) son los espacios donde la simulación fortalece el aprendizaje basado en competencias, actuando como el nexo metodológico para transitar desde la enseñanza de contenidos aislados hacia la integración declarada por Tobón (2011) y Argudín (2006). La introducción de la plataforma permite que los estudiantes movilicen de forma conjunta estas variables operativas y comerciales en un mercado simulado, conectando las exigencias de evaluación con las competencias de egreso institucionales.

En este sentido, la simulación con AirwaySim se presenta como un vehículo para fortalecer tres competencias sello transversales declaradas por la UTFSM: la resolución de problemas, la comunicación efectiva y el compromiso con la calidad. La competencia de resolución de problemas se potencia al exigir respuestas inmediatas y adaptativas frente a la inestabilidad del mercado, transformando el análisis de variables estáticas en una gestión sistémica donde se debe balancear el ingreso por asiento-kilómetro ofrecido (RASK) y el costo por asiento-kilómetro ofrecido (CASK) en tiempo real. Por su parte, la comunicación efectiva se ejercita de manera obligatoria dentro de la estructura de trabajo grupal, donde los estudiantes deben debatir, negociar y consensuar decisiones estratégicas complejas bajo restricciones de tiempo antes de que finalice el ciclo de simulación. Asimismo, el compromiso con la calidad se fomenta de forma práctica y ética mediante la gestión de los riesgos operacionales y la optimización de recursos, donde el descuido en la planificación o en los mantenimientos preventivos se traduce en fallas operativas, pérdida de reputación comercial y penalizaciones financieras dentro del software.

La justificación de esta asimetría radica tanto en el marco de los modelos mentales como en los resultados analíticos de esta investigación. El coeficiente de correlación de Pearson calculado para el ciclo profesional ($r = 0{,}0960$, con una muestra unificada de $N = 46$) demuestra la ausencia de una relación lineal entre el rendimiento en exámenes escritos de cátedra y el desempeño práctico en el simulador AirwaySim. Esta disociación ratifica que las evaluaciones tradicionales miden la retención de conceptos estáticos (el "saber conocer" de Tobón), mientras que la gestión operativa y comercial en el simulador exige capacidades de adaptabilidad, resolución de problemas bajo presión y toma de decisiones sistémicas. El análisis de casos individuales, como el del estudiante con un promedio teórico de 86 que obtuvo un rendimiento de 23,1 en la simulación, confirma que la pericia teórica aislada en planificación de rutas o fijación de precios no se traduce de manera automática en capacidad de ejecución operativa cuando estas variables interactúan simultáneamente en un escenario competitivo real.

La evaluación cuantitativa y cualitativa del impacto de AirWay Sim en la gestión de aerolíneas virtuales muestra que la simulación es un recurso eficaz para la integración de

conocimientos operativos en planificación de rutas, fijación de precios, gestión de flotas y marketing. Esta metodología permite la aplicación del ciclo de aprendizaje experiencial de Kolb (1984) al facilitar la observación de los efectos de las decisiones comerciales sobre indicadores como el costo por asiento-kilómetro ofrecido (CASK), el ingreso por asiento-kilómetro ofrecido (RASK) y los factores de ocupación, métricas centrales en la economía del transporte aéreo. El análisis cualitativo basado en el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) de Davis (1989) respalda esta observación: el equipo con mejor desempeño de la cohorte 2025 (Lax Lovers) registró una calificación de 105,35 puntos en el simulador y un 100% de acuerdo respecto a la utilidad percibida (PU) de las herramientas analíticas del software para optimizar la toma de decisiones.

La correlación entre las dimensiones del Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) de Davis (1987) y el desempeño en el simulador es el nexo entre la adquisición de conocimientos técnicos y el desarrollo de habilidades prácticas. Los datos agregados del estudio muestran que la facilidad de uso percibida (PEOU) influye en el rendimiento de los estudiantes. La disminución en la percepción de complejidad de operación del software reflejada en la transición del ciclo básico al ciclo profesional, donde el 92,8% de los alumnos valoró positivamente la usabilidad, se traduce en una reducción de la carga cognitiva extraña, liberando capacidad en la memoria de trabajo para el procesamiento de los contenidos. Esta reasignación de recursos cognitivos permite al estudiante asimilar la utilidad percibida (PU) y mejorar sus resultados cuantitativos, pasando de un promedio de 66,81 puntos en la cohorte básica a promedios de 80,87 y 94,98 puntos en las cohortes profesionales.

