

Modelo cuantitativo para la toma de decisiones estratégicas bajo incertidumbre

Análisis de rentabilidad y capacidad operativa en Aeroméxico.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	2
DESARROLLO	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
<i>Definición del problema central.....</i>	2
<i>Brechas que busca resolver el modelo</i>	3
<i>Consecuencias potenciales</i>	3
OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	3
<i>Objetivo general.....</i>	3
<i>Objetivos particulares.....</i>	3
<i>Justificación.....</i>	3
METODOLOGÍA.....	4
<i>Enfoque de investigación</i>	4
<i>Recopilación de datos.....</i>	4
<i>Selección del modelo</i>	4
<i>Construcción del escenario hipotético</i>	5
<i>Aplicación del árbol de decisiones</i>	5
<i>Cálculo de resultados.....</i>	5
<i>Análisis del punto de equilibrio.....</i>	6
<i>Simulación Monte Carlo</i>	7
<i>Estrategias y herramientas de implementación</i>	9
CONCLUSIONES	9
REFERENCIAS	10

Introducción

La toma de decisiones constituye una de las funciones fundamentales de la administración empresarial, particularmente en industrias donde las condiciones del mercado, los costos operativos y la demanda presentan variaciones constantes.

En estos entornos, las organizaciones necesitan evaluar distintas alternativas y anticipar sus posibles consecuencias antes de comprometer recursos financieros, humanos y tecnológicos.

La industria del transporte aéreo representa un caso especialmente relevante debido a su elevada intensidad de capital, sus restricciones operativas y su exposición a factores externos, como las fluctuaciones en los precios del combustible, las condiciones económicas, la estacionalidad de la demanda y la competencia.

En este contexto, [Grupo Aeroméxico](#) constituye un caso de estudio adecuado para examinar la aplicación de modelos cuantitativos de toma de decisiones. La asignación de aeronaves, la frecuencia de vuelos y la capacidad disponible son decisiones que requieren equilibrar la demanda esperada con los costos y riesgos asociados a la operación.

El presente informe propone la aplicación de un modelo de árboles de decisión basado en el valor monetario esperado, complementado con un análisis del punto de equilibrio, análisis de sensibilidad y simulación Monte Carlo. Su finalidad es evaluar alternativas de capacidad operativa bajo diferentes condiciones de demanda y costos.

El proyecto se desarrolla como un caso académico de aplicación. Por lo tanto, no pretende diagnosticar deficiencias reales de [Aeroméxico](#) sin evidencia, sino demostrar cómo un modelo cuantitativo puede apoyar decisiones empresariales bajo incertidumbre.

Desarrollo

Planteamiento del problema

Las aerolíneas deben tomar decisiones de capacidad antes de conocer con certeza cuántos pasajeros utilizarán sus servicios. Esta situación genera un problema de asignación de recursos: operar con capacidad insuficiente puede limitar los ingresos potenciales, mientras que ofrecer capacidad superior a la demanda puede incrementar los costos sin generar ingresos suficientes para compensarlos.

El problema no consiste únicamente en determinar cuántos pasajeros pueden transportarse, sino en establecer si los ingresos esperados justifican los costos de operación y el riesgo económico de cada alternativa.

En el caso académico propuesto, [Aeroméxico](#) debe evaluar tres estrategias para una ruta hipotética:

1. Mantener la capacidad operativa actual.
2. Incrementar la frecuencia de vuelos.
3. Utilizar una aeronave con capacidad diferente.

La incertidumbre se concentra en la demanda futura, el ingreso promedio por pasajero y los costos operativos, especialmente aquellos asociados al combustible.

Definición del problema central

¿Cómo seleccionar una estrategia de capacidad operativa que ofrezca una relación favorable entre rentabilidad esperada y riesgo económico, considerando escenarios inciertos de demanda y costos?

Brechas que busca resolver el modelo

El caso permite estudiar cuatro dificultades de decisión: la incertidumbre en los pronósticos de demanda, la sensibilidad de la rentabilidad a los costos, la posibilidad de capacidad subutilizada y la necesidad de comparar alternativas con diferentes niveles de riesgo. La ausencia de un análisis estructurado podría conducir a decisiones basadas únicamente en estimaciones puntuales, sin considerar la variabilidad de los resultados.

