



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales

Eficiencia económica de los principales aeropuertos de Norteamérica, 2017-2022: un estudio comparativo a través de la envolvente de datos.

TESIS

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Negocios Internacionales

Presenta:

José Martín Gaspar Rodríguez Machorro

Director de Tesis:

Dra. Odette Virginia Delfín Ortega

Morelia, Mich. Diciembre del 2023

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Morelia, Michoacán, el día 23 de noviembre de 2023, los miembros de la Mesa de Sinodales designada por el H. Consejo Técnico del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (ININEE) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), aprobaron presentar el examen de grado la tesis titulada:

“EFICIENCIA ECONÓMICA DE LOS PRINCIPALES AEROPUERTOS DE
NORTEAMÉRICA, 2017-2022: UN ESTUDIO COMPARATIVO A TRAVÉS DE LA
ENVOLVENTE DE DATOS”


Presentada por el alumno:

JOSÉ MARTÍN GASPAR RODRÍGUEZ MACHORRO

Aspirante al grado de Maestro en Ciencias en Negocios Internacionales. Después de haber efectuado las revisiones necesarias, los miembros de la Mesa de Sinodales manifestaron SU APROBACIÓN DE LA TESIS, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA MESA DE SINODALES

Directora de la Tesis


Dra. Odette Virginia Delfin Ortega


Dr. José César Lenin Navarro Chávez


Dr. Joel Bónales Valencia

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Morelia, Michoacán, el día 23 de noviembre de 2023, el que suscribe **JOSÉ MARTÍN GASPAR RODRÍGUEZ MACHORRO**, alumno del programa de la Maestría en Ciencias en Negocios Internacionales adscrito al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (ININEE), manifiesta ser el autor intelectual del presente trabajo de tesis, desarrollado bajo la dirección de la Dra. Odette Virginia Delfín Ortega y cede los derechos del trabajo titulado **“EFICIENCIA ECONÓMICA DE LOS PRINCIPALES AEROPUERTOS DE NORTEAMÉRICA, 2017-2022: UN ESTUDIO COMPARATIVO A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE DE DATOS”** a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para su difusión con fines estrictamente académicos.

No está permitida la reproducción total o parcial de este trabajo de tesis ni su tratamiento o transmisión por cualquier medio o método sin la autorización escrita del autor y/o directora del mismo. Cualquier uso académico que se haga de este trabajo, deberá realizarse conforme a las prácticas legales establecidas para este fin.



JOSÉ MARTÍN GASPAR RODRÍGUEZ MACHORRO



Agradecimientos y Reconocimientos

Primeramente, mi gran reconocimiento a mi directora de tesis, Dra. Odette Virginia Delfín Ortega por su excepcional orientación en la realización de este proyecto de investigación.

Así mismo, agradezco a mis sinodales y co-asesores de este proyecto, Dr. José César Lenin Navarro y Dr. Joel Bonales Valencia quienes aportaron valiosos comentarios y observaciones a lo largo de todo el desarrollo de la misma.

Igualmente, aprecio mucho las aportaciones de mis docentes que brindaron sus conocimientos y apoyo día a día.

Gracias también al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (ININEE), a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y al CONAHCYT, por haberme abierto las puertas de su campo científico para la realización de la Maestría en Ciencias en Negocios Internacionales.

Por supuesto también mi gratitud a mis compañeros de clase, ahora estupendos amigos.

Y especialmente quiero dar gracias a la vida, a mi familia e hijos por siempre estar conmigo.

“Death is not the greatest lost, the greatest lost is what dies inside us while we’re still alive. Never give up!” – Tupac Shakur, musician.



ÍNDICE

Índice de figuras	10
Índice de gráficas	11
Índice de tablas	12
Glosario	13
Siglas y abreviaturas	19
Resumen	21
<i>Abstract</i>	22
Introducción	23

Capítulo 1

Fundamentos de Investigación	27
1.1 Planteamiento del problema	27
1.2 Preguntas de la investigación	30
1.2.1 Pregunta general	30
1.2.2 Preguntas específicas	30
1.3 Objetivos de la investigación	30
1.3.1 Objetivo general	30
1.3.2 Objetivos específicos	31
1.4 Justificación	31
1.4.1 Conveniencia	31
1.4.2 Relevancia social	31
1.4.3 Implicaciones prácticas	32
1.4.4 Valor teórico	32



1.4.5	Utilidad metodológica	32
1.4.6	Horizonte y espacio temporal	32
1.4.7	Viabilidad de la investigación	36
1.4.8	Alcances	36
1.4.9	Limitaciones	36
1.5	Hipótesis de la investigación	37
1.5.1	Hipótesis general	37
1.5.2	Hipótesis específicas	38
1.6	Identificación de variables	38

Capítulo 2

Marco Contextual del Sector Aeroportuario	40
2.1 La historia del Sector Aeroportuario	40
2.1.1 ¿Quién inventó el aeropuerto?	40
2.1.2 El despegue en México	40
2.1.3 La creciente demanda	41
2.1.4 El apogeo (1975-1985)	41
2.1.5 La privatización (1985-2000)	42
2.1.6 La renovación (2001-2012)	42
2.1.7 En la actualidad	43
2.2 Descripción general del sector mundial de aeropuertos	43
2.2.1 Cómo se clasifican las terminales aeroportuarias según la Organización Internacional de la Aviación Civil	44
2.2.2 ¿Qué es el aeropuerto?	44



2.2.3	¿Qué servicios ofrecen los aeropuertos?	45
2.2.4	¿Cuáles son los tipos de aeropuertos?	46
2.2.5	¿Cuál es la importancia de los aeropuertos?	47
2.2.6	Acuerdos bilaterales	47
2.3	El Sector Aeroportuario Mexicano (SAM)	48
2.3.1	Estructura	48
2.3.2	Concesionarios de los aeropuertos	49
2.3.3	Marco jurídico	50

Capítulo 3

Evidencia empírica de la eficiencia en el sector aeroportuario	53	
3.1	Revisión de literatura	53
3.2	Evidencia empírica	53
3.3	Principales metodologías utilizadas	59

Capítulo 4

Marco teórico–metodológico	60	
4.1	La eficiencia	60
4.2	Tipos de eficiencia	61
4.2.1	Eficiencia técnica	61
4.2.2	Eficiencia asignativa	64
4.2.3	Eficiencia económica	64
4.3	Modelos paramétricos y no paramétricos	67
4.4	Metodología del Análisis Envoltante de Datos	70



4.4.1	Representación gráfica del modelo DEA	71
4.4.2	Modelos DEA con rendimientos constantes a escala (CCR)	73
4.4.3	Modelos DEA con rendimientos variables a escala (BCC)	77
4.5	Análisis <i>Benchmarking</i>	80
4.6	Análisis de Holguras	81
4.7	Bootstrap	81

Capítulo 5

Desarrollo del modelo	83	
5.1	Identificación de la metodología y variables	83
5.2	Universo y muestra	85
5.3	Fuente de información	86

Capítulo 6

Resultados y Discusión	87	
6.1	Eficiencia técnica VRS con <i>bootstrap</i>	88
6.2	Eficiencia asignativa con <i>bootstrap</i>	90
6.3	Eficiencia económica con <i>bootstrap</i>	92
6.4	Resumen de Eficiencias	93
6.5	<i>Benchmarking</i>	96
6.6	Análisis de Holguras	97

Capítulo 7

Conclusiones y recomendaciones	101
---	-----



7.1	Conclusiones	101
7.2	Recomendaciones	103
7.3	Futuras líneas de investigación	104
	Bibliografía	105
	Anexos	111



Índice de figuras

Figura 1: Tipos de eficiencia	63
Figura 2: Descripción de los tipos de eficiencia	64
Figura 3: Descripción del modelo DEA	70



Índice de gráficas

Gráfica 1: Países que más visitan México,	26
Gráfica 2: <i>Ranking</i> mundial de los aeropuertos con mayor tráfico de pasajeros	31
Gráfica 3: <i>Ranking</i> mundial de los aeropuertos con mayor tráfico de mercancías	32
Gráfica 4: <i>Ranking</i> de aeropuertos mexicanos con mayor tráfico de pasajeros	33
Gráfica 5: Eficiencia técnica promedio	88



Índice de tablas

Tabla 1: Identificación de variables	37
Tabla 2: Estructura del Sector Aeroportuario Mexicano	47
Tabla 3: Revisión de literatura	55
Tabla 4: Eficiencias técnica, asignativa y económica	65
Tabla 5: Metodologías frontera	66
Tabla 6: Muestra de los principales aeropuertos de Norteamérica	84
Tabla 7: Eficiencia técnica VRS con <i>bootstrap</i>	86
Tabla 8: Eficiencia asignativa con <i>bootstrap</i>	89
Tabla 9: Eficiencia económica con <i>bootstrap</i>	90
Tabla 10: Eficiencias técnica, asignativa y económica con <i>bootstrap</i>	92
Tabla 11: Análisis <i>benchmarking</i> , principales aeropuertos de Norteamérica 2022 ...	94
Tabla 12: Frecuencia <i>benchmarking</i> , principales aeropuertos de Norteamérica 2022.....	95
Tabla 13: Análisis de holguras <i>input</i> , principales aeropuertos de Norteamérica 2022.....	96
Tabla 14: Análisis de holguras <i>output</i> , principales aeropuertos de Norteamérica 2022.....	97



Glosario

Análisis de *Slacks*: El análisis proporciona la dirección en la cual habrán de mejorarse los niveles de eficiencia de las unidades productivas.

Análisis Envoltante de Datos o DEA: Se trata de un modelo de análisis económico cuantitativo efectivo para estudiar el desempeño de unidades productivas, sectores y países, superior al tradicional enfoque basado en el simple cálculo de indicadores de productividad ya que posee la ventaja de facilitar un tratamiento multidimensional, tanto desde la perspectiva de los insumos o factores productivos como de los productos con que se trabaje, sin que ello implique la necesidad de sistematizar y procesar múltiples indicadores entrecruzados. El análisis envoltante de datos nos brinda una perspectiva sistémica e integrada para estudiar, en forma comparada, el desempeño de las unidades de producción que se estén analizando.

***Belly freight*:** Compartimiento de equipajes de las aeronaves de pasajeros destinada al transporte de mercancías.

***Benchmarking*:** Proceso por medio del cual se realiza una comparación de rendimiento entre unidades productivas homogéneas.

***Bootstrap*:** Es una herramienta estadística poderosa que permite a los economistas y otros profesionales realizar análisis más precisos y confiables.

Concesionaria: Empresa que cuenta con una Concesión para operar un aeropuerto.



Concesión: Concesión otorgada a las Concesionarias por el Gobierno Federal, a través de la Secretaría, para operar y explotar los aeropuertos.

Dólar americano o USD: Moneda de curso legal de los Estados Unidos.

Dólar canadiense o CAD: Moneda de curso legal en Canadá.

Data Envelopment Analysis (DEA): Modelo no paramétrico para determinar la eficiencia de múltiples unidades productivas o DMUs.

Decision Making Unit o DMU: Nombre que se usa para describir las unidades productivas o empresas en el DEA.

Eficiencia: Lograr la mayor cantidad de producción a partir de un nivel de factores productivos.

Eficiencia asignativa: Se refiere a que el gasto monetario total en insumos utilizados para producir una cantidad dada de bienes sea el mínimo posible de acuerdo con los precios de los insumos (Yarad, 1990). También considera el valor monetario de los *outputs*, en los cuales busca maximizar el ingreso.

Eficiencia de escala: Muestra si la unidad productiva analizada ha logrado alcanzar el punto óptimo de escala. Sólo es relevante cuando la tecnología de producción presenta rendimientos variables a escala (*ídem*).

Eficiencia económica: “Logro de la máxima producción al menor costo posible” (Pinzón, 2003: 17).



Eficiencia técnica: Consiste en obtener la máxima producción física factible, dada la tecnología existente, a partir de una cierta cantidad de insumos (ídem).

Free Disposal Hull o FDH: Modelo de naturaleza no paramétrica que utiliza técnicas de programación matemática para medir y evaluar la eficiencia de las unidades productivas.

Full cargo: Aeronave dedicada exclusivamente al transporte de mercancías.

Hub.: Un aeropuerto que funciona como centro de distribución de vuelos mediante la conexión de los mismos con el propósito de llegar a un mayor número de destinos finales.

Ingresos Aeronáuticos: Son las cuotas cobradas a pasajeros o a las aerolíneas. Las cuotas cobradas a pasajeros consisten en aquellas que las aerolíneas cobran por cuenta de los aeropuertos a cada pasajero (salvo a diplomáticos, niños o pasajeros en tránsito o de conexión) que sale de las terminales aeroportuarias. Las cuotas cobradas a las aerolíneas son las cuotas por aterrizaje, estacionamiento de las aeronaves, servicios de seguridad, uso de aerocars, pasillos telescópicos y uso de abordadores principalmente. Dependen principalmente de tres factores: tráfico de pasajeros, número de operaciones de tráfico aéreo y el peso de la aeronave.

Ingresos no Aeronáuticos: Ingresos por concepto de rentas y otras actividades de diversificación y comerciales realizadas en sus aeropuertos, tales como el arrendamiento de locales a restaurantes y tiendas, la operación de estacionamientos, la operación de Hoteles en su caso, etc.



Input: Factor productivo.

Isocostos: Representa las diferentes combinaciones de los factores de producción específicos que una empresa puede comprar por el mismo monto de dinero, al costo dado que tenga cada factor.

Isocuanta: Representa diferentes combinaciones de factores que proporcionan una misma cantidad de producto.

Know-how: Conocimientos técnicos u organizativos de los que disponen determinadas personas o empresas obtenido a través de la experiencia y que son necesarios para el desarrollo de una actividad específica”, (Charan, 2007).

Ley de Aeropuertos: Ley de Aeropuertos en México, promulgada el 22 de diciembre de 1995.

Programación Lineal: Método mediante el cual se optimiza, ya sea maximizando o minimizando, una función objetivo, de tal forma que las variables de dicha función están sujetas a una serie de restricciones expresadas mediante un sistema de ecuaciones o inecuaciones lineales.

Output: Producto obtenido.

Pasajero(s) Terminal(es): Los pasajeros totales menos los pasajeros en tránsito.

Pasajeros en Tránsito: Los pasajeros transportados en vuelo, que por razones de itinerario ajenas a ellos, hacen escala en uno o más puntos intermedios y continúan generalmente en la misma aeronave hasta su destino final. Los pasajeros en tránsito



cuyo vuelo comprenda una o más escalas, pagarán la Tarifa de Uso Aeroportuario (TUA) únicamente en el aeropuerto de salida, siempre y cuando se realice la escala dentro de las siguientes 24 horas a la hora de salida, excepto por causas de fuerza mayor o fallas de la aeronave.

Pesos o Ps: Moneda de curso legal en México.

Reglamento de la Ley de Aeropuertos: Reglamento de la Ley de Aeropuertos en México, promulgado el 17 de febrero de 2000.

Stochastic Frontier Analysis o SFA: Modelo paramétrico que permite incorporar los efectos del ruido estadístico que impregna a todo dato económico y la realización rigurosa, a través de inferencia estadística, de contraste de hipótesis relacionadas con la estructura de la tecnología y significación estadística de los índices de eficiencia.

Slot aeroportuario: Este tipo de *slot* es entendido como una **franja horaria**. Es decir, se trata de una autorización hecha desde la administración del aeródromo para la salida o la entrada de una aeronave en un horario previamente estipulado por el personal encargado del aeropuerto.

Tarifa de Uso Aeroportuario o TUA: Se aplica a las personas que en calidad de pasajeros nacionales o pasajeros internacionales en vuelos de salida usen las instalaciones de los edificios terminales de pasajeros. La TUA se cobra por cada pasajero terminal de salida. La TUA es generada y cobrada a los pasajeros a través de las aerolíneas.

Unidad de Carga: 100 kg. de carga.



Unidad de Tráfico: Unidad utilizada para medir el volumen de tráfico de pasajeros y carga en aeropuertos, equivalente a un pasajero o 100 kg. de carga.



Siglas y abreviaturas

ACI	Consejo Internacional de Aeropuertos.
AICM	Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.
ASA	Aeropuertos y Servicios Auxiliares.
ASUR	Grupo Aeroportuario del Sureste.
BCC	Banker, Charnes and Cooper.
CANAERO	Cámara Nacional del Aerotransporte.
CCR	Charnes, Cooper and Rhodes.
CIA	Agencia Central de Inteligencia de los Estados Unidos.
CRS	Rendimientos Constantes a Escala por sus siglas en inglés.
DEA	Análisis Envolvente de Datos por sus siglas en inglés.
DMU	Unidades de decisión o unidades productivas.
EA	Eficiencia Asignativa.
EE	Eficiencia Económica.
EEs	Eficiencia de Escala.
ETG	Eficiencia Técnica Global.
ETP	Eficiencia Técnica Pura.
GAP	Grupo Aeroportuario del Pacífico.
ICAO	Organización Internacional de la Aviación Civil.
IATA	Asociación de Transporte Internacional Aéreo.
OMA	Grupo Aeroportuario Centro Norte.
PIB	Producto Interno Bruto.
PYME	Pequeña o mediana empresa.
SAM	Sector Aeroportuario Mexicano.
SCOP	Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.



SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
T-MEC	Tratado México–Estados Unidos–Canadá.
VRS	Rendimientos Variables a Escala por sus siglas en inglés.
WWACG	Grupo Mundial de Coordinadores de Aeropuertos.



Resumen

El propósito de este estudio es evaluar la eficiencia económica de los principales aeropuertos de América del Norte durante el período 2017-2022, aplicando la metodología Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés), robustecido con un *Bootstrap* así como análisis de *Slacks* y *Benchmarking* competitivo. Se inicia precisando la eficiencia técnica que tiene que ver con la habilidad de generar la mayor cantidad de producción a partir de un conjunto limitado de insumos, después se determina la eficiencia asignativa que examina si estos insumos se están empleando de la mejor manera en función de sus precios y fusionando ambas se determina la eficiencia económica que proporciona una evaluación completa del desempeño del sistema desde un enfoque económico.

El aeropuerto de una comunidad es un activo valioso, puesto que promueve los mercados de bienes y servicios, el sector turístico, tanto la inversión nacional como la internacional, la generación de compañías y por ende acelera la creación de más posiciones de trabajo. Los aeropuertos que se analizaron son: a) de Estados Unidos, los aeropuertos internacionales de Hartsfield-Jackson Atlanta, Dallas Fort-Worth y Denver Colorado; b) de Canadá, los de Toronto Pearson, Vancouver y Pierre Elliot Trudeau de Montreal; y, c) de México, los Aeropuertos Internacionales de la Cd. de México, Cancún, Guadalajara, Tijuana, Monterrey, Los Cabos, Puerto Vallarta, Guanajuato, Mérida y Culiacán. Los resultados obtenidos demuestran que en todos los aeropuertos se recomienda implementar estrategias para incrementar su desempeño económico. La peculiaridad del estudio reside en obtener la eficiencia económica fortalecida con *bootstrap* para esta industria particularmente en México, ya que no existen estudios con estas características específicas.

Palabras clave: Aeropuertos, Norteamérica, Eficiencia Económica, Análisis Envolvente de Datos.



Abstract

The purpose of this research is to evaluate the economic efficiency of the main airports in North America during 2017-2022, by applying the Data Envelopment Analysis (DEA) methodology strengthened with a Bootstrap, Slacks and Benchmark Analysis. The process begins by specifying the technical efficiency, which is related to the ability to generate the maximum amount of production from a limited set of inputs. Then, the allocative efficiency is determined, which examines whether these inputs are being used in the best way based on their prices. By merging both, economic efficiency is determined, which provides a comprehensive evaluation of the system's performance from an economic perspective.

. The airport of a community is an invaluable asset, since it promotes the trade, tourism, investment, the creation of companies and consequently the generation of more jobs. The airports analyzed are: a) from the United States, the international airports of Hartsfield-Jackson Atlanta, Dallas Forth-Worth and Denver Colorado; b) from Canada, the 3 busiest were selected: Toronto Pearson, Vancouver and Montréal's Pierre Elliot Trudeau airports; and, c) from Mexico, the 10 most active according to annual statistical reports of airport groups, such as the International Airports of Mexico City, Cancun, Guadalajara, Tijuana, Monterrey, Los Cabos, Puerto Vallarta, Guanajuato, Mérida and Culiacán. The results obtained show that in all the airports it is recommended to implement strategies to increase their economic performance. The peculiarity of this study lies in obtaining economic efficiency strengthened with bootstrapping for this industry particularly in Mexico, since there are no researches with these specific characteristics.

Key words: Airports, North America, Economic Efficiency, Data Envelopment Analysis.



Introducción

Los aeropuertos no son meramente una edificación, más bien un espacio multifuncional para las interacciones sociales y experiencias individuales que rompen las fronteras geográficas (Huang et al., 2018).

Los aeropuertos son un activo invaluable para las poblaciones a las que sirven, ayudándoles a desarrollar todo su potencial económico y garantizar un crecimiento estable, impulsando el turismo, comercio, la inversión, el desarrollo empresarial y empleo a largo plazo. En los últimos 30 años, los aeropuertos han pasado de ser simplemente proveedores de infraestructura municipal o gubernamental a proveedores de servicios sofisticados y orientados a los negocios (Airports Council International, 2021).

De acuerdo con información de la misma ACI, el total de pasajeros globales llegó casi a los 6,600 millones al cierre del 2022, lo que significa una variación positiva de casi el 44% con respecto al 2021. Los aeropuertos experimentaron una fuerte recuperación en el tráfico de pasajeros después del peor shock a raíz de la pandemia del COVID-19 en el año 2020.