La evaluación del desarrollo de habilidades prácticas confirma una desconexión entre el rendimiento académico obtenido en evaluaciones teóricas y el desempeño en el entorno de simulación. El coeficiente de correlación de Pearson calculado ($r = 0.0960$, con una muestra de $N = 46$) expone la ausencia de relación entre ambas variables. Este resultado indica que las pruebas escritas tradicionales presentan limitaciones para predecir la capacidad de resolución de problemas bajo restricción de tiempo, la toma de decisiones estratégicas ante la incertidumbre y la adaptabilidad frente a las dinámicas del mercado. Los simuladores de gestión demandan el desarrollo de modelos mentales complejos, un proceso cognitivo que va más allá de la retención de conceptos estáticos. La plataforma opera, por tanto, como un instrumento de evaluación auténtica que obliga al estudiante a integrar conocimientos técnicos y capacidades operativas en escenarios dinámicos, en conformidad con el enfoque de educación basada en competencias.

El modelo de gestión, seguimiento y mejora continua de ciclo cerrado representa la estructura metodológica que asegura la sostenibilidad y el control del ambiente de simulación en la carrera. Al articular indicadores cuantitativos de rendimiento con variables cualitativas del modelo TAM de Davis y del mapeo causal de Elsawah, McLucas y Mazanov, el sistema orienta la toma de decisiones docentes hacia el desarrollo de competencias sello UTFSM a través de un sistema de alertas aplicada en Taller de Integración de Competencias I (IAC003), Empresas Aeronáuticas I (IAC007) y Empresas Aeronáuticas II (IAC017).

En primer lugar, la alerta de carga cognitiva extraña se activa cuando la facilidad de uso percibida (PEOU) se proyecta o registra bajo el umbral de 75 puntos. Al analizar el ciclo básico (IAC003), que registró un rendimiento operativo promedio de 66,81 puntos, la teoría

de Sweller (1988) explica que este resultado no responde a una incapacidad para comprender el software, sino a la competencia simultánea por los recursos limitados de la memoria de trabajo entre la carga intrínseca (los fundamentos económicos del negocio aéreo) y la carga extraña (la interacción inicial con una interfaz no familiar). Esta demanda cognitiva simultánea absorbe la capacidad atencional del estudiante, y con ella la capacidad de procesamiento que se requiere para la construcción de modelos mentales a la altura de la complejidad de manejar una aerolínea virtual. La existencia de esta variable queda demostrada matemáticamente por la disociación con las calificaciones obtenidas en los certámenes teóricos ($r = 0{,}0960$). Por lo tanto, la activación de esta alerta gatilla la adición de horas de refuerzo práctico y la simplificación de los manuales para acelerar la asimilación del software, liberando espacio mental para proteger el desarrollo de la competencia sello de resolución de problemas.

En segundo lugar, la alerta de déficit financiero, activada cuando el factor de ocupación se sitúa por debajo del Break-even Load Factor o el costo por asiento-kilómetro ofrecido supera al ingreso ($CASK > RASK$), desencadena actividades de diagnóstico financiero para corregir las deficiencias en planificación de rutas y fijación de precios, fundamentando la competencia de compromiso con la calidad. En tercer lugar, la alerta de colapso relacional se activa ante registros de coevaluación de pares inferiores al 60%, permitiendo la mediación docente para reestructurar funciones, lo que fomenta el desarrollo de la competencia de comunicación efectiva dentro de los grupos.

De este modo, la articulación de estos umbrales faculta al docente a cargo del protocolo de simulación para realizar ajustes semestrales y calibrar los incentivos por gamificación, vinculando los resultados de la plataforma con el perfil de egreso universitario dentro de los marcos de la educación basada en competencias.