Consecuencias potenciales

Una decisión de capacidad inadecuada puede ocasionar pérdidas operativas, utilización ineficiente de aeronaves, costos de oportunidad por demanda no atendida y menor flexibilidad para responder a cambios del mercado.

Por ello, resulta relevante utilizar modelos que permitan cuantificar las consecuencias económicas de distintas alternativas antes de su implementación.

Objetivos del proyecto

Objetivo general

Desarrollar y aplicar un modelo cuantitativo de toma de decisiones bajo incertidumbre para comparar tres alternativas de capacidad operativa en un caso hipotético de Aeroméxico, mediante indicadores de rentabilidad esperada, punto de equilibrio y riesgo económico.

Objetivos particulares

- Identificar las variables económicas y operativas que influyen en las decisiones de capacidad de una aerolínea.
- Formular un modelo de árboles de decisión con escenarios probabilísticos de demanda.
- Calcular el punto de equilibrio y el valor monetario esperado de las alternativas evaluadas.
- Aplicar una simulación Monte Carlo para estimar la variabilidad de los resultados económicos.
- Realizar un análisis de sensibilidad ante cambios en demanda, ingresos y costos.
- Interpretar los resultados y reconocer las limitaciones del modelo para su aplicación empresarial.

Justificación

La utilización de modelos cuantitativos permite transformar problemas empresariales complejos en estructuras analíticas que facilitan la comparación de alternativas.

En el transporte aéreo, una decisión basada exclusivamente en el número esperado de pasajeros puede resultar insuficiente. Dos estrategias pueden generar ingresos similares, pero presentar estructuras de costos y niveles de riesgo considerablemente diferentes.

El árbol de decisiones permite representar alternativas y resultados posibles, mientras que el valor monetario esperado proporciona un criterio de comparación basado en probabilidades. Por su parte, el análisis del punto de equilibrio identifica las condiciones mínimas necesarias para cubrir costos.

La simulación Monte Carlo complementa estas herramientas al representar múltiples combinaciones posibles de variables inciertas. De esta manera, permite estudiar no solamente un resultado promedio, sino también la dispersión de los resultados y la posibilidad de pérdidas.

La relevancia del proyecto radica en demostrar cómo estas metodologías pueden integrarse para mejorar la calidad de las decisiones, sin sustituir el juicio directivo ni ignorar las restricciones operativas.

Metodología

Enfoque de investigación

El proyecto utiliza un enfoque cuantitativo, aplicado y comparativo, mediante la construcción de un caso de estudio con escenarios probabilísticos.

La metodología se divide en cinco etapas: recopilación de información, definición de variables, formulación del modelo de decisión, evaluación económica y análisis de incertidumbre.

La investigación sobre programación de aerolíneas reconoce que las decisiones de capacidad se relacionan con la asignación de flota, la programación de vuelos y las restricciones operativas. Xu et al. (2024) destacan la importancia de integrar estos elementos y considerar la incertidumbre en la planificación aérea.

Recopilación de datos

Se utilizarán dos categorías de información.

- **Fuentes externas:** reportes anuales y operativos de Aeroméxico, investigaciones científicas sobre optimización de aerolíneas y publicaciones metodológicas sobre análisis de incertidumbre.

Aeroméxico dispone de una sección de relaciones con inversionistas donde publica reportes anuales, resultados financieros e indicadores de tráfico. Esta información permite establecer el contexto del negocio y conocer los indicadores que utiliza la industria.

- **Fuentes internas:** registros de reservaciones, tarifas efectivamente cobradas, costos de combustible por vuelo, costos de tripulación, mantenimiento, utilización de aeronaves y demanda histórica por ruta.

Por cuestiones de confidencialidad estos registros internos no están disponibles para el ejercicio, por lo tanto, se utilizarán supuestos hipotéticos identificados expresamente.

Selección del modelo

El modelo principal será un árbol de decisiones cuantitativo, compuesto por nodos de decisión, escenarios probabilísticos y resultados económicos.