Los aeropuertos igualmente desempeñan un rol importante en el envío de la carga aérea internacional y la logística de las cadenas productivas, ya que el sector de la aviación mundial es de aproximadamente un 35% (un estimado de 124 millones de toneladas métricas en el año 2021) del comercio mundial, facilita la conectividad en casi todos los países del mundo y ha sido trascendental su apoyo en la asistencia humanitaria. No obstante que el sector de la aviación juega un papel crucial en el comercio mundial, observó una disminución en el volumen global de carga aérea en el año 2022. Específicamente, hubo una disminución del 6.7% en comparación con 2021. Esta tendencia descendente se atribuye a las actuales tensiones geopolíticas



y a las interrupciones en el comercio global (*International Civil Aviation Organization*, 2023).

Airports Council International (2023), la máxima voz de los aeropuertos a nivel global, estima que hubo más de 89 millones de movimientos de aeronaves en 2022, lo que representa una ganancia de más del 20 % con respecto a 2021.

De acuerdo con *International Air Transport Association (IATA)*, la pandemia de COVID-19, ha sido el mayor shock para la aviación en su historia. Esta pandemia ha dividido la industria en tres realidades:

- Los mercados de carga ganaron terreno en volúmenes durante el 2020 y 2021, debido al transporte de equipos médicos, equipo de protección personal y vacunas que salvan vidas, junto con la entrega de comercio electrónico durante el periodo de confinamiento. Empero en el 2022, disminuyeron por las razones mencionadas anteriormente.

- Los mercados de pasajeros domésticos han recuperado alrededor del 84% de los niveles prepandemia. Esto demuestra que no se ha perdido el apetito por volar. Cuando se eliminen las restricciones, las personas quieren y necesitan conectarse en avión.

- Los viajes internacionales, sin embargo, se mantienen en aproximadamente un 60% de los niveles del 2019. La demanda aumentará conforme se reabran las fronteras y se quiten las restricciones de viaje impuestas por los gobiernos en su totalidad.

El Acuerdo de Libre Comercio suscrito entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC), sigue favoreciendo la apertura al sector de servicios, en el que tanto el turismo como el transporte tienen una función muy importante.

En el año 2022, la inversión extranjera directa (IED) en el sector turístico de México llegó a un máximo histórico, alcanzando los 3.4 mil millones de dólares. Esta



cifra supera la IED registrada en el sector turístico antes del comienzo de la pandemia de COVID-19, que fue de 1.1 mil millones de dólares. Nuestros socios en América del Norte representan más del 50% de la inversión extranjera en nuestro país y está vinculada en gran medida al sector turismo (SECTUR, 2023).

El sector del transporte aéreo, conformado principalmente por compañías aéreas, concesionarios y empresas prestadoras de servicios para los aeropuertos, aporta alrededor de 36.5 mil millones de pesos mexicanos al PIB de México equivalente a 1.3% del PIB 2020 (IATA, 2021).

Una vez indicado lo anterior, la intención de este estudio es abordar la eficiencia económica de las capacidades aeroportuarias de los principales aeropuertos de Norteamérica y particularmente de los mexicanos.

Los resultados permitirán determinar los aeropuertos que muestran un comportamiento más eficiente de manera integral e imparcial en relación con el número y longitud de las pistas, cantidades de aerolíneas, destinos y empleados.

Como en todos los negocios, el apremio para operar de manera eficiente es constante y surge tanto de los clientes como de todas las partes interesadas. El resultado permitirá el establecimiento de estrategias de mejora, para garantizar el uso máximo de las capacidades de los aeropuertos.

La tesis está estructurada en siete capítulos. En el primero, se realiza el planteamiento de la investigación y se describen las unidades productivas destacando las características de cada una así como los *inputs* (número y longitud de pistas, total de empleados, cantidad de aerolíneas y destinos) y *outputs* (unidades de tráfico transportadas y el ingreso por unidad).

En el segundo capítulo, se narra a grandes rasgos la historia del sector aeroportuario y en particular en México desde su origen, el despegue de este, la creciente demanda, el apogeo y la privatización, así como sus generalidades



(clasificación, tipo de aeropuertos, áreas de servicios, importancia, etc.) y estructura (su administración y marco jurídico).

En el tercer capítulo, se desarrolla una exploración del estado del arte de la eficiencia de la industria aeroportuaria mundial, para fundamentar la metodología, muestra y variables seleccionadas en este estudio, revisando las investigaciones hechas en México y en otras naciones en orden cronológico.

En el cuarto capítulo, se detallan los orígenes de la eficiencia y varios de los modelos que se han desarrollado para su medición. Se puntualiza la metodología DEA con rendimientos variables de escala y orientación *output* robustecida con un *bootstrapping* como el modelo que se utilizará para el cálculo de las eficiencias económicas de los aeropuertos seleccionados.

Luego, en el quinto capítulo, se procede al desarrollo del modelo, indicando la muestra, metodología aplicada, procedimiento y variables utilizadas.

El sexto capítulo, contiene los resultados conseguidos a través del modelo no paramétrico DEA sobre las diferentes modalidades de eficiencia (técnica, asignativa y económica o global) y su síntesis pasando a su posterior análisis y discusión.

Por último, en el séptimo capítulo, se establece una serie de conclusiones de la investigación, las recomendaciones conducentes, así como las futuras líneas de investigación.



Capítulo 1: Fundamentos de la Investigación

1.1 Planteamiento del problema

Con toda la globalización que hoy en día se tiene a nuestro alcance, es casi imposible que una compañía sea exitosa si no es lo suficientemente competente como para desarrollar ventajas en su industria en alguna forma.

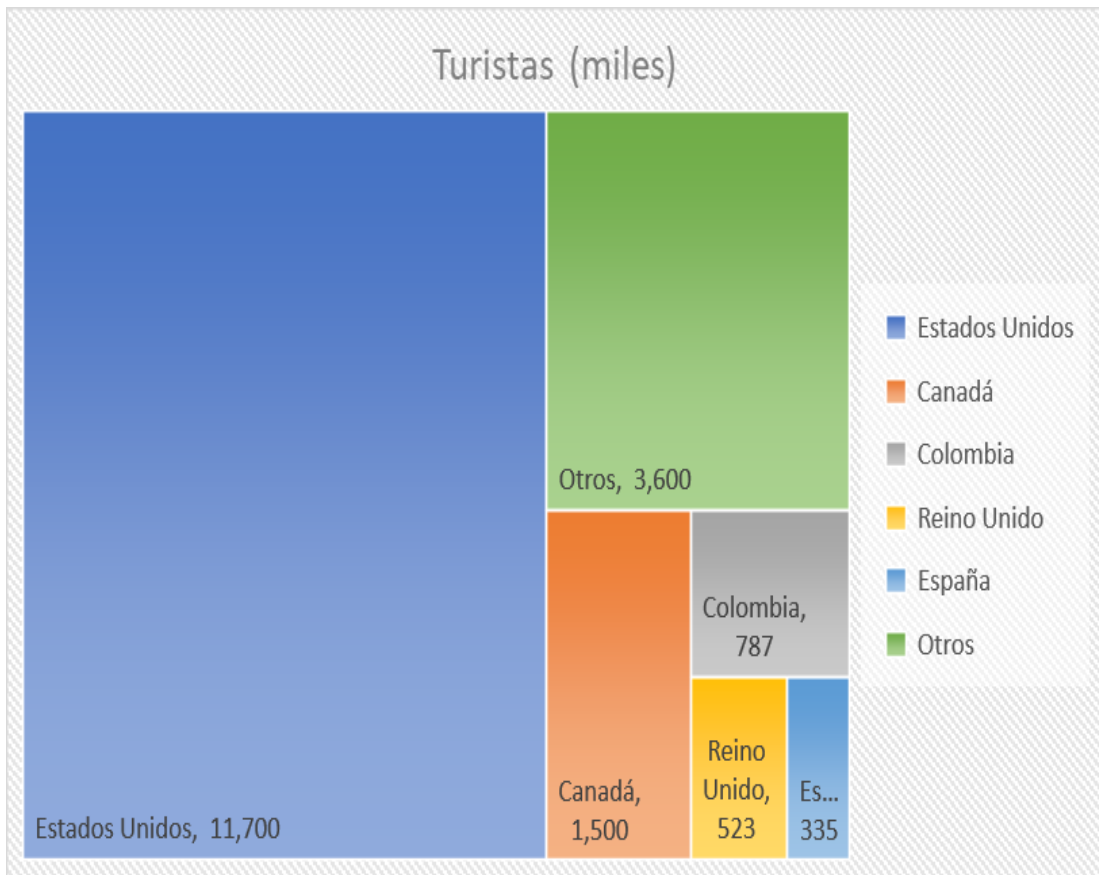
Las industrias aeronáutica y turística están muy relacionadas, tanto que con la turbulencia del COVID-19, fueron las más golpeadas a nivel mundial y su recuperación empezó a un ritmo lento en el 2021 y al vuelo en el 2022, conforme cada país ha intentado volver a la normalidad reabriendo sus fronteras y relajando las medidas restrictivas en los requisitos de pruebas y cuarentenas (Airport Council International, 2023).

ACI continúa defendiendo ante los gobiernos que sigan la información reciente y suavicen las restricciones de viaje para reactivar de manera segura el movimiento de pasajeros y unidades de carga.

En la gráfica 1 que viene en la página siguiente, se puede observar que nuestro país recibió más de 18 millones de visitantes extranjeros durante el 2022 principalmente de Norteamérica, Europa y Latinoamérica. Es importante destacar que más del 70% provenían de Estados Unidos y Canadá. En particular, desde enero hasta noviembre del 2022, México recibió 11.7 millones de residentes de Estados Unidos y 1.5 millones de Canadá. Estas cifras demuestran la importancia del turismo para las economías en específico para la mexicana y la fuerte conexión que existe entre México y estos países en términos de intercambio cultural y económico (Secretaría de Relaciones Exteriores, 2023).



Gráfica 1: Países que más visitan México, 2022



Fuente: Secretaría de Relaciones Exteriores, 2023.

Con respecto al comercio internacional, uno de los factores que más se aprecian cuando se quiere realizar o recibir un envío de mercancías es el tiempo de entrega, puesto que, los compradores no están dispuestos a esperar mucho tiempo y si no se cumplen sus expectativas, contratarán el servicio con otra empresa. En cuanto a los productos perecederos, el tiempo es un factor crucial, pues si se retrasa considerablemente el traslado de los mismos se perderán sus propiedades y, por tanto, su valor. En consecuencia, se debe seleccionar un medio de transporte que sea capaz de efectuar el envío en la prontitud posible como lo efectúa el avión, aunque cuente con un costo superior al marítimo y, obviamente, al terrestre ya sea



por carretera o por tren, resultando ser la mejor opción para ciertos productos como lo son los perecederos o aquellos que tienen un gran valor (ITAérea, s.f.).

En conclusión, las terminales aéreas son fundamentales para el crecimiento económico de cualquier comunidad. Mejoran la conectividad, potencian la actividad económica, generan puestos de trabajo y aprecian el lugar. Dada la globalización de hoy en día, el uso de la industria aeronáutica hace que sea vital para la sociedad ya sea por razones de placer o de negocios.

Así las cosas, es primordial para la industria aeroportuaria alcanzar la máxima utilización de su infraestructura con el uso favorable de sus recursos contribuyendo de esta forma a la mejoría de la economía mundial.

La eficiencia mide qué tan bien cumple un centro productivo, compañía, o sector, en este caso un aeropuerto, en relación con el mejor aprovechamiento de sus instalaciones u otros factores productivos y el más alto rendimiento (volumen de unidades de tráfico transportadas) que se puede obtener a partir de ellos.

Los resultados permitirán determinar los aeropuertos norteamericanos que muestran un comportamiento más eficiente de manera integral e imparcial en relación con el número y longitud de las pistas, las cantidades de aerolíneas, destinos y empleados.

Por tanto, facilitará el establecimiento de políticas de mejora, para asegurar el uso eficiente de la infraestructura de los puertos aéreos transportando más pasajeros y unidades de carga contribuyendo así al crecimiento económico y social de las comunidades a las que sirven.



1.2 Preguntas de la investigación

1.2.1 Pregunta general

¿Qué tan eficientemente utilizaron las pistas, empleados, destinos y líneas aéreas en relación con el volumen de unidades de tráfico transportadas y los ingresos aeronáuticos los principales aeropuertos norteamericanos durante el período 2017-2022?

1.2.2 Preguntas específicas

Pregunta específica 1: ¿Cuál fue el grado de eficiencia técnica de los aeropuertos en cuestión con base en los empleados, pistas, destinos y líneas aéreas según el volumen de unidades de tráfico transportadas?

Pregunta específica 2: ¿Cuál fue el nivel de eficiencia asignativa de estos aeropuertos basada en las pistas, los empleados, destinos y líneas aéreas en función de los ingresos aeronáuticos?

Pregunta específica 3: ¿Qué tipo de eficiencia determinó la eficiencia económica de los aeropuertos en función de las variables como el número de empleados, pistas, destinos y líneas aéreas, considerando el volumen de unidades de tráfico transportadas y los ingresos aeronáuticos?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general:

Analizar qué tan eficientemente se aprovecharon las pistas, empleados, destinos y líneas aéreas de conformidad con los ingresos aeronáuticos de los principales aeropuertos norteamericanos durante el período 2017-2022.



1.3.2 Objetivos específicos

Objetivo específico 1: Establecer el grado de eficiencia técnica de los aeropuertos en cuestión con base en las pistas, empleados, destinos y líneas aéreas en función del volumen de unidades de tráfico transportadas.

Objetivo específico 2: Determinar el grado de eficiencia asignativa de estos aeropuertos basado en las pistas, empleados, destinos y líneas aéreas conforme a los ingresos aeronáuticos.

Objetivo específico 3: Especificar el tipo de eficiencia que determinó la eficiencia económica de los aeropuertos, teniendo en cuenta factores como el número de empleados, pistas, destinos y líneas aéreas, en relación con el volumen de unidades de tráfico transportadas y los ingresos aeronáuticos.

1.4 Justificación

1.4.1 Conveniencia

El sector de la aviación y los aeropuertos son fundamentales para la mejora económica y social de cualquier país. Impulsan el turismo, comercio, inversión, creación de nuevas empresas y más empleos, por consiguiente, si son apalancados con el uso óptimo de las infraestructuras aeroportuarias su desempeño será superior.

1.4.2 Relevancia social

El flujo creciente del tráfico aéreo tanto de pasajeros como de mercancías coadyuva a la generación de más empleos y mejores salarios en su cadena productiva. Justo a raíz de la pandemia del COVID-19, las sociedades en el mundo dependen cada vez más de la ayuda de emergencia y los suministros esenciales que solo la aviación puede hacer llegar a ellas en muchos casos.



1.4.3 Implicaciones prácticas

Fortalece el turismo, el comercio exterior de bienes y servicios, la competitividad y el uso óptimo de los insumos de producción. Por tanto, incide en la prosperidad de la población.

1.4.4 Valor teórico

Los métodos y resultados pueden ser útiles para evaluar la eficiencia en otro tipo de transportes como el marítimo o terrestre. Existen varias investigaciones al respecto, sin embargo, en ésta se proponen metodologías confiables, enfoque y muestras distintos tales como la determinación de la “Eficiencia Económica” mediante la metodología de la Envolvente de Datos reforzada con un *bootstrap*. Como muestras en la literatura revisada típicamente se encuentran, aeropuertos europeos, latinos o españoles como referentes y en esta investigación se propone un *benchmarking* “competitivo” entre los principales aeropuertos de Norteamérica.

1.4.5 Utilidad metodológica

Facilitar el conocimiento progresivo para los distintos tipos de transporte.

1.4.6 Horizonte temporal y espacial

Período 2017-2022, 6 de los principales aeropuertos de Norteamérica y en particular los 10 principales mexicanos.

El período 2017-2022, se basa en que la información se extrae básicamente de los reportes anuales de cada aeropuerto y la mayoría coinciden en la mayoría de

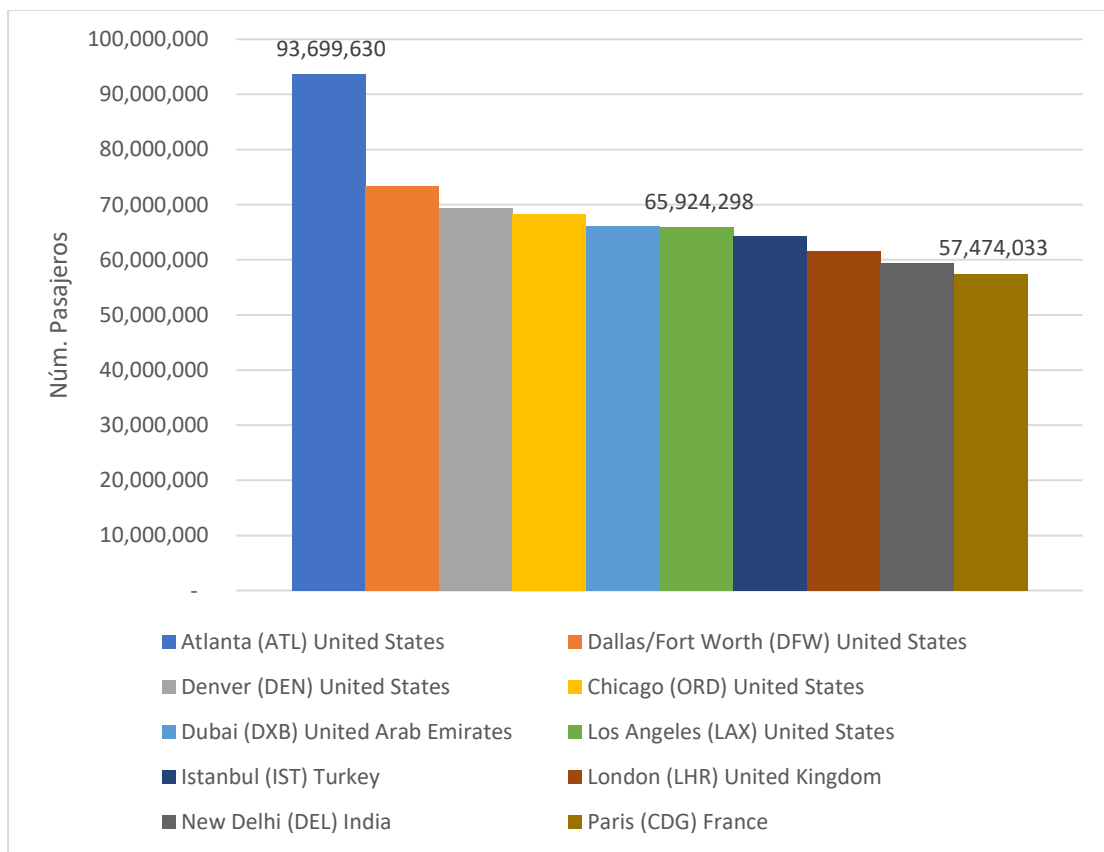


los datos utilizados en este período que, además es muy reciente y refleja muy bien los efectos de la turbulencia provocada por el COVID-19.

El total de pasajeros terminales a nivel mundial en el 2022 alcanzó casi la cifra de 6,600 millones, que significa una variación cerca del 40% en relación con el 2021, pero aún sin alcanzar los niveles del 2019 (ACI, 2023).

En la gráfica 2, se puede distinguir que **5 de las 10** principales terminales aeroportuarias para la circulación de pasajeros están en Estados Unidos (ACI, 2023).

Gráfica 2: *Ranking mundial de los aeropuertos con mayor tráfico de pasajeros*

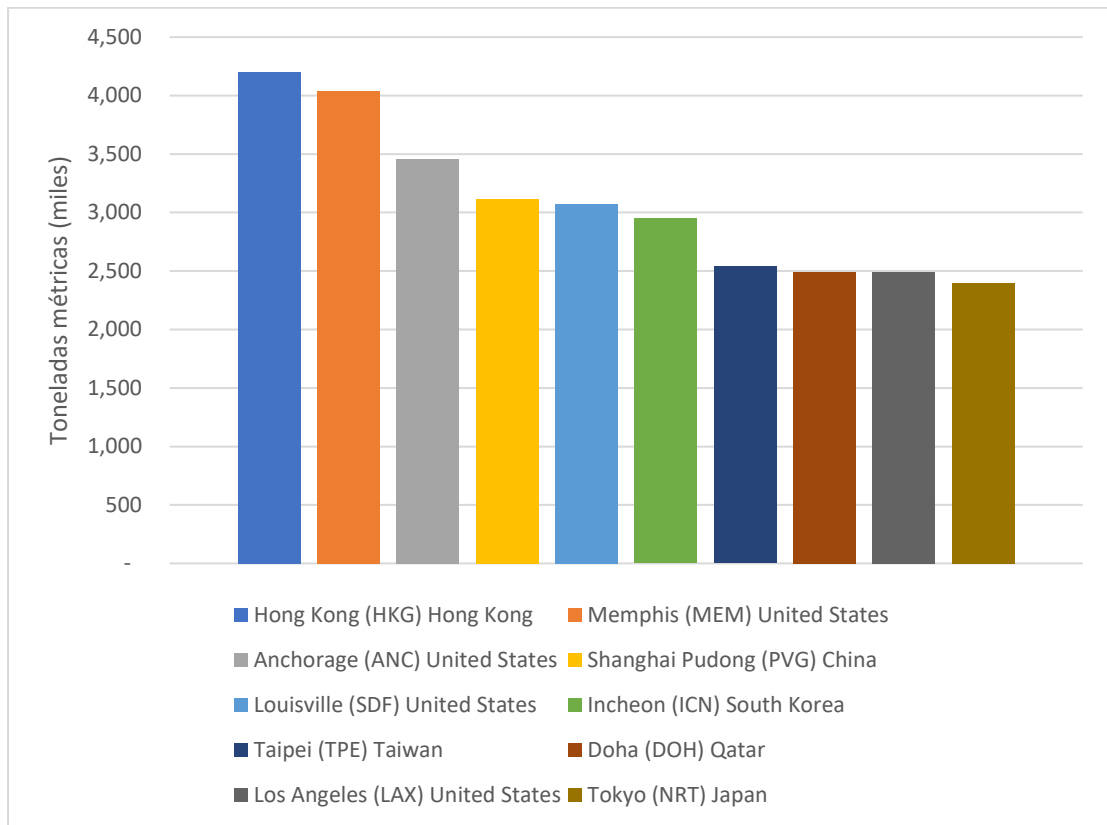


Fuente: Airports Council International, 2023



En la gráfica 3, se puede observar cuáles son los principales aeropuertos también a nivel mundial, con mayor tráfico de mercancías durante el 2022. 4 de ellos son estadounidenses, 5 asiáticos y 1 del Medio Oriente.

