



**El Colegio
de la Frontera
Norte**



**EL PAPEL DE LA ORGANIZACIÓN DE LA AVIACIÓN
COMERCIAL DE MÉXICO EN LA HUELLA DE
CARBONO (2005-2017)**

Tesis presentada por

Eddy Alonso Gómez Rojo

para obtener el grado de

**MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN INTEGRAL DEL
AMBIENTE**

Tijuana, B. C., México
2018

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Directora de Tesis: Dra. Sárah Eva Martínez Pellegrini

Aprobada por el Jurado Examinador:

1. _____

2. _____

3. _____

DEDICATORIA

A mis padres por inculcarme las ganas de superarme, este es un homenaje por todo lo que me han dado, ustedes son mis héroes favoritos.

A mis hermanos Rose, Vero, Oscar, Silvia y Juan por ayudarme a crecer, ustedes son mis ejemplos a seguir y sigo trabajando día a día para alcanzarlos.

A Isabel por ser uno de los principales artífices de esta aventura y por tu ayuda en la recta final, espero que este ejercicio haya estimulado tu curiosidad y pronto retomes tu camino.

A mis compañeros de la aviación, este es un intento por reconocer la gran labor anónima que realizan día a día.

A Alessandra, ojalá te inspire tanto como a mí.

A ti lector que te tomaste el tiempo, gracias por atreverte.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por todo el apoyo económico brindado.

Al Colegio de la Frontera Norte (El COLEF) por haberme brindado la oportunidad de seguir con mi formación académica.

A mi directora de tesis, la Dra. Sárah Eva Martínez Pellegrini por aceptar el desafío interdisciplinario que representó esta tesis.

A mi lector interno, la Dra. Patricia Rivera Castañeda por todo el tiempo invertido, sus consejos, su disponibilidad, su asertividad, muchas gracias por dejarme incorporar su experiencia.

A mi lector externo, el Dr. Simone Lucatello por fortalecer esta investigación gracias a sus valiosos comentarios, sobre todo en el área ambiental de las ciencias sociales.

A César Vázquez, Adaljiza Aragón, Miguel Barroso, Alicia Martínez, Janet Gómez, Alfonso Herrera, Samuel Alvarado, Francisco Vizarratea y Nancy Ayala por compartir su gran experiencia y sus conocimientos para enriquecer este trabajo.

A Juan Gallardo y Rosalio Fuentes por su valiosa colaboración durante el trabajo de campo.

A la Dra. Martha Miker por todo su apoyo para la revisión de los aspectos cualitativos de la tesis.

A mis profesores por haber aceptado el compromiso de darnos clases, un reconocimiento especial al Dr. Roberto Sánchez, al Dr. Luis Vera y al Dr. Rigoberto García por su dedicación, sus enseñanzas y la fe que depositaron en nosotros a pesar de los contratiempos.

A mis amigos Carla e Hiram porque Dios nos hizo y nosotros nos juntamos, gracias por haberle puesto la sal y pimienta a mi aventura en su tierra.

A los MAIO's Ceci, Xime, Beto, Fer, Estef, Pao, Liss, Itzel, Nalle, Cris y Abel, gracias por todo: las peleas, los desvelos, el estudio, salidas de campo, las galletas, las cheves, la comida...

A todos mis compañeros y amigos que hice durante mi estancia en el Colef.

RESUMEN

La presente investigación aborda la influencia que tiene la organización de la aviación comercial en la huella de carbono en México en el periodo 2005-2017. Se propone la organización sistémica como medida de mitigación, con la finalidad de analizar la forma en que se ha organizado la aviación comercial mexicana y sus procesos para reducir el impacto de las demoras de los vuelos en la huella de carbono, producto del consumo de turbosina al permanecer más tiempo del programado en tierra. Para obtener los datos necesarios se utilizan fuentes primarias y secundarias, esto es, se revisó la información generada por dependencias gubernamentales como la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) y Servicios a la Navegación del Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), junto con los organismos privados como la Cámara Nacional del Aerotransporte (CANAERO), los grupos aeroportuarios y las aerolíneas, además se realizaron entrevistas a actores clave dentro del sector. Los aportes que se pretenden con este trabajo son, por un lado, el análisis de la organización de la aviación comercial nacional, mediante el estudio de las principales causas de demora en las operaciones aeroportuarias, y por otro lado, la determinación de la huella de carbono de la aviación comercial nacional durante su tránsito en los aeropuertos.

Palabras clave: Aviación comercial, huella de carbono, organización aeroportuaria, consumo de turbosina.

ABSTRACT

This research studies the influence of the airport organization in the carbon footprint generated in Mexico during the period 2005-2017. The objective is to analyze the way in which Mexican commercial aviation has been organized and how the operational processes could reduce the effect of flight delays on the carbon footprint generated by remaining on land longer than scheduled. In this respect the systemic organization is proposed as a mitigation measure. Primary and secondary sources were used to obtain the necessary data. The model basis is the information generated by government agencies such as the Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) and Servicios a la Navegación del Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), also private organizations such as the Cámara Nacional del Aerotransporte (CANAERO), airport groups and airlines. The key actors of the sector were interviewed. This research contributes to study the main causes of flight delays while planes are in land and determines the carbon footprint of national commercial aviation.

Keywords: Commercial aviation, carbon footprint, airport organization, turbosine consumption.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	7
Introducción	7
1.1.- Teoría de la Organización	7
1.1.1.- Teoría Burocrática	15
1.1.2.- Teoría de los Sistemas Complejos Adaptativos	18
1.2.- Protección al ambiente y desarrollo sustentable	20
1.2.1.- Adaptación vs mitigación	21
1.2.2 Huella de carbono	23
CAPÍTULO II.- ANTECEDENTES	29
Introducción	29
2.1.- El desarrollo del transporte aéreo de pasajeros	29
2.2.- Marco legal vigente aplicable a las demoras en México	31
2.3.- Aeropuerto Internacional “Benito Juárez” de la Ciudad de México	35
2.4.- Los efectos de la aviación comercial	41
2.4.1.- Efectos sociales	42
2.4.2.- Efectos económicos	43
2.4.3.- Efectos ambientales	45
2.5.- La respuesta de la aviación comercial ante la degradación ambiental	48
CAPÍTULO III.- ESTRATEGIA METODOLÓGICA	51
Introducción	51
3.1.- Determinación de la muestra de la organización aeroportuaria	53
3.1.1.- Selección de aerolíneas	55
3.1.2.- Codificación de demoras	55
3.1.3.- Selección de aeropuertos	58
3.2.- Modelación de la huella de carbono	61
3.3.- Cálculo del consumo de turbosina	63
3.4.- Manejo de las entrevistas	65
CAPÍTULO IV.- LA HUELLA DE CARBONO DE LA AVIACIÓN COMERCIAL DE MÉXICO Y SUS COSTOS PARA LAS EMPRESAS, LOS USUARIOS Y EL AMBIENTE	71
Introducción	71
4.1.- La aviación comercial	72
4.1.1.- Aerolíneas en servicio	73

4.1.2.- Clasificación de aeropuertos	75
4.1.3.- Registro de vuelos	76
4.1.4.- Pasajeros transportados	79
4.2.- Cálculo de la huella de carbono	81
4.2.1.- Consumo de turbosina.....	82
4.2.2.- Las demoras y su repercusión.....	85
4.2.3.- Costos de operación	93
CAPÍTULO V.- LA PERCEPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN DE LA AVIACIÓN COMERCIAL EN MÉXICO.....	99
Introducción.....	99
5.1.- Organización burocrática aeroporturaria vs. alternativa sistémica.....	100
5.2.- Procesos aeroportuarios estandarizados y acuerdos locales.....	106
5.3.- Huella de Carbono como proceso de mitigación o adaptación	115
CONCLUSIONES	121
BIBLIOGRAFÍA:	129
ANEXOS	i

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 .- Estructura jerárquica del sistema aeroportuario	17
Ilustración 1. 2.- Elementos de la línea aérea que interactúan durante la atención de un vuelo	20
Ilustración 2.1.- Flujo de los equipos en las pistas del AICM	41
Ilustración 3.1.- Flujo del tráfico aéreo.....	54
Ilustración 3.2.- Adaptación de las Fases Operacionales propuestas por la MEET	61
Ilustración 4.1.- Proceso de análisis del objeto de estudio	72
Ilustración 5.1.- Elementos principales de la organización de acuerdo a Weber	100
Ilustración 5.2.- Efectos negativos y positivos de la organización en la huella de carbono	105
Ilustración 5.3.- Actores aeroportuarios y su área de influencia.....	106
Ilustración 5.4- Actores aeroportuarios y sus relaciones	111
Ilustración 5.5.- Procesos aeroportuarios y la huella de carbono	115
Ilustración 5.6.- Efectos de la aviación comercial en la huella de carbono	120

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2.1.-Mejora de la eficiencia en el consumo de combustible (2010-2014).....	33
Gráfica 2.2.- Horarios de operación promedio del MEX	38
Gráfica 3.1.- Tendencia de crecimiento de las operaciones aeroportuarias (MEX)	58
Gráfica 3.2.-Promedio de puntualidad por aerolínea en el MEX 2011-2017	59
Gráfica 3.3.- Tendencia del tiempo de espera de la secuencias de despegue en el MEX.....	60
Gráfica 3.4.- Perfil de los entrevistados.....	69
Gráfica 4.1.- Aerolíneas en servicio 2005- 2017	74
Gráfica 4.2.- Histórico de las operaciones comerciales aeroportuarias 2005-2017.....	76
Gráfica 4.3.- Pasajeros transportados 2005-2017	79
Gráfica 4.4.- Promedio de emisiones de CO ₂ en fases operacionales 1, 2, 8 y 9 por pasajero	83
Gráfica 4.5- Promedio de emisiones por aerolínea por pasajero en el periodo 2005- 2017.	84
Gráfica 4.6.- Emisiones totales por aerolínea del 2005 a 2017	85
Gráfico 4.7.- Ubicación espacial de las emisiones en las operaciones con demora	86
Gráfica 4.8.- Distribución de aeronaves en la industria de la aviación nacional del 2009 al 2017	94
Gráfica 4.9.- Costo de las demoras no imputables a la aerolínea en 2016	96
Gráfica 4.10.- Demoras imputables a la aerolínea 2016.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación de las diferentes corrientes dentro de la teoría de la organización .	13
Tabla 2.1.- Datos básicos del MEX	36
Tabla 2.2.- Características generales del Boeing B747 y del Airbus A380.....	38
Tabla 3.1.- Clasificación de los códigos de demoras.....	56
Tabla 3.2. Valores de las fases operacionales adaptadas de la MEET	63
Tabla 3.3.- Distribución de gases generados por la combustión de un litro de turbosina	64
Tabla 3.4.- Configuración de la flota comercial aérea nacional	64
Tabla 3.5.- Clasificación de las Aerolíneas de acuerdo a su estela	65
Tabla 3.6.- Conceptos principales de la codificación.....	66
Tabla 3.7.- Códigos sobre organización	67
Tabla 3.8.- Códigos sobre procesos aeroportuarios.....	68
Tabla 3.9.- Códigos sobre huella de carbono	68
Tabla 4.1.- Variación mensual de las aerolíneas	77
Tabla 4.2.- Promedios estadísticos de las aerolíneas seleccionadas	78
Tabla 4.3.- Factor de ocupación de pasajeros de empresas nacionales regulares 2005-2016	80
Tabla 4.4.- Emisiones de Co ₂ generadas por fase operacional	81
Tabla 4.5.- Agrupación de variables en factores	87
Tabla 4.6.- Clasificación de las demoras en sus principales factores.....	90
Tabla 4.7.- Variación anual de las demoras.....	91
Tabla 4.8.- Conversiones kilos- litros- pesos	95

INTRODUCCIÓN

El agotamiento y degradación ambiental en México son notorias (Carabias, 1988; SEMARNAT, 2013), y se traducen en la sobreexplotación de recursos y la contaminación. Gran parte del impacto en el ambiente se deriva de los efectos de las actividades antropogénicas en el entorno. El caso de la aviación comercial también produce daños en el ambiente que provocan un incremento en el consumo de turbosina, que a su vez generan emisiones de gases contaminantes, los cuales provocan que la huella de carbono aumente.

El transporte de pasajeros por vía aérea ha influido en la percepción de las personas sobre la distancia al acercar los lugares mediante la reducción del tiempo y el costo para trasladarse de un punto a otro. Debido al aumento en el número de vuelos, es necesario analizar la forma en que se ha organizado el transporte aéreo de pasajeros en el país así como sus impactos al ambiente, además de sus interacciones.

Los impactos tienen como base el desarrollo del sistema de producción económico que trae consigo nuevos retos para la sociedad, debido a que aumenta la complejidad en la forma de organizarse, por tal motivo se avanza en las ciencias que impulsan en la población un nuevo estado de bienestar. Así, con la sistematización del conocimiento para resolver los problemas de la sociedad, se desarrollan diferentes visiones para explicar las deficiencias en las organizaciones para proponer soluciones.