Se utilizará el valor monetario esperado:

$$VME(A_i) = \sum_{j=1}^n P(E_j) \cdot U(A_i, E_j)$$

Donde A_i representa cada alternativa operativa, E_j cada escenario de demanda, $P(E_j)$ su probabilidad y $U(A_i, E_j)$ la utilidad correspondiente.

Para calcular la utilidad utilizaremos:

$$U_i(D) = (P - CV) \min(D, K_i) - CF_i$$

Donde:

- D : demanda de pasajeros.
- K_i : capacidad de la alternativa.
- P : ingreso neto promedio por pasajero.
- CV : costo variable por pasajero.
- CF_i : costo operativo por vuelo de la alternativa.

La función $\min(D, K_i)$ impide contabilizar ingresos por pasajeros que superen la capacidad disponible.

Construcción del escenario hipotético

Para mantener un alcance manejable, se modelará una operación equivalente a un vuelo en una ruta ficticia, con tres alternativas de capacidad.

	A	B	C
Variable	Capacidad actual	Mayor frecuencia*	Mayor aeronave
Asientos disponibles	120	180	240
Costo operativo base	\$180,000	\$260,000	\$350,000
Ingreso por pasajero	\$2,500	\$2,500	\$2,500
Costo variable por pasajero	\$300	\$300	\$300

*La alternativa B representa capacidad agregada equivalente, no el costo real de incorporar una frecuencia adicional. Los costos se expresan en MXN por operación equivalente.

Para la demanda estableceremos tres escenarios:

Escenario	Pasajeros solicitantes	Probabilidad
Baja	100	25 %
Media	150	50 %
Alta	210	25 %

Aplicación del árbol de decisiones

Figura 1. Árbol de decisiones simplificado. Elaboración propia con escenarios hipotéticos. Cada rama del árbol representa una combinación entre la alternativa seleccionada y la demanda que podría materializarse.

La utilidad de cada combinación se calcula con la función económica establecida.

Cálculo de resultados

Con un margen de contribución unitario de \$2,200 MXN, obtenemos la siguiente matriz de utilidades.

Alternativa	Demanda baja	Demanda media	Demanda alta
A	\$40,000	\$84,000	\$84,000
B	-\$40,000	\$70,000	\$136,000
C	-\$130,000	-\$20,000	\$112,000

Por ejemplo, para la alternativa A en demanda alta, solamente pueden transportarse 120 pasajeros:

$$U_A = (2500 - 300)(120) - 180000$$

$$U_A = \$84,000$$

Ahora calculamos el valor monetario esperado:

$$VME_A = 0.25(40000) + 0.50(84000) + 0.25(84000)$$
$$VME_A = \$ 73,000.00$$

De igual manera:

$$VME_B = \$ 59,000.00$$

$$VME_C = \$ 14,500.00$$

Valor monetario esperado por alternativa



En este escenario, la alternativa A presenta el mayor valor monetario esperado.

Sin embargo, esto no significa que mantener la capacidad actual sea siempre la mejor decisión. La alternativa B obtiene mayor utilidad cuando la demanda es alta, mientras que A presenta resultados más favorables en los escenarios considerados de demanda baja y media.

La conclusión depende de las probabilidades asignadas, los costos y el ingreso promedio.

Análisis del punto de equilibrio

El número mínimo de pasajeros necesarios para cubrir los costos se obtiene mediante:

$$Q_{PE} = \frac{CF}{P - CV}$$

Aplicando esta expresión:

Alternativa	Pasajeros mínimos	Ocupación mínima
A	82	68.3 %
B	119	66.1 %
C	160	66.7 %

Los pasajeros se redondean hacia arriba al siguiente número entero.

La alternativa C necesita transportar al menos 160 pasajeros para cubrir sus costos, mientras que la alternativa A requiere 82.

Este resultado permite observar que una mayor capacidad no garantiza mayor rentabilidad. También es necesario generar demanda suficiente para compensar los costos adicionales.