Gráfica 3: *Ranking mundial de los aeropuertos de carga con mayor tráfico de mercancías*



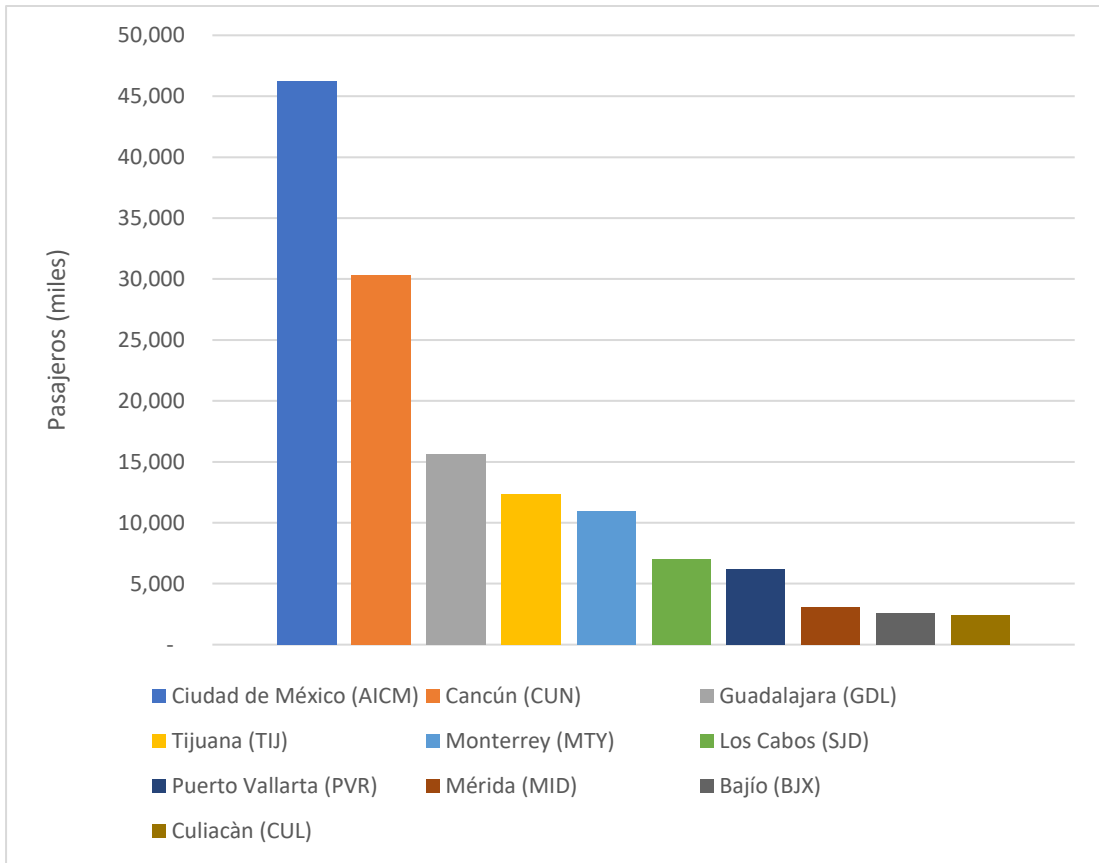
Fuente: Statista, 2023

Por último, en la gráfica 4 de la página siguiente se pueden visualizar los 10 principales aeropuertos mexicanos, clasificados básicamente por el volumen de pasajeros ya que históricamente la carga ha representado una parte mínima (menos del 5% en promedio) de sus ingresos y no siempre desagregan este concepto en



cada aeropuerto (en algunos aeropuertos, manejan esa actividad a través de otra empresa).

Gráfica 4: *Ranking de aeropuertos mexicanos con el mayor tráfico de pasajeros en 2022*



Fuente: Reportes financieros de cada grupo aeroportuario, 2023

Así las estadísticas, la muestra se conforma por los 10 aeropuertos mexicanos anteriormente ilustrados (Cd. de México, Cancún, Guadalajara, Tijuana, Monterrey, Los Cabos, Puerto Vallarta, Mérida, Guanajuato y Culiacán), por 3 de los principales aeropuertos de Estados Unidos (Atlanta, Dallas-Forth Worth y Denver) y por los 3 más transitados de Canadá (Toronto, Vancouver y Montreal).



1.4.7 Viabilidad de la investigación

Existen bases de datos de la industria aérea suficientes para realizar el modelo no paramétrico y de regular costo. Pero de igual forma se puede encontrar la información en el sitio web de cada aeropuerto, aunque conlleva más tiempo la recopilación y en ocasiones no se encuentra toda la información requerida por lo que hay que buscar fuentes alternas como la Bolsa Mexicana de Valores por ejemplo.

1.4.8 Alcances

Esta investigación cuantitativa, considera los alcances establecidos a continuación (Hernández, 2014):

Descriptivo: Busca identificar los atributos, las peculiaridades y los aspectos de la persona, grupo, comunidad, proceso, objeto u otro fenómeno a analizar.

Explicativo: Está dirigido a revelar causas de eventos y hechos físicos o de la sociedad. Se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables.

Correlacional: Su finalidad es conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto específico.

1.4.9 Limitaciones

- Existencia de diversas bases de datos, con distinta antigüedad, diversa periodicidad, formas de presentación y cuantificación o clasificación diferentes
- Bases de datos onerosas.
- La cantidad de toneladas transportadas y su eficiencia, tiene que ver también con las líneas aéreas pues no todas operan aviones *full cargo*, por lo que la carga aérea se transporta en el compartimiento de equipajes de las aeronaves de pasajeros (*belly freight*).



- No se considera el tamaño de las aeronaves.
- En términos generales, a nivel mundial sólo un 40% de la carga aérea se mueve en aeronaves “*full cargo*”, porque un 60%, se mueve en el compartimiento de equipajes de las aeronaves de pasajeros (*belly freight*).
- La guía para la gestión, autorización y supresión de *slots* en las terminales aeroportuarias de México está definida en la Ley de Aeropuertos y su Reglamento y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) tiene la facultad para determinar horarios de salida y llegada como se ha podido observar recientemente con la reducción de *slots* en el AICM para favorecer el tráfico en el AIFA (Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles).
- El Consejo Internacional de Aeropuertos (ACI), la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) y el Grupo Coordinador de Aeropuertos Mundiales (WWACG) publican las pautas mundiales de franjas horarias en las terminales aeroportuarias (WASG) para brindar a la comunidad del transporte aéreo internacional estándares comunes para administrar los *slots* de las aeronaves en los aeropuertos.
- Los reportes anuales financieros de las terminales aeroportuarias de Estados Unidos tienen cierres fiscales discrepantes al mes de “diciembre” como se acostumbra con sus principales socios comerciales.

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 Hipótesis general

Los principales aeropuertos de Norteamérica no fueron económicamente eficientes en el uso de pistas, empleados, destinos y cantidad de aerolíneas en función del volumen de unidades de tráfico e ingresos obtenidos durante el período 2017-2022.



1.5.2 Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1: Los aeropuertos de Norteamérica no fueron técnicamente eficientes en la utilización de pistas, empleados, destinos y cantidad de aerolíneas en función del volumen de unidades de tráfico obtenido en el período 2017-2022.

Hipótesis específica 2: Los aeropuertos de Norteamérica tampoco fueron asignativamente eficientes en la utilización de pistas, empleados, destinos y cantidad de aerolíneas en función del volumen de unidades de tráfico e ingresos por unidad de tráfico obtenidos en el período 2017-2022.

Hipótesis específica 3: Ambas ineficiencias técnica y asignativa determinaron la ineficiencia económica de los aeropuertos de Norteamérica en la utilización de pistas, empleados, destinos y cantidad de aerolíneas en función del volumen de unidades de tráfico e ingresos por unidad de tráfico obtenidos en el período 2017-2022.

1.6. Identificación de variables

Output: Unidades de Tráfico e Ingresos Aeronáuticos.

Input: a) Número de Pistas, b) Longitud Total de las Pistas, c) Número de Aerolíneas, d) Número de Destinos y e) Número Total de Empleados.



Tabla 1

Identificación de variables

INPUTS	OUTPTS
Número de Pistas	Unidades de Tráfico
Longitud de las Pistas	Ingresos Aeronáuticos
Número de Aerolíneas	
Número de Destinos	
Número de Empleados	

Fuente: Elaboración propia con base en la revisión de literatura, 2023.



Capítulo 2: Marco contextual del sector aeroportuario

2.1 La historia del Sector Aeroportuario

2.1.1 ¿Quién inventó el aeropuerto?

Se sabe que en 1903, los hijos de Wright, Orville y Wilbur, efectuaron el primer vuelo en la historia en una aeronave en Carolina del Norte, Estados Unidos. La aeronave se elevó de una pista que no tenía nada que ver con la de una terminal aeroportuaria hoy en día. Pocos años después, en 1909, los mismos hermanos Wright, originaron el proyecto denominado el primer aeropuerto del planeta (ITAérea, s.f.).

Pero entonces, ¿cuál es el primer aeropuerto del mundo? En Maryland, el aeropuerto de College Park (todavía en funcionamiento) es el primer aeropuerto, y en ese momento contaba con una pista marcada de cal, varios hangares con tanques de combustible y una antigua plataforma de pasajeros (ITAérea, s.f.).

2.1.2 El despegue en México

La Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP) consiguió la primera concesión para viajes aéreos, y en 1939 se inauguró el Aeropuerto Central de la Ciudad de México. La aprobación y el desarrollo significativo en el área después de la Segunda Guerra Mundial en la década de 1940 llevaron a la edificación de nuevas terminales aéreas (Aeropuertos y Servicios Auxiliares, 2019).



2.1.3 La creciente demanda.

El 10 de junio de 1965 se crea por orden presidencial, Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) para gestionar, manejar y mantener aeropuertos. También para brindar servicios complementarios y comerciales a los 34 aeropuertos de México en ese momento. ASA fue creada por la necesidad de disponer con una organización central a la que se le confiara el desarrollo y crecimiento de las terminales aeroportuarias edificadas en nuestra nación, así como de mantener y mejorar los servicios del transporte aéreo y abastecimiento de combustibles, de promover el desarrollo de las líneas aéreas comerciales y lugares turísticos de México.

El primordial desafío en esos años de inicio fue mejorar y ampliar las instalaciones existentes para enfrentar nuevos desarrollos tecnológicos y operativos, así como la creciente necesidad de proyectos más grandes. En los primeros diez años de su existencia, ASA consiguió edificar, extender y renovar 25 aeropuertos. Es así que se mejoró la red e infraestructura aeroportuaria nacional (ASA, 2019).

2.1.4 El apogeo (1975-1985)

Durante estos años, la red operada y administrada por ASA contó con más de 60 terminales aeroportuarias, lo que le resaltó en América Latina como constructor y administrador. A finales de los años setenta se renovaron varios aeropuertos de la Ciudad de México, Cancún, Acapulco, Guadalajara y Monterrey. Aplicaron un modelo integral que incluía mobiliario, diseño, imagen, integración plástica y equipamiento aeroportuario hecho en México (ASA, 2019).



2.1.5 La privatización (1985-2000)

Los problemas financieros que enfrentaron los países a nivel mundial, especialmente los países en desarrollo y la creación de un modelo económico que combinaba reformas gubernamentales y orgánicas, tuvieron un efecto notorio en el avance de las terminales aeroportuarias de México. En el contexto de graves problemas económicos, el gobierno dispuso que para ampliar y desarrollar la red del sector, debía incluirse al sector privado. Por lo que se diseñó un nuevo marco legal para incentivar y promover su desarrollo sobre la base de normas precisas y claras en condiciones competitivas. En la década de 1990, el sector aeroportuario de México (SAM) experimentó cambios estructurales autorizando la participación de fondos privados en las operaciones aeroportuarias. En 1998, México contaba con una red de más de 60 aeropuertos gestionados por ASA y disminuyó significativamente cuando se lanzó la desincorporación de los 35 aeropuertos con más ganancias, creando cuatro grupos territoriales: ASUR (Grupo Aeroportuario del Sureste), OMA (Grupo Aeroportuario Centro Norte), GAP (Grupo Aeroportuario del Pacífico) y AICM (Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México) (ASA, 2019).

2.1.6 La renovación (2001-2012)

Ante esta nueva situación, el desafío de ASA fue transformarse en un operador de terminales aeroportuarias y de estaciones de servicio enfrentando compañías internacionales y sacando partido de las nuevas condiciones del mercado global. En este período, ASA empezó administrando 27 aeropuertos y 63 estaciones de servicio. A través de una planificación institucional y el cambio organizado de la industria, se diseñaron planes, nuevos modelos y programas de inversión en edificaciones territoriales y sostenibles, incluyendo a fondos privados como socios de los gobiernos locales o federal; esto se instituyó en nuevos lineamientos del sector mediante una legislación que tomaba en cuenta el nuevo entorno que se vivía en la economía de la nación, dando inicio de esta forma a la creación de compañías aeroportuarias en



Puebla, Querétaro, Toluca y Cuernavaca. Luego participó en la edificación de nuevas terminales aeroportuarias en Querétaro, Tuxtla Gutiérrez y en la remodelación del AICM y de la terminal de Toluca. También se convirtió en una Institución que fomentaba la asociación público-privada en los aeropuertos asociados (Tuxtla Gutiérrez por ejemplo); así mismo, se otorgó asistencia técnica al Gobierno del Estado de Chiapas en la edificación de una nueva terminal en Palenque (ASA, 2019).

2.1.7 En la actualidad.

Según la Agencia Central de Inteligencia (CIA, 2022), en México existen 243 aeropuertos, pero solo 77 están registrados por la ICAO. De estos 77, 35 tienen la concesión cuatro grupos de aeropuertos (Grupo Aeroportuario del Pacífico, Grupo Aeroportuario del Sureste, Grupo Aeroportuario Centro Norte y Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México); 18 son administrados por ASA, quién además participa en otros 4 en conjunto con gobiernos estatales y 1, por otra parte, con fondos privados. De los 19 aeropuertos remanentes, 3 son operados por la iniciativa privada, 2 por la Secretaría de Seguridad Pública y 14 por gobiernos regionales y municipales (Diario Oficial de la Federación, 2022).

2.2 Descripción general del sector mundial de aeropuertos

Según la CIA (2022), existen aproximadamente 41,000 aeropuertos en el mundo, pero solo 4.000 de ellos transportan pasajeros y mercancías que se consideran importantes.

Estados Unidos es el país con más aeropuertos en el mundo, pues tiene 5,054 de ellos con pistas pavimentadas. En este país están 8 de los 10 aeropuertos más transitados a nivel mundial.



Nuestro vecino más al norte, Canadá, cuenta con 523 aeropuertos con pistas pavimentadas, siendo los más concurridos el de Toronto, Vancouver y Montreal en este orden.

México tiene 243 aeropuertos con pistas pavimentadas pero solamente 77 están reconocidos por la ICAO.

2.2.1 ¿Cómo se clasifican las terminales aeroportuarias según la Organización Internacional de la Aviación Civil (ICAO por sus siglas en inglés)

La ICAO enuncia las reglas y disposiciones sugeridas a sus países miembros en diversos documentos y segmenta las terminales aeroportuarias en aeródromos y aeropuertos internacionales; el primero define a la superficie de terreno o de agua dónde se pueden efectuar de manera íntegra o parcial partidas y entradas, o movimientos en el área de aeronaves. Una terminal aeroportuaria internacional, está designada a la entrada o salida para el intercambio internacional y cuenta con instalaciones adicionales dedicadas al despacho aduanero o las formalidades de migración, fitosanitaria y veterinaria.

2.2.2 ¿Qué es el aeropuerto?

Se define como aquella superficie en la que se pueden localizar edificaciones y pistas para el ascenso, descenso y circulación de aeronaves, así como para el cuidado de las mismas, la provisión de turbosina, accesos de pasajeros, etc. Un aeropuerto puede tener numerosas edificaciones y servicios en toda su superficie, pero se puede segmentar en dos grandes zonas (ITAérea, s.f.):



- ❖ **Air-side**, destinada al servicio de las aeronaves donde se encuentran las pistas de despegue o aterrizaje, las vías de circulación y área de estacionamiento de las mismas.
- ❖ **Land-side**, dirigida a los pasajeros, donde están el edificio (con áreas de comercio, servicios, etc), las aduanas, migración, los estacionamientos de coches, por ejemplo.

Las instalaciones que debe tener un aeropuerto están determinadas por la magnitud de pasajeros y clase de tránsito (regional, nacional o internacional).

Todos tienen una torre de control, donde se controla y guía la circulación de las aeronaves.

2.2.3 ¿Qué servicios ofrecen los aeropuertos?

Los servicios aeroportuarios son aquellos servicios prestados por los operadores de servicios aeropuertos, el gestor aeroportuario o las empresas colaboradores que operan en la infraestructura aeroportuaria. Se puede distinguir entre servicios dirigidos a las aeronaves y servicios dirigidos a los pasajeros, (ITAérea, s.f.).

Los servicios aeroportuarios son facilitados por: el sector privado u organismos públicos o militares y como se mencionó en el punto anterior, se dividen en servicios para zona tierra y zona aire (ITAérea, sf), tales como:

- **Land-side:** Rampa (apoyo en tierra a las aeronaves en cuanto al ingreso, salida de mercancías, pasajeros, y mensajería), abastecimiento de turbosina, *catering*, bodegas de almacenamiento de mercancías, lavado de aeronaves, control de operaciones, servicios de seguridad, control de



migración, flora o fauna, servicios de meteorología, asignación de franjas horarias, extinción de incendios, etc.

- **Air-side;** servicios de facturación de vuelos, control de seguridad, control de pasaportes, zonas de espera con asientos, servicios de asistencia a personas con movilidad reducida, indicaciones y señalización adecuadas y puntos de información, ofertas de restauración, salas VIP, oferta de compras indispensables (farmacias, accesorios de viaje, etc.).

2.2.4 ¿Cuáles son los tipos de aeropuertos?

De acuerdo al tipo de operación primordial pueden ser civiles, de aviación general o de carga aérea. A continuación se describe cada uno (ITAérea, s.f.):

- **Aeropuertos civiles:** Designados para atender a los pasajeros que utilizan las aeronaves como forma de transportación.
- **Aeropuertos de aviación general:** recibe viajes aéreos en general, y pueden ser vuelos civiles pero que no sea de líneas aéreas regulares ni clase chárter.
- **Aeropuertos de carga aérea:** Localizados en regiones estratégicas en el contexto económico o industrial como clusters por mencionar un ejemplo donde se mueven muchas mercancías.

Por el tipo de vuelos podemos especificar dos:

- **Aeropuerto nacional**
- **Aeropuerto internacional**



2.2.5 ¿Cuál es la importancia de los aeropuertos?

Los aeropuertos son básicos para el crecimiento económico de cualquier comunidad o región. Mejoran la conectividad mundial, aumentan la actividad económica, impulsan la creación de puestos de trabajo y revalúan la comunidad a la que sirven (Airports Council International, 2021).

2.2.6 Acuerdos bilaterales

Los convenios bilaterales especifican las trayectorias, qué líneas aéreas están autorizadas para usarlas y con qué frecuencia volar. Todo ello sobre la base de una justa correspondencia y la obligación de buenas oportunidades de negocio para las líneas aéreas participantes (Rico y Herrera, 2014).

Estos convenios bilaterales se iniciaron en la llamada Convención Internacional de Chicago de 1944. El acceso a los mercados extranjeros está limitado por las llamadas "libertades del aire", dividida en nueve niveles gradualmente más condescendientes:

Primera: las líneas aéreas obtienen permiso para cruzar en otros países.

Segunda: permite que las aeronaves aterricen por razones técnicas sin embarcar o desembarcar pasajeros en otro país.

Tercera: la empresa aérea tiene permiso para llevar pasajeros o mercancías desde su propio país a otro.

Cuarta: faculta que una aeronave transporte pasajeros o mercancías a su país desde el exterior.

Quinta: concede a una empresa aérea llevar pasajeros o mercancías de su país a otro, y desde allí llevar pasajeros o mercancías a un tercer país.



Sexta: permite a las aeronaves transportar pasajeros o mercancías entre dos países utilizando su país como punto de circulación.

Séptima: faculta a las aerolíneas a llevar pasajeros o mercancías entre dos países sin que su país participe en el intercambio.

Octava: admite el cabotaje consecutivo; es decir, que una línea aérea transporte pasajeros y mercancías dentro de otro país, despegando de su país de origen.

Novena: faculta el cabotaje autónomo; o sea que una aerolínea pueda llevar pasajeros y mercancías dentro de otro país.

2.3 El Sector Aeroportuario Mexicano (SAM)

2.3.1 Estructura

México tiene 243 aeropuertos con pistas asfaltadas pero solamente 77 están registrados por la ICAO. A raíz de la privatización, 35 de los 77 fueron concesionados a 4 Grupos Aeroportuarios que son: a) Grupo Aeroportuario del Pacífico, b) Grupo Aeroportuario del Sureste, c) Grupo Aeroportuario Centro Norte y d) Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México; 18 son operados por ASA, quien también participa en otros 4 en sociedad con gobiernos estatales y en 1, además, con inversión privada. De los 19 aeropuertos remanentes, 3 son operados por el sector privado, 2 bajo el control de la Secretaría de la Defensa Nacional y 14 administrados por gobiernos estatales y municipales (Diario Oficial de la Federación, 2022).