La evaluación del impacto de la simulación como herramienta pedagógica en la carrera de Ingeniería en Aviación Comercial demuestra que su integración sistemática no funciona como un reemplazo de la enseñanza teórica tradicional, sino como un complemento, ya que se trata de un entorno de aprendizaje que desarrolla habilidades de ejecución que son más difíciles de medir mediante evaluaciones convencionales. La respuesta cuantitativa al objetivo general se halla en el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0{,}0960$) obtenido al contrastar los certámenes teóricos con el rendimiento en el simulador. Este valor demuestra independencia entre ambos métodos de evaluación. Metodológicamente, este hallazgo confirma que la simulación mide una dimensión de competencias distintas. Mientras el aula tradicional evalúa la retención y comprensión conceptual, el entorno simulado exige la transferencia de dicho conocimiento bajo condiciones de cambiantes, validando la utilidad de incorporar estas plataformas para evaluar el perfil de egreso del estudiante.

Con respecto a la optimización de la carga cognitiva, la integración de este simulador en el plan de estudios (desde el ciclo básico en IAC003 hasta el ciclo profesional en IAC017) resulta importante para priorizar los recursos atencionales del alumno. Los datos de la investigación corroboran esta premisa: en el ciclo básico (IAC003), la falta de familiaridad con la interfaz del software actúa como una carga cognitiva extraña que compite con los fundamentos financieros de la industria, traduciéndose en un rendimiento promedio limitado de 66,81 puntos. Sin embargo, la exposición sistemática reduce esta fricción. En el ciclo

profesional (IAC017), donde el 92,8% de los estudiantes reporta una percepción positiva de usabilidad (PEOU), la familiaridad con los conceptos teóricos de la operación libera la memoria de trabajo. Esta optimización cognitiva redirige el esfuerzo hacia el procesamiento germano, permitiendo que los promedios escalen a rangos de entre 80,87 y 94,98 puntos, lo que valida la transición hacia la formación de modelos mentales avanzados.

Finalmente, el impacto de la simulación influye de manera directa en la consolidación de las Competencias Sello de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Al enfrentar a los estudiantes a escenarios donde sus estrategias no logren que el ingreso por asiento-kilómetro ofrecido superen al costo, o que los factores de ocupación superen los umbrales críticos, la plataforma fuerza el despliegue de la Resolución de Problemas complejos. Tener que balancear estas variables financieras con mantenimiento preventivo y condiciones laborales de los empleados virtuales de sus aerolíneas enseña el Compromiso con la Calidad. Asimismo, la integración del modelo de ciclo cerrado mediante la coevaluación permite auditar la dinámica de los equipos, garantizando que el entorno interactivo potencie la Comunicación Efectiva y mitigue conductas disfuncionales. El uso de estos entornos permite a los individuos comprender la dinámica del sistema y anticipar las consecuencias de las decisiones estratégicas. Por consiguiente, la simulación sistemática, regulada por indicadores TAM y de carga cognitiva constituye un motor pedagógico que ayuda a que el futuro Ingeniero en Aviación Comercial posea no solo el conocimiento técnico, sino la resiliencia y la capacidad analítica requeridas para gestionar de manera adecuada los recursos en un entorno laboral alineado con las Competencias Sello deseadas en el perfil de egreso por la Universidad Técnica Federico Santa María.

Bibliografía

Aguiar-Castillo, L., Clavijo-Rodriguez, A., Hernández-López, L., De Saa-Pérez, P., & Pérez-Jiménez, R. (2021). Gamification and deep learning approaches in higher education. *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education*, *29*, Artículo 100290.

Argudín, Y. (2006). *Educación basada en competencias: Nociones y antecedentes*. Editorial Trillas.

Borrajo, F., Bueno, Y., de Pablo, I., Santos, B., Fernández, F., García, J., & Sagredo, I. (2010). SIMBA: A simulator for business education and research. *Decision Support Systems*, *48*(3), 498–506.

Capatina, A., Juarez-Varon, D., Micu, A., & Micu, A. E. (2024). Leveling up in corporate training: Unveiling the power of gamification to enhance knowledge retention, knowledge sharing, and job performance. *Journal of Innovation & Knowledge*, *9*(3), Artículo 100530.