Simulación Monte Carlo

La simulación Monte Carlo permitirá ampliar el análisis más allá de los tres escenarios discretos.

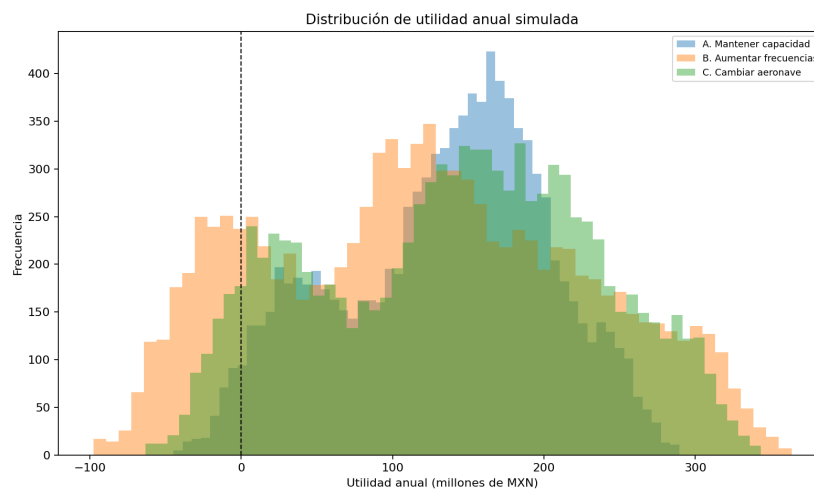
El National Institute of Standards and Technology (NIST) describe este método como una técnica que utiliza muestreo probabilístico para estudiar cómo la incertidumbre de las variables de entrada afecta los resultados de un modelo. nist.gov

Proponemos generar 10,000 iteraciones en las que varíen la demanda, el ingreso promedio por pasajero y los costos operativos.

En cada iteración se calcularía la utilidad de las tres alternativas utilizando los mismos valores simulados de las variables comunes, para asegurar una comparación consistente. Los indicadores resultantes serían la utilidad promedio, probabilidad de pérdida, desviación estándar, percentiles de utilidad y frecuencia con que cada alternativa obtiene el mayor beneficio.

Las distribuciones probabilísticas deberán justificarse y, cuando existan datos históricos suficientes, calibrarse con ellos. De lo contrario, las conclusiones seguirán siendo condicionales a los supuestos establecidos.

Manríquez (2026) desarrolló un modelo de simulación Monte Carlo para evaluar alternativas estratégicas de capacidad operativa en Aeroméxico, considerando la incertidumbre de variables como la demanda, las tarifas y los costos de combustible.



Con 10,000 iteraciones y semilla 42

- La alternativa C obtuvo un VME aproximado de MXN 141.6 millones y una probabilidad de pérdida de 6.9 %.

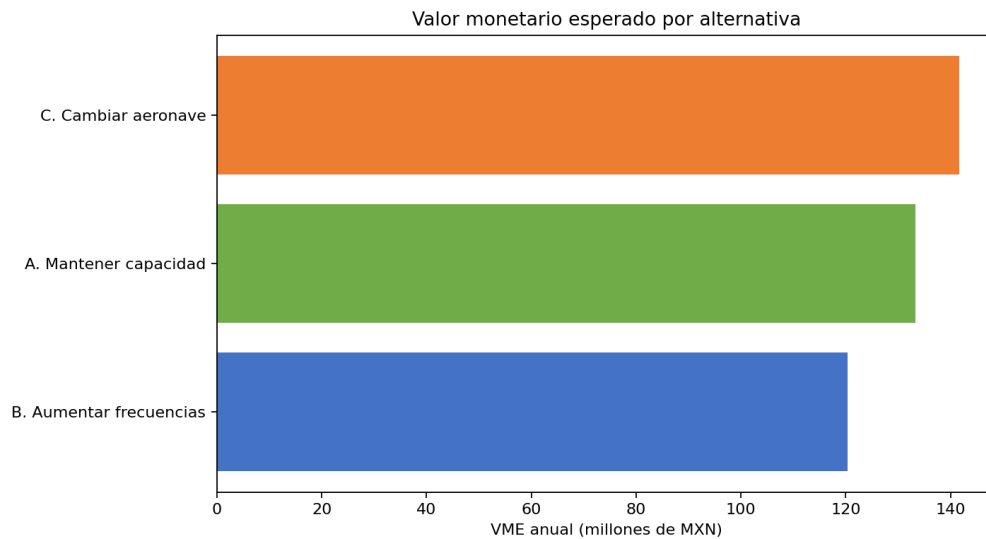
- La alternativa A obtuvo MXN 133.3 millones y 2.9 % de probabilidad de pérdida
- La alternativa B, MXN 120.3 millones y 16.2 %.