Tabla 2

Estructura del Sector Aeroportuario Mexicano

Grupo aeroportuario	Número de aeropuertos
Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA)	18
Grupo Aeroportuario Centro Norte (OMA)	13
Grupo Aeroportuario del Pacífico (GAP)	12
Grupo Aeroportuario del Sureste (ASUR)	9
Grupo Aeroportuario de la Cd. de México (GACM)	1
Sistema Metropolitano de Aeropuertos	5

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 2022

2.3.2 Concesionarios de los aeropuertos

Los aeródromos pueden ser operados por el estado, el municipio o por el sector privado.

El titular de la concesión de un aeropuerto, puede lograr un permiso mixto; o sea que, pudiera atender únicamente ya sea la terminal o las pistas, pero por lo general piden la concesión de ambas áreas. Con sus empleados o mediante terceros, puede llevar a cabo las actividades de limpieza, conservación de equipos (aires acondicionados, calefacción, escaleras mecánicas, energía primaria y secundaria, baños, etc.), el corte de jardines, parques o flores, la descontaminación de las pistas por el caucho de las llantas, conservación de Ayudas Visuales Luminosas y restantes servicios tanto de la zona aire y como de la zona tierra (CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN, 2018).

Si la demanda de pasajeros y mercancías provoca que las instalaciones del aeródromo se aproximen a su capacidad total, los concesionarios pueden expandir las terminales, aumentar el número de pistas o de estacionamientos por ejemplo



siempre y cuando la superficie del mismo lo permita. De no ser posible, se puede considerar la edificación de un nuevo aeródromo en la zona (CAMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNION, 2018).

Las entradas de los aeródromos se dividen en aeronáuticas y no aeronáuticas. Las aeronáuticas se generan por el cobro de los aterrizajes a las líneas aéreas y de las tarifas que pagan los pasajeros (TUA); estos ingresos son regulados por el gobierno o la autoridad de navegación aeronáutica. Las tarifas varían según el aeródromo. Las entradas no aeronáuticas están relacionadas con las tarifas por el estacionamiento de automóviles o motocicletas, la renta de locales de servicios o comerciales, etc. (CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNION, 2018).

2.3.3 Marco jurídico

“La regulación es un sistema racional de instrumentos jurídicos que emplea el Estado para establecer obligaciones y derechos destinados a normar la conducta de los particulares y del gobierno, a fin de proteger los intereses sociales” (Auditoría Superior de la Federación, 2013). La ASF divide la reglamentación en tres categorías:

- **Económica:** establece reglas técnicas y legales para la intervención en el mercado, regula las tarifas y establece requisitos mínimos para la participación en el mercado.
- **Social:** fija normas que apoyan la protección del medio ambiente y la salud.
- **Administrativa:** son preceptos destinados a regular la propia administración pública para dar garantía a la provisión de bienes y servicios.



En la industria aeronáutica, durante décadas la ordenación del SAM fue ocupación de ASA, manteniendo la calidad y el desarrollo del servicio hasta el año de 1995. Basándose en la perspectiva de aumento de la demanda del transporte de pasajeros y mercancías, se demostró que los recursos financieros y administrativos de ASA serían insuficientes, lo que provocó la necesidad de abrir esta industria al sector privado. El cambio a la actual gobernanza del sector aeroportuario se inició con la apertura a fondos privados a través de la Ley de Aeropuertos, transfiriendo al sector privado la gestión y operación de 35 aeropuertos que eran propiedad del gobierno federal. El 22 de diciembre de 1995 se promulgó la Ley de Aeropuertos que otorga a la SCT la facultad de administrar, operar, y expedir permisos y concesiones a terceros. Se le otorga al mismo tiempo la facultad de fijar las normas para la circulación aérea, de asignación de franjas horarias, los fundamentos para la oferta del servicio, fijación de requisitos básicos de operación, observancia de estándares mínimos de seguridad y aplicación de penalizaciones a los aeródromos por no cumplir las normas de esta Ley (ASA, 2019).

En febrero de 1998 se cristaliza dicho cambio normativo cuando la SCT dictó la orden de apertura del SAM a los fondos privados, aclarando que la regulación se enfoca en temas trascendentales, en los cuales se modifican los fundamentos para reglamentar el capital privado, fijación de límites de tarifas, estándares de seguridad, alcance y características de los servicios (ASA, 2019).

Está claro que el marco regulatorio difiere entre los mercados nacionales e internacionales. El capital privado a nivel nacional se rige por concesiones y permisos, mientras que a nivel internacional se rige por los convenios bilaterales (ASA, 2019).

La **concesión** norma la operación de una compañía en una serie de rutas definidas, las cuales deben ser cumplidas conforme a la frecuencia y recorridos permitidos por la SCT (Rico y Herrera, 2014). La Ley de Aeropuertos determina cuáles son las condiciones básicas mínimas para otorgar la concesión por parte de la SCT para gestionar, operar, beneficiarse y, si procede, para edificar aeródromos.



Las concesiones son otorgadas a través de licitaciones a compañías fundadas de acuerdo a las leyes mexicanas; las licitaciones son publicadas en el Diario Oficial de la Federación (DOF) y en casos extraordinarios puede ser sin licitación. Los aspirantes deben acreditar su capacidad legal, técnica, administrativa y financiera pudiendo ser hasta por un plazo máximo de 50 años para utilizar las instalaciones (Rico y Herrera, 2014).

El **permiso** se concede para la prestación de servicios en el modo de carga y por tanto no condiciona a las líneas aéreas a limitarse a recorridos preestablecidos. Igualmente deben cumplir los requisitos enunciados para la concesión y por un plazo máximo de 30 años (Rico y Herrera, 2014).

Por último, los permisos para aeródromos de función general, únicamente se otorgan a compañías mexicanas, sí y solo sí cumplen las condiciones indicadas en la Ley de Aeropuertos. También es por un plazo máximo de 30 años (Rico y Herrera, 2014).

Es importante señalar que los aeropuertos siempre serán propiedad del gobierno, no obstante que su gestión y operación esté en manos del sector privado (Rico y Herrera, 2014).

Rico y Herrera (2014) mencionan que los acuerdos bilaterales de México contemplan solamente las libertades del aire de la 1ª a la 4ª, y se prohíbe el resto sobre todo la 8ª y 9ª.

Las líneas aéreas mexicanas que estén interesadas en entrar en el mercado exterior lo pueden lograr solamente con ayuda del gobierno de México de acuerdo a las normas convenidas por los dos países. El control de tarifas internacionales no tiene restricciones (Rico y Herrera, 2014).



Capítulo 3: Evidencia empírica de la eficiencia en el sector aeroportuario

3.1 Revisión de literatura

Es muy útil que científicos en negocios internacionales o economistas por citar algunas profesiones, estudien la industria aeroportuaria para resolver diversos problemas relacionados con economías de escala, productividad, calidad, competitividad, etc.

Sin embargo, hay que aclarar, que la profundidad de la explicación, va más allá de la mera infraestructura debido a que su máximo uso está sujeto además a regulaciones sectoriales mundiales y locales de cada país, a sus relaciones vitales con las líneas aéreas, al tamaño de las aeronaves o estructura del mercado aéreo, a la asignación de *slots*, entre otros por ejemplo.

La exploración de los múltiples documentos sobre el estudio de los aeropuertos, permite conocer cuáles son las metodologías más utilizadas, identificar cuáles son los *DMUs*, *Inputs* y *Outputs* más frecuentes y, los resultados obtenidos.

3.2 Evidencia empírica

Al revisar la literatura científica al respecto en el área de la eficiencia, se encuentra que hay varios estudios sobre el sector aeroportuario.

Una síntesis de estas investigaciones se encuentra en la Tabla 3 que viene más adelante.



Se empieza por comentar, los casos de México y luego de otros países en orden cronológico.

Carlos Santiago Martínez (2015), utilizando el modelo de Análisis Envolvente de Datos, exploró en su investigación sobre la eficiencia técnica en la industria aeroportuaria de 52 aeropuertos públicos y privados de México valorándolos ya sea mediante rendimientos constantes o variables. Logró identificar oportunidades de optimización para planear estrategias encaminadas a rectificar las desviaciones.

En su tesis: “Análisis de la competitividad de la infraestructura aeroportuaria, ante la norteamericana”, Alejandro Becerril Salinas (2018), determinó que la infraestructura aeroportuaria mexicana tiene un rezago notable frente a la de Estados Unidos de Norteamérica concluyendo que la infraestructura actual requiere mantenimiento y mejoras; por consiguiente, aplica igual incrementar la cantidad de aeropuertos. La metodología que utilizó fue la de las Ventajas Absoluta y Competitiva.

En el ámbito internacional, Yoshida & Fujimoto (2004), evaluaron las actividades de producción de los aeropuertos japoneses desde 1987 hasta 2005 mediante el uso del modelo de Análisis Envolvente de Datos (CCR y BBC) determinando que son relativamente deficientes.

En su tesis doctoral, Augusto Voltes Dorta (2008), planteó utilizar un modelo seguro para precisar las tasas de rendimiento óptimas mediante una evaluación econométrica que ayude a delimitar la rentabilidad del sector aplicando el modelo *Stochastic Frontier Analysis* (SFA). Dicha investigación, reveló que los aeropuertos siempre obtendrán ahorros de costos si acogen un mayor nivel de tráfico y que siempre es mejor expandir un aeropuerto existente que construir uno nuevo.

Tovar & Martin Cejas (2010), investigaron 26 aeropuertos españoles, a fin de analizar su eficiencia técnica determinando que necesitaban mejorar la misma. Para ello, aplicaron la metodología SFA.



Luego, está una investigación de Juliana Quintanilha da Silveira et al. (2012) y mediante el método *Multiple Criteria* DEA, examinaron el desempeño de 13 líneas aéreas brasileñas identificando a la línea aérea ABSA como la única realmente eficiente en su ramo de actuación.

Randrianarisoa et al. (2015), empleando un modelo de Panel de Datos no Balanceado, investigaron 47 aeródromos europeos e infirieron que la corrupción afecta las operaciones aeroportuarias.

La hipótesis de que desnacionalizar la propiedad u operación de las terminales aeroportuarias se relaciona con un mejor rendimiento, fue analizada por Claudia María Giraldo-Velásquez et al. en el 2015, utilizando el modelo DEA y el Índice de Malmquist (MI).

Gundelfinger (2017), en su tesis doctoral analizó 21 terminales aeroportuarias europeas aplicando los modelos DEA y Tobit para calcular el efecto de la logística en el rendimiento las operaciones aeroportuarias, encontrando que el promedio de rendimiento es comparativamente alto (0.78), lo que indica un buen control en el nivel de su desempeño.

También en el 2017, 20 aeropuertos españoles fueron analizados por Sergio Díaz Ruiz para determinar la eficiencia técnica pura a través DEA-CCR y DEA-BCC, concluyendo que solamente 3 eran eficientes. En este caso usó como *inputs* el número de terminales y de aerolíneas.

En el mismo año, Vicente Inglada et al. difundieron un artículo analizando la productividad y eficiencia de los aeropuertos de España tras la privatización de los mismos aplicando los modelos DEA y MI (índice de Malmquist), evidenciando que 33 terminales aeroportuarias tuvieron un crecimiento moderado de la productividad debido básicamente al aumento de la eficiencia técnica.



En el año 2019, Luis Pulido Moreno y Oscar Díaz Olariaga, midieron el desempeño de 17 aeródromos de Colombia utilizando el modelo DEA con rendimientos constantes. En comparación con otros estudios análogos, se puede argumentar que este estudio utilizó la mayoría de las variables, tanto de inputs como de outputs.

Luana Carneiro Brandão et al. (2019), con el *Multiple Criteria* DEA, evaluaron 6 aeropuertos centrales de Brasil, delimitando que solamente los dos aeropuertos de Sao Paulo eran eficientes.

Por último, se encontró un estudio acerca de la competencia entre los aeropuertos y las líneas aéreas, así como sobre la eficiencia en la industria aeronáutica (Nerja, 2019). Usó los modelos DEA y SFA para examinar 46 terminales aeroportuarias de España para evaluar su desempeño técnico. No obstante que usó dos técnicas distintas, ambas arrojaron resultados similares.



Tabla 3

Revisión de literatura

(1/2)

	Estudio	Autor	Año	Metodología	Inputs	Outputs
1	Japanese-Airport Benchmarking with the DEA and Endogenous-Weight	Yoshida & Fujimoto	2004	DEA-CCR y DEA-BBC	1. Número de pistas, 2. Capacidad de las terminales (m ²), 3. Número total de empleados	1. Pasajeros 2. Mercancías (tons)
2	Estimación mediante Fronteras Estocásticas de la función de costes de la industria aeroportuaria	Augusto Voltes Dorta	2008	SFA	1. Estructura Industrial, 2. Eficiencia y Políticas de Tarifas Aeroportuarias	1. Tasas óptimas
3	Technical Efficiency and Productivity changes in Spanish airports: a parametric distance functions approach	Tovar & Martin Cejas	2010	SFA	1. Número de pistas, 2. Capacidad de las terminales (m ²), 3. Número total de empleados	1. Número de movimientos 2. Tamaño promedio de las aeronaves, 3.% de Ingresos no Aeronáuticos
4	Evaluación de la Eficiencia de las compañías aéreas brasileñas	Juliana Quintanilha da Silveira et al.	2012	Multiple Criteria DEA	1. Capacidad de la flota, 2. Total de personal	1. Pasajeros.km utilizados, 2. Toneladas.km utilizados
5	Evaluación de la Eficiencia Técnica del Sistema Aeroportuario Mexicano	Carlos Santiago Martínez	2015	DEA-CCR y DEA-BBC	1. Número de pistas, 2. Capacidad de las Terminales (m ²), 3. Movimientos por hr en la pista, 4. Número total de empleados	1. Toneladas de carga transportadas, 2. Pasajeros transportados
6	Effects of corruption on Efficiency of the European airports	Randrianarisoa et al.	2015	Panel de Datos no Balanceado	1. Índice de Corrupción de la Guía Internacional de Riesgo País, 2. Índice de Percepción de la Corrupción, 3. Índice de Control de la Corrupción	Impacto de la Corrupción en la Eficiencia Operativa
7	Las infraestructuras aeroportuarias: tipo de propiedad y su relación con la Eficiencia	Claudia María Giraldo-Velásquez et al.	2015	DEA & MI	1. Número total de empleados, 2. Número de pistas, 3. Capacidad de las terminales.	Nivel de eficiencia y de productividad

SFA Stochastic frontier analysis, DEA Data Envelopment Analysis, MI Malmquist Index, CCR Charnes, Cooper & Rhodes, BCC Banker, Charnes & Cooper

Fuente: Elaboración propia con base en los autores mencionadas en la tabla.



Tabla 3
Revisión de literatura

(2/2)

	Estudio	Autor	Año	Metodología	Inputs	Outputs
8	Análisis de los factores determinantes de Demanda, Competencia y Eficiencia del Transporte Aéreo y el Turismo	Javier Gundelfinger Casar	2017	DEA, Modelo Tobit	1. Fuerza laboral, 2. Número de puertas, 3. Area de carga	Cantidad de mercancía (tons)
9	Evaluación de la Productividad y Eficiencia en los aeropuertos españoles después de la liberalización del transporte aéreo	Vicente Inglada et al.	2017	DEA & MI	1. Coste de trabajo, 2. Inmovilizado y 3. Resto de Costes operativos	Cantidad de mercancía (tons)
10	Metodología DEA: Aplicación al sector aeroportuario español	Sergio Díaz Ruiz	2017	DEA-CCR y DEA-BBC	1. Número de terminales, 2. Número de aerolíneas	1. Pasajeros, 2. Mercancías (tons)
11	Análisis de la Competitividad de la infraestructura aeroportuaria mexicana, ante la norteamericana	Alejandro Becerril Salinas	2018	Ventajas Absoluta y Competitiva	1. Número de operaciones, 2. Infraestructura	1. Índice de Competitividad Global 2. Índice de Desempeño Logístico
12	Medición de Eficiencia aeroportuaria. Caso de aeropuertos privatizados colombianos	Luis Pulido Moreno & Oscar Díaz Olariaga	2019	DEA-CCR	1. Número de pistas, 2. Longitud de las pistas, 3. Número de posiciones de estacionamiento de aeronaves en plataforma, 4. Área edificada del edificio terminal de pasajeros, 5. Área de la plataforma, 6. Número de aerolíneas, 7. Destinos nacionales, 8. Destinos internacionales, 9. Número de empleados	1. Operaciones (despegues / aterrizajes), 2. Pasajeros transportados, 3. Carga aérea transportada, 4. Factor de carga (relación entre sillas ofrecidas y pasajeros a bordo), 5. Ingresos aeronáuticos, 6. Ingresos no-aeronáuticos
13	Efficiency Assesment of central airports in Brazil	Luana Carneiro Brandão, João Carlos Correia Baptista Soares de Mello	2019	Multiple Criteria DEA	1. Tamaño del aeropuerto, 2. Número de Aerolíneas, 3. Número de despegues	1. Pasajeros 2. Mercancías (tons)
14	Rivalidad aeropuerto-aerolínea y Eficiencia en la industria del transporte aéreo	Adrián Nerja Esteve	2019	SFA & DEA	1. Coste de trabajo, 2. Longitud de las pistas, 3. Área de la terminal	Ingresos no aeronáuticos

SFA Stochastic frontier analysis, DEA Data Envelopment Analysis, MI Malmquist Index, CCR Charnes, Cooper & Rhodes, BCC Banker, Charnes & Cooper
Fuente: Elaboración propia con base en los autores mencionadas en la tabla.



3.3 Principales metodologías utilizadas

La exploración anterior de los múltiples documentos sobre el estudio de los aeropuertos permite conocer cuáles son las metodologías o modelos más utilizados, identificar los *inputs* y *outputs* así como sus resultados.

En 2 estudios (el de Carlos Santiago Martínez y de Javier Gundelfinger Casar) utilizan las mismas variables independientes o *inputs* (fuerza laboral, área de la terminal de carga, pistas o puertas) y dependientes o *outputs* (toneladas de carga transportada, pasajeros). Igualmente coinciden en la metodología *DEA* pero en la Tesis Doctoral de Gundelfinger, propone adicionalmente el Modelo Tobit.

Cabe señalar que en el estudio (Nerja, 2019), aunque se utilizan diferentes modelos (*SFA* y *DEA*), los resultados técnicos son parecidos.

De acuerdo con ésta revisión, la metodología más utilizada es *DEA* y no existe un documento para el caso mexicano que considere un Análisis Envoltente de Datos para comparar la Eficiencia Económica como se propone aquí, que se apoye en el Análisis de Holguras para determinar en qué dirección puede convertirse una unidad productiva ineficiente en eficiente y utilice un *Benchmarking* “Competitivo” entre las principales terminales aeroportuarias de América del Norte en aras de describir las mejores prácticas.

Concluyendo, en cuanto a las investigaciones descritas, decido que las que me resultan más eficaces como punto de partida para el avance de este estudio son la tesis redactada por Carlos Santiago Martínez por su aporte sobre el sector aeroportuario mexicano y porque aplica los modelos *DEA-CCR* y *DEA-BCC* así como la tesis doctoral de Javier Gundelfinger Casar sobre el estudio de los factores determinantes para la eficiencia en la industria aérea basado en el mismo modelo *DEA*. Y con el fin de robustecer la metodología, se aplica también un *Bootstrap* con el fin de evitar sesgos por el número de *DMUs* de la muestra.



Capítulo 4: Marco teórico-metodológico

4.1 La eficiencia

La eficiencia evalúa si un centro productivo, en este caso un aeropuerto, está utilizando debidamente sus recursos de acuerdo con las prácticas perfeccionadas.

Generalmente, el concepto eficiencia hace referencia a los recursos que se emplean y a los productos que se consiguen a partir de ellos. Es por esto, que es una medida muy valorada por el sector privado, público o inclusive naciones, puesto que en la realidad todos establecen objetivos, cuentan con recursos finitos y establecen Indicadores de Desempeño para medir el avance en cada área de la empresa, organismo o país (García, 2002).

Entonces, ¿qué denota objetivamente el concepto eficiencia? He aquí diversas definiciones (utilizadas en administración y economía) expuestas por varios autores:

Definición de Eficiencia:

- Utilizada en Administración:

Según Idalberto Chiavenato (2004), eficiencia significa “utilización correcta de los recursos (medios de producción) disponibles. Puede definirse mediante la ecuación $E=P/R$, donde P son los productos resultantes y R los recursos utilizados”.

Para Koontz y Weihrich (2004), la eficiencia es “el logro de las metas con la menor cantidad de recursos”.

Según Robbins y Coulter (2018, pág.18), la eficiencia reside en “obtener los mayores resultados con la mínima inversión”.



- Utilizada en Economía:

Según Samuelson (2005) y Nordhaus (2005), eficiencia significa “utilización de los recursos de la sociedad de la manera más eficaz posible para satisfacer las necesidades y los deseos de los individuos”.

Para Gregory Mankiw (2017), la eficiencia es “la propiedad según la cual la sociedad aprovecha de la mejor manera posible sus recursos escasos”.

Simón Andrade (2013), describe la eficiencia de la siguiente forma: “expresión que se emplea para medir la capacidad o cualidad de actuación de un sistema o sujeto económico, para lograr el cumplimiento de objetivos determinados, minimizando el empleo de recursos”.

Según el diccionario de la lengua española (2014), “*Eficiencia* (del latín *efficientia*) es la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado”.

4.2 Tipos de eficiencia

Farrell (1957), fue pionero en la introducción de un marco teórico con rigor científico para estudiar y precisar la eficiencia. La fragmentó en dos clases de eficiencia: “técnica y asignativa”. Una vez determinadas las 2 clases de eficiencia, se obtiene una eficiencia global o económica.