Clausen, J., Larsen, A., & Larsen, J. (2005). *Disruption management in the airline industry: Concepts, models and methods* (Technical Report 2005-15). Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark.

Creswell, J. W. (2009). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (3rd ed.). SAGE Publications.

Davis, F. D. (1987). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, *13*(3), 319–340.

Dinçer, N. (2023). Elevating aviation education: A comprehensive examination of technology's role in modern flight training. *Journal of Aviation*, *7*(2), 317–323.
.
Doganis, R. (2009). *Flying off course: Airline economics and marketing* (4th ed.). Routledge.

Elsawah, S., Guillaume, J. H. A., Filatova, T., Rook, J., & Jakeman, A. J. (2017). A methodology for ranking system dynamics models according to their fit-for-purpose. *Environmental Modelling & Software*, *73*, 217–230.

Filazoğlu, E., Ateş, S. S., & Kafalı, H. (2021). Usage of airport operation simulations in aviation training. *Journal of Aviation*, *5*(2), 101–110.

Grijalvo, M., Segura, A., & Núñez, Y. (2022). Computer-based business games in higher education: A proposal of a gamified learning framework. *Technological Forecasting and Social Change*, *178*, Artículo 121597.

Hakak, S., Noor, N. F. M., Ayub, M. N., Affal, H., Hussin, N., Ahmed, E., & Imran, M. (2019). Cloud-assisted gamification for education and learning: Recent advances and challenges. *Computers & Electrical Engineering*, *74*, 22–34.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

International Air Transport Association. (2020). *Competency-based training and assessment (CBTA) center manual* (1st ed.). IATA.

International Civil Aviation Organization. (2020). *Manual on competency-based training and assessment* (Doc 9868, 3rd ed.). ICAO.

Kierzkowski, A. (2008). Application of simulation modeling to the analysis of the operation of the airport terminal functional subsystem. *Archives of Transport*, *22*(4), 441–450.

Kolb, D. A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Prentice-Hall.

Obaya, A., Vargas, Y. M., & Delgadillo, G. (2011). Aspectos relevantes de la educación basada en competencias para la formación profesional. *Educación Química*, *22*(1), 63–68.

Razzaghi, P., Tabrizian, A., Guo, W., Chen, S., Taye, A., Thompson, E., Bregeon, A., Baheri, A., & Wei, P. (2024). A survey on reinforcement learning in aviation applications. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *136*, Artículo 108911.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, *12*(2), 257–285.

Tobón, S. (2011). *Formación integral y competencias: Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación* (4.ª ed.). Instituto CIFE.

Anexos

Anexo I: Estadísticas Descriptivas Consolidadas por Cohorte

El procesamiento de las actas oficiales de calificaciones permite establecer los parámetros estadísticos centrales (tendencia central y dispersión) para cada ciclo formativo. Todas las calificaciones se expresan en la escala estandarizada institucional de 1 a 100 puntos.

A. Ciclo Básico — Cohorte IAC003 2024 ($N_1 = 33$):

Mide el desempeño de los estudiantes de segundo año frente a la introducción del software de simulación.

Componente Evaluativo	Media (μ)	Mediana	Desv. Estándar (SD)	Mínimo	Máximo	Ponderación
Nota 1: Asistencia y Participación	71.82	70.00	13.34	40.00	90.00	10%
Nota 2: Casos Teóricos y Controles	77.40	79.01	5.18	61.60	83.36	30%
Nota 3: Informe y Pres. Visita FBO	82.36	85.50	10.59	50.00	96.00	30%
Nota 4: Trabajo Integrado AWS	66.81	68.70	8.80	52.30	79.75	30%
Nota Final del Curso	75.16	74.12	4.46	62.64	82.68	100%

Tabla 9: Consolidado de calificaciones de la cohorte IAC003 2024. Fuente: elaboración propia a partir de los informes de notas proporcionados.