Bajo los valores de referencia, los puntos de equilibrio fueron aproximadamente:

- 56,667 pasajeros (A),
- 70,200 (B)
- 61,667 (C)

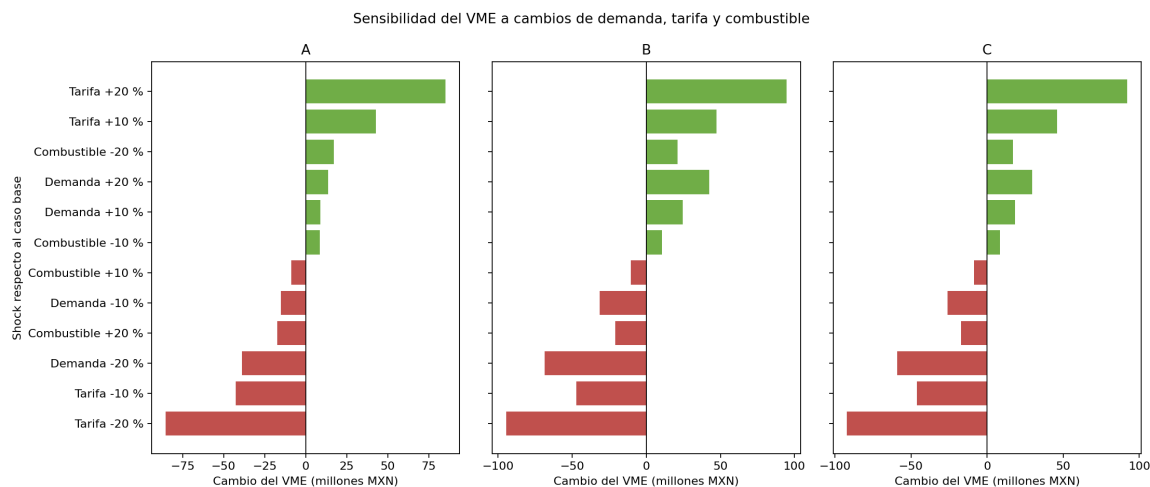
Estos resultados son reproducibles con los supuestos del proyecto y no deben interpretarse como cifras reales de Aeroméxico.

La alternativa con el VME mayor maximiza la utilidad promedio bajo estos supuestos. La probabilidad de pérdida y el CVaR: dos opciones con VME parecido pueden tener resultados desfavorables muy distintos. El resultado no constituye una recomendación operativa para Aeroméxico.



El modelo simplifica una operación aérea real. No incorpora conexiones de red, estacionalidad mensual, restricciones de flota y tripulación, mantenimiento, impuestos, financiamiento, ingresos por carga, competencia, cancelaciones, restricciones aeroportuarias ni una curva de demanda estimada con datos observados.

Tampoco calibra las distribuciones con datos de una ruta real. Antes de usarlo para una decisión empresarial, se necesitarían datos internos, validación con expertos y pruebas de escenarios más detalladas.



Estrategias y herramientas de implementación

Para una aplicación reproducible, proponemos utilizar Python con las siguientes bibliotecas:

Herramienta	Aplicación
Pandas	Organización y procesamiento de datos.
NumPy	Generación de escenarios probabilísticos.
SciPy	Distribuciones estadísticas y análisis cuantitativo.
Matplotlib	Visualización de resultados y sensibilidad.
Jupyter Notebook	Documentación y ejecución reproducible del modelo.