4.2.1 Eficiencia técnica

Para Koopmans (1951), la eficiencia técnica se define como aquel estado en el que un aumento en cualquiera de las salidas (productos obtenidos o *outputs*), precisa una reducción en mínimo una de las demás salidas o el aumento de alguna



de las entradas (recursos utilizados, insumos o *inputs*); o bien, donde la reducción de cualquier insumo al menos implica aumentar otro insumo o disminuir algún producto.

Para Farrell (1957), la eficiencia se expresa en un enfoque realista más que idealista, en el que cada centro de producción se valora comparándolo con otros en un grupo característico y uniforme. La eficiencia es por tanto relativa, no absoluta, donde el valor obtenido del desempeño para un determinado centro productivo es equivalente a la dimensión de la desviación observada del valor considerado eficiente.

De acuerdo con Debreu (1951) y Farrell (1957), las magnitudes de eficiencia técnica son radiales. El término radial indica que mide la máxima disminución en proporciones iguales (equiproporcional) de los factores que son equivalentes con el mismo nivel de producción o, a su vez, el mayor aumento en las mismas proporciones de los productos que se puede conseguir utilizando los insumos en la misma cantidad. Consideran que el producto aumenta o el insumo disminuye pero en la misma razón, por lo que son invariables al cambio de la unidad de medida.

Posteriormente Charnes, Cooper y Rhodes (1978), continuaron las investigaciones de Farrell (1957); aplicaron programación matemática y rendimientos constantes a escala (CCR); menciona que cuando se produce una variación en los niveles de entrada, también se genera un cambio en la misma magnitud en los niveles de salida.

La fórmula para el modelo de la envolvente de datos en su orientación input y con rendimientos constantes, es la siguiente (Cook, 2007):

$$\theta^* = \min_{\theta, \lambda} \theta^{\theta} \quad (1)$$

$$\text{Subject to } Y\lambda \geq Yi$$

$$X\lambda \leq \theta Xi$$

$$\lambda \geq 0$$



donde θ^* es la magnitud de eficiencia óptima, θ determina la medida en las entradas a los datos envolventes, o sea, la razón de la eficiencia. Y es la matriz de productos, X es la matriz de insumos, X_i son los valores de las entradas y Y_i son los valores de las salidas, λ es el vector de pesos (Cook, 2007).

Luego, Banker et al. (1984) segmentaron la eficiencia técnica (ahora eficiencia técnica global) en eficiencias técnica pura y de escala. La eficiencia técnica pura estudia hasta qué punto un centro productivo obtiene la mayor producción posible a partir de ciertos recursos físicos con los que cuenta. Si bien la eficiencia de escala es importante cuando las tecnologías de producción muestran diferentes rendimientos de escala, este tipo de eficiencia indica si el centro de producción analizado ha conseguido el punto óptimo de escala.

En cuanto a la proporción de los rendimientos logrados por unidad física, Banker et al. (1984) los clasifican en:

Rendimientos constantes a escala. Significa que, si se incrementa la cantidad de uno de los factores, la producción aumenta en la misma proporción.

Rendimientos crecientes a escala. Cuando al incrementar uno de los factores, la producción aumenta en una proporción mayor.

Rendimientos decrecientes a escala. Se presentan cuando al incrementarse la cantidad de uno de los factores, la producción aumenta en una proporción menor.

De acuerdo con Trillo (2002), la eficiencia técnica se basa en la debida utilización de los recursos físicos, ya sean de trabajo o de capital para optimizar la producción de bienes o servicios sin tomar en cuenta el costo de estos ni el valor de los ingresos generados en la producción.

En la eficiencia técnica, se tienen en cuenta las limitaciones tecnológicas impuestas por los centros de producción, ya que solo hay unas pocas combinaciones



de los insumos para lograr una cierta cantidad de producción, es por ello que los centros productivos deben seguir planes de producción alcanzables tecnológicamente (Varian, 1998).

El centro productivo que logra la máxima producción posible después de haber utilizado ciertos recursos se considera eficiente. Si el centro productivo usa los mismos recursos, pero logra menos producción que el centro productivo anterior, se define como ineficiente. La investigación de la eficiencia técnica se basa en la determinación de la frontera de producción; en este sentido, la frontera de producción estará en el valor máximo que cada centro productivo puede alcanzar para un número determinado de factores de producción. Entonces el índice de eficiencia técnica del centro productivo se define como la relación de la producción real entre la producción máxima que lograría un centro productivo si hace un uso eficiente de sus insumos (Dios, 2004).

4.2.2 Eficiencia asignativa

La eficiencia asignativa se refiere a la inclusión de términos monetarios en los insumos utilizados y productos obtenidos. Se da cuando el ingreso monetario se maximiza y el costo de los insumos se minimiza. (Yarad, 1990 y González-Páramo, 1995).

4.2.3 Eficiencia económica

Pinzón (2003), describe que la eficiencia económica es cuando se alcanza la frontera de posibilidades de producción al mínimo costo factible. Son 3 los objetivos que un centro de producción puede tener: “1) minimizar los costos de producción, 2) maximizar los ingresos y 3) maximizar las ganancias.” Por lo tanto, para que un centro

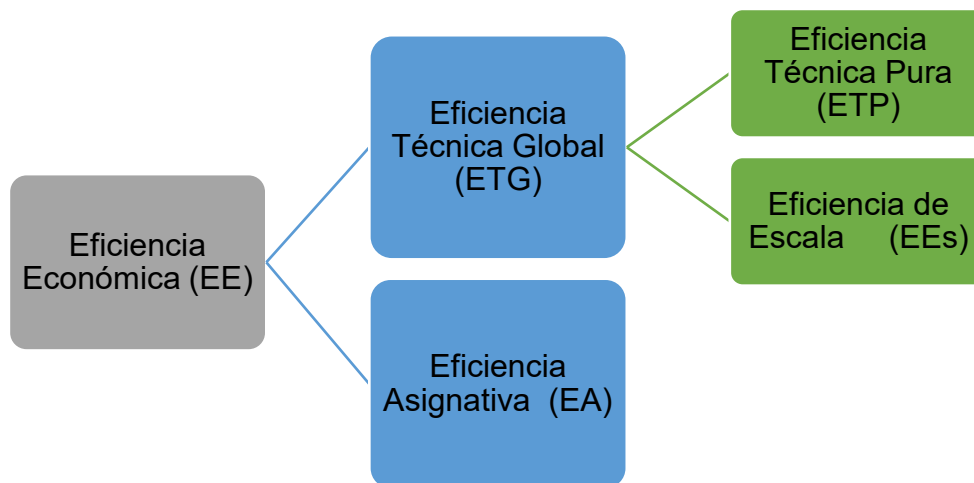


productivo sea eficiente en términos de ingresos, costos y ganancias, debe haber tanto eficiencia técnica como asignativa.

Desde la perspectiva de los costos, la eficiencia económica se calcula como la razón del egreso real incurrido entre el egreso mínimo o frontera, por lo que un centro productivo es económicamente eficiente cuando logra la mejor combinación factible de los factores de producción requeridos y sus precios (Dios, 2004).

Basándose en el trabajo de Debreu y Koopmans, Farrell (1957) obtuvo una medida de total de la eficiencia, formada por dos tipos de la misma: técnica y asignativa.

Figura 1: Tipos de eficiencia

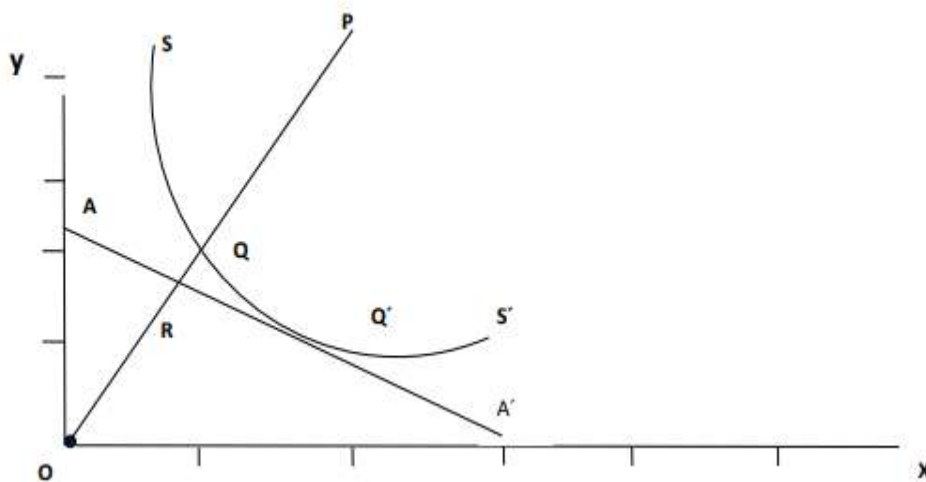


Fuente: Elaboración propia con base en Giménez, 2011.



En la figura 2, el punto P representa las cantidades forzosas de dos insumos para producir una unidad de salida. La isocuanta SS' describe la curva de igual producción mediante las combinaciones posibles de dos insumos que el centro productivo más eficiente puede necesitar para producir una unidad (Farrell, 1957).

Figura 2: Descripción de los tipos de eficiencias



Fuente: Farrell, 1957.

El punto Q describe un centro productivo eficiente que usa ambos insumos en igual proporción que el centro productivo P. La razón OQ/OP es la eficiencia técnica del centro productivo P (Farrell, 1957). Asimismo, es necesaria una magnitud que revele cuando un centro productivo aplica los factores productivos en las mejores proporciones de acuerdo con sus precios (AA' recta de isocosto). La razón OR/OQ corresponde a la eficiencia asignativa y como tal se menciona a la selección apropiada de la combinación de insumos. Cuando el centro productivo estudiado es eficiente técnicamente y en sus costos, es que se puede hablar de una eficiencia global o económica y está indicado por OR/OP (Farrell, 1957).



Tabla 4

Eficiencias técnica, asignativa y económica

Eficiencia Técnica	Eficiencia Asignativa	Eficiencia Económica
$ET = \frac{OQ}{OP}$	$EA = \frac{OR}{OQ}$	$EE = \frac{OR}{OP}$

Fuente: Elaboración propia con base en Farrell, 1957.

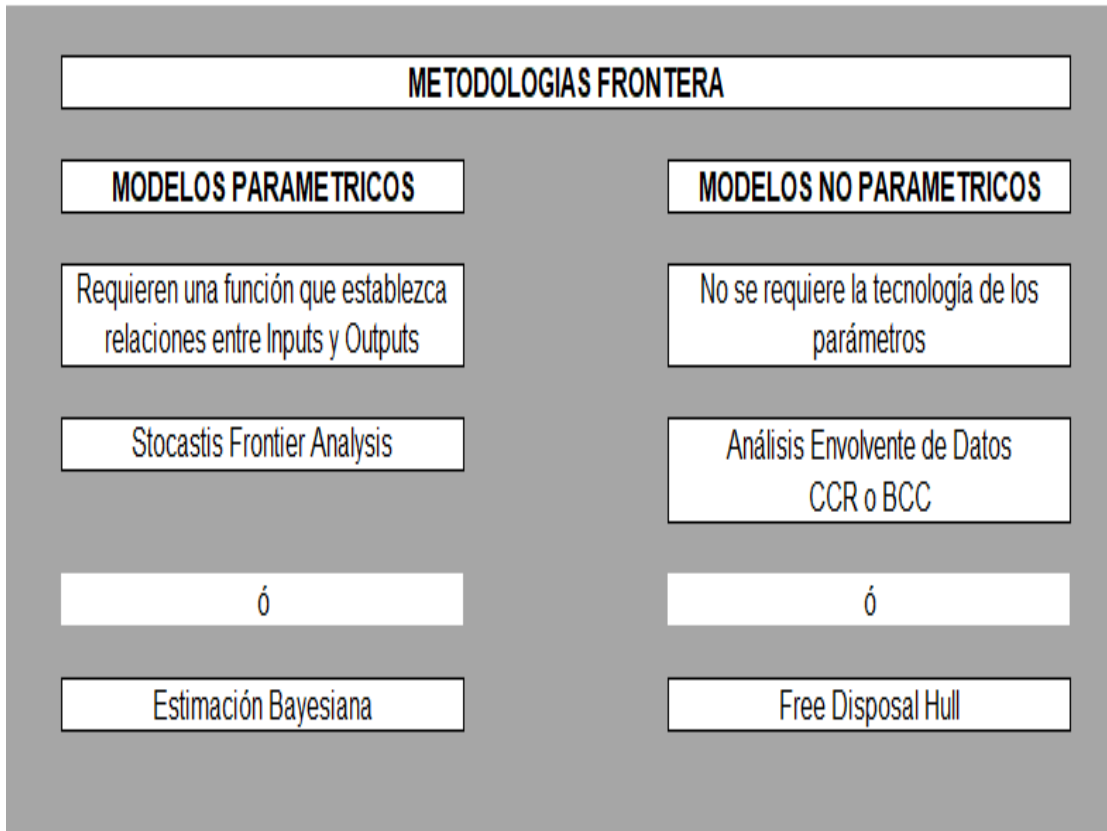
4.3 Modelos paramétricos y no paramétricos

Para poder medir la eficiencia se desarrollaron múltiples experimentos que originaron las metodologías fronteras. Estos modelos o metodologías están agrupados en 2 bloques: los modelos que emplean acercamientos paramétricos y los que aplican acercamientos no paramétricos (Seiford y Thrall, 1990).

Los acercamientos paramétricos (ya sean determinísticos o estocásticos) necesitan funciones que especifiquen la conexión entre *insumos* y productos. Los parámetros se precisan partiendo de las observaciones de la realidad (Seiford y Thrall, 1990).



Tabla 5
Metodologías Frontera



Fuente: Elaboración propia con base en Seiford & Thrall, 1990.

Seiford y Thrall (1990) señalan que el Análisis de Fronteras Estocásticas (SFA por sus iniciales en inglés), admite la inclusión de las consecuencias del ruido estadístico que posee todo dato, así como el procedimiento riguroso, con la ayuda de la inferencia estadística, de la contrastación de suposiciones relacionadas con la estructura de la tecnología y la significancia estadística de los índices de eficiencia. Esta aproximación también tiene sus inconvenientes como por ejemplo el requisito de predeterminar una función productiva, la colocación de variables fortuitas o la incorporación de diversos outputs generando que el estudio se haga más complejo y la posibilidad de que surjan óptimos locales a modo de ejemplo.



Los modelos no paramétricos aplican técnicas de programación lineal para calcular y valorar la eficiencia de los centros de producción (*Decision Making Units* o *DMUs* por su abreviatura en inglés), sin necesidad de fijar una tecnología de parámetros que establezca una relación entre los *inputs* y los *outputs*, siendo suficiente especificar determinados atributos que satisfacen los puntos del conjunto productivo (Díaz, 2005).

En este bloque están dos metodologías, el Análisis Envoltente de Datos (DEA) y *Free Disposal Hull* (*FDH*), resultando más popular entre los científicos la primera, con la cual se puede configurar una frontera de posibilidades de producción, que facilite determinar el desempeño relativo de un conjunto de centros de producción con *outputs* análogos partiendo de un grupo común de insumos. Esta metodología ofrece menor rigidez para adecuarse a las particularidades de ciertas industrias, pues admite asentar un conjunto de suposiciones para delimitar la frontera de posibilidades de producción. La frontera se estima partiendo de las observaciones existentes acerca de los *inputs* y *outputs* de un conjunto de centros productivos, utilizando como forma de cálculo la programación matemática (Barrios, 2007).

El modelo DEA también tiene desventajas tales como, no incluir márgenes de error que capten los efectos de variables inciertas o la dificultad para el análisis de sensibilidad por el hecho de que un solo centro de producción puede definir la ubicación final de la frontera porque puede haber una fuerte influencia de valores extremos o outliers. Finalmente, la naturaleza estática de la técnica ya que no hay garantía de que estos resultados perduren invariables a lo largo del tiempo (Barrios, 2007).

Hasta ahora, la medida DEA se ha utilizado para evaluar y comparar departamentos educativos (escuelas, colegios y universidades), atención médica (hospitales, clínicas), prisiones, producción agrícola, banca, fuerzas armadas, deportes, investigación de mercado, transporte (mantenimiento de carreteras),



tribunales, evaluación comparativa, construcción de números de índice y muchas otras aplicaciones.

4.4 Metodología del Análisis Envolvente de Datos (DEA)

DEA es un modelo empleado para el estudio comparativo de centros productivos similares, es decir, que tienen un mismo fin económico. A partir de los *inputs* y *outputs*, el DEA aporta una clasificación de los centros de producción confiriéndoles una valoración de su eficiencia relativa (Emid, 2011).

De este modo, los centros productivos que consiguen un nivel superior de producción con la mínima porción de insumos son los más eficientes del conjunto y por consiguiente, lograrán las puntuaciones más altas. Es una metodología de frontera no paramétrica determinística, significa que la producción se evalúa frente a funciones productivas que no requieren suposiciones acerca de la frontera de posibilidades de producción y la comparación de la eficiencia de algún centro productivo versus los centros vislumbrados con el mejor desempeño, dando oportunidad a la revisión mediante un *benchmarking*, en vez de únicamente estudiar un comportamiento con tendencia a la media, como lo hace la regresión (Arieu, 2006).

Los modelos DEA se benefician del *know-how* de los *DMUs* que son los centros productivos estudiados, de esta forma se distinguen los eficientes e ineficientes, ayudando a establecer metas de perfeccionamiento para los segundos partiendo de los resultados de los primeros (Delfín y Navarro, 2015).

La brillante superioridad de este tipo de modelos es que facilitan un indicador de desempeño (o por el contrario, de ineficiencia), sustentado en su base teórica, sin que requiera preasignar pesos a los distintos *inputs* y *outputs*. También se acomoda en situaciones de varios productos e incluso las entradas y salidas pueden expresarse explícitamente en términos de dinero y/o unidades físicas (Navarro, 2003).



Entre los inconvenientes del modelo DEA, están la complejidad en la verificación de las hipótesis estadísticas, que las soluciones sean muy sensibles a una incorrecta descripción de la relación entre las variables relevantes de entrada y salida y que la cantidad de observaciones debe ser el máximo posible. También, los centros productivos comparados deben ser similares (Ramírez, 2011).

En tal sentido, la eficiencia se define como sigue (Mercado, *et al.*, 1997):

$$Eficiencia = \frac{Tota\ de\ salidas}{Total\ de\ entradas}$$

O puntualmente:

$$E = \frac{\sum_{i=0}^N v_i y_i}{\sum_{i=0}^N u_i x_i} \quad (2)$$

En la que E simboliza la eficiencia, X_i y Y_i son los *inputs* y *outputs* en ese orden, en tanto que los parámetros U_i y V_i indican las jerarquías referentes de cada una de las cuantificaciones (Mercado, *et al.*, 1997).

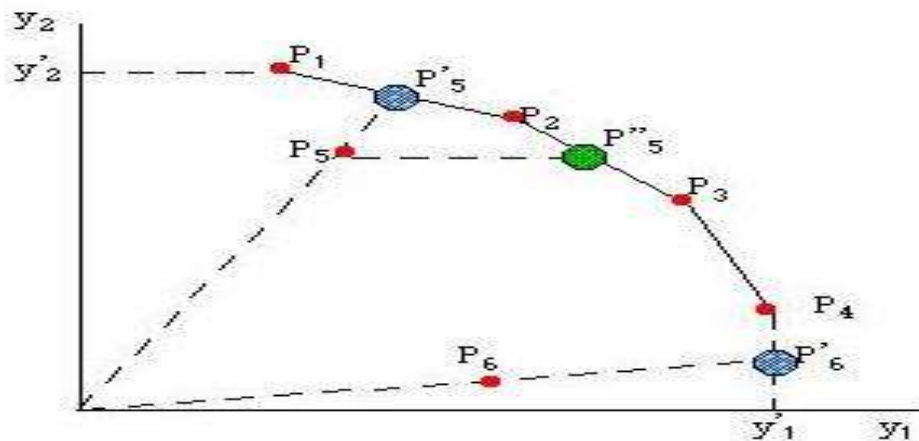
4.4.1 Representación gráfica del modelo DEA

La figura 3 presenta un grupo de centros productivos P_1, P_2, \dots, P_6 con cada centro empleando igual porción del mismo *input* y generando distintas cantidades de productos y_1 e y_2 como se observa. Los centros que produzcan más salidas con la misma cantidad de recursos serán los más eficientes. El enfoque DEA aplicado a este



grupo de centros productivos distinguirá a P_1 , P_2 , P_3 y P_4 como eficientes y construirá una envolvente en torno al resto del grupo. Los centros P_5 y P_6 se encuentran dentro del borde del conjunto de datos y no son eficientes. Las líneas $P_1y'_2$ y $P_4y'_1$ se han extendido teóricamente a los ejes para confinar el conjunto completo de datos. Para el centro productivo P_5 , se han identificado los centros homólogos P_1 y P_2 y se ha creado un par de objetivos para P_5 en P'_5 y P''_5 . Ambos objetivos se alcanzan aumentando proporcionalmente los productos del centro P_5 . Es evidente que existen otros objetivos posibles para el centro P_5 , a modo ejemplo, si no es posible aumentar el nivel de salida y_2 para el centro P_5 , se podría fijar un objetivo diferente P'''_5 que dependa totalmente del incremento en la salida y_1 . El incremento prorrateado para el centro P_6 dirige al objetivo P'_6 . Pero es evidente que P_4 domina a P'_6 puesto que genera la misma cantidad de output y_1 pero más output y_2 . En esta situación, se requiere un incremento adicional en la producción de y_2 para complementar el aumento prorrateado y conseguir así un objetivo eficiente. Regresando al centro P_5 , se puede lograr el conjunto de objetivos P_5 partiendo del promedio ponderado de los centros P_1 y P_2 . Así que, se puede considerar que el centro ineficiente P_5 es un centro combinado hecho a partir de la media ponderada de los centros pares y este centro combinado ofrece un objetivo para el centro no eficiente (Cooper, 1978).