Aerolínea Virtual	Alumnos (n)	Asistencia (10%)	Casos (30%)	Visita FBO (30%)	Software AWS (30%)	Nota Final
CRA Airlines	6	80.00	81.93	85.50	76.75	81.26
Nova Airlines	6	81.67	81.60	83.50	68.80	78.34
Centurion Airways	3	80.00	70.84	69.50	79.75	74.03
Aeropaysy-PaysyAir	5	72.00	73.74	91.50	55.10	73.30
Sigma Air	6	68.33	78.73	71.00	68.70	72.36
Orion Airlines	5	58.00	77.73	84.00	60.00	72.32
Star Connect	2	50.00	65.44	96.00	52.30	69.12

Tabla 10: Consolidado de calificaciones agrupadas por aerolínea virtual de la cohorte IAC003 2024. Fuente: elaboración propia a partir de los informes de notas proporcionados.

B. Ciclo Profesional — Cohorte IAC017 2024 ($N_2 = 23$)

Mide el desempeño de la primera cohorte de cuarto año expuesta al componente de competitividad.

Componente Evaluativo	Media (μ)	Mediana	Desv. Estándar(SD)	Mínimo	Máximo	Ponderación
Nota 1: Promedio de Controles	78.35	80.71	8.51	54.99	90.06	10%
Nota 2: Promedio de Certámenes	75.43	74.25	14.15	51.80	100.00	50%
Nota 3: Trabajo Grupal e Intervención AWS	92.16	97.11	10.79	63.69	100.00	30%
Nota 4: Participación en Clases	78.83	88.50	17.02	31.20	94.70	10%
Nota Final del Curso	81.08	83.35	9.67	57.93	97.49	100%

Tabla 11: Consolidado de calificaciones de la cohorte IAC017 2024. Fuente: Fuente: elaboración propia a partir de los informes de notas proporcionados.

Aerolínea Virtual	Alumnos (n)	Controles (10%)	Certámenes (50%)	Plan Maestro (30% de N3)	AWS Neto (70% de N3)	Ptos Extra AWS	Nota TG Final	Nota Final
Enfasis Air	**5**	**79.49**	**85.30**	**72.00**	**87.20**	**23.50**	**100.00**	**89.79**
Jetmex	**4**	**82.57**	**86.85**	**80.00**	**72.50**	**5.00**	**84.23**	**84.97**
Equinox	**5**	**81.39**	**76.44**	**89.00**	**65.40**	**20.50**	**97.11**	**83.81**
The Boys Airlines	**4**	**82.07**	**60.44**	**78.00**	**71.60**	**27.00**	**100.00**	**77.08**
Andes Airways	**3**	**69.52**	**73.20**	**74.00**	**73.40**	**11.50**	**89.95**	**75.63**
Arackar Air	**2**	**65.29**	**58.75**	**71.00**	**50.30**	**0.00**	**63.69**	**60.91**

Tabla 12: Consolidado de calificaciones agrupadas por aerolínea virtual de la cohorte IAC017 2024. Fuente: elaboración propia a partir de los informes de notas proporcionados.

C. Ciclo Profesional — Cohorte IAC017 2025 ($N_3 = 23$)

Mide la estabilidad del rendimiento académico del ciclo avanzado bajo la misma configuración metodológica.

Componente Evaluativo	Media (μ)	Mediana	Desv. Estándar SD)	Mínimo	Máximo	Ponderación
Nota 1: Participación en Clase Presencial	86.23	91.67	11.68	66.67	100.00	10%
Nota 2: Promedio de Controles (PQ)	73.20	81.35	16.91	35.45	93.87	10%
Nota 3: Promedio de Certámenes (C)	74.55	76.63	13.02	30.88	93.38	50%
Nota 4: Nota Final AirwaySim (TG)	80.87	84.45	16.68	23.10	105.35	30%
Nota Final Semestre (NS)	77.48	79.20	8.33	57.53	94.02	100%

Tabla 13: Consolidado de calificaciones de la cohorte IAC017 2025 Fuente: elaboración propia a partir de los informes de notas proporcionados.