El procedimiento consistirá en preparar los datos, definir los supuestos, calcular los resultados deterministas, ejecutar las simulaciones y comparar las alternativas.

Es importante precisar que el ejercicio numérico presentado corresponde a la aplicación del árbol de decisiones y del punto de equilibrio. La simulación Monte Carlo queda planteada como una etapa de implementación posterior; no se atribuyen resultados de simulación que todavía no se han calculado.

La evaluación de alternativas estratégicas mediante simulaciones probabilísticas permite estimar el valor monetario esperado, la probabilidad de pérdidas y la sensibilidad de los resultados ante cambios en las variables operativas (Manríquez, 2026).

Conclusiones

La aplicación de modelos cuantitativos en la toma de decisiones empresariales permite evaluar alternativas mediante criterios económicos y probabilísticos, especialmente en sectores expuestos a incertidumbre operativa y financiera, como el transporte aéreo.

El caso académico de [Aeroméxico](#) demuestra que una estrategia orientada exclusivamente a incrementar la capacidad disponible no necesariamente representa la alternativa de mayor rentabilidad. Bajo los supuestos utilizados, mantener la capacidad actual presenta un valor monetario esperado de \$73,000 MXN, superior al de las otras dos alternativas.

No obstante, este resultado debe interpretarse dentro de las condiciones específicas del modelo. La alternativa que ofrece mayor utilidad esperada puede cambiar cuando se modifican las probabilidades de demanda, los ingresos promedio o los costos operativos.

El análisis del punto de equilibrio complementa la evaluación al identificar el número mínimo de pasajeros necesarios para cubrir los costos. Por su parte, la simulación Monte Carlo constituye una extensión metodológica que permitiría analizar la distribución de resultados económicos y cuantificar la exposición al riesgo.

Entre las principales limitaciones del proyecto se encuentran la ausencia de información operativa interna, la utilización de escenarios hipotéticos y la simplificación de factores como la asignación de flota, los costos aeroportuarios, la disponibilidad de tripulaciones y las variaciones tarifarias.

Asimismo, el valor monetario esperado no incorpora por sí solo la aversión al riesgo ni las consecuencias de pérdidas extremas, por lo que una decisión empresarial definitiva requeriría considerar criterios adicionales.

En conclusión, el principal aporte del proyecto consiste en demostrar que una decisión empresarial no debe evaluarse únicamente por su rentabilidad potencial, sino también por la incertidumbre y el riesgo asociados a sus posibles resultados.

El modelo propuesto proporciona una estructura analítica que puede servir como punto de partida para sistemas más avanzados de planeación y optimización de capacidad.

Referencias

Grupo Aeroméxico. (s. f.). Reportes anuales.

<https://ir.aeromexico.com/es/financieros/reportes-anuales>

Jamroz, B. F., & Williams, D. F. (2020). Consistency in Monte Carlo uncertainty analyses. *Metrologia*. <https://doi.org/10.1088/1681-7575/aba5aa>

Leber, D. D., & Herrmann, J. W. (2012). Incorporating attribute value uncertainty into decision analysis. National Institute of Standards and Technology. <https://www.nist.gov/publications/incorporating-attribute-value-uncertainty-decision-analysis>

Manríquez, S. (2026). Aeroméxico Monte Carlo: Simulación de escenarios para la toma de decisiones bajo riesgo [Código fuente]. GitHub. <https://github.com/SidharthaManriquez44/aeromexico-montecarlo>

National Institute of Standards and Technology. (2025). Monte Carlo tool. <https://www.nist.gov/services-resources/software/monte-carlo-tool>

Rachakonda, P., Ramnath, V., & Pandey, V. S. (2020). Preface: Uncertainty evaluation by Monte Carlo method. *Journal of the Metrology Society of India*. <https://www.nist.gov/publications/preface-uncertainty-evaluation-monte-carlo-method>

Xu, Y., Wandelt, S., & Sun, X. (2024). Airline scheduling optimization: Literature review and a discussion of modelling methodologies. *Intelligent Transportation Infrastructure*, 3, liad026. <https://doi.org/10.1093/iti/liad026>