Figura 3: Descripción del Modelo DEA



Fuente: Elaboración propia con base en Cooper, 1978.



4.4.2 Modelos DEA con rendimientos constantes a escala (CCR)

La proposición inicial de Charnes, Cooper y Rhodes (1978) está basada en una metodología de razones matemáticas, con la peculiaridad de que los distintos *inputs* y *outputs* asignan pesos establecidos por un programa lineal y no son asignados a priori. Como no todos los centros productivos funcionan a una escala óptima ya sea por la competencia imperfecta, por las normas gubernamentales o por limitaciones financieras, causan que este modelo no sea el apropiado (Dialnet, s.f.).

Se puede expresar matemáticamente como sigue:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \frac{\sum_{r=1}^m u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0}} \\ & \text{s.a.} \frac{\sum_{r=1}^m u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, 0, \dots, I \\ & u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1 \dots m; i = 1 \dots n \end{aligned} \quad (3)$$

Donde y_{rj} es el producto r de la DMU j , x_{ij} el insumo i de la DMU j , u_r el peso fijado al producto r y v_i el peso del insumo i . Cada una de los centros analizados se resuelve mediante el programa lineal indicado (Dialnet, s.f.).

La eficiencia del centro examinado puede definirse como la relación de la sumatoria ponderada de los productos entre la sumatoria ponderada de los insumos con la salvedad de que estas ponderaciones se dejan libres para maximizar la eficiencia de la DMU examinada, sujeto a esta suposición, se contrasta su desempeño con el resto de los centros productivos (Ramírez, 2011).



El evento de que las limitaciones obliguen a que las razones de eficiencia de los centros productivos comprendidos en el estudio sean menores o iguales a 1, es con el propósito de normalizar la medida de eficiencia, de esta forma tendría que ser menor o igual a 1, representando 1 la ETG y los valores por debajo de 1, la cantidad de la ineficiencia (Ramírez, 2011).

Como se puede apreciar, la fórmula previa no es lineal, lo cual complica su solución matemática. Con el fin de resolver este problema, se continúa con su linealización utilizando la transformación que sigue (Ramírez, 2011):

$$\text{Max } \sum_{r=1}^m u_r y_{r0}$$

s.a.

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \quad j = 1, \dots, 0, \dots, I$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1 \dots m ; i = 1 \dots n \quad (4)$$

La expresión anterior del modelo CCR, se denomina *CCR ratio form*, pero es más común la aplicación de su programa dual a continuación (Ramírez, 2011):



$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \theta \\
 & \text{s. a.} \\
 & \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \right) - s_r^+ = Y_{r0} \quad r = 1 \dots m \\
 & \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \right) - s_i^- = \theta x_{i0} \quad i = 1 \dots n \\
 & \lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0; \theta \text{ libre de signo}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Como señala Ramírez:

Al ser función objetivo de minimización, se obtiene como resultado el valor mínimo para que θ cumpla las restricciones, pues, lo que se pretende es buscar una combinación lineal de DMUs que consiga un *output* mayor o igual al de la DMU analizada, con un consumo de *inputs* igual o inferior. Esto implica que si no se puede hallar dicha combinación lineal, se obtendrá como unidad de referencia la misma DMU analizada, por lo que tomará el valor 1 como máximo, por tanto, $\theta \in (0, 1]$. θ proporciona el índice de ETG de la DMU analizada. Su interpretación es el nivel máximo en que podría reducirse el consumo de todos los *inputs* sin cambios en su *mix*. Debido a esto, esta formulación del problema está orientada a *inputs* y se trata de un modelo radial. (2011).

Aunque, se pueden obtener más reducciones en algunos *inputs* si se admiten cambios en la combinación de los mismos. Los objetivos establecidos para los *inputs* en este supuesto vienen proporcionados por la fórmula que sigue, en la cual los superíndices “*” representan el valor óptimo de las variables (Ramírez, 2011):

$$\theta^* x_{i0} - s_i^{*}$$

El objetivo para el producto “r” debe establecerse en: $y_{r0} + s_r^{*}$



Similarmente, se puede plantear el modelo CCR *output-oriented* de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} & \mathbf{Max} \ \phi \\ & \mathbf{s. a.} \\ & \left(\sum_{j=1}^I \lambda_j y_{rj} \right) - s_r^+ = \phi Y_{r0} \quad r = 1 \dots m \\ & \left(\sum_{j=1}^I \lambda_j x_{ij} \right) - s_i^- = x_{i0} \quad i = 1 \dots n \\ & \lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0; \ \phi \text{ libre de signo} \end{aligned} \tag{6}$$

Como en el caso previo, por las peculiaridades de la tecnología de producción, el valor ϕ no puede tomar un valor negativo, ya que no se puede lograr un producto positivo de un vector de insumos negativo o de producción libre. Por otra parte, al tratarse de una función objetivo de maximización, se logrará como solución el mayor valor para que ϕ pueda satisfacer las limitaciones, cuando lo que se intenta es encontrar la combinación lineal de DMUs con mayor o igual *output al* de la DMU estudiada, con un uso de insumos igual o inferior (Ramírez, 2011).

Si no se puede encontrar una combinación lineal, se asumirá como centro referente la misma DMU estudiada y se le asignará el valor de 1, por tanto, $\phi \in [1, +\infty)$. En esta situación, ϕ debe entenderse como el incremento que en tanto por unidad, puede adquirirse en la totalidad de los productos, sin variaciones en su combinación. Entonces, si una DMU consigue ampliar radialmente la totalidad de sus *outputs* se conseguirá $\phi > 1$ y de lo contrario $\phi = 1$. En consecuencia, en esta situación también se presenta un modelo radial (idem).



Análogamente como en el modelo *inputs-oriented*, pueden conseguirse más incrementos en uno de los *outputs*, aceptando como compensación variaciones en la combinación de *outputs*. Para este caso, el objetivo que deberá establecerse para el *output* “*r*”, vendrá proporcionado por la fórmula siguiente (idem):

$$\phi^* y_{r0} + s_r^{+*} \quad (7)$$

En tanto que el objetivo para el *input* “*i*” debe determinarse de la forma siguiente:

$$x_{i0} - s_i^{-*} \quad (8)$$

4.4.3 Modelos DEA con rendimientos variables a escala (BCC o VRS)

Los principales modelos DEA consideran rendimientos de escala constantes y variables. En los modelos con rendimientos constantes a escala los centros productivos utilizan como DMU referente la de mayor desempeño entre las examinadas cuando se valora su eficiencia técnica. En tanto que los modelos con rendimientos variables a escala necesitan introducir, partiendo de modelos *ratio* lineales, alguna limitación o variable que señale al modelo que cada centro o DMU debe contrastarse con aquellos de su dimensión y no con todos los centros presentes en la muestra (Banker *et al.* 1984).



Enseguida se modifica la forma envolvente del método *CCR-INPUT* a:

Min θ_0

s. a

$$\left(\sum_{j=1}^I \lambda_j y_{rj} \right) - s_r^+ = y_{r0} \quad r = 1 \dots m$$

$$\left(\sum_{j=1}^I \lambda_j x_{ij} \right) - s_r^- = \theta x_{i0} \quad i = 1 \dots m$$

$$\sum_{j=1}^I \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, s_r^+, s_r^- \geq 0; \theta \text{ libre de signo}$$

(9)

La restricción adicional que aparece en el dual del modelo *CCR-INPUT*, la sumatoria de los elementos del vector $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ igual a 1, fuerza a la DMU a proyectarse sobre el hiperplano formado por los centros más productivos de su dimensión. Generalmente, en este modelo, van a aparecer centros que no eran eficientes en el modelo previo *CCR-Input* y que sí lo son ahora con la modificación que se realizó. Por esto, la nueva frontera eficiente ahora está conformada por más centros productivos que en el *CCR-Input* (Villa, 2003).

El desempeño relativo de cada centro productivo es θ_0 . Similares apreciaciones al método de rendimientos constantes acerca de las proyecciones efectuadas acerca de la frontera y los valores posibles de las variables de holgura aplican también en este método. Se aclara que es cuestión *input-oriented* ya que la disminución radial únicamente es permisible para las entradas (*ídem*).

Este modelo es inmutable ante las transposiciones de salidas, puesto que no hay ampliaciones radiales de las mismas e inmutable frente a las unidades de medida



de los *inputs*. Por el contrario, si la orientación es de salida, se obtendrá un modelo similar al previo (*ídem*).

La expresión matemática para el modelo *output-oriented* es:

$$\begin{aligned} & \mathbf{Max} \phi \\ & \mathbf{s.a} \\ & \left(\sum_{j=1}^I \lambda_j y_{rj} \right) - s_r^+ = \phi y_{r0} \quad r = 1 \dots m \\ & \left(\sum_{j=1}^I \lambda_j x_{ij} \right) - s_r^- = x_{i0} \quad i = 1 \dots m \\ & \sum_{j=1}^I \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j, s_r^+, s_r^- \geq 0; \phi \text{ libre de signo} \end{aligned} \tag{10}$$

La incorporación de la limitación $\sum_{j=1}^I \lambda_j = 1$ flexibiliza la suposición de rendimientos constantes a escala, cambiando a la de rendimientos variables a escala. Esta limitación exige que el centro productivo referente sea una combinación lineal convexa de otros. Por lo tanto, deben compararse obligatoriamente DMUs de tamaños parecidos y se debe cumplir con el resto de las limitaciones del programa lineal. Por último, cabe mencionar que hay además la posibilidad de incorporar la limitación $\sum_{j=1}^I \lambda_j \leq 1$, sin embargo ésta requeriría otra definición sobre una tecnología con rendimientos no crecientes a escala (Ramirez, 2011).



4.5 Análisis *Benchmarking*

Las unidades de decisión (DMU's) eficientes que constituyen la frontera son consideradas las mejores prácticas, y se toman como referentes respecto a las ineficientes. Este método se llama *benchmarking*, y en los últimos años ha sido muy utilizado debido a las conveniencias que demuestra. El *benchmarking* se define como la magnitud de desempeño de una DMU contrastándola con las mejores de su tipo, cuyos niveles de actuación (información, objetivos, estrategias, etc.) sirven de referencia y son adaptados por la DMU ineficiente (Bemowski, 1991).

El *benchmarking* es un procedimiento mediante el cual se efectúa una comparación de rendimiento entre DMU's similares para distinguir las posiciones comparativas de cada DMU, introduciendo un estándar de excelencia (Zhu, 2009).

Esta comparación se puede realizar desde varios enfoques, indicando diferentes tipos de *benchmarking* (Zairi, 2012):

- Interno. Una evaluación de prácticas dentro de una organización.
- Competitivo. Muy limitada en la aplicación real, ya que requiere competidores que admitan y cooperen en la mejora de una o ambas empresas.
- Interindustrial. Evaluaciones entre operaciones en distintas industrias.

El *benchmarking* consiste en adaptar las mejores prácticas en lugar de duplicarlas. Implica utilizar el *know how* de un proceso de referencia para decidir qué se puede utilizar del mismo. De este modo, la cultura en torno al *benchmarking* debería ser ir más allá de los estándares de desempeño del proceso referente (Navarro, 2005).



4.6 Análisis de Holguras

Para lograr la eficiencia en un proceso, puede que no sea suficiente con reducir radialmente el vector de factores controlables pues en algunos casos, puede ser necesario reducir adicionalmente algún *input* o incrementar algún *output*. Esto se puede determinar a través de los valores de las variables de holgura o *slacks* (Murias, *et al.* 2008).

En los modelos DEA, el análisis de holguras de las variables, indica la dirección en la cual se deben mejorar los niveles de eficiencia de las DMUs. Así las cosas, el valor *output slack* significa el nivel de *outputs* adicionales necesarios para transformar una DMU ineficiente en una DMU eficiente (Navarro y Torres, 2004).

De igual forma, un valor *input slack* significa las disminuciones necesarias de los respectivos *inputs* para transformar una DMU en eficiente (Lo *et al.* 2001).

4.7 Bootstrap

Los resultados obtenidos a través del Análisis Envoltente de Datos pueden estar influenciados por sesgos e incertidumbre debido a las fluctuaciones en las muestras, (Gitto y Mancuso, 2012).

Estos resultados de eficiencia son relativos, ya que la verdadera frontera de producción es desconocida. Dado que los resultados son determinísticos, carecen de las propiedades estadísticas necesarias para hacer inferencias pues no consideran el error estadístico en su medición. Esto se debe a que el modelo de frontera utilizado calcula la eficiencia de manera no paramétrica y no asume una forma funcional específica, (Simar y Wilson, 2000).

La solución a estos problemas es la aplicación de la técnica de Bootstrap en el DEA. En su versión más elemental, el algoritmo de *Bootstrap* implica un proceso



computacionalmente intensivo que genera muestras sintéticas seleccionando aleatoriamente muestras como reemplazo de la muestra observada. El propósito es obtener propiedades estadísticas para los resultados de eficiencia. El principio fundamental es aproximar la distribución de la muestra a los verdaderos valores de eficiencia a través de la generación de datos. De esta manera, se puede evaluar cuánto se acerca la nueva muestra a la original del universo mediante el error estándar, incluso mediante la prueba de hipótesis. Simar y Wilson (2000) aconsejan el uso de 2000 muestras generadas por *Bootstrap*.



Capítulo 5: Desarrollo del modelo

5.1 Identificación de la metodología y variables.

Basándonos en la revisión de literatura detallada en el Capítulo 3, se identifica que el Análisis de la Envolvente de Datos (DEA) es la metodología predominante en las investigaciones relacionadas con el sector aeroportuario. En este estudio, se implementa el DEA con rendimientos variables de escala y orientación de salida. El procedimiento generalmente comprende los siguientes pasos:

- 1) Se determina la eficiencia técnica, que evalúa la capacidad de una Unidad de Decisión (como un aeropuerto) para maximizar la producción con los recursos disponibles, según la ecuación revisada en el capítulo correspondiente.

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{Max} \phi \\
 & \mathbf{s.a} \\
 & \left(\sum_{j=1}^I \lambda_j y_{rj} \right) - s_r^+ = \phi y_{r0} \quad r = 1 \dots m \\
 & \left(\sum_{j=1}^I \lambda_j x_{ij} \right) - s_r^- = x_{i0} \quad i = 1 \dots m \\
 & \sum_{j=1}^I \lambda_j = 1 \\
 & \lambda_j, s_r^+, s_r^- \geq 0; \phi \text{ libre de signo}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

- 2) Posteriormente, se calcula la eficiencia asignativa, que evalúa la habilidad de la Unidad de Decisión para utilizar los recursos de manera que se minimice el costo.



- 3) Finalmente, se calcula la eficiencia económica a partir del producto de la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa. Esta medida proporciona una evaluación de la eficiencia global de la Unidad de Decisión.
- 4) Para reforzar la confiabilidad del modelo, se aplica un Bootstrap con 2000 iteraciones. El modelo se complementa con análisis de benchmarking y de slacks.

A partir de la misma revisión de literatura se seleccionan y proponen las siguientes variables de entrada y de salida.

Inputs:

- Número de pistas
- Longitud total de las pistas
- Número de aerolíneas
- Número de destinos
- Número de empleados

Outputs:

- Unidades de Tráfico. Pasajeros y carga se combinan como unidades de tráfico, una medida común en la gestión aeronáutica (WLU=Work Load Unit), medido como $1 \text{ WLU} = 1 \text{ pasajero} = 100 \text{ kgs. de carga}$
- Ingresos Aeronáuticos

En relación con el cálculo de la eficiencia de costos, se consideran los términos monetarios del *output* seleccionado asignando un precio a las unidades de tráfico transportadas de tal forma que se pueden estimar los ingresos aeronáuticos.



5.2 Universo y muestra.

El análisis de la eficiencia de los aeropuertos mediante el uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) es un proceso que implica varias etapas críticas. Una de estas etapas es la selección de las Unidades de Decisión (DMU's) que se analizarán. En este contexto, una DMU se refiere a un aeropuerto que se está evaluando en términos de su eficiencia. Además, puede ayudar a identificar estrategias para mejorar el rendimiento de las DMU's que se encuentran ineficientes. Esto puede implicar la reducción de los niveles de entrada (por ejemplo, número de pistas o empleados) o aumentos en los niveles de producción (por ejemplo, unidades de tráfico) necesarios para alcanzar la eficiencia, (Melao, 2005).

La determinación de las DMU's que formarán parte de la muestra debe guiarse por una serie de consideraciones. Estas incluyen la homogeneidad de los datos, la cantidad de unidades que se incluirán, y sus aspectos geográficos y temporales. Por ejemplo, si se están comparando aeropuertos en Norteamérica, es importante considerar factores como el tamaño del aeropuerto, la ubicación geográfica, y el volumen de tráfico de pasajeros y carga, (Wang, Song & Cullinane, 2002).

De los aeropuertos que tienen mayor tráfico a nivel mundial, 5 de 10 están en Estados Unidos, lo que los convierte en excelentes referentes para el estudio. Al incluir los aeropuertos de Canadá y México, se observan aeropuertos de diversos tamaños que varían en función de la densidad de la población de sus localidades. Sin embargo, esto puede generar sesgos en los resultados, por lo que se decidió aplicar el método *bootstrap* para ajustar la frontera y reducir las varianzas.

La muestra con la que se trabaja son los principales aeropuertos de Norteamérica durante el período 2017 al 2022. Los aeropuertos considerados son 16, que se seleccionaron en base a su relevancia en términos de tráfico de pasajeros y carga, así como su representatividad geográfica.



Tabla 6

Muestra de los principales aeropuertos de Norteamérica

	Aeropuerto	CODIGO IATA
M E X I C O	Ciudad de México	AICM
	Cancún	CUN
	Mérida	MID
	Bajío	BJX
	Guadalajara	GDL
	Tijuana	TIJ
	Monterrey	MTY
	Los Cabos	SJD
	Puerto Vallarta	PVR
	Culiacán	CUL
U S A	Hartsfield-Jackson Atlanta (Jun)	ATL
	Dallas Forth-Worth (sep)	DFW
	Denver (dec)	DEN
C A N	Toronto Pearson (dec)	YYZ
	Vancouver (dec)	YVR
	Pierre Elliot Trudeau (dec)	YUL

En resumen, el análisis de la eficiencia de los aeropuertos utilizando el modelo DEA es un proceso complejo que requiere una cuidadosa selección de las DMU's, así como la consideración de varios factores que pueden influir en los resultados. Sin embargo, con un diseño de estudio adecuado y el uso de técnicas estadísticas robustas como el método *bootstrap*, es posible obtener *insights* valiosos sobre el rendimiento de los aeropuertos e identificar oportunidades para mejorar la eficiencia.

5.3 Fuente de información

Las fuentes de los datos que modelan la función de producción son los reportes anuales estadísticos y financieros de cada aeropuerto en los años 2017 al 2022. Estos se pueden localizar en sus páginas web oficiales.



Capítulo 6: Resultados y discusión

En esta sección se examinan y reflexionan los rendimientos conseguidos por cada uno de los diferentes tipos de eficiencias (técnica, de costos y global) relativos a los aeródromos elegidos en la muestra, así como su resumen.

Se aplicó el modelo Análisis Envolvente de Datos con rendimientos variables (DEA - BCC) de manera orientada al output (con precios por unidades de tráfico), ya que existen grandes contrastes entre las dimensiones de los aeropuertos elegidos.

Como se mencionó anteriormente, se empieza determinando la eficiencia técnica, se continúa con la asignativa para que finalmente combinando los resultados se pueda determinar la eficiencia global. Dado que el tamaño de la muestra es pequeño y con dimensiones muy diferentes, a fin de evitar sesgos, se mejora la confiabilidad y precisión de los resultados aplicando un *bootstrap*.

La puntuación DEA oscila entre cero (0%) y uno (100%). Los aeropuertos con puntuaciones DEA iguales a 1 (100%) son eficientes. Un aeropuerto con una puntuación inferior es relativamente ineficiente. Por ejemplo, un DMU con una puntuación del 95% es solo un 95% tan eficiente como los que tienen mejor desempeño. Las puntuaciones son relativas a las unidades, no son absolutas.

Varios aeródromos pueden ser 100% eficientes al mismo tiempo, por lo que para distinguirlos se puede aplicar la teoría de la Supereficiencia (Andersen y Petersen, 1993), puesto que es viable que un aeropuerto aumente proporcionalmente su magnitud de entradas y continuar con eficiencia al 100%.

Dado que en el cálculo inicial de la eficiencia asignativa se determinaron varias supereficiencias, se aplicó la técnica *bootstrap* para dar robustez a los resultados y evitar así los sesgos garantizando de esta forma la obtención de una frontera más



ajustada y fidedigna. Es por esto que se practicó un remuestreo de 2000 iteraciones de acuerdo con la recomendación de Simar y Wilson (2000).

6.1 Eficiencia técnica VRS con *bootstrap*

Se inicia analizando la eficiencia técnica cuyo objetivo es valorar qué tan bien se desempeñan los aeropuertos en relación con la mayor producción posible a partir de cierta cantidad de sus recursos físicos. Los resultados se pueden observar en la siguiente Tabla 7.

Tabla 7

Eficiencia técnica VRS con bootstrap de los principales aeropuertos de Norteamérica.