Aerolínea Virtual	Alumnos (n)	Participación (10%)	Controles (10%)	Certámenes (50%)	AWS Base (30%)	Ptos Extra (AS)	Nota TG Final	Nota Final
Lax Lovers	3	91.67	68.84	84.71	87.85	17.50	105.35	90.01
Dynamic	2	95.83	75.57	81.13	71.70	3.50	75.20	80.26
Darkar	2	91.67	71.88	76.44	75.65	6.50	82.15	79.22
Ipanema L. A.	6	79.17	62.30	75.63	70.27	10.50	80.77	76.19
Drawbridge	5	91.67	78.77	67.38	72.43	8.00	80.43	74.86
Icarus	4	77.08	80.16	67.22	76.85	3.00	79.85	73.29
Individual	1	91.67	93.87	86.00	23.10	0.00	23.10	68.48

Tabla 14: Consolidado de calificaciones agrupadas por aerolínea virtual de la cohorte IAC017 2025. Fuente: Fuente: elaboración propia a partir de los informes de notas proporcionados.

D. Datos de análisis de correlación

Estudiante_ID	Certámenes	AirWaySim	Cohorte
2024-1	88,3	97,11	IAC017 2024
2024-2	80,5	97,11	IAC017 2024
2024-3	57	100	IAC017 2024
2024-4	55,5	100	IAC017 2024
2024-5	74,25	84,23	IAC017 2024
2024-6	96	84,23	IAC017 2024
2024-7	72	89,945	IAC017 2024
2024-8	69,9	97,11	IAC017 2024
2024-9	79,7	100	IAC017 2024
2024-10	57,65	97,11	IAC017 2024
2024-11	85,85	97,11	IAC017 2024
2024-12	60,6	89,945	IAC017 2024
2024-13	87,5	84,23	IAC017 2024
2024-14	68,1	100	IAC017 2024
2024-15	87	89,945	IAC017 2024
2024-16	65,7	63,685	IAC017 2024
2024-17	61,15	100	IAC017 2024
2024-18	51,8	63,685	IAC017 2024
2024-19	82,35	100	IAC017 2024
2024-20	89,65	84,23	IAC017 2024
2024-21	71,95	100	IAC017 2024
2024-22	92,5	100	IAC017 2024
2024-23	100	100	IAC017 2024
2025-1	79,25	79,85	IAC017 2025
2025-2	93,38	105,35	IAC017 2025
2025-3	84,62	75,2	IAC017 2025

2025-4	78,62	82,15	IAC017 2025
2025-5	75	85,2	IAC017 2025
2025-6	77,62	75,2	IAC017 2025
2025-7	79,25	84,45	IAC017 2025
2025-8	77	85,2	IAC017 2025
2025-9	76,62	79,85	IAC017 2025
2025-10	66,25	84,45	IAC017 2025
2025-11	52,25	84,45	IAC017 2025
2025-12	74,25	82,15	IAC017 2025
2025-13	73,38	105,35	IAC017 2025
2025-14	30,88	79,85	IAC017 2025
2025-15	73,75	64,35	IAC017 2025
2025-16	88,12	85,2	IAC017 2025
2025-17	65,38	84,45	IAC017 2025
2025-18	87,38	105,35	IAC017 2025
2025-19	65	58,6	IAC017 2025
2025-20	82,12	79,85	IAC017 2025
2025-21	73,25	85,2	IAC017 2025
2025-22	86	23,1	IAC017 2025
2025-23	75,38	85,2	IAC017 2025

Tabla 15: Comparativa entre el promedio de certámenes y la nota por AirwaySim de cada estudiante del ciclo profesional. Fuente: elaboración propia a partir de los informes de notas proporcionados.

Muestra / Cohorte	N	Correlación r
Ciclo Profesional 2024	23	0,162
Ciclo Profesional 2025	23	0,045
Combinada (2024 + 2025)	46	0,096

Tabla 16: Correlación "r" entre los datos de cada grupo, consolidado en la última fila. Fuente: elaboración propia a partir de los informes de notas proporcionados.