Uno de los retos a los que se enfrenta la humanidad es disminuir la velocidad del calentamiento global, ya que de seguir se pone en riesgo la estabilidad del planeta. Como parte de las causas antropogénicas que afectan al medio se encuentra la emisión de gases a la atmósfera producto de la aviación comercial, aunque los efectos han sido poco estudiados, se estima que tienen un potencial de influencia alto en la anomalía climática (IPCC, 2014).

La aviación comercial es un medio de transporte, y este último se define como un proceso, esto es, un conjunto de acciones que se repite constantemente para trasladar personas de un punto a otro, por lo que, es un fenómeno complejo, con características especiales, que incluso dependen del enfoque con que se analicen (Islas y Lelis, 2007).

Durante décadas, la emisión de contaminantes a la atmósfera, producto de la aviación comercial, creció de manera desmedida ya que al aumentar el tamaño de los motores y el número de vuelos, también se incrementa el consumo de combustible. No fue sino hasta 1999 cuando el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) comenzó la publicación de investigaciones para demostrar los efectos de la contaminación del ambiente provocados por la utilización de turbosina en los motores a reacción (Lee *et al.*, 2009b).

La eficiencia energética es el área de mayor ocupación de las empresas armadoras de aviones, dado que el desarrollo tecnológico está orientado a eficientizar esta área. La implementación de nuevas tecnologías en los equipos para mejorar el rendimiento de combustible así como los avances en la aerodinámica se han utilizado como una medida para reducir el consumo de combustible, ya que según estudios realizados, el gasto en combustible puede llegar a superar el 30% del costo de operación (Alonso, 2012), por lo que la inversión se concentra en este rubro.

Ahora bien, el sector aéreo incorpora la protección ambiental en su organización a través de las asociaciones internacionales como la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), con ellas se establecieron políticas para reducir la huella de carbono como la inversión para la innovación tecnológica, mejoras en la infraestructura, así como en las operaciones.

También existen mecanismos económicos para incentivar la reducción de las emisiones (IATA, 2012), como el mercado de carbono, para intercambiar derechos de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y los bonos verdes que se utilizan para capitalizar proyectos relacionados con el ambiente, sin embargo estos aún no son de carácter global, es decir, el mercado es incipiente y son pocos los países y empresas que han comenzado a utilizarlos.

Aunque los avances en materia ambiental son notorios en torno a la incorporación de la innovación tecnológica y al conocimiento de diferentes incentivos económicos, el origen del esfuerzo internacional (empresas y Estados), es el beneficio económico para mantener la rentabilidad de la actividad aérea, no la protección del ambiente o la disminución de la emisión de gases contaminantes.

Esta investigación se centra en la conservación de la energía, donde se pretende encontrar alternativas para que los aviones realicen las mismas operaciones pero con la menor cantidad de turbosina, por tal motivo es necesario revisar los procesos operacionales actuales para mejorarlos o hacer nuevos en caso de hacer falta.

La forma en que se han organizado las empresas para la atención de los vuelos representa un área de oportunidad, dado que el tiempo de tránsito de los equipos en los aeródromos se puede ver afectado. Por tanto, observar la organización en la atención de los vuelos desde el enfoque sistémico se presenta como una alternativa viable para reducir el consumo de combustible, mediante la incorporación de actividades sinérgicas.

Por ello, se plantean las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la influencia de la organización de la aviación comercial de México en la huella de carbono en el periodo 2005-2017?
- ¿Cuáles son y cómo se relacionan los actores y sus procesos con la huella de carbono de la aviación comercial en México?
- ¿De qué manera la organización sistémica puede mitigar la huella de carbono de la aviación comercial de México?

El objetivo general plantea analizar la forma en que se ha organizado la aviación comercial mexicana, sus procesos, así como la influencia que tienen en la huella de carbono, producto del consumo de turbosina mientras los equipos están en tierra, en el periodo 2005-2017 para proponer alternativas de mitigación.

Los objetivos particulares que se proponen son:

- Determinar la influencia de la organización de la aviación comercial de México en la huella de carbono originada por el consumo de turbosina mientras los equipos se encuentran en tierra en el periodo 2005-2017.
- Identificar la forma en que se relacionan los procesos operativos de la aviación comercial de México con la huella de carbono, producto del consumo de turbosina en tierra.

- Evaluar qué procesos de la organización sistémica permiten mitigar la huella de carbono de la aviación comercial de México producto del consumo de turbosina ocasionado por las demoras de los vuelos.

En México, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) ha realizado diversos estudios sobre la aviación comercial del país, de los cuales, la mayoría se centran en aspectos económicos y comerciales como las publicaciones técnicas números: 452, 422, 421, 393, 384, 365, 334, 323, 320, 264, 212, 180, 151 y 62, que tratan temas como: la eficiencia energética del combustible, la innovación tecnológica en aeropuertos y equipos, la influencia del flujo de pasajeros y carga, la ampliación de la red aeroportuaria, entre otros.

El periodo temporal de este trabajo (2005 - 2017) es importante debido a los cambios acontecidos en él, el 2005 marca el término del periodo de nacionalización del transporte aeronáutico en México, con la privatización de la Compañía Mexicana de Aviación y en 2007 de la empresa Aeromexico. En el 2005 destaca también la autorización de nuevas concesiones por parte del gobierno federal para explotar los servicios aéreos. Este evento dio pie a que las aerolíneas de bajo costo se introdujeran en el país, los permisos para explotador aéreo pasaron de 11 a 18 en dos años (Cardoso-Vargas, 2016).

En el año 2010 se dio el cese de operaciones de Mexicana de Aviación, con este acontecimiento los vuelos disminuyeron casi el 5% al pasar de 390,228 a 371,990, no obstante, el volumen de pasajeros se incrementó para esos mismos años cerca del 4% al aumentar de 24.5 millones a 25.4 millones (CANAERO, 2016).

La velocidad de los cambios ha afectado a la organización, ya que para satisfacer la creciente demanda las líneas aéreas invirtieron en la compra de nuevos equipos, por lo que la flota que tardó décadas en llegar a 319 (1928- 2009), se redujo a 265 al año siguiente y en cinco años se recuperó para llegar a 310 aeronaves (CANAERO, 2017). Lo anterior cobra importancia ya que como se mencionó, con la desregulación comercial del sector se incorporaron aerolíneas de bajo costo que operativamente no estaban contemplados.

Al existir diferentes compañías el número de autorizaciones de horarios (slots) se incrementó, por lo que se comenzaron a generar horas de saturación, lo que aumentó el tiempo

en tierra de los aviones con los motores encendidos, por lapsos mayores que el estándar, mientras esperan el permiso para despegar por parte de Control de Tránsito Aéreo (CTA).

En la actualidad, las investigaciones en el país sobre la aviación comercial y su interacción con el ambiente son escasas (Ávalos y Valdés, 2006), por lo que la presente investigación puede contribuir como herramienta para los tomadores de decisiones y para inducir a futuros trabajos.

Según estadísticas del Banco Nacional de Comercio Exterior (Bancomext), el total de vuelos mantiene una tendencia creciente desde 2012 de poco más del 35% ya que se registró un aumento de 3.7 mil a casi 5 mil vuelos al mes. Así, el Producto Interno Bruto (PIB) del subsector aéreo creció en el último trimestre de 2015 un 18.7% mientras que el crecimiento total de la economía en ese periodo fue de 2.5% (Bancomext, 2016). Estas cifras demuestran la importancia de la actividad, por tanto, es importante analizar la manera de reducir el creciente impacto que tiene en el ambiente.

Para ello se propone la hipótesis de que la organización burocrática de la aviación comercial de México influye en el consumo de turbosina, por lo que la relación entre procesos operativos- huella de carbono puede modificarse mediante el enfoque sistémico del transporte aéreo de pasajeros, con la finalidad de mitigar su impacto en el ambiente.

Para poder analizar de manera sistemática la información, este trabajo se estructuró en tres partes, la primera es la presente introducción en donde se establece el objeto de estudio, el planteamiento del problema, así como las preguntas de investigación, los objetivos y la justificación del tema, la delimitación temporal-espacial para establecer la pertinencia de la investigación y la hipótesis, es decir, se plantea la relevancia de la temática para la sociedad, la academia y todos los involucrados en la aviación comercial mexicana.

En la segunda parte se desarrolla el capitulo, el cual está formado por el marco teórico, los antecedentes, la estrategia metodológica, la modelación cuantitativa y el análisis cualitativo, es decir, el conjunto de teorías y conceptos empleados para analizar la organización actual, los procesos aeroportuarios, sus efectos en la huella de carbono, así como las alternativas posibles.

En la tercera parte se desarrollan las conclusiones, en donde se entrelazan las dos fases en la estrategias de investigación (metodología cuantitativa y cualitativa) y se incorpora la experiencia del personal que labora en el sector con la finalidad de evaluar las alternativas a la actual gestión de la aviación comercial.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

Introducción

Desde que los primeros pobladores comenzaron a reunirse en grupos, la organización entre ellos fue necesaria para poder alcanzar un objetivo en común, la supervivencia. Conforme fue avanzando la sociedad, las relaciones entre los individuos se hicieron complejas, surgió la especialización del trabajo motivando a las personas a buscar alternativas a problemas, como la organización de los procesos productivos.

En el presente capítulo se desarrolla la base teórica sobre la que se realiza la investigación. En primer lugar se hace un breve recuento de las corrientes de pensamiento referentes a la organización, posteriormente se desarrollan dos de ellas, la teoría burocrática de Max Weber, dado que las características de la aviación comercial en el país se pueden enmarcar en este enfoque, y la teoría de los sistemas complejo adaptativos como una alternativa.

En segundo lugar se aborda el tema de la protección ambiental y el desarrollo sustentable ya que es de donde surgen las diferentes medidas de mitigación y adaptación utilizadas actualmente para combatir los impactos antropogénicos en el entorno. Dentro de ellas destaca la huella de carbono como instrumento de medición, por lo que se explican los principios con los que se fortalece la objetividad de la información utilizada.

A continuación se resumen las principales tendencias que se desarrollaron en relación a la organización, donde se retoman las ideas de los pensadores consultados durante la investigación de gabinete y son clasificadas por sus características que en la mayoría de los casos corresponde a la misma época, no pretendiendo ser exhaustiva ni totalizadora.

1.1.- Teoría de la Organización

La presente investigación se centra en el concepto de organización, definido como un conjunto de personas que suman sus esfuerzos individuales para alcanzar un objetivo en común (Aguilar, 2009). Este enfoque comenzó a desarrollarse a principios del siglo XX, y ha evolucionado en tres grandes escuelas: la clásica, la neoclásica y la moderna.

Dentro de la corriente clásica se encuentran autores como Frederick Winslow Taylor, Henry Fayol y Max Weber. En la teoría de la administración científica, Taylor propuso que la especialización del trabajo como la mejor herramienta para aumentar la productividad de la empresa, los intereses particulares de los trabajadores no se tomaban en cuenta. Taylor se concentró en una parte del proceso de producción, en la división entre la parte operativa y la que controla, e incorpora la especialización del trabajo en sus partes más pequeñas (Aguilar, 2009).

El aporte de Henry Fayol y su proceso de administración también forma parte de este enfoque clásico, su aporte fue en el proceso. Hay similitudes con el trabajo de Taylor al preocuparse por resolver el problema de la eficiencia, pero difiere en el objeto, esto es, se centra en la organización más que el individuo como fuente de soluciones (Torres, 2014).

En la teoría burocrática de Max Weber, también centrada en la organización, el principal actor es la burocracia que se encarga de organizar y controlar el proceso de producción mediante un sistema jerárquico (Weber, s.f.). Este autor incorpora elementos de los enfoques anteriores como la especialización del trabajo de Taylor y la organización como fuente de soluciones de Fayol.

La segunda escuela o neoclásica está conformada por autores como Elton Mayo y su investigación sobre las relaciones humanas, con la que le da un giro a la percepción de la organización. Este autor centra su propuesta en el individuo al tomar en cuenta la parte social, el trabajador deja de ser un engrane más, las características intrínsecas como el liderazgo así como las relaciones sociales entre los miembros toman el papel central del análisis (López, Díaz y Robledo, 2013)

Mary Parket Follet fue otra teórica de esta escuela, sus estudios se concentraron en la influencia del proceso en la interacción de las personas, las cuales deben buscar un bien común superior a la suma de los intereses individuales. Dicho objetivo es determinado por un proceso complejo, en donde el conflicto entre las personas estimula la toma de decisiones de manera racional (Domínguez y García, 2005).

Otro aporte en esta corriente fue la realizada por Abraham Maslow con su pirámide de las necesidades, la cual consiste en clasificar las necesidades humanas de acuerdo al tipo de satisfacción, teniendo que cumplirse de abajo hacia arriba para poder alcanzar un desarrollo pleno del ser humano. En la parte inferior se encuentran las necesidades físicas y conforme asciende se pasa por las psicológicas hasta llegar a la autorrealización (Robbins y DeCenzo, 2009).

La teoría motivacional o de los dos factores de Frederick Herzberg también se incluye en este grupo, ésta señala que dentro de la organización hay factores de satisfacción (motivadores) e insatisfacción (factores higiénicos), que pueden o no motivar al mejor desempeño de las personas. Los esfuerzos de la gerencia no deben quedarse solamente en disminuir la insatisfacción (mejoras salariales, jornada de trabajo, etc.), también debe considerar cuestiones como la realización personal y el reconocimiento al desempeño (Manso, 2002).