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Prom.
Tijuana	0.5172	0.5370	0.6611	0.3179	0.4064	0.5694	0.5015
Dallas Forth-Worth	0.4527	0.4941	0.5376	0.2514	0.3796	0.7498	0.4775
Ciudad de México	0.4737	0.4920	0.5055	0.2834	0.3830	0.5658	0.4506
Vancouver	0.4206	0.5711	0.5414	0.1886	0.3268	0.3067	0.3925
Hartsfield-Jackson Atlanta	0.3456	0.4096	0.4539	0.0227	0.3631	0.6097	0.3674
Cancún	0.3787	0.4023	0.4004	0.1862	0.1847	0.5608	0.3522
Guadalajara	0.3403	0.3747	0.3902	0.2380	0.1941	0.5063	0.3406
Monterrey	0.2950	0.3384	0.5351	0.3169	0.3935	0.1375	0.3361
Toronto Pearson	0.3116	0.5052	0.5097	0.1789	0.1949	0.1907	0.3152
Los Cabos	0.3913	0.2572	0.4127	0.1669	0.1762	0.3146	0.2865
Denver	0.2515	0.2687	0.2950	0.0987	0.3411	0.4345	0.2816
Bajío	0.2374	0.3406	0.3598	0.1605	0.1280	0.2897	0.2526
Pierre Elliot Trudeau	0.2920	0.3273	0.3010	0.1238	0.2258	0.1887	0.2431
Puerto Vallarta	0.3458	0.2124	0.4029	0.1834	0.0986	0.1617	0.2341
Culiacán	0.2488	0.3769	0.3765	0.0760	0.1106	0.1852	0.2290
Mérida	0.0763	0.0499	0.5560	0.0356	0.0569	0.0654	0.1400
Promedio	0.3361	0.3724	0.4524	0.1768	0.2477	0.3648	0.3250

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA



Se determina que, para los 16 aeropuertos estudiados, el año con eficiencia técnica promedio más alta fue 2019 con 0.4524, mientras que el año con la eficiencia técnica promedio más baja fue 2020 con 0.1768. La media durante el período es de 0.325, sin embargo, esconde diferencias muy significativas entre los aeropuertos pues el desempeño oscila entre el 0.140 y .5015. En general, la eficiencia técnica promedio de todas las DMU ha aumentado de 0.3361 en 2017 a 0.3648 en 2022.

Tijuana, Dallas y Cd. de México tienen la eficiencia técnica promedio **más alta** durante el período de seis años con **0.5015, 0.4775 y 0.4506** respectivamente.

Puerto Vallarta, Culiacán y Mérida tienen la eficiencia técnica promedio **más baja** durante el mismo período con **0.2341, 0.2290 y 0.1400**.

Entre los aeropuertos que muestran una eficiencia técnica **superior a la media** están también: Vancouver, Atlanta, Cancún, Guadalajara y Monterrey.

Los aeródromos que revelan una eficiencia técnica **por debajo de la media** además de los 3 ya mencionados son: Toronto Pearson, Los Cabos, Denver, Bajío y Pierre Elliot Trudeau (Montreal).

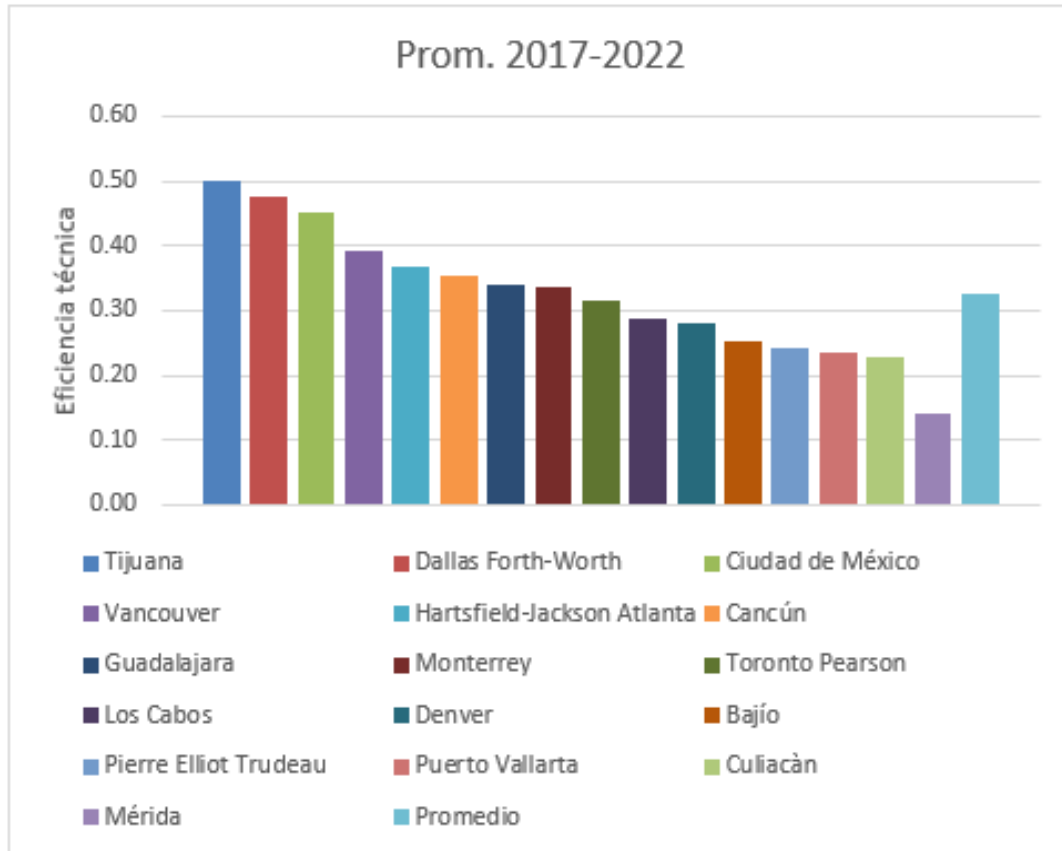
“Ningún aeropuerto alcanzó el valor de 1 durante todo el periodo de estudio”.

Lo anterior lo podemos visualizar en la gráfica 5 que se presenta en la página siguiente.

No obstante que los aeropuertos de Atlanta, Dallas y Denver están en los primeros 3 lugares de los más transitados del mundo, no obtuvieron un rendimiento de referentes en la utilización de sus recursos.



Gráfica 5: Eficiencia técnica VRS con bootstrap



Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

6.2 Eficiencia asignativa con *bootstrap*

La eficiencia asignativa la cual evalúa que tan bien cada aeropuerto emplea la mejor combinación de sus factores productivos en función de los precios (Farrell, 1957) mostró **un índice medio de 0.4780** durante el período 2017 - 2022. Su **nivel más alto** fue encontrado en el año **2019** con un índice del **0.6189** y el **más bajo** en el **2021** con un índice de **0.2707**. Estos resultados reflejan muy bien al igual que la eficiencia técnica el fuerte impacto de la pandemia.



El aeropuerto de **Hartsfield-Jackson Atlanta** tuvo la **mayor eficiencia** promedio durante el período de 2017 a 2022 con una magnitud de **0.6832**.

El de **Los Cabos** tuvo la **menor eficiencia** promedio durante el mismo período con un valor de **0.2763**.

En el año **2022**, **Hartsfield-Jackson Atlanta** tuvo la **mayor eficiencia** con un valor de **0.5589**, mientras que **Mérida** tuvo la **menor eficiencia** con un valor de **0.0936**.

En general todos los aeropuertos no han logrado transportar unidades de tráfico a un costo óptimo.

Sobresalen sobre el promedio, los top 3 de Estados Unidos, los de la Cd. de México, Monterrey y Tijuana, así como 2 canadienses (Toronto y Montréal).

Tabla 8

Eficiencia asignativa con bootstrap de los principales aeropuertos de Norteamérica.

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Prom.
Hartsfield-Jackson Atlanta	0.5290	0.8589	0.9289	0.8747	0.3492	0.5589	0.6832
Denver	0.9985	0.9389	0.9172	0.3164	0.2690	0.3181	0.6263
Ciudad de México	1.0000	0.7059	0.5995	0.7814	0.3590	0.2986	0.6241
Dallas Forth-Worth	0.6413	0.6829	0.6549	0.7538	0.3987	0.3796	0.5852
Monterrey	0.6517	0.7368	0.6522	0.4893	0.4318	0.4813	0.5739
Toronto Pearson	0.9374	0.7529	0.7144	0.2974	0.3779	0.2811	0.5602
Tijuana	0.7518	0.6966	0.7333	0.6816	0.2665	0.1930	0.5538
Pierre Elliot Trudeau	0.7626	0.6486	0.5583	0.2268	0.4124	0.3422	0.4918
Promedio	0.6301	0.6051	0.6189	0.4541	0.2707	0.2889	0.4780
Vancouver	0.7558	0.5205	0.4760	0.3411	0.2929	0.3177	0.4507
Puerto Vallarta	0.6190	0.5690	0.5581	0.2676	0.2209	0.2031	0.4063
Guadalajara	0.4993	0.5003	0.4967	0.4503	0.1234	0.3216	0.3986
Culiacán	0.4669	0.5641	0.5779	0.3834	0.2007	0.1579	0.3918
Mérida	0.4546	0.4564	0.5301	0.4761	0.1766	0.0936	0.3646
Cancún	0.5023	0.4618	0.4467	0.4110	0.1156	0.1998	0.3562
Bajo	0.3907	0.4312	0.4556	0.2392	0.1278	0.1819	0.3044
Los Cabos	0.1209	0.1562	0.6030	0.2752	0.2090	0.2938	0.2763

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.



6.3 Eficiencia económica

Los resultados producto de las eficiencias técnica y asignativa en consecuencia influyen en la eficiencia económica o global (Tabla 9), donde el **promedio** de los años previos al Covid era de **0.244**, cayendo al **0.084** en el 2020.

Tabla 9

Eficiencia económica con bootstrap de los principales aeropuertos de Norteamérica.

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Prom.
Tijuana	0.3888	0.3741	0.4848	0.2167	0.1083	0.1099	0.2804
Ciudad de México	0.4737	0.3473	0.3031	0.2214	0.1375	0.1689	0.2753
Dallas Forth-Worth	0.2903	0.3374	0.3521	0.1895	0.1514	0.2846	0.2675
Hartsfield-Jackson Atlanta	0.1828	0.3518	0.4216	0.0198	0.1268	0.3408	0.2406
Toronto Pearson	0.2921	0.3804	0.3641	0.0532	0.0736	0.0536	0.2028
Monterrey	0.1923	0.2494	0.3490	0.1551	0.1699	0.0662	0.1970
Vancouver	0.3179	0.2972	0.2577	0.0643	0.0957	0.0975	0.1884
Denver	0.2511	0.2523	0.2706	0.0312	0.0917	0.1382	0.1725
Promedio	0.2173	0.2324	0.2809	0.0839	0.0750	0.1133	0.1671
Guadalajara	0.1699	0.1875	0.1938	0.1072	0.0239	0.1628	0.1409
Pierre Elliot Trudeau	0.2226	0.2123	0.1681	0.0281	0.0931	0.0646	0.1315
Cancún	0.1902	0.1858	0.1789	0.0765	0.0213	0.1120	0.1275
Puerto Vallarta	0.2140	0.1209	0.2248	0.0491	0.0218	0.0328	0.1106
Culiacán	0.1162	0.2126	0.2176	0.0292	0.0222	0.0292	0.1045
Los Cabos	0.0473	0.0402	0.2488	0.0459	0.0368	0.0924	0.0853
Bajío	0.0927	0.1469	0.1639	0.0384	0.0164	0.0527	0.0852
Mérida	0.0347	0.0228	0.2947	0.0170	0.0101	0.0061	0.0642

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

La capacidad instalada que ha sido ociosa resultó derribada a partir del 2020 y no ha podido ser equilibrada con los precios por unidad de tráfico.



La eficiencia económica logró una **media de 0.167 en todo el lapso**, valor que connota una eficiencia global relativamente muy baja del sector.

8 de los 16 aeropuertos (Tijuana, Cd. de México, Dallas, Atlanta, Toronto, Monterrey, Vancouver y Denver) mostraron una eficiencia global superior a la media.

El aeropuerto de **Tijuana** tuvo la **mayor eficiencia promedio** durante el período de 2017 a 2022 con un valor de **0.2804** y el de **Mérida** la **menor eficiencia promedio** durante el mismo período con un valor de **0.0642**.

En el **año 2022**, **Hartsfield-Jackson Atlanta** tuvo la **mayor eficiencia** con un valor de **0.3408**, mientras que **Mérida** tuvo la **menor eficiencia** con un valor de **0.0061**.

Cabe resaltar que los aeropuertos de **Atlanta, Dallas-Forth Worth y Denver** se mantienen **sobre la media**. Es interesante descubrir que **3 aeropuertos mexicanos** tienen un resultado por **encima del promedio**.

6.4 Resumen de eficiencias

Tomando en cuenta el comportamiento que presentó cada una de las terminales aeroportuarias durante el intervalo de estudio y considerando las tres clases de eficiencias (técnica, asignativa y global), se muestra en la tabla 10 de la página siguiente, destacando que:

- **Tijuana** tuvo la **mayor eficiencia técnica** promedio durante el período analizado con un valor de **0.5015**.
- **Hartsfield-Jackson Atlanta** tuvo la **mayor eficiencia asignativa** promedio durante el mismo período con un valor de **0.6832**.
- **Tijuana** tuvo la **mayor eficiencia económica** promedio durante el mismo período con un valor de **0.2804**.



- La **eficiencia promedio general** para todas las ubicaciones y tipos fue de **0.3250** para la **eficiencia técnica**, **0.4780** para la **eficiencia asignativa** y **0.1671** para la **eficiencia económica**.

Tabla 10

Eficiencias técnica, asignativa y económica con bootstrap de los principales aeropuertos de Norteamérica (2017-2022).

C	DMU	E. T.	E. A.	E.E.
C	Toronto Pearson	0.3152	0.5602	0.2028
C	Vancouver	0.3925	0.4507	0.1884
C	Pierre Elliot Trudeau	0.2431	0.4918	0.1315
M	Tijuana	0.5015	0.5538	0.2804
M	Ciudad de México	0.4506	0.6241	0.2753
M	Monterrey	0.3361	0.5739	0.1970
M	Guadalajara	0.3406	0.3986	0.1409
M	Cancún	0.3522	0.3562	0.1275
M	Puerto Vallarta	0.2341	0.4063	0.1106
M	Culiacán	0.2290	0.3918	0.1045
M	Los Cabos	0.2865	0.2763	0.0853
M	Bajío	0.2526	0.3044	0.0852
M	Mérida	0.1400	0.3646	0.0642
U	Dallas Forth-Worth	0.4775	0.5852	0.2675
U	Hartsfield-Jackson Atlanta	0.3674	0.6832	0.2406
U	Denver	0.2816	0.6263	0.1725
	Promedio	0.3250	0.4780	0.1671

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

En grupo, Toronto, Vancouver, Tijuana, Cd. de México, Monterrey y los 3 aeropuertos estadounidenses lograron un desempeño económico superior a la media



y por debajo de la misma están: Montreal, Guadalajara, Cancún, Puerto Vallarta, Culiacán, Los Cabos, Bajío y Mérida.

Es claro notar que ningún aeropuerto logró eficiencias del 100%.

En general, el mayor problema de los aeropuertos es la eficiencia técnica y ha sido poco favorecida por la asignativa.



6.5 Benchmarking

Este análisis ayuda a realizar un contraste del desempeño técnico entre los aeropuertos que son considerados como referentes con los que no fueron eficientes, para que éstos últimos mejoren sus deficiencias o fallas (Delfín y Navarro, 2015).

Tabla 11

Análisis benchmarking de los principales aeropuertos de Norteamérica 2022.

DMU	Benchmark(Lambda)
Bajío	Culiacàn(0.79); Tijuana(0.21)
Cancún	Ciudad de México(0.67); Tijuana(0.33)
Ciudad de México	Ciudad de México(1.00)
Culiacàn	Culiacàn(1.00)
Dallas Forth-Worth	Ciudad de México(0.08); Hartsfield-Jackson Atlanta(0.81); Tijuana(0.11)
Denver	Hartsfield-Jackson Atlanta(0.61); Tijuana(0.39)
Guadalajara	Ciudad de México(0.33); Mérida(0.01); Tijuana(0.66)
Hartsfield-Jackson Atlanta	Hartsfield-Jackson Atlanta(1.00)
Los Cabos	Tijuana(1.00)
Mérida	Mérida(1.00)
Monterrey	Ciudad de México(0.25); Culiacàn(0.37); Mérida(0.34); Tijuana(0.04)
Pierre Elliot Trudeau	Culiacàn(0.62); Hartsfield-Jackson Atlanta(0.38)
Puerto Vallarta	Culiacàn(0.07); Tijuana(0.93)
Tijuana	Tijuana(1.00)
Toronto Pearson	Ciudad de México(0.57); Hartsfield-Jackson Atlanta(0.43)
Vancouver	Culiacàn(0.70); Hartsfield-Jackson Atlanta(0.30)

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA



En las tablas 11 y 12, para el año 2022, los aeropuertos de Tijuana y Cd. de México fueron los aeropuertos que se tomaron como referentes el mayor número de veces inclusive para el aeropuerto de Toronto y hasta para los de Dallas y Denver.

Tabla 12

Frecuencia benchmarking de los principales aeropuertos de Norteamérica 2022.

Frecuencia	
Tijuana	8
Cd. de México	5
Culiacán	5
Atlanta	5
Mérida	3

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

6.6 Análisis de Holguras

Este estudio nos facilita la dirección (*input o output*) hacia donde pueden mejorarse las tasas de eficiencia técnica de los aeropuertos.

El análisis de las variables *input* refleja que para el año 2022, 8 aeropuertos no aprovecharon adecuadamente la fuerza laboral (Dallas, Denver, Toronto, Guadalajara, Monterrey, Cancún, Bajío y Los Cabos en orden descendente); habría que revisar detenidamente en cada caso las causas y estrategias de solución o por el contrario confirmar que pudiera ser para ofrecer un mejor servicio.



En 5 de los 16 (Dallas, Denver, Toronto, Vancouver y Guadalajara), no están sacando partido del número de pistas para la cantidad de unidades de tráfico que movilizan.

En cuanto a las cantidades de aerolíneas y destinos, 7 las usan ineficientemente.

Tabla 13

Análisis de holguras input de los principales aeropuertos de Norteamérica 2022.

DMU	INPUTS				
	Empleados	Pistas	Longitud de las pistas	Líneas aéreas	Destinos
Dallas Forth-Worth	- 794	- 3	- 11,369	-	-
Denver	- 210	- 3	- 12,795	-	- 66
Toronto Pearson	- 725	- 2	- 4,219	- 13	-
Vancouver	-	- 1	- 2,692	- 15	- 2
Guadalajara	- 422	- 1	- 1,156	-	-
Pierre Elliot Trudeau	-	- 0	- 1,249	- 12	- 2
Monterrey	- 48	- 0	-	-	-
Cancún	- 56	- 0	-	- 22	- 3
Bajo	- 14	-	- 1,120	- 0	-
Ciudad de México	-	-	-	-	-
Culiacán	-	-	-	-	-
Hartsfield-Jackson Atlanta	-	-	-	-	-
Los Cabos	- 31	-	- 45	- 10	- 11
Mérida	-	-	-	-	-
Puerto Vallarta	-	-	- 199	- 10	- 17
Tijuana	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA



En el caso de las terminales aeroportuarias de México, la de Guadalajara no utilizó al 100% la longitud de sus pistas; en lo relativo al uso de líneas aéreas y destinos se observa que, las de Cancún, Los Cabos y Puerto Vallarta (de perfil turístico) no aprovecharon de manera óptima estos recursos.

Continuando con el análisis con orientación *output*, en la lista a continuación se puede observar el potencial de unidades de tráfico que puede incrementar y transportar aún en cada aeropuerto.

Entre ellos se encuentran los 3 canadienses, el de Denver y Dallas, y 6 mexicanos (Guadalajara, Cancún, Puerto Vallarta, Los Cabos, Monterrey y Bajío).

Tabla 14

Análisis de holguras output de los principales aeropuertos de Norteamérica 2022.

DMU	OUTPUT
	Holgura
Toronto Pearson	30,842,352
Denver	28,128,765
Pierre Elliot Trudeau	20,621,372
Vancouver	8,636,007
Guadalajara	8,340,286
Cancún	8,336,250
Puerto Vallarta	5,817,696
Los Cabos	5,760,693
Monterrey	3,732,054
Dallas Forth-Worth	3,050,539
Bajío	1,963,645
Ciudad de México	-
Culiacán	-
Hartsfield-Jackson Atlanta	-
Mérida	-
Tijuana	-

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA



Con esto se puede confirmar, que por ejemplo el aeropuerto de la Cd. de México (y varias noticias recientes lo confirman) está saturado entre otros como Tijuana y Mérida.



Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

La eficiencia de los aeropuertos es relevante en una economía globalizada por el creciente movimiento de personas y carga aérea en el mundo actual.

En esta exploración, se utilizó la metodología DEA orientada al *output* y con rendimientos variables que permite estimar los distintos tipos de eficiencia de los 16 principales aeropuertos norteamericanos entre los años 2017 y 2022.

La metodología DEA fue primeramente desarrollada por Farrell (1957) y consolidada por Charnes (Rendimientos Constantes) y Banker (Rendimientos Variables).

Durante el análisis, se hizo evidente que, si bien DEA ha sido ampliamente adoptado en la literatura sobre estudios de eficiencia aeroportuaria, tiene tanto méritos como limitaciones. Es por ello que a fin de fortalecer los resultados se aplicó el *bootstrapping* para acotar la envolvente y precisar los resultados.

El desempeño técnico del conjunto de aeropuertos seleccionado en este período promedió 0.325, su mínimo fue de 0.14 y la máxima de 0.501.

En lo relativo a la eficiencia de costos, la media fue de 0.478, mínima de 0.276 y máxima de 0.683.

Con respecto a la eficiencia global, su promedio fue de 0.167, el mínimo 0.064 y máximo de 0.280. 8 aeropuertos estuvieron por encima de la media y 8 abajo de la misma.