E. Datos de análisis de percepción

Área de Gestión Operativa y Comercial	Media Ciclo Básico (2.º Año)	Media Ciclo Profesional (4.º Año)	Variación (2° a 4°)
Gestión financiera	4,35	4,43	+0,08
Gestión operativa	4,47	4,64	+0,17
Planificación de rutas	4,47	4,93	+0,46
Marketing	3,59	4,00	+0,41
Precios de los pasajes	4,18	4,00	-0,18
Información de los aeropuertos	4,24	4,50	+0,26
Información de las flotas de aeronaves	4,88	4,71	-0,17
Precios de combustible	4,18	4,29	+0,11
Programación del mantenimiento	4,53	4,64	+0,11
Sueldos del personal	3,76	4,07	+0,31

Tabla 17: Valoración de importancia percibida de cada área de gestión incluida en el simulador, dividida por ciclo. En la cuarta columna se registra la variación en la importancia percibida entre los grupos de segundo y cuarto año. Fuente: Elaboración propia en base a los cuestionarios de percepción aplicados a los estudiantes.

Variable Macro: Trabajo en Equipo				
	Ciclo Básico (2.º Año)		Ciclo Profesional (4.º Año)	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	22	43,1%	20	47,6%
De acuerdo	16	31,4%	15	35,7%
Neutro	6	11,8%	3	7,1%
En desacuerdo	6	11,8%	1	2,4%
Totalmente en desacuerdo	1	2,0%	3	7,1%
Variable Macro: Experiencia de Usuario (UX)				
	Ciclo Básico (2.º Año)		Ciclo Profesional (4.º Año)	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	19	55,9%	17	60,7%
De acuerdo	12	35,3%	9	32,1%
Neutro	2	5,9%	2	7,1%
En desacuerdo	1	2,9%	0	0,0%
Totalmente en desacuerdo	0	0,0%	0	0,0%
Variable Macro: Utilidad Pedagógica Percibida				
	Ciclo Básico (2.º Año)		Ciclo Profesional (4.º Año)	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	28	54,9%	21	50,0%
De acuerdo	19	37,3%	16	38,1%
Neutro	3	5,9%	4	9,5%
En desacuerdo	1	2,0%	1	2,4%
Totalmente en desacuerdo	0	0,0%	0	0,0%

Tabla 17: Resumen de resultados para las preguntas agrupadas bajo variables macro, separadas por ciclo. Fuente: Elaboración propia en base a los cuestionarios de percepción aplicados a los estudiantes.

Anexo II: Formulación Matemática del Coeficiente de Pearson (r)

El coeficiente de correlación lineal de Pearson evalúa la fuerza y dirección de la relación entre dos variables cuantitativas continuas. Se define algebraicamente como el cociente entre la covarianza muestral de las dos variables (s_{xy}) y el producto de sus respectivas desviaciones estándar muestrales ($s_x \cdot s_y$):

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} = \frac{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})\,(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2}}$$

Donde:

- x_i: Promedio de Certámenes Teóricos para el estudiante i.
- y_i: Nota Final de Simulación *AirWay Sim* (AWS) para el estudiante i.
- $\bar{x}$: Media muestral consolidada de las evaluaciones teóricas.

- $\bar{y}$: Media muestral consolidada de la simulación práctica.
- N: Tamaño total de la muestra integrada ($N_1 + N_2 = 23 + 23 = 46$).

Anexo III: Queries de búsqueda utilizadas en bases de datos

En la sección de discusión bibliográfica se revisó y analizó el volumen de publicaciones disponibles en las bases de datos Scopus, Web of Science y Google Scholar. Debido a que el modelo de búsqueda varía según las bases de datos, se usó una query distinta en cada una

- **Scopus:** TITLE-ABS-KEY (("Aviation Management" OR "Airline Business") AND ("Simulation" OR "Gamification") AND ("Management Decision" OR "Business Game") AND NOT ("Flight Training" OR "Pilot Training"))

- **Web of Science:** TS=(("Aviation Management" OR "Airline Business") AND ("Simulation" OR "Gamification") AND ("Management Decision" OR "Business Game")) NOT TS=("Flight Training" OR "Pilot Training")

- **Google Scholar:** "Aviation Management" "Simulation" "Management Decision" -"Flight Training"