Otro aporte a este enfoque lo realizó Douglas McGregor al establecer una diferencia entre dos tipos de motivaciones en los miembros de la organización, la teoría X y la teoría Y, en la primera a la gente no le gusta trabajar por lo que hay que obligarlo y controlarlo, mientras que en la segunda hay que darle más peso al interés de las personas, la adquisición de responsabilidades es una fuerza que motiva al mejor desempeño. De esta manera los directivos pueden elegir tomar una u otra dependiendo el objetivo de la organización (Guevara, 2008).

Pero además del énfasis en la persona, Chester Barnard hace hincapié en las funciones que desempeña el individuo, así como en el tipo y la calidad de las interacciones, explica la forma más eficiente para el desarrollo de la organización. De esta manera, fusiona la interacción de la persona al interior del grupo con sus funciones, lo que determina el rumbo de la totalidad (Pérez, 2002)

En esta perspectiva se encuentra la teoría general de sistemas de Ludwig von Bertalanffy, que parte de la idea de la organización como un sistema, formado por elementos que se unen para alcanzar un resultado común (equifinalidad), de mayor tamaño que la suma de sus partes (sinergia), dicha agrupación tiene diferentes grados de complejidad y puede ser abierto o cerrado (complejidad). La organización es un sistema abierto complejo que se desenvuelve en

un entorno del cual toma la energía necesaria para mantener su equilibrio (homeostasis), y contrarrestar la fuerza que lo impulsa a su estado más probable, el caos (entropía) (Bertalanffy, 1976).

Los psicólogos Daniel Katz y Robert Kahan se mantuvieron dentro de este enfoque al considerar al sistema como sociotécnico y lo dividen en subsistemas que interactúan para mantener la organización del mismo. Asimismo mencionan que los procesos se repiten a lo largo del tiempo por lo que es posible analizar su funcionamiento para predecir su desempeño (Aguilera, 2005).

Freemont E. Kast y James E. Rosenzweig retoman la visión sistémica y le añaden otro elemento que no consideraron anteriormente, la interacción que tiene con su entorno a pesar de no formar parte del mismo. En otras palabras, amplían lo enunciado por Katz y Kahan, además, agregan la necesidad de estudiar la incidencia del medio para conocer su impacto en la organización (Marín-Idárraga, y Cuartas-Marín, 2014).

Otros enfoques fusionan o modifican estas posturas teóricas, como el de James March y Herbert A. Simon quienes analizaron a la organización concentrados en el comportamiento de las personas, modificaron el modelo burocrático de Weber al darle menos peso a la estructura jerárquica vertical y más a la horizontalidad creada por acuerdos entre patrones y empleados, los cuales son los que determinan el objetivo común (Estrada, 2007).

Philip Selznick en 1948 propone otra manera de analizar a la organización, mediante la ampliación de la teoría burocrática de Weber al señalar que dicho grupo no tiene que ser rígido, sino que puede ser flexible para poder adaptarse al contexto en donde se desarrolle y a la organización de la que se trate, de esta manera, se reducen los conflictos que se pueden llegar a generar (Petrella, 2007).

La teoría del desarrollo organizacional de Kurt Lewin, retoma a la organización como centro de las soluciones, propone clasificar al proceso de cambio en tres fases, así, el proceso de modificación debe comenzar en el estrato gerencial y permear al resto, no debe quedar fuera para surta efecto (Martínez, 2005).

El último de los enfoques que se incluyen en esta escuela es el desarrollado por Slater Burns, y Child Woodward, quienes mediante la teoría de la contingencia llegaron a la conclusión de que no hay una forma única de organización, ya que el modelo idóneo depende del contexto en el que se desarrolle (Tovar, 2009). Dentro de esta incertidumbre, la tecnología también es un agente de cambio, los efectos de su implantación no pueden ser controlados por lo que hay que estar preparados para adaptarse a la nueva situación.

La tercera de las corrientes de pensamiento es la conocida bajo la escuela moderna en donde podemos mencionar a los trabajos de Michael T. Hannan y John H. Freeman, los cuales en 1977 dieron a conocer su teoría de las poblaciones ecológicas. Dicho trabajo habla sobre la influencia que ejerce el entorno en las organizaciones, el medio es el que selecciona a las poblaciones que van a subsistir, por lo que deben estar en constante cambio para evitar el fin de la misma (Garcilazo, 2011).

Paul J. Di Maggio y Walter W. Powell trabajaron desde el punto de vista sociológico para discernir sobre el origen de las organizaciones, el cual lo consideran a partir de las interacciones entre las personas, es decir, es un constructo social que no puede ser generado por una estructura rígida definida por un individuo, por tanto, el grupo se crea a partir de la práctica generalizada de un conjunto de actividades al que denominan institución (Vergara, 1994).

Este modo de ver a la organización se le conoce como la teoría institucional, dentro de ella hubo otra vertiente encabezada por John W. Meyer y Brian Rowan, quienes desarrollaron la visión de que el reconocimiento es necesario para la existencia de un grupo. Dicha legitimidad es dada por el entorno, no por un conjunto de normas o reglas preestablecidas o por la presión ejercida por sus miembros, por lo que la búsqueda de tal aceptación es el objetivo principal (Restrepo y Rosero, 2002).

Dentro de la corriente moderna se encuentra otro enfoque de la organización, en donde el objetivo de la empresa es disminuir sus costos como medio de eficiencia, hace a un lado el entorno, la motivación o la incertidumbre. Oliver Williamson diseñó la Teoría del costo de transacciones para explicar el origen de las denominadas firmas, que son agrupaciones que se estructuran de manera vertical y rígida para mejorar su eficiencia operativa (Salgado, 2003)

En este orden de ideas, cabe mencionar el modelo creado por Jay Barney, el cual consiste en 4 partes conocidas con el acrónimo VRIO (Valioso, Raro o escaso, Inimitabilidad y Organización), es decir, para que una empresa tenga éxito necesita reunir recursos con ventajas. Es decir, la teoría de los recursos y capacidades integra estos elementos al análisis para generar una alternativa de carácter económico (Castillo y Portela, 2002).

También se desarrolló la Teoría de la agencia, en donde Richard P. Rumelt, Dan Schendel, y David J. Teece propusieron que la organización se divide en dos partes (directivos y accionistas), tienen intereses diferentes ya que una busca prestigio, poder o dinero, mientras que la otra sólo le interesa el beneficio económico. De esta manera, se crea una relación asimétrica en donde los principales delegan en agentes ciertas funciones lo que los limitan en el acceso a la información y hace que pongan especial atención en que los intereses de la empresa no se vean influenciados por los propios de los agentes (Vara y Vázquez, 2011).

Llegados a este punto, Ali Bulent Cambell en 1993 publicó su investigación sobre la teoría del caos determinista, consideraba a la organización como un sistema complejo en donde el libre albedrío no existía, el resultado final ya está decidido pero puede modificarse el camino hacia él dependiendo la alternativa que se tome (efecto mariposa). De esta forma, Cambell menciona la sensibilidad del sistema como fuente de cambio por lo que el nivel de incertidumbre es elevado, a pesar de esto, también menciona que el conocimiento de la complejidad de la organización estimula a que los encargados se preparen de tal manera que puedan hacer mejores pronósticos (Cornejo, 2004).

El químico ruso Ilya Prigogine aportó otra visión sobre el objetivo de la organización con su teoría de los sistemas alejados del equilibrio, es decir, el equilibrio no es la finalidad que se busca, ya que no es posible puesto que al ser un sistema abierto, dinámico y no lineal, la empresa se adapta al contexto para mantener el suministro de energía, que lo aleja poco a poco de la condición de equilibrio inicial y lo lleva a un nuevo punto, temporalmente, ya que el proceso es recurrente, la dirección de la organización fluctúa a través del tiempo (Manrique, 1987).

Asimismo, Stuart Kauffman en 1995 dio a conocer su teoría de los sistemas complejos adaptativos, en este sentido, se mantiene en la no linealidad de la organización además de la incertidumbre, pero agrega el proceso de aprendizaje en la empresa como mecanismo para mantenerse en constante evolución. El entorno ejerce su influencia, pero es cambiante, por lo que las relaciones entre los elementos del sistema también se modifican para adaptarse (Alfaro-Castillo, González, y Álvarez-Marín, 2013).

Por último, Humberto Maturana y Francisco Varela se inclinaron por el análisis del individuo y encontraron que tiene la capacidad que denominaron como autopoiesis, dicho término viene del griego y significa autoproducción, por ende, la persona es considerada como productora y producto. Así, el sistema está determinado por sus elementos, los cuales tienen la capacidad de modificar sus interacciones, las cuales determinarán el rumbo de todo el sistema. Además, el análisis expone otra característica, la cualidad del sistema para reconstruirse, agregar o quitar partes para adaptarse a las necesidades de sus elementos (Tovar, 2009).

A manera de resumen, en la tabla siguiente se clasifican los diferentes enfoques, teorías, principales exponentes y sus aportaciones, de la literatura consultada:

Tabla 1.1 Clasificación de las diferentes corrientes dentro de la teoría de la organización

ENFOQUE	TEORÍA	REPRESENTANTE	APORTACIÓN
Clásico	Científica	Town, Taylor, (1900)	La organización permite medir el esfuerzo individual.
Clásico	Funcional	Fayol, Henry (1916)	La organización está basada en una distribución de funciones, que se subdividen en subfunciones y procedimientos, los cuales a su vez son desarrollados por uno o más puestos.
Clásico	Burocrática	Weber, Max (1924)	La organización tiene reglas claras y racionales, decisiones impersonales y excelencia técnica en sus empleados y gestores.
Neoclásico	Relaciones Humanas	Mayo, Elton (1920); Follet, Mary Parket, Maslow, (1954); Herzberg, Frederick (1966); McGregor,	La organización considera e integra a las personas que la hacen funcionar.

		Douglas (1957)	
Neoclásico	Sistemas Cooperativos	Barnard, Chester (1938)	La organización asegura la cooperación de los miembros que la conforman, mediante un trato justo y beneficios recíprocos.
Neoclásico	General de Sistemas	Bertalanffy, Katz y Kahan, Kast y Rosenzweig	La organización coordina armónicamente los diferentes subsistemas que definen el sistema organizacional.
Neoclásico	Comportamiento	March y Simon, (1961); March, (1965); Simon (1979 y 1984)	La organización permite que los empleados de todos los niveles tomen decisiones y colaboren en el cumplimiento de los objetivos, de acuerdo a su nivel de influencia y autoridad.
Neoclásico	Desarrollo Organizacional	Lewin, Kurt y McGregor, Douglas	La organización promueve el cambio planeado basado en intervenciones, en las que la colaboración entre distintos niveles organizacionales es posible.
Neoclásico	Contingencia	Burns, Slater, Woodward, Child	La organización depende de la tecnología, tamaño y medio ambiente.
Moderno	Población Ecológica	Hannan y Freeman, (1977, 1984)	La organización consigue adaptarse al entorno y seguir operando con eficiencia.
Moderno	Institucional	Di Maggio, Powell, (1983); Meyer, Rowan, (1977)	La organización considera e integra a las personas que la hacen funcionar.
Moderno	Costo de Transacciones	(Williamson, (1975, 1985)	La organización minimiza los costos de transacción.
Moderno	Recursos y Capacidades	Barney, (1991)	La organización gestiona más racionalmente sus recursos y capacidades.
Moderno	Agencia	Rumelt, Schendel y Teece, (1991)	La organización crea los mecanismos que previenen que el agente actúe a favor de sus propios intereses y lo premia si actúa a favor de los intereses de la organización.
Moderno	Caos Determinista	Cambell, (1993)	La organización gestiona la variabilidad caótica de la organización a través de su complejidad.

Moderno	Sistemas Alejados del Equilibrio	Prigogine	La organización puede adaptarse y auto-organizarse.
Moderno	Sistemas Complejos Adaptativos	Kauffman, (1995)	La organización permite ajustes continuos de sus elementos entre sí y con su entorno.
Moderno	Autocriticabilidad Organizada	Maturana y Varela, (1980)	La organización que crea una red de procesos u operaciones que pueden crear o destruir elementos del mismo sistema, como respuesta a las perturbaciones del medio.

Fuente: Elaboración propia adaptado de Tovar, 2009.

De entre las diferentes formas de aproximarse al estudio de la organización, para analizar la influencia que ha tenido la estructura de la aviación comercial de México en su consumo de turbosina se tomaron dos enfoques para contrastar la situación. En primer lugar, el burocrático para determinar el estado actual de la organización aeroportuaria en México, y el de los sistemas complejos adaptativos como una alternativa para contrastar dicha manera de funcionamiento del sistema de transporte en México.

1.1.1.- Teoría Burocrática

Max Weber concibió la forma de organizar a la empresa de tal manera que se pudiera resolver el problema del control de la producción, para lograrlo, propuso una estructura jerárquica donde existen dos elementos principales, uno para supervisar a otro que sigue las indicaciones emanadas del grupo con el control. En la práctica, este modelo se encontró con un problema causado por la toma de decisiones vertical, dado al alargamiento del tiempo de respuesta, por lo que una vez que regresaba la respuesta, probablemente ya había cambiado el problema inicial. Además, hubo quienes criticaron este enfoque debido a que la individualidad de las personas es suprimida al ser incorporada como un engrane de la organización (Martínez, 2005).

En este sentido, uno de los principios teóricos es que mediante una remuneración económica pactada se puede adiestrar a una persona para que realice una actividad de forma

preestablecida, pero para ello se le debe capacitar de manera detallada. Además, mediante la supervisión estricta de dicho comportamiento se garantiza que se mecanice, por lo que se evita cualquier interferencia producto de las emociones del empleado. Según Petrella (2007), fue una manera de hacer más racional la producción mediante el uso de controles que eliminaran el libre albedrío de los trabajadores, la finalidad es alcanzar un objetivo específico mediante la adecuación y control de los medios, de tal manera que se maximice la eficiencia en la producción.

Asimismo, se pone especial atención en el aspecto del control de los recursos humanos con el objetivo de mejorar la eficiencia en la producción y mantener un adecuado funcionamiento. Para lograrlo, se desarrolla un procedimiento estándar el cual es implantado por una estructura normativa, vigiladas por la autoridad y con el paso del tiempo, por los mismos trabajadores al establecerse como costumbre (*Ibíd*, 2007).

De esta manera, las características principales de la estructura burocrática según Weber (s.f.) son seis:

- una organización jerárquica en donde se establecen grados de autoridad,
- un grupo de reglas escritas que determinan las funciones de cada elemento de la organización,
- un objetivo específico que representa la meta a alcanzar,
- la delimitación específica de las responsabilidades de cada puesto,
- un grupo de procedimientos estandarizados para evitar la pérdida de información,
- y un mecanismo para seleccionar a los mejores candidatos para cada trabajo.

Por lo tanto, la base del modelo es una estructura rígida en donde se tiene bien delimitado cada uno de sus componentes, de tal manera que se pueda tener un control de las tareas. Con todo esto, se pretende enfocar la capacidad de decisión a la consecución de las metas organizacionales, por lo que es necesario mantener la supervisión constante, así como la capacitación (Petrella, 2007).

Con esta estructura y elementos se puede afirmar que el transporte aéreo de pasajeros en México se ha organizado mediante una estructura burocrática, en la cúspide se encuentra la

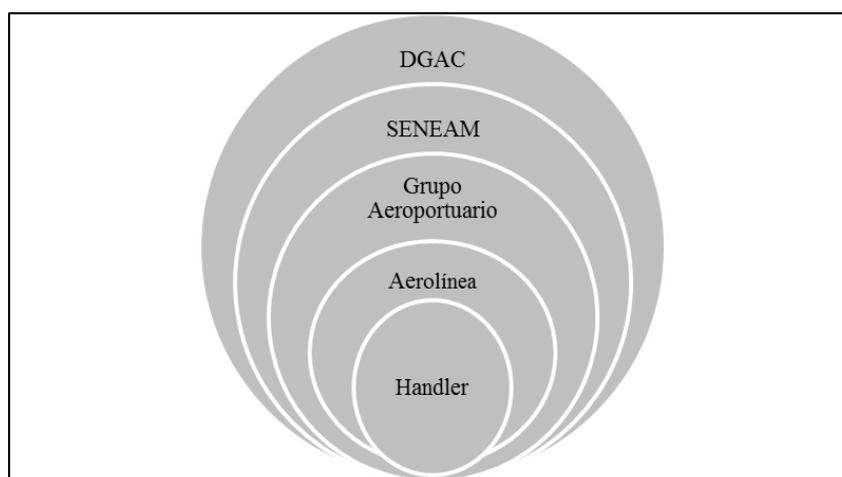
máxima autoridad, la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), institución de gobierno que se encarga de regular las actividades de todos los actores, después se encuentran los Servicios a la Navegación del Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), dependencia de gobierno encargada de controlar aerovías, pistas y calles de rodaje de los aeropuertos del país.

Pero no sólo participan entes de gobierno, el sector empresarial se incorpora a través de los grupos aeroportuarios en los edificios terminales, los cuales se encuentran privatizados como una estrategia para mejorar su eficiencia operacional (en el capítulo tres se abordará con mayor profundidad), la administración de la infraestructura, los horarios de operación y los accesos a las diferentes áreas son algunas de sus funciones principales.

En el tercer nivel jerárquico se encuentran las aerolíneas, las cuales utilizan sus flotas para satisfacer la demanda de transporte aéreo de pasajeros. Además, al final de la estructura se encuentran las empresas que le dan servicio a las líneas aéreas (*handlers*), conocidas como prestadoras de servicios a terceros, las cuales proporcionan el equipo de apoyo para cada una de las operaciones y servicios complementarios.

Como se puede observar en el siguiente diagrama, el área de influencia de cada actor se reduce conforme disminuye su nivel jerárquico y de manera inversa, el control y la capacidad de decisión aumenta en la medida en que lo hace dicho nivel.

Ilustración 1.1 .- Estructura jerárquica del sistema aeroportuario



Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.1.2.- Teoría de los Sistemas Complejos Adaptativos

El modelo de la aviación no se explica solamente con la teoría burocrática ya que la aviación comercial en el país tiene la característica de ser no lineal, es decir, no tiene una dirección definida, por lo que se necesita un esquema que tome en cuenta tal fenómeno. Ante esta situación, la visión sistémica explica la tendencia al interior de la aviación comercial, es decir, el dinamismo de las operaciones aeronáuticas hace que una multitud de entes interactúen de diferente forma e intensidad, por lo que una estructura estática resulta obsoleta ante tal situación.

En este orden de ideas, el enfoque de la teoría de los sistemas complejos adaptativos permite analizar la organización del transporte aéreo comercial en México, ya que su característica principal es la incorporación del aprendizaje como elemento catalizador del desarrollo sistémico, y utiliza conceptos de diferentes ramas de la ciencia para explicar el funcionamiento de la actividad.

De esta manera, la complejidad de la aviación comercial como sistema social hace necesario un mecanismo que le permita adaptarse a la incertidumbre del entorno para poder subsistir, de lo contrario, se estancaría, y al ser un sistema abierto¹ la entropía aumentaría con consecuencias negativas para la organización. Es decir, debido a la interacción que existe entre el sistema y su entorno para incorporar la energía necesaria que contrarreste la entropía generada, se considera al sistema abierto; cuando no existe esa interacción el sistema se encuentra cerrado, por lo que llegará un punto en el que el sistema se agote.

Al utilizar este enfoque se pretende romper con el reduccionismo científico al considerar la realidad como un todo, la objetividad se mantiene ya que el investigador es el que establece los límites sistémicos para poder partir con el análisis. Incluso, otro objetivo de esta teoría es la creación de un metalenguaje afín a todas las ciencias, por lo que la utilización de isomorfismos es recurrente para explicar la dinámica de los procesos en cuestión (Bertalanffy, 1976).

¹ “La respuesta típica de los sistemas abiertos a la intrusión de los hechos ambientales es el desarrollo o cambio de su propia estructura para alcanzar un nivel superior o más complejo” (Buckley, 1993:83-84).

Con esto, se parte del hecho que existe una equifinalidad sistémica, dado que a pesar de los diferentes rumbos que pueda tomar la organización, el objetivo es el mismo, es decir, mejorar su eficiencia al contrarrestar la incertidumbre del entorno. Esto es, la toma de decisiones marca la forma en que se desarrolla la organización, a pesar de que la meta se mantiene igual, de lo contrario, se hablaría de una multifinalidad del sistema (Buckley, 1993).

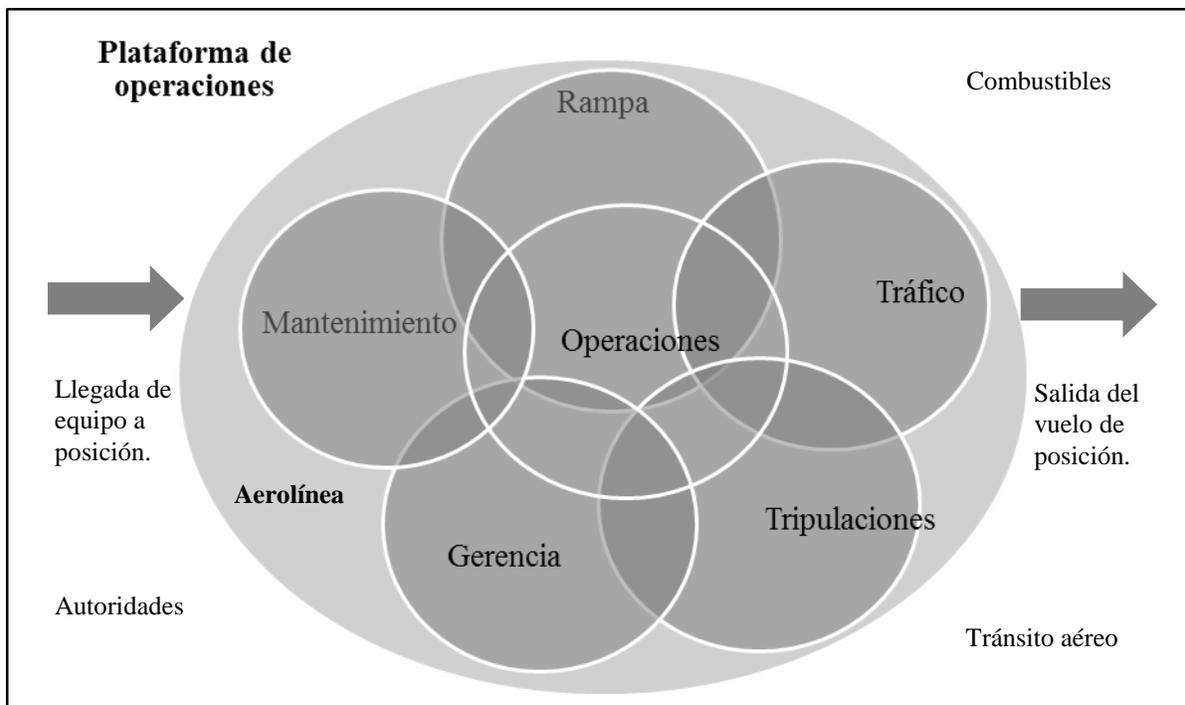
Como se explicará a detalle en el capítulo dos, el desarrollo del sistema aeroportuario mexicano ha pasado por diferentes fases desde privatizaciones, nacionalizaciones, implantación del modelo de sustitución de importaciones, apertura comercial, duopolios, oligopolios, con matices económicos, operativos-organizacionales, que han determinado la dirección a seguir, pero tienen el mismo objetivo, mantener la competitividad del sector. Por ello se hace importante el concepto de aprendizaje, para adaptarse al nuevo contexto y mantener la viabilidad sistémica, tal como lo propone la teoría de los sistemas complejos adaptativos.

Por lo tanto, para explicar la organización del transporte aéreo comercial se utilizan ambos enfoques (burocrático y sistémico), para contrastar la situación actual de la organización, con procedimientos que aumentan el tiempo de permanencia de los equipos en tierra, y proponer alternativas acordes con la realidad en la que se desenvuelven las actividades aéreas en el país, de tal manera que se disminuya el consumo de combustible.

Por ejemplo, las líneas aéreas se organizan al interior de forma sistémica, donde los diferentes elementos interactúan entre sí para alcanzar un objetivo en específico, despachar los vuelos en tiempo. A pesar de existir diversas áreas con responsabilidades definidas, no todas participan al mismo tiempo ni con la misma intensidad, dependen las características de cada operación.

Debido a la naturaleza de sus funciones, el área de operaciones se encarga de coordinar las actividades del resto del sistema, además, es el punto de contacto con el entorno (autoridades, operaciones aeropuerto, combustibles, etc.). En el siguiente diagrama se ejemplifica esta interacción sistémica de los elementos, en donde uno de ellos se encarga de coordinar las actividades del resto, se relaciona con actores al interior como al exterior de la aerolínea, y dependiendo la situación la intensidad de los demás actores puede ser mayor o menor.

Ilustración 1. 2.- Elementos de la línea aérea que interactúan durante la atención de un vuelo



Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.2.- Protección al ambiente y desarrollo sustentable

La creciente presión de la sociedad ejercida en el entorno y con la divulgación de las evidencias de los impactos antropogénicos, el interés de las personas por incluir la protección ambiental en las organizaciones ha impulsado la creación de nuevos enfoques, otras formas de mantener el crecimiento y la satisfacción de la demanda actual pero buscando la manera de hacer que la actividad sea sostenible en el tiempo.

Así, el concepto de desarrollo sustentable es visto como un término que incorpora las dimensiones ambiental, social y económica, que se define como la satisfacción de necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (ONU, 1987).

A nivel internacional, los actores encargados del transporte aéreo se han preocupado por diseñar alternativas para controlar y reducir los efectos de la aviación en el ambiente. Concretamente en lo referente al cambio climático, se elaboró una estrategia que consta de cuatro pilares: inversión en innovación tecnológica, mejorar el tránsito aéreo, nuevos procesos operacionales y herramientas de mercado que estimulen al sector (Asociación Internacional de Transporte Aéreo, 2009).

Con base en esta estrategia internacional, Latinoamérica ha concentrado sus esfuerzos hacia mecanismos de mercado, sobre todo, con medidas de mitigación. Debido a situaciones históricas, la falta de infraestructura así como las dificultades para transferir tecnología de los países más industrializados, la herramienta de mayor difusión ha sido el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), para medir las emisiones de CO₂ (Schneider y Samaniego, 2010).

De esta forma, se pueden clasificar en dos tipos de propuestas para atenuar el impacto del hombre en el ambiente, las encaminadas a la mitigación de los efectos y las utilizadas como adaptación a nuevos procesos.

1.2.1.- Adaptación vs mitigación

Dentro de la propuesta de los sistemas complejos la “adaptación” es un concepto clave, este término ha sido retomado en la problemática ambiental como es el fenómeno de la variación climática global. Los esfuerzos internacionales hicieron posible la creación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), por mencionar al de mayor relevancia, debido a la complejidad para abordar el hecho en cuestión.

La preocupación por parte de los emisores ha impulsado diferentes tipos de medidas, por lo que se toma la definición de medidas de mitigación establecida en el artículo tercero, fracción XIV del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, que las considera como “conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para atenuar los impactos y restablecer o compensar las condiciones ambientales existentes antes de la perturbación que se causare con la realización de un proyecto en cualquiera de sus etapas (Cámara de Diputados, 2014)”.

Mientras que se toma del IPCC la definición de medidas de adaptación, las cuales son “las iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático (IPCC, 2007)”. Con el paso del tiempo, se han desarrollado herramientas para medir el impacto que tiene la población en su entorno, entre ellas destaca el concepto de huella ecológica entendida como una medida de mitigación.

Se comenzó a hacer mención de este término en el trabajo de William Rees y Mathis Wackernagel en 1996, quienes lo utilizaron para calcular el tamaño de la superficie terrestre que se necesita para satisfacer las necesidades de la población, es decir, de los recursos naturales que se necesitan para producir los bienes y servicios así como la que se ocupa para asimilar los residuos generados por dichas actividades (Rees, y Wackernagel 1996).

Como tal, la huella ecológica se empleó para medir el impacto del crecimiento de la población y su demanda de bienes y servicios, aunque cabe señalar que el indicador es perfectible ya que, la huella es un promedio de lo que se necesita y existen países que tienen una población elevada pero su índice *per cápita* no lo es (Lara, Falfán y Villa, 2012), es necesario tomar en cuenta otros parámetros como la densidad de población o la superficie total para aumentar la objetividad del instrumento.

En otras palabras, el modelo se hizo para calcular las necesidades de los países desarrollados únicamente por lo que llegaron a la conclusión de que dichas naciones tenían una insuficiencia con respecto al territorio y a los recursos naturales que requieren, por lo que se ven en la necesidad de importar productos de otros países para poder satisfacer la demanda de su población (Wackernagel y Rees, 1998).

El concepto del que se habla además tiene otro significado, es decir, el tamaño de la superficie que necesita una población es directamente proporcional a la dependencia que tiene de la naturaleza. Entre más grande sea la huella, mayor es la necesidad que tiene la sociedad para poder mantener constante su ritmo de consumo (Bórquez, 2010). Por lo tanto, se puede hablar además de que una población dada puede tener mayor grado de sensibilidad a los cambios en su entorno, sin estar relacionado directamente con el tamaño de su huella ecológica.

Así, los principales contaminadores del ambiente, son los que tienen un menor grado de vulnerabilidad a los efectos de la variación climática, es decir, los cambios que se producen a causa de sus actividades no los afectan del mismo modo en que inciden en otras poblaciones, ya sea por condicionantes geográficos, tecnológicos o económicos.

Los grandes mercados de consumidores no perciben el impacto que tiene en el ambiente la producción de los bienes que demandan, mientras que en los lugares donde se lleva a cabo el proceso de transformación se quedan con los problemas de contaminación sin la infraestructura para hacerle frente. (Lara, Falfán y Villa, 2012).

1.2.2 Huella de carbono

El concepto de huella ecológica se puede desagregar en huella hídrica y huella de carbono. A pesar de ser un concepto útil para medir la intensidad del uso de los recursos, aún existen problemas en su definición, ya que la comunidad científica sigue sin tener un consenso. Para algunos es necesario continuar con las investigaciones, hay otros que consideran que la metodología utilizada está incompleta, caso similar a la esfera política, además de la falta de divulgación a la sociedad en general de los avances en el campo ambiental (Wiedmann y Minx, 2008).

Sin embargo es un concepto útil debido a que la información sobre las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera indican que a nivel mundial cerca de 24 000 millones de toneladas de CO₂ fueron generadas en 2007, entre los principales productores se encuentran los países, llamados más desarrollados, miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), con un 52% del total, también forman parte de la lista Rusia con un 14%, y China con el 13%.

Los datos señalan que los Estados Unidos emitieron cerca de 5 500 millones de toneladas, en otras palabras, casi una cuarta parte del total mundial generada por un solo país. Para Latinoamérica el principal emisor es México, con cerca de 360 millones de toneladas, lo que representa un 1% de las emisiones mundiales generadas en ese año (Doménech, 2007).

Las publicaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC), señalan que la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como el dióxido de carbono, el óxido nitroso (NO₂) y el metano (CH₄), en la atmósfera global han aumentado y se pronostica que continúen con esa tendencia, cabe señalar que la influencia de los gases no es igual (*Ibíd.*, 2007).

Debido a estas diferencias, se elaboró un instrumento con la capacidad de homogeneizar la información obtenida, de la huella ecológica se tomó la parte de los gases y sus efectos en el calentamiento global para definir a la huella de carbono, ya que es el de mayor presencia en el ambiente, la cual cuantifica las emisiones de GEI liberadas a la atmósfera global como producto de cualquier actividad. Con esto, se puede identificar el origen de las emisiones para poder diseñar medidas para controlar y reducir su generación (Observatorio para la Sostenibilidad en España, 2013)

En este sentido, la huella de carbono mide el impacto de todos los GEI que se generan en el proceso productivo y su efecto en el entorno. Representa la cantidad de emisiones en términos de CO₂, por lo que se le conoce como dióxido de carbono equivalente, que se produce con las actividades cotidianas a partir de la quema de hidrocarburos, generalmente usados para la producción de energía, la calefacción o el transporte (Schneider y Samaniego, 2010). Entonces, se desarrolló con la finalidad de medir el volumen de emisiones liberadas a la atmósfera como resultado del proceso productivo, al tomar en cuenta todas las fuentes generadoras para poder establecer mecanismos acordes con la situación (Observatorio para la Sostenibilidad de España, 2013).

La medición de la huella en la empresa abarca lo que se conoce como el ciclo de vida de un objeto o actividad, es decir, desde los insumos necesarios para crear el producto, su distribución, consumo y posterior disposición. De esta forma, se puede utilizar como un medidor ambiental y como referente para la elaboración de estrategias para mejorar el consumo de energía a nivel planetario (*Ibíd.*, 2013). También sirve como un diferenciador entre las partes que adoptan medidas para reducir el tamaño de su huella y las que no, lo que en la actualidad es apreciado cada vez en mayor medida por la sociedad, lo que se traduce en incremento de ventas y producción amigable con el ambiente.

La huella de carbono puede referirse a un producto o a una organización, si se trata del primero se considera la cantidad total de CO₂ equivalente generado durante todo su ciclo de vida, para el caso de las organizaciones se miden las fuentes directas como las indirectas desde la producción hasta la distribución (Magro, 2012). Por lo tanto, uno se refiere a un objeto mientras que el otro abarca una actividad, ambos tienen la finalidad de estimar la generación de gases contaminantes al ambiente.

Ahora bien, con respecto a la aviación comercial puede aplicarse cualquiera de las dos ya que como objeto nos referimos al vuelo como tal, desde que se cierran puertas, se quitan calzos y comienza el remolque hasta que se abren puertas después de colocarse los calzos al llegar el equipo al punto de atraque.

También puede considerarse como producto el boleto de avión, el cual implica que detrás de él hay todo un proceso para poder transportar a un pasajero de un punto a otro, por lo que existe una generación de CO₂ equivalente que puede ser medido. Como organización tenemos a las líneas aéreas y a los aeropuertos los cuales necesitan de terceros y de procesos alternos para poder atender los vuelos en plataforma, se necesita de toda una infraestructura que requiere energía, en términos de combustible, para funcionar.

Para efectos de la investigación se considera la huella de carbono de un producto, es decir, de una operación de la aviación comercial, por lo que el objeto de interés es el consumo de turbosina, a partir de que hace alto total después del aterrizaje y hasta que empieza su carrera de despegue, con respecto al ciclo de vida se toman las diferentes fases del vuelo durante su permanencia en tierra (ver detalles en el capítulo tres).

Resulta importante destacar que hay diversas formas para calcular la huella, algunas se enfocan en las diferencias de las variaciones de estimación, otras lo hacen en las referentes a los procesos productivos. Además, otra característica peculiar es que este indicador es de carácter voluntario con el objeto de distinguir las prácticas amigables con el ambiente (Bórquez, 2010).

De esta manera, existen diferentes formas de analizar la huella de carbono, según el enfoque y el objetivo del investigador, la medición puede hacerse de manera parcial si únicamente se

considera la generación directa por la quema de combustible, o de forma más elaborada si se consideran las emisiones producidas durante la creación de los insumos necesarios, el transporte del bien, su uso y la disposición de los residuos. Debido a que son diferentes gases que se generan, se tomó la decisión de unificarlos mediante el dióxido de carbono equivalente, la unidad de medida que se emplea generalmente son los kilogramos o toneladas (Wiedmann y Minx, 2008).

La comunidad científica internacional ha empujado diferentes metodologías para incorporar mediciones sobre impactos del carbono, entre las de mayor uso destacan tres: la norma ISO 14064 referente a la especificación con orientación, a nivel de las organizaciones para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (Organización Internacional de Normalización, 2006), el *GhG Protocol* que es un estándar de contabilidad y presentación de reportes para realizar un estimado de los gases de efecto invernadero resultantes de las políticas y acciones (*World Resources Institute*, 2010) y el método compuesto de las cuentas contables (MC3).

Debido a la falta de consenso de la comunidad científica, para la presente investigación se toman los principios de la propuesta por el Observatorio para la Sostenibilidad en España que es una mezcla de la ISO 14064, el *GhG Protocol* y la MC3, los cuales son: relevancia, integridad, consistencia, transparencia y precisión. Con esto, se pretende dar mayor veracidad y solidez a los argumentos y, sobre todo, objetividad al presente trabajo.

El principio de relevancia se refiere a que la información que se utilice sea representativa para el objetivo de la investigación, es decir, que los datos utilizados expliquen el fenómeno estudiado, para que el resultado sea acorde con la realidad. Para poder medir la huella de carbono de la aviación comercial de México durante el tránsito de los equipos en los aeropuertos, es necesario saber el consumo de turbosina, así como el tiempo que permanecen en plataforma, dentro y fuera de su itinerario, dichos datos fueron obtenidos a través de la autoridad aeronáutica.

El principio de integridad se cumple si se toman en cuenta todas las fuentes de emisiones, no sólo las directas. Mantener un registro de la generación de todas las emisiones por parte de las

aerolíneas y los aeropuertos es complejo, porque no se dispone de toda la información, algunas son sólo estimaciones. Sin embargo, se propone analizar toda la información disponible aunque no estén incluidas todas las fuentes. Con respecto a la investigación en curso, los datos utilizados comprenden la totalidad de los vuelos registrados de las líneas aéreas referentes a la aviación comercial de México en el periodo 2005-2017 y la codificación de demoras, para el consumo de combustible se realizan cálculos a partir de estándares con lo que se cumple este principio.

La consistencia de la huella significa que debe ser posible comparar la información a través del tiempo, es decir, que otras personas puedan corroborar la investigación o utilizarla para nuevos estudios, para lograrlo, se utiliza una metodología clara y rigurosa que puede ser contrastada en cualquier momento, los pasos a seguir se desarrollan más adelante.

El principio de transparencia se cumple si la información es presentada y publicada de forma clara, efectiva, neutral y comprensible y basada en documentación sólida, transparente y auditable (OSE, 2013). Por lo tanto, se toma la información pública disponible proporcionada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) a través de su página de internet y se da por sentado la veracidad de la misma debido a que es un órgano del gobierno federal, por lo que no se modifica el contenido de las bases de datos.

La precisión en el cálculo de la huella de carbono significa que los datos deben ser reales y no omitir información, para disminuir tanto como sea posible la incertidumbre, por lo que no se modificó la información proporcionada y los resultados son plasmados sin buscar beneficiar o influenciar en la opinión del lector.

CAPÍTULO II.- ANTECEDENTES

Introducción

A fin de entender la situación actual de la aviación comercial mexicana, en este apartado se hace un esbozo del desarrollo del transporte aéreo de pasajeros en México desde sus inicios, profundizando los momentos de mayor relevancia en términos de organización. De la misma manera, se describe el conjunto de leyes, reglamentos y normas que conforman el marco legal vigente aplicable a la aviación comercial.

Asimismo, se explica la problemática alrededor del Aeropuerto Internacional “Benito Juárez” de la Ciudad de México debido a la influencia que ejerce en el resto de los aeródromos del país debido al volumen de operaciones y pasajeros que maneja. Se abordan algunas de las alternativas propuestas por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), ya que es la dependencia gubernamental que ha realizado investigaciones para disminuir la saturación de aeropuerto.

También se mencionan los efectos sociales, económicos y ambientales de la aviación comercial ya sean positivos o negativos, con la finalidad de dimensionar los alcances de la actividad aérea. Para terminar el capítulo se aborda la respuesta de la aviación comercial ante la degradación ambiental, poniendo especial atención en el caso mexicano.

2.1.- El desarrollo del transporte aéreo de pasajeros

Con el fin de la Segunda Guerra Mundial comenzó el auge de la aviación a nivel internacional, debido a la enorme industria bélica que se había desarrollado, los países ganadores (sobre todo Estados Unidos) buscaron una alternativa para darles un uso a sus aviones. Serrano y García (2015) mencionan que se inició una estrategia para incentivar a la gente a viajar, por lo que los destinos de playa crecieron para atraer un número mayor de turistas. La reactivación de la economía mundial fue la prioridad, gracias a esto, se crearon nuevos aeropuertos y se adaptaron los existentes.

En sus orígenes el transporte aéreo estaba reservado al uso de las clases sociales más favorecidas, no obstante, los avances en tecnología aeronáutica y eficiencia operacional han permitido mayor acceso a este servicio (Benito, 2014). Para aumentar la rentabilidad de los vuelos, se incorporaron innovaciones tecnológicas como equipos de mayor envergadura y motores con mayor potencia. Así, se desarrollaron dos tendencias, por un lado equipos más grandes para transportar al mayor número posible de pasajeros y por el otro, aviones más rápidos para disminuir el tiempo de viaje (Ruiz, 2015).

En los inicios de la aviación en México, las mismas aerolíneas tuvieron que sufragar la mayor parte de los gastos para la creación y equipamiento de los primeros puertos aéreos, el equipo de apoyo en tierra, así como las radioayudas. Con el devenir de los años, se nacionalizaron los aeródromos como una medida para mantener la soberanía nacional en las vías de comunicación.

La historia de la aviación en México ha estado marcada por la intervención del gobierno, sin embargo hay una tendencia de privatización de las aerolíneas y los aeropuertos del país (Sacristán, 2006). Como resultado de una deficiente gestión de sus recursos financieros las dos empresas más antiguas en el país (Mexicana de Aviación y Aeroméxico) han pasado del sector privado al público y viceversa.

Para evitar que el sector entrara en crisis, el gobierno creó la paraestatal Cintra en 1995 (*Ibíd.*, 2006), con la finalidad de administrar a estas líneas aéreas, aunque después se privatizaron otra vez. Para el año 2000 entraron al terreno de juego formalmente las compañías de bajo costo (LCC). La entrada de estas últimas marcó un cambio en beneficio de los pasajeros con tarifas bajas, mayor oferta de vuelos y horarios.

Sin embargo, algunas aerolíneas se vieron afectadas debido a la adopción del modelo de transporte *hub and spoke*, que consiste en crear puntos de aglomeración de pasajeros en aeropuertos grandes (*hub*), a través de la conexión de aeródromos de menor capacidad (*spoke*), este modelo también se aplicó a las líneas aéreas, ya que de acuerdo al volumen de pasajeros transportados, la política había sido crear aerolíneas regionales (Aerocalifornia, Aeromar, Aerocaribe, Magnicharters, etc.), para alimentar a las troncales (Mexicana y Aeroméxico) por lo que la competencia era nula.

De acuerdo a su estructura tarifaria, las aerolíneas tradicionales le hicieron frente a las de bajo costo a través de sus filiales, lo que provocó la quiebra de las que no pudieron sostenerse debido a los

costos de operación altos (Mena, 2010), sobre todo, por el precio de la turbosina. En esta época también se privatizaron aeropuertos que hasta entonces estaban en propiedad de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) y se formaron cuatro grupos aeroportuarios: grupo del sureste, del pacífico, del centro norte y ciudad de México (Sacristán, 2006).

En el 2010 se presentó una nueva crisis en el sector con el cese de operaciones de una de las aerolíneas bandera² del país, mexicana de aviación, esta reducción de asientos ofertados afectó a miles de usuarios³ que ya tenían comprados boletos con esta empresa, principalmente pasajeros sin posibilidad de tomar su vuelo de regreso. No obstante, las demás líneas comenzaron a cubrir el espacio dejado.

Aunado a esta crisis también fue un hecho la reducción de la inversión en infraestructura para modernizar el sector debido a la problemática social del país, por lo que las empresas mexicanas se enfrentaron a una desventaja ante las aerolíneas extranjeras.

2.2.- Marco legal vigente aplicable a las demoras en México

Como resultado del auge de la aviación comercial se incrementó la emisión de gases a la atmósfera, por ello, se ha hecho necesaria la regulación de las actividades del sector. Los efectos de dichas emisiones han sido poco estudiados, como el caso de la creación de cirros⁴, aunque se estima que tienen un potencial de influencia alto en la anomalía climática actual (IPCC, 2001).

Así, se comenzaron a implementar medidas por parte de los Estados para controlar las repercusiones en el ambiente de las actividades humanas. Una de las herramientas de mayor uso por parte del gobierno para proteger el ambiente es la creación de instrumentos de carácter legal, con lo que busca regular cualquier actividad o el volumen de emisión de un contaminante en particular

2 Es un concepto empleado para designar a la empresa dominante en el país, normalmente operadas por el gobierno, para distinguirlas se emplearon los colores de la bandera en la imagen de los aviones, aunque no siempre es así, la característica principal es que sólo hay una por país, en México se generó un conflicto para definir cuál de las dos era (mexicana o aeromexico).

3 Entre 2005-2010 transportó el 16% de los pasajeros mientras que aeromexico manejó el 20% (DGAC, 2018).

4 La investigación aún continúa, el IPCC sólo ha realizado un índice de grado de comprensión científica acerca de la fiabilidad del cálculo, que implica factores tales como los supuestos necesarios para evaluar el forzamiento, el grado de conocimiento de los mecanismos físicos/químicos y las incertidumbres que rodean el cálculo cuantitativo (IPCC, 2001).

mediante la creación de normas, las cuales se aplican de manera equitativa para todos los actores ya que no son flexibles (Rodríguez, 2003).

Para el caso de la aviación, a nivel internacional existen diferentes propuestas, entre las que destacan las de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), que se pueden clasificar en 4 ramas, a saber: innovaciones en tecnología, mejoras en procedimientos operacionales, medidas basadas en instrumentos de mercado y desarrollo de combustibles alternativos (SCT, 2015).

El marco normativo que regula el uso y aprovechamiento del espacio aéreo mexicano consta de 12 leyes, 12 reglamentos y 18 Normas Oficiales (ver anexo 1), de acuerdo a la Dirección General de Aviación Civil (DGAC, 2017) de México, el cual no establece si es de manera enunciativa o limitativa, lo cual deja el espacio abierto para la incorporación de nueva regulación ambiental.

A pesar de ser un grupo nutrido de leyes, normas y reglamentos, las de mayor injerencia son cuatro: la Ley de Aviación Civil y su reglamento así como la Ley de Aeropuertos y su reglamento, ya que el resto norman sólo partes de la actividad en cuestión (función pública, ingresos, mediciones, etc.), mientras que en estas cuatro se encuentran los lineamientos empleados en las actividades aeroportuarias.

Al hacer un análisis de las normas mencionadas, se encontró como prioridad la regulación operacional de la actividad aérea, es decir, las políticas implementadas por el gobierno se centran en la parte técnica, el funcionamiento y las responsabilidades de los que quieran participar de la explotación del espacio aéreo mexicano.

Respecto a la regulación en materia ambiental, la normativa se enfoca limitativamente a mejorar el consumo de turbosina. La gráfica 2.1 señala, según la DGAC, la eficiencia que han tenido las políticas aplicadas en este rubro en el país. Sin embargo, son evidentes algunas deficiencias en las mediciones utilizadas actualmente, por ejemplo el combustible por tonelada / kilómetro transportada (CC/FTK) no es lo suficientemente específico para determinar las emisiones generadas ya que sólo considera los datos marcados en el plan de vuelo⁵ sobre la cantidad estándar de combustible utilizado para llegar de

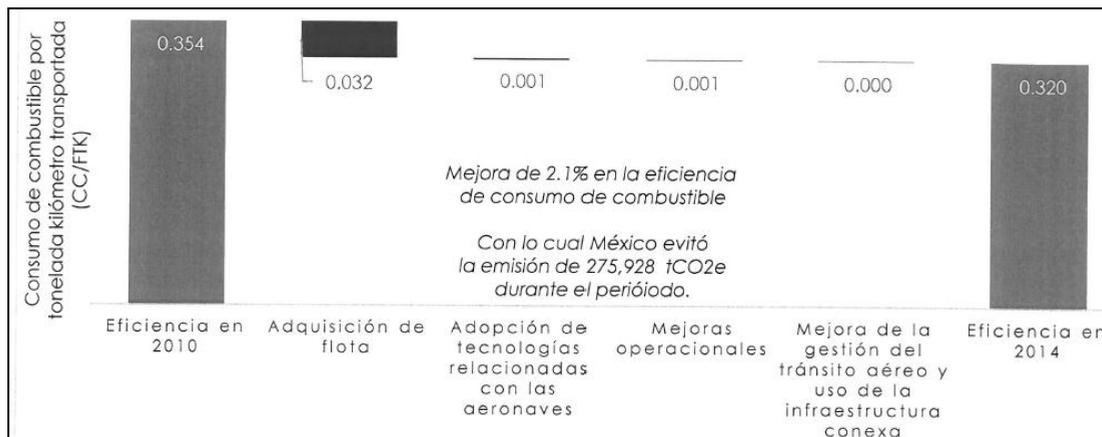
⁵ El plan de vuelo (*flight plan*) es el informe donde se indican todos los datos referentes a un vuelo. En éste, además de información técnica añadida por el piloto del avión, debe constar el lugar de salida, destino, altitud, velocidad de crucero, y todos los puntos por donde pasará la aeronave (SCT- SENEAM, 2018).

un punto a otro, no toma en cuenta las necesidades de turbosina extra (demoras en tierra, patrones de espera, mal tiempo, cambio de ruta, entre otros).

Otro aspecto a destacar es que en el periodo descrito en la ilustración, la eficiencia aumentó de .354 a .320, esto es, el consumo de combustible por tonelada/kilómetro transportada fue menor. Entre las causas se encuentran el aumento en el número de operaciones, la utilización de equipos de mayor envergadura o la introducción de mejoras aerodinámicas, por mencionar algunos ejemplos. Es decir, el origen de la mejora no está claro, por lo que hay cierta ambigüedad en la información publicada, lo que puede generar imprecisiones en las mediciones.

A pesar de ser cuatro los rubros con los que la DGAC mide la eficiencia (adquisición de flota, adopción de tecnologías relacionadas con las aeronaves, mejoras operacionales y mejora de la gestión del tránsito aéreo y uso de la infraestructura conexas), sólo el primero concentra la mayoría del avance (0.032), al no haber mejoras en las demás categorías, se puede inferir que se favorecen los esfuerzos en un sólo rubro.

Gráfica 2.1.-Mejora de la eficiencia en el consumo de combustible (2010-2014)



Fuente: DGAC, 2017.

La información encontrada sobre cumplimiento normativo en el área ambiental demuestra que la mayor preocupación ha sido la incorporación de nuevos equipos, con lo cual ha mejorado la eficiencia energética, pero esto lo que representa es la inversión que realizan las aerolíneas para disminuir sus

costos por concepto de combustible, esto es, una búsqueda de ahorro por parte de la iniciativa privada, y no la búsqueda real de políticas públicas o instrumentos normativos para la protección al ambiente.

De los 92 artículos que conforman la Ley de Aviación Civil (LAC) de 1995, sólo el artículo 76 regula la parte ambiental, pero sin mecanismos para hacer cumplir lo propuesto, ni parámetros mínimos de cumplimiento. En su capítulo XIV, este artículo establece que “todas las aeronaves que sobrevuelan, aterricen o despeguen en territorio nacional deberán observar las disposiciones existentes, especialmente con respecto al tema del ruido y las emisiones de gases” (Secretaría de Gobernación, 2006). Cabe señalar que a pesar de que se le han hecho reformas a esta ley, éstas se han enfocado sólo al aspecto recaudatorio y no han avanzado en el tema ambiental.

Tampoco se hace referencia a otros instrumentos como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), o al mecanismo de la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA). Esta desvinculación adquiere un carácter discursivo que parece enfocarse solamente a la aceptación social y el alineamiento con los objetivos internacionales publicados por la OACI.

Dentro de la Ley de Aeropuertos de 1995 en su sección X, el artículo 74 hace referencia a la parte ambiental, pero sólo “recomienda la observación de los parámetros aplicables respecto a ruido y emisiones” (Cámara de Diputados, 2016), sin adentrarse a temas como indicadores o mecanismos de cumplimiento. Tampoco hace mención sobre la legislación aplicable como es el caso de las concesiones para la explotación de los aeródromos, en donde es explícita la regulación a la que tiene que sujetarse. La característica principal es que el objeto regulado es la infraestructura aeroportuaria.

Por su parte, el Reglamento de la LAC de 1998 en su capítulo VIII dedica cinco artículos (147-151) a la protección del ambiente, los cuáles se centran en la homologación del ruido y en la certificación de las emisiones de los motores de las aeronaves (Cámara de Diputados, 2014). En este punto cabe señalar que los dos procedimientos acentúan en la innovación tecnológica, es decir, la compra de nuevos equipos.

Los artículos 147 al 150 tratan sobre la homologación del ruido y establecen que el propietario debe comprobar que sus aeronaves cumplen los límites permisibles (certificado de homologación de ruido), el artículo 151 se refiere a que el explotador aéreo debe sujetarse a la normatividad aplicable en materia de emisiones, no hace mención de la forma de utilizar los equipos o de procedimientos

estandarizados para el consumo de combustible, por lo que se podría argumentar que se queda corta con las acciones que se podrían implementar.

El Reglamento de la Ley de Aeropuertos de 2000, integra en el inciso VII del artículo 23 de manera más explícita la parte ambiental, al mencionar que se deberán observar las medidas para la conservación del ambiente de acuerdo a la normatividad existente (SCT, s.f.). Aunque hay un reconocimiento de la materia, en síntesis las medidas no pasan de ser un elemento discursivo dentro de la regulación, es decir, se percibe una falta de agudeza en la regulación ambiental dentro de la aviación comercial nacional, así como una falta de interrelación entre los diferentes instrumentos legales que deberían respetarse.

2.3.- Aeropuerto Internacional “Benito Juárez” de la Ciudad de México

La dinámica aeroportuaria incluye, además de aterrizajes y despegues de los aviones, las actividades del personal en los edificios terminales, el suministro de combustible y la operación del equipo en las plataformas para la atención de los vuelos, así como los accesos viales para los viajeros, los cuales tiene una estrecha relación con su entorno.

Para entender el área de influencia se ejemplifica con el Aeropuerto Internacional “Benito Juárez” de la Ciudad de México (MEX)⁶, el cual se encuentra ubicado al nororiente de la Ciudad de México, a cinco kilómetros del Centro Histórico: al noreste colinda con la delegación Gustavo A. Madero, al sur con la delegación Iztacalco y al norte y oriente con los municipios de Ecatepec, Nezahualcóyotl y Chimalhuacán, en el Estado de México.

Según datos del Gobierno de la Ciudad de México, el MEX cuenta con infraestructura vial para transporte público y vehículos privados, tres estaciones de Metro (Hangares, Terminal Puerto Aéreo y Pantitlán) y tres estaciones de Metrobús (Terminal 1, Terminal 2 y Pantitlán). Además, tiene cuatro vialidades de acceso directo, conectadas a la red primaria (Periférico y Circuito Interior) y a la red secundaria (Viaducto, Ignacio Zaragoza, Puerto Aéreo y Eje 4 Oriente) (Gobierno de la Ciudad de México, 2016).

⁶ El domicilio oficial es Carlos León González s/n, colonia Peñón de los Baños, en la delegación Venustiano Carranza.

Tabla 2.1.- Datos básicos del MEX

Nombre	Licenciado Benito Juárez
Ubicación	Ciudad de México
Clasificación	Internacional
Clave IATA	MEX
Superficie	780.8 hectáreas
Elevación	2,237.5 msnm
Latitud	19° 26' N
Longitud	99° 04' W
Temperatura promedio	25° C
Horario de operación	24 horas del día
Número de pistas	2
Designación Pista 1	05I-23D
Dimensión pista 1	3,846×45 metros
Designación Pista 2	05D-23I
Dimensión pista 2	3,900×45 metros
Capacidad del conjunto de pistas	55 operaciones/hora
Superficie de la plataforma comercial	459,500 m ²
Número de posiciones	65 (21 de contacto y 44 remotas)
Número de posiciones	90
Superficie del edificio terminal	107,800 m ²
Capacidad	5,450 pasajeros/hora

Fuente: Herrera, 2001.

Además cuenta con hangares para el mantenimiento de aviones, instalaciones para el suministro de combustible de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) y edificios de Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), un área de carga, las instalaciones de mantenimiento mayor (MRO⁷) de Mexicana y el edificio de ABC Aerolíneas, entre otros.

Debido al crecimiento experimentado en el MEX, se han planteado diferentes alternativas para disminuir la congestión aeroportuaria. Una de ellas busca desconcentrar los vuelos de carga, aviación comercial y aviación privada, mediante la creación del Sistema Metropolitano de Aeropuertos (SMA), conformado por el Aeropuerto Internacional General Mariano Matamoros de Cuernavaca, el Aeropuerto Internacional Licenciado Adolfo López Mateos de Toluca, el Aeropuerto Internacional Hermanos Serdán de Puebla y el Aeropuerto Intercontinental de Querétaro (Gordoa, 2016).

Así, en 2003 se puso en marcha este plan, con porcentajes de distribución de pasajeros de 77.5, 14.1, 2.7, 2.6 y 2.8 (Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C., 2017), respectivamente. Pero según datos del 2009 la redistribución no resultó como se esperaba, ya que el MEX sigue concentrando la mayoría de los vuelos con 73.3% de las operaciones, mientras que Toluca tiene el 16.8%, Puebla el 4.1%, Cuernavaca el 2.9 y Querétaro el 2.8%.

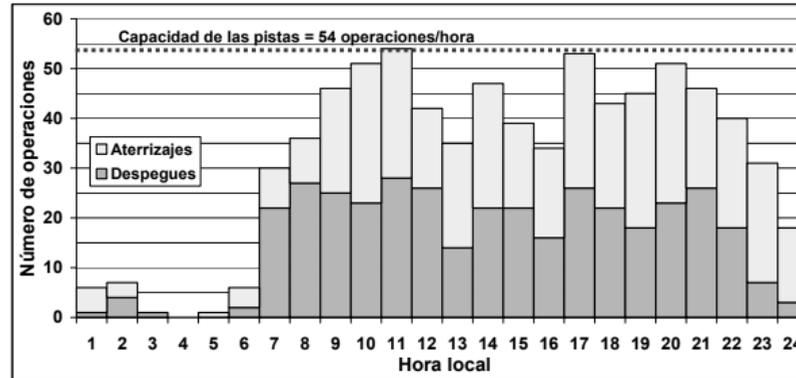
Otra alternativa que se ha utilizado para disminuir la congestión aeroportuaria es el llamado procesamiento remoto, es decir, adelantar procesos para hacer más ágil el paso por los aeropuertos de los pasajeros, lo anterior es factible siempre y cuando se garantice la seguridad de las operaciones, también es necesario considerar la dificultad que representa mantener la esterilidad de los pasajeros y su equipaje, es decir, evitar la manipulación del equipaje por personas no autorizadas durante el trayecto al aeródromo, por lo que la revisión en los aeropuertos no ha podido suprimirse.

A pesar de las iniciativas de la redistribución de la demanda, hay diferencias en el número de operaciones por hora del MEX, por lo que Herrera (2012) propone mover los horarios autorizados para las operaciones (slots) a horas con menos volumen de operaciones. Lo anterior puede hacerse mediante incentivos económicos para los horarios poco usados y sobrepagos para las horas picos, a través de la asignación directa de los horarios por parte de la administración aeroportuaria o poniendo limitantes al volumen de vuelos por hora con la finalidad de dirigir el flujo diario.

Por ejemplo, en la gráfica 2.2 se observan los horarios de mayor demanda de las 11:00 y de las 17:00 en donde se llega prácticamente al máximo de capacidad de 54 operaciones por hora entre aterrizajes y despegues. Por el contrario, hay horas en las que el volumen de vuelos es bajo, por lo que operativamente es viable una reasignación de los slots, la dificultad podría encontrarse del lado comercial por el costo que implicaría aumentar el horario de servicio de las aerolíneas, cambiar los horarios de los trabajadores, y generar la aceptación de los pasajeros a los nuevos horarios.

7 Son las siglas utilizadas en la aviación que significa *Maintenance, Repair, and Operations*, en donde se ofrecen servicios de mantenimiento mayor, de línea y de pintura, dichos centros necesitan una certificación por lo que son pocos los que existen en el mundo.

Gráfica 2.2.- Horarios de operación promedio del MEX



Fuente: Herrera, 2006.

También se han incorporado innovaciones tecnológicas así como mejoras operacionales, las cuales se refieren al uso de aeronaves más eficientes (mayor tamaño y rendimiento de los motores), según cifras de Boeing, una de las empresas dedicada a armar aviones, su equipo comercial más grande (B747) tiene un precio de 368 mmd (millones de dólares) por unidad, con una capacidad máxima para transportar a 416 pasajeros, (Boeing, 2017). Mientras que Airbus, oferta el A380, a un precio de 432.6 mmd, con capacidad máxima entre 555 y 853 pasajeros, dependiendo la configuración de las cabinas, es decir si tiene primera clase, clase ejecutiva, clase económica, clase turista, etc.

Tabla 2.2.- Características generales del Boeing B747 y del Airbus A380

Características	Aeronave	
	Boeing 747	Airbus A380
Longitud (m)	70.6	73
Envergadura (m)	59.6	79.75
Altura (m)	19.4	24.1
Capacidad (pasajeros)	416	555 a 853
Peso máximo de despegue (kg)	378,182	562,000
Radio de acción (km)	13,450	15,000

Fuente: Herrera, 2006.

En México ninguna de las aerolíneas comerciales nacionales tiene el permiso para operar con este tipo de equipos, actualmente las aeronaves utilizadas son de menor envergadura, por lo que se infiere que la limitante es el costo para incorporarlas a la flota nacional. A pesar de lo anterior, ambos tipos de aviones operan en el MEX, pero es necesario señalar que son propiedad de líneas extranjeras (Airfrance, Iberia, etc.), por lo que ha sido necesario realizar adaptaciones a la infraestructura para poder atender estos vuelos internacionales.

La tecnología también se aplica en los edificios terminales, por ejemplo la automatización de la documentación de pasajeros y equipaje mediante el uso de kioscos, las mejoras en los pasillos telescópicos y el software utilizado en la operación diaria (Herrera, 2008). Dichos avances ya han comenzado a aplicarse en el MEX, la interacción entre aerolíneas ha hecho posible el intercambio de información, aunque hay aspectos que todavía deben pulirse como es el caso de la capacitación al personal para el empleo óptimo del software.

Con respecto a los procedimientos operativos, existen diferentes ejemplos referentes a la disminución de la congestión aeroportuaria como la conectividad del aeropuerto con su entorno, la versatilidad de los mostradores de documentación, la practicidad para modificar las salas y puertas de abordaje, el uso de las reversas de los equipos para salir de posición y la reducción de la separación entre pistas (Herrera, 2006).

Por ejemplo, en 2008 Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) destinó para el rubro de infraestructura aeroportuaria de la Ciudad de México casi 1,500 millones de pesos (SCT, 2008), para hacer el distribuidor vial que conecta a las terminales. La rotación en el uso de los mostradores para la documentación de pasajeros no representa un costo significativo para las aerolíneas ya que actualmente el cobro por usarlos se realiza por hora, el cual es contemplado en la operación, sin embargo, el cambio radica en que el personal de tráfico tiene que quitar y poner sus insumos antes y después de cada vuelo, lo que puede generar problemas de seguridad en el manejo de papelería controlada.

Con el paso del tiempo, se ha modificado su uso en las salas de abordaje. Anteriormente existía la exclusividad y ahora se trabaja para optimizar el espacio y hacerlo funcional. Esto significa una reducción en el costo de operación. Un ejemplo de utilización óptima de infraestructura son los

pasillos telescópicos⁸ que también se rentan por hora o fracción a las líneas aéreas (\$1,035 la primer hora) (Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, 2017).

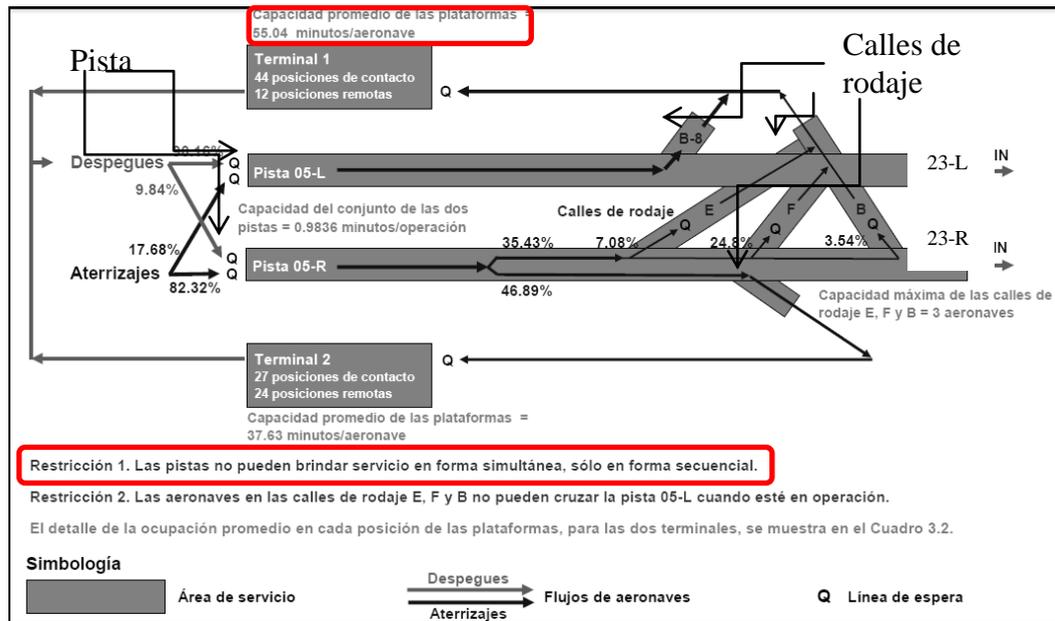
El IMT ha generado varias propuestas, entre ellas hay una para agilizar la operación de salida a través del uso de las reversas de los equipos. Sin embargo, este procedimiento además de peligroso y ruidoso, necesita de una adaptación de las posiciones de contacto ya que la fuerza generada por los motores es tal, que con facilidad puede romper cristales e impulsar objetos pesados. Esta opción pierde factibilidad porque la plataforma de operaciones es peligrosa aún con el uso actual del equipo de apoyo en tierra, y el uso de los motores tan cerca del edificio terminal complicaría el tránsito vehicular. También habría que incluir las molestias generadas por el ruido y el incremento en el combustible utilizado por operación.

De la misma manera, Herrera en el 2008 realizó un estudio de las estelas turbulentas generadas por el despegue de los aviones con la finalidad de reducir el espacio mínimo necesario en pistas paralelas, pero como se observa en la ilustración 2.1, en el caso del MEX las pistas se encuentran a una distancia corta que no permite las operaciones simultáneas, ya que entre mayor es la envergadura de las alas, mayor es el tamaño de la estela, así como el tiempo para que se disipe, por lo que una reducción en la separación mínima aumentaría el riesgo durante los aterrizajes y despegues con la incorporación de equipos como el A380 o el B747.

Se construyó un nuevo edificio terminal, con un nuevo flujo de equipos (parte inferior de la ilustración 2.1), cabe señalar que las calles de rodaje tienen una inclinación de 90° con respecto a las pistas, lo cual representa un problema (como se verá en el capítulo 5). En síntesis, se han propuesto y aplicado alternativas para mejorar la funcionalidad del MEX, pero es necesario tener en cuenta que ya no es posible realizar ampliaciones al área de las pistas y las calles de rodaje porque se pone en riesgo la seguridad de las operaciones.

8 Son los pasillos que se utilizan para conectar al edificio terminal con los aviones, los cuales no están fijos por lo que pueden cambiar su longitud, elevación y posición para adaptarse a cada tipo de aeronave.

Ilustración 2.1.- Flujo de los equipos en las pistas del AICM



Fuente: Herrera, 2012.

Por ejemplo, el riesgo se puede observar con respecto al diseño de las pistas y es que sólo del lado derecho hay calles de rodaje que unen las pistas de aterrizaje/despegue con la plataforma de operaciones, lo que dificulta el movimiento en tierra de las aeronaves ya que los edificios terminales donde se realiza el embarque y desembarque de pasajeros (T1 y T2) están hacia el lado opuesto (izquierdo). Además, en caso de haber un cambio de pista (de la 5-R o 5-L a la 23-R o 23-L), es insuficiente la infraestructura actual ya que las aeronaves tienen que utilizar la pista para moverse a la cabecera contraria, dar la vuelta y realizar su carrera de despegue, por lo que afectan al resto de la secuencia.

2.4.- Los efectos de la aviación comercial

El transporte aéreo es un poderoso elemento de creación de empleo (desde puestos de trabajo directos, fabricantes de material, hasta explotadores de infraestructuras, entre otros), además de contribuir a actividades como es el turismo (Benito, 2010). Se evidencia que el mantenimiento del beneficio

económico es el motor de las políticas implementadas, sin embargo las organizaciones internacionales que regulan esta actividad empiezan a incorporar el apartado ambiental.

De acuerdo a datos económicos, a nivel mundial se pronostica un crecimiento de la demanda de servicios aéreos de entre 4.5 y 5%, el cual es superior al crecimiento mundial económico esperado de entre 2.5 y 3%. Esto podría suponer que los viajes familiares y de ocio aumentan más de prisa que los vuelos de negocios (Benito, 2014).

Para analizar los impactos de la aviación comercial, primero hay que determinar el efecto que tiene en la sociedad, la economía y el ambiente. Debido a su naturaleza, medir sus efectos no es fácil, debido a que hay efectos que aún no se tiene la certeza de su intensidad como el caso de las estelas de condensación⁹, pero hay otros con los que se puede inferir su impacto.

2.4.1.- Efectos sociales

El transporte comercial de pasajeros por vía aérea ha crecido considerablemente en los últimos años según datos de fuentes internacionales como la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, 2016), la Organización Mundial del Comercio (OMC, 2016) y nacionales como el Banco Nacional de Comercio Exterior (Bancomext, 2016) y la Secretaría de Energía (SENER, 2011).

Uno de los propósitos de la creación de infraestructura aeroportuaria ha sido incentivar a la economía local y desarrollar nuevos polos económicos (Germà y Fageda, 2006), su propósito es crear empleos donde la calidad de vida local se modifica al compartir los servicios que se llevan a los edificios terminales, durante la construcción de las instalaciones y en la operación de las mismas. Además, se incentiva indirectamente la creación de obras secundarias que benefician a la población local como escuelas, centros de salud, carreteras, alumbrado público, agua potable y alcantarillado.

Pero la aviación comercial también tiene efectos negativos en la calidad de vida de la sociedad. Como ejemplo destaca el ruido provocado por las aeronaves, el cual es el problema más percibido por

⁹ Son nubes de hielo, que eventualmente surgen con el paso de los aviones, es un fenómeno de condensación del vapor de agua producto de las emisiones de los motores, sobre todo en la fase de crucero, según estudios del IPCC hay una relación entre las estelas y la formación de cirros, por lo que pueden tener un impacto en la variación climática global (Agencia Estatal de Meteorología, s.f.).

la población; se provoca contaminación auditiva y vibraciones que generan molestias en las personas que habitan las cercanías de los aeródromos (Martínez y Peters, 2015), por lo que las líneas aéreas han invertido en equipos con menores emisiones sonoras, incluso la regulación internacional también ha ayudado a restringir el uso de aviones que producen altos niveles de ruido.

Asimismo, las afectaciones provocadas por el ruido también repercuten al interior de las instalaciones, se impacta la calidad de vida de los trabajadores expuestos a la contaminación acústica, desde problemas como la pérdida de la audición, cefaleas crónicas, trastornos de la presión arterial y del ritmo cardiaco, la posibilidad de sufrir infartos, la interferencia con la comunicación oral, alteraciones del sueño, estrés e irritabilidad, daños psicofisiológicos y disminución de la capacidad de concentración, aprendizaje y rendimiento (*Ibíd*, 2005).

Hay otros aspectos que también se han estudiado como el tecno-estrés que provoca la disminución en la productividad de los trabajadores, Aftab (2015) señala que hay tres elementos de la tecnología que afectan a las personas: la complejidad, la incertidumbre y la sobrecarga, ya que la velocidad de los avances es diferente a la comprensión humana y genera nuevos procesos que se acumulan negativamente en la mente de las personas. Es necesario tomar en cuenta la parte social, el manejo de la consciencia situacional de las tripulaciones y del personal en tierra, además de la implementación de innovaciones en los equipos.

Otro aspecto a considerar, es la creencia de que las personas que trabajan en el aeropuerto son remuneradas con ingresos altos, por lo que tienen una capacidad adquisitiva elevada, sin embargo esto no sucede, en realidad hay puestos con remuneraciones similares a las de una maquila, por lo que se puede generar un incremento en el precio de los servicios (renta de vivienda, alimentación, etc.), que no corresponde con la capacidad adquisitiva real de los trabajadores.

2.4.2.- Efectos económicos

Aunque existan avances en materia de eficiencia energética, el origen del esfuerzo internacional no es la protección del ambiente o la disminución de la emisión de gases contaminantes, la finalidad de las empresas y Estados es la maximización del beneficio económico. La aviación comercial actualmente

tiene un peso importante en la configuración de la economía de los países, y puede tener efectos benéficos en la protección del ambiente si se desarrolla una estrategia integral al involucrar a los diferentes actores, que supere el actual esquema voluntario donde el pasajero es el que absorbe el costo de las medidas aplicadas.

También, las relaciones comerciales entre países y personas se estrechan, al facilitar el transporte de mercancías, entre dos puntos distantes sin afectar la calidad de los productos. Los viajes de negocios y familiares se beneficiaron al haber mayor oferta de horarios para trasladarse, dicha mejora impulsa además el desarrollo de las actividades turísticas ya que se genera una cadena de servicio, donde a mayor número de visitantes, se demandan más infraestructura y servicios para satisfacer la creciente demanda, lo que a su vez se traducirá en el aumento de la derrama económica (Rodrigo y Ruíz, 2012).

Un elemento negativo es la inflación en el precio de los bienes producto de la nueva actividad económica, lo anterior es un problema recurrente y, hasta cierto punto crónico de las localidades, ya que se da un fenómeno de especulación donde las propiedades aumentan de valor y en la mayor parte de los casos la población local es obligada a cambiar de área ya que se vuelven exclusivas (hoteles, comercios, entre otros).

En algunos casos, los proyectos de construcción de infraestructura aeroportuaria se asocian con la idea de mayores ingresos en el lugar, es decir, los comercios locales buscan la forma de captar parte de la derrama económica generada a través del incremento en el precio de los bienes, pero esta derrama es desigual y afecta a la población local ya que no todos los habitantes participan en la actividad aeroportuaria (Benito, 2014).

Los beneficios que trae consigo la aviación comercial, como la mejora en la conectividad entre ciudades o la mejora en la infraestructura local, son opacados por los efectos perniciosos que también conlleva, como el aumento en el costo de vida, ruido, vibraciones, emisiones al ambiente, entre otros.

2.4.3.- Efectos ambientales

El sector aéreo incorporó la importancia de la protección ambiental en su estructura, los organismos internacionales, como la OACI y la IATA, establecieron políticas para reducir la emisión de gases contaminantes como inversión en nueva tecnología, infraestructura más eficiente, operaciones más efectivas y medidas económicas de mercado positivas (Serrano y García, 2015). Lo anterior es una respuesta económica para solucionar un problema ambiental, además de que el objetivo es aminorar el efecto en lugar de buscar la disminución en el consumo de combustible.

Los motores de los aviones durante la combustión generan gases como: dióxido de carbono (CO_2), óxidos nitrosos (NO_x), sulfatos (SO_x), vapor de agua y hollín; los cuáles mediante reacciones químicas generan compuestos nocivos para la atmósfera (excepto el CO_2 , que es perjudicial *per se* y el H_2O que debido a las diferentes temperaturas se condensa para formar cirros): metano (CH_4), ozono troposférico (O_3), aerosoles y partículas. Estos compuestos contribuyen a aumentar el potencial radiativo (RF) del clima ((Lee *et al.*, 2009b), por lo que es necesario regular dichas emisiones (Molina *et al.*, 2009).

Aunque la aviación no representa un porcentaje muy alto (entre el 3.5 y el 4.9%) del total de emisiones antropogénicas, pero si se considera el pronóstico mencionado de un incremento en el tráfico aéreo de entre el 4.5 y 6% anual durante los próximos 20 años (Lee *et al.*, 2009b), el impacto se magnifica. Es necesario avanzar en los estudios que proponen el uso de nuevas tecnologías en los equipos para mejorar el rendimiento de combustible, así como en medidas para reducir estas emisiones y las mejoras en la aerodinámica para contrarrestar el volumen futuro de pasajeros.

También, es importante buscar otras alternativas en combustibles que promuevan mayor eficiencia en la administración del tráfico aéreo, como prácticas operacionales amigables con el ambiente (Lee *et al.*, 2009a), por ejemplo el uso de un solo motor para remolques y rodajes prolongados¹⁰, de plantas eléctricas (GPU) para sustituir la Unidad de Potencia Auxiliar (APU), el cierre de puertas de la aeronave cuando hay demoras prolongadas, entre otros.

¹⁰ En la jerga aeroportuaria se utiliza como sinónimo rodaje, carreteo o taxeo prolongado para referirse al tiempo extra que permanece el avión en tierra después de terminar el remolque o *push back* de la posición de atraque, a partir de que el equipo de apoyo en tierra se desconecta de la aeronave hasta que le autorizan entrar a la pista para iniciar su carrera de despegue.

Además de las emisiones señaladas, es relevante mencionar el cambio del uso de suelo para la instalación de los aeródromos, que en algunos casos, debido a la orografía del lugar ha desplazado la actividad económica de primaria a terciaria. Es decir, los habitantes han dejado las actividades agrícolas a un lado para dejarle el lugar al sector servicios, ya sea de manera voluntaria o por expropiación del gobierno, como el caso del Aeropuerto Internacional de Bahías de Huatulco en donde se reacomodó a la población y sus actividades para poder construirlo (Orozco, 1992).

Cabe mencionar las afectaciones por la disposición de residuos generados durante las operaciones como: derrames de combustible, líquidos hidráulicos