En general, se observa que los factores productivos que más afectan la eficiencia técnica son el número de pistas y la cantidad de empleados.



Es importante destacar que tanto los aeropuertos canadienses como los estadounidenses tienen desde 3 hasta 7 pistas (el de Dallas_Forth Worth) y en México la mayoría tienen solamente una, representando esto una contingencia ya que en caso de alguna obstrucción o deterioro por algún accidente o catástrofe natural e inclusive un simple mantenimiento, afectaría la operación los mismos en tanto se reparan.

Cabe comentar que la longitud de una pista depende del tipo de aviones que tienen actividad en ella, es decir, el tamaño y peso de las aeronaves. En la muestra del estudio, la longitud máxima es de 4,877 (Denver), la mínima es de 1,800 (una de las pistas de los aeropuertos de Guadalajara y Monterrey) y el promedio es de 3,304 metros lineales.

Los *inputs* como la conectividad (líneas aéreas y destinos) se usan en abundancia particularmente en los destinos turísticos (Cancún, Los Cabos y Vallarta).

Debido a la menor cantidad de recursos físicos de que disponen los aeropuertos mexicanos en general, 3 resultaron con índices superiores a la media.

Los top 3 estadounidenses no han logrado el nivel de referencia (1.0) y menos aún a raíz de la pandemia cuando tomaron medidas más drásticas tales como cerrar temporalmente sus fronteras e imponer más filtros de sanidad a los pasajeros visitantes lo que demeritó el uso de su infraestructura.

La hipótesis proyectada se verifica, puesto que los aeropuertos seleccionados de América del Norte no mostraron en general ser económicamente eficientes siendo aún más afectada su capacidad técnica por la pandemia.

Se concluye que, en términos de eficiencia económica, el sector en general tiene una baja eficiencia económica.

La investigación presentada para esta industria intenta aportar más que la literatura localizada la cual se limita a la valoración del desempeño meramente técnico en sus modalidades DEA-CCR o DEA-VRS.



Las terminales aeroportuarias cumplen un rol esencial en el progreso económico de una ciudad, región o país puesto que aumentan su conectividad con diversos destinos más que algún otro medio de transporte, impulsan el turismo, el comercio internacional, la inversión directa en nuevas compañías y por consiguiente en la generación de más puestos de trabajo.

Por consiguiente, al no utilizar óptimamente los recursos e infraestructura de la que están diseñados estos aeropuertos, impactan negativamente en el desempeño económico de los mismos, así como en el de las comunidades, regiones y los países a los que sirven.

7.2 Recomendaciones

Definitivamente, el tratamiento de este tipo de investigaciones es trascendental, en la medida que permite identificar las debilidades o fortalezas de la industria aeroportuaria o de algunas terminales en particular, pues apoyan a contribuir en el diseño de políticas aeronáuticas, particularmente en aquellos países o aeropuertos que muestran niveles de eficiencia bajos sea técnica, asignativa o económica.

Guadalajara, Montreal, Cancún, Puerto Vallarta, Culiacán, Los Cabos, Bajío y Mérida revelaron una eficiencia económica inferior a la media por lo que se recomienda examinar minuciosamente la utilización de sus recursos.

En cuanto al de Montreal, podemos ver en los resultados mostrados que la dimensión de su infraestructura es enorme para el potencial de unidades de tráfico transportadas.



7.3 Futuras líneas de investigación.

La eficiencia de cada unidad de toma de decisiones (DMU) puede verse considerablemente afectada por la cantidad y calidad de los recursos a su disposición.

Aquellas DMU que hacen uso de tecnología más avanzada o más apropiada para sus operaciones tienden a ser más eficientes.

La organización y administración de cada DMU puede tener un impacto en su eficiencia. Esto puede abarcar la estructura organizativa, las prácticas de gestión y el proceso de toma de decisiones.

La eficiencia de una DMU también puede verse afectada por su habilidad para adaptarse a cambios. Esto puede incluir la adaptabilidad a nuevos avances tecnológicos, variaciones en el mercado o modificaciones en el entorno externo.

Es crucial considerar que estos factores pueden tener interacciones complejas entre sí, y el efecto preciso de cada uno puede variar en función del contexto específico.

Se puede ampliar la profundidad del estudio considerando lo anteriormente expuesto.



Bibliografía

Andersen, P; Petersen N C (1993), *A Procedure for ranking efficient units in Data Envelopment Analysis*. Management Science, Vol. 39, 1993, 1261-1264.

Arieu, A. (2006). *Eficiencia técnica compara en elevadores de granos de Argentina, bajo una aplicación de análisis de envolvente de datos. La situación del puerto de Bahía Blanca*. Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca. Universidad Tecnológica Nacional Argentina.

Banker, R. et al. (1984). Some models for estimating technical and scale efficiencies *in data envelopment analysis*. Management Science, 3(9).

Barrios, G. (2007). *La medición de la eficiencia técnica mediante el Análisis Envolvente de Datos* (Bosch, 1999). *Contribuciones a la Economía*. EUMED, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.

Becerril, A. (2018). *Análisis de la competitividad de la infraestructura aeroportuaria mexicana, ante la norteamericana*. Toluca, Universidad Autónoma del Estado de México.

Bemowski, K. (1991). *The Benchmarking Badwagon*. Quality Progress, no. 1 Vol. 30, USA.

Bosch, E., (1999). *Eficiencia técnica y Asignativa en la distribución de energía eléctrica. El caso de EPE SF, Argentina*, en: http://www.aaep.org.ar/espa/anales/resumen_99/bosch_gimbatti_giovagnoli.htm

Carneiro, L. (2019). *Efficiency assesment of central airports in Brazil*. Brasil, Universidade Federal Fluminense.



Cooper et al. (2004). *Data Envelopment Analysis, History, Models and Interpretation, Handbook on Data Envelopment Analysis*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Delfín, O. y Navarro, J. (2014). *La eficiencia de los puertos en México*. Morelia, ININEE-UMSNH.

Díaz Ruiz S. (2017). *Metodología DEA: Aplicación al sector aeroportuario español*. España, Universidad de Jaén.

Dios, R. (2004). *El análisis de eficiencia en el sector público mediante métodos de frontera*. Auditoría Pública, 39-48.

Emid, I. (2011). (Farrell, 1957) (Giménez, 2004) Tesis Doctoral en Comercialización e Investigaciones de Mercados, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España.

Farrell, M. (1957). The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*, 120, 3ª parte.

Giménez, V. (2004). La medida de la eficiencia operativa de unidades de negocio mediante los modelos DEA. Una aplicación al sector de la restauración moderna. *Universidad Autónoma de Barcelona*, 1-25.

Giraldo-Velásquez, C. et Al. (2015). *Las infraestructuras aeroportuarias: tipo de propiedad y su relación con la eficiencia*. Colombia: Universidad de Medellín.

González-Páramo, J. (2001). Privatización y eficiencia: ¿Es irrelevante la titularidad?, *Economistas*, 63(3), España.

Gudelfinger Casar, J. (2017). *Análisis de los factores determinantes de demanda, competencia y eficiencia del transporte aéreo y el turismo*, Santander: Universidad de Cantabria Departamento de Economía.



Hernández Sampieri, R. et al. (2006). *Metodología de la Investigación*, (4ª edición), D.F., México: McGraw Hill.

Inglada, V. (2017). *Evaluación de la productividad y eficiencia en los aeropuertos españoles después de la liberalización del transporte aéreo*, España: Revista de Evaluación de Programas y Políticas Públicas | Núm. 9 (2017), pp. 99-112.

Koontz, H. y Wehrich, H., (1998). *Administración. Una perspectiva global*. (11ª edición), D.F. México: McGraw Hill.

Koopmans, T. (1951). *Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities*, (8ª edición), Wiley, New York.

Lo, F., et al. (2001). A DEA Study to evaluate the relative efficiency and Investigate the Distric Reorganization of the Taiwan Power Company, *IEEE Transactions on Power Systems*, 16(1).

Martínez, C. (2015). *Evaluación de la Eficiencia Técnica del Sistema Aeroportuario Mexicano*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Murias, P. et al. (2008). *Un estudio con Análisis Envolvente de Datos de la eficiencia de los centros de educación secundaria gallegos*. Trabajo de las XVI Jornadas ASEPUMA, IV Encuentro Internacional, España.

Navarro, J. (2005). *La eficiencia del sector eléctrico en México*, (1ª edición), Michoacán, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Navarro, J. & Torres, Z. (2006). *Eficiencia técnica y asignativa del sector eléctrico en México en su fase de distribución: un análisis a través de los modelos de frontera DEA*. Mundo Siglo XXI, 7, 35-43.

Pinzón, J. (2003). *Medición de eficiencia técnica relativa en hospitales públicos de baja complejidad mediante la metodología data envelopment analysis (DEA)*. Colombia, en: www.dnp.gov.com/03_PROD/PUBLIC/2P_EE.ASP



Pulido, L. & Díaz, O. (2019). *Medición de eficiencia aeroportuaria. Caso de aeropuertos privatizados colombianos*. Bogotá, Universidad Santo Tomás.

Quintanilha, J. (2010). *Evaluación de la eficiencia de las compañías aéreas brasileñas*. Revista chilena de ingeniería, vol. 20 N° 3, 2012, pp. 331-342.

Torres, O. et al. (2009). Disparidades en eficiencia técnica e influencia de las infraestructuras sobre la convergencia en eficiencia en México. *XVI Encuentro de Economía Pública: 5 y 6 de febrero de 2009 Palacio de Congresos de Granada* (p. 40).

Torres, Z. y Navarro, L. (2007). *Conceptos y principios fundamentales de epistemología y de metodología*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Trillo del Pozo, D. (2002). *Análisis económico y eficiencia del sector público*. España en: unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/CLAD/clad044506.pdf.

Tovar, B. (2010). *Technical Efficiency and Productivity changes in Spanish Airports: A parametric distance functions approach*. Logistics and Transportation Review.

Varian, H. (1998). *Microeconomía intermedia. Un enfoque actual*. (4ª edición), S.A. España.

Voltes, A. (2009). *Estimación mediante fronteras estocásticas de la función de costes de la industria aeroportuaria*. España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Yoshida, Y. (2004). *Japanese-Airport Benchmarking with the DEA and Endogenous-Weight Tfp Methods: Testing the Criticism of Overinvestment in Japanese Regional Airports*. Japan: Elsevier.



Páginas de Internet

Aeropuerto Internacional Benito Juárez Ciudad de México.

<https://www.aicm.com.mx/>

Aeropuertos del Sureste. <https://www.asur.com.mx/>

Aeropuertos y Servicios Auxiliares. www.asa.gob.mx/

Airports Council International. <https://aci.aero/>

Datos Mundial www.datosmundial.com

Grupo Aeroportuario Centro-Norte.

<https://www.oma.aero/es/pasajeros/acapulco/index.php>

Grupo Aeroportuario del Pacífico. <https://www.aeropuertosgap.com.mx/es/>

Dallas-Fort Worth International Airport. <https://www.dfairport.com/>

Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport. <https://www.atl.com/>

International Air Transport Association. <https://www.iata.org/>

International Civil Aviation Organization. <https://www.icao.int/>

Denver International Airport. <https://www.flydenver.com/>

Montréal-Trudeau International Airport. <https://www.admtl.com/en>

Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación. <https://dof.gob.mx/>

Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte.

<https://www.gob.mx/sct>

Toronto Pearson International Airport. <https://www.torontopearson.com/en>



Vancouver International Airport. <https://www.yvr.ca/en/passengers>



Anexos

Anexo 1. Datos

Tabla 1.1 Datos		Pasajeros transportados (miles)						
Aeropuerto		CODIGO IATA (DMU)	2017	2018	2019	2020	2021	2022
MEXICO	Ciudad de México	AICM	44,732	47,701	50,308	21,982	36,057	46,259
	Cancún	CUN	23,602	25,202	25,482	12,259	22,318	30,343
	Mérida	MID	2,148	2,452	2,791	1,297	2,080	3,080
	Bajío	BJX	1,956	2,339	2,756	1,388	2,119	2,603
	Guadalajara	GDL	12,808	14,352	14,846	8,126	12,243	15,607
	Tijuana	TIJ	7,103	7,835	8,926	6,317	9,678	12,325
	Monterrey	MTY	9,772	10,733	11,177	4,994	8,270	10,943
	Los Cabos	SJD	4,910	5,249	5,609	3,064	5,550	7,019
	Puerto Vallarta	PVR	4,523	4,767	5,052	2,536	4,120	6,209
	Culiacán	CUL	1,910	2,271	2,459	1,373	1,970	2,426
USA	Hartsfield-Jackson Atlanta	ATL	104,259	105,208	109,128	79,744	49,719	89,791
	Dallas Forth-Worth	DFW	66,346	69,022	73,265	47,388	55,400	72,200
	Denver	DEN	30,714	32,259	34,513	16,874	29,418	34,643
CAN	Toronto Pearson	YYZ	47,100	49,500	50,500	13,300	12,700	35,600
	Vancouver	YVR	24,200	25,937	26,400	7,300	7,100	19,000
	Pierre Elliot Trudeau	YUL	18,200	19,400	20,307	5,437	5,202	15,981
		16						

Fuente: Elaboración propia con base en Reportes Anuales Estadísticos y Financieros de cada aeropuerto (2017-2022).



Tabla 1.2
Datos

Carga (toneladas métricas)

CODIGO IATA (DMU)		2017	2018	2019	2020	2021	2022
M E X I C O	AICM	537,263	581,675	556,141	469,714	567,779	570,809
	CUN	29,714	32,858	31,476	35,156	34,657	34,417
	MID	20,264	20,648	22,444	20,074	22,458	24,126
	BJX	1,116	1,365	1,309	830	1,700	1,700
	GDL	159,220	164,242	161,109	161,593	197,200	176,850
	TIJ	22,679	27,171	30,707	28,332	45,900	45,900
	MTY	52,867	56,282	51,983	49,038	68,618	78,910
	SJD	319	341	365	199	361	361
	PVR	294	310	328	165	268	268
	CUL	10	10	10	9	1	1
U S A	ATL	631,730	663,859	638,490	561,364	638,396	693,277
	DFW	803,766	826,445	881,784	805,580	893,577	855,475
	DEN	105,749	117,377	134,861	137,414	128,531	145,923
C A N	YYZ	538,900	557,400	534,100	389,400	413,500	481,000
	YVR	312,900	338,218	304,078	240,514	278,759	302,572
	YUL	206,020	230,440	233,163	179,815	192,208	211,607

Fuente: Elaboración propia con base en Reportes Anuales Estadísticos y Financieros de cada aeropuerto (2017-2022).



Tabla 1.3
Datos

Aeronautical Revenues
(Millions USD)

CODIGO IATA (DMU)		2017	2018	2019	2020	2021	2022
M E X I C O	AICM	519	616	679	292	465	695
	CUN	202	225	240	112	227	386
	MID	20	24	31	14	23	41
	BJX	20	25	31	17	28	39
	GDL	123	144	157	106	161	234
	TIJ	59	68	83	60	95	138
	MTY	104	125	140	64	116	161
	SJD	57	63	72	49	98	139
	PVR	50	55	63	39	65	117
	CUL	21	27	33	18	28	39
U S A	ATL	617	728	778	597	445	565
	DFW	393	467	497	450	440	596
	DEN	470	482	519	427	451	532
C A N	YYZ	747	711	744	404	413	726
	YVR	369	365	388	172	152	214
	YUL	314	325	375	120	128	331

Fuente: Elaboración propia con base en Reportes Anuales Estadísticos y Financieros de cada aeropuerto (2017-2022).

- Tipo de cambio (USD/MXN) al cierre de cada fin de año.
'2022 19.48, 2021 20.48, 2020 19.87, 2019 18.92, 2018 19.64, 2017 19.66'
- Tipo de cambio (USD/CAD) al cierre de cada fin de año.
'2022 1.36, 2021 1.26, 2020 1.27, 2019 1.30, 2018 1.36, 2017 1.25'

Fuente: Investing.com (2023).



Anexo 2. Inputs

Tabla 2.1 Inputs		Conectividad		Empleados					
	CODIGO IATA (DMU)	# Aerolíneas	# Destinos	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	M E X I C O	AICM	30	94	721	721	721	721	721
CUN		44	78	558	592	606	604	603	609
MID		8	8	102	105	107	110	109	112
BJX		7	17	70	67	72	88	101	106
GDL		14	55	194	207	230	284	375	802
TIJ		6	36	109	115	120	146	177	212
MTY		13	32	222	198	197	169	252	297
SJD		16	47	109	113	127	168	214	243
PVR		16	51	113	114	119	143	163	201
CUL		7	12	62	57	60	54	62	61
U S A	ATL	37	217	1,187	1,280	1,280	1,287	1,294	1,290
	DFW	33	187	1,943	1,985	2,076	2,069	1,977	1,919
	DEN	25	213	1,151	1,104	1,133	1,042	969	1,083
C A N	YYZ	46	147	1,600	1,798	1,830	1,530	1,548	1,691
	YVR	31	75	433	520	545	429	454	429
	YUL	31	93	573	587	720	481	482	534

Fuente: Elaboración propia con base en Reportes Anuales Estadísticos y Financieros de cada aeropuerto (2023).



Tabla 2.2
Inputs

Pistas

Long.
Total

CODIGO IATA		1	2	3	4	5	6	7	
M E X I C O	AICM	3,985	3,963	-	-	-	-	-	7,948
	CUN	3,500	2,800	-	-	-	-	-	6,300
	MID	3,200	2,300	-	-	-	-	-	5,500
	BJX	3,499	-	-	-	-	-	-	3,499
	GDL	4,000	1,800	-	-	-	-	-	5,800
	TIJ	2,959	-	-	-	-	-	-	2,959
	MTY	3,000	1,800	-	-	-	-	-	4,800
	SJD	3,004	-	-	-	-	-	-	3,004
	PVR	3,105	-	-	-	-	-	-	3,105
	CUL	2,227	-	-	-	-	-	-	2,227
U S A	ATL	3,048	2,743	2,743	3,777	2,743	-	-	15,054
	DFW	2,591	4,085	4,085	4,085	4,085	2,743	2,835	24,509
	DEN	3,658	3,658	3,658	3,658	3,658	4,877	-	23,167
C A N	YYZ	2,956	2,744	3,369	2,770	3,390	-	-	15,229
	YVR	3,030	3,505	2,225	-	-	-	-	8,760
	YUL	3,353	2,926	2,134	-	-	-	-	8,413

Fuente: Elaboración propia con base en Reportes Anuales Estadísticos y Financieros de cada aeropuerto (2023).



Anexo 3. Outputs

Tabla 3.1 Outputs		Unidades de Tráfico					
		CODIGO IATA (DMU)	2017	2018	2019	2020	2021
M E X I C O	AICM	50,105,048	53,517,300	55,869,459	26,678,851	41,734,400	51,966,611
	CUN	23,898,650	25,530,595	25,796,749	12,610,707	22,665,041	30,687,165
	MID	2,351,123	2,658,094	3,015,089	1,498,048	2,304,083	3,320,860
	BJX	1,966,856	2,352,445	2,768,890	1,396,000	2,136,000	2,620,200
	GDL	14,400,205	15,993,922	16,457,390	9,741,530	14,214,900	17,375,100
	TIJ	7,330,093	8,106,805	9,232,870	6,599,920	10,136,900	12,783,600
	MTY	10,300,297	11,296,007	11,696,385	5,484,550	8,956,010	11,732,288
	SJD	4,912,937	5,252,451	5,612,768	3,066,152	5,553,177	7,022,907
	PVR	4,525,511	4,770,159	5,055,139	2,537,768	4,122,645	6,211,378
	CUL	1,909,750	2,270,935	2,458,961	1,373,195	1,970,223	2,426,015
U S A	ATL	110,575,912	111,846,690	115,513,194	85,357,153	56,102,911	96,724,086
	DFW	74,383,660	77,286,450	82,082,840	55,443,800	64,335,770	80,754,750
	DEN	31,771,501	33,432,987	35,861,150	18,247,983	30,703,192	36,102,230
C A N	YYZ	52,489,000	55,074,000	55,841,000	17,194,000	16,835,000	40,410,000
	YVR	27,329,000	29,319,087	29,440,780	9,705,140	9,887,590	22,025,720
	YUL	20,260,200	21,704,400	22,638,166	7,235,148	7,123,771	18,096,740

Fuente: Elaboración propia con base en Reportes Anuales Estadísticos y Financieros de cada aeropuerto (2023).



Tabla 3.2
Outputs

Ingreso por Unidad de Tráfico

(USD)

	CODIGO IATA (DMU)	2017	2018	2019	2020	2021	2022
M E X I C O	AICM	10.35	11.51	12.15	10.95	11.14	13.38
	CUN	8.44	8.83	9.32	8.85	10.01	12.57
	MID	8.53	9.00	10.16	9.46	9.90	12.36
	BJX	10.00	10.49	11.16	12.21	13.04	14.90
	GDL	8.57	8.99	9.56	10.87	11.32	13.48
	TIJ	8.04	8.44	8.98	9.09	9.37	10.80
	MTY	10.10	11.03	11.93	11.73	12.93	13.75
	SJD	11.51	12.06	12.85	15.94	17.61	19.82
	PVR	11.12	11.62	12.37	15.40	15.83	18.83
	CUL	10.90	12.10	13.28	13.18	14.21	15.96
U S A	ATL	6.31	6.51	6.73	6.99	7.93	5.84
	DFW	6.99	7.74	7.78	9.86	8.60	7.38
	DEN	14.81	14.42	14.47	23.43	14.69	14.74
C A N	YYZ	14.23	12.91	13.32	23.49	24.51	17.97
	YVR	8.61	7.89	8.30	10.33	8.67	9.73
	YUL	15.51	14.99	16.57	16.56	17.99	18.28

Fuente: Elaboración propia con base en Reportes Anuales Estadísticos y Financieros de cada aeropuerto (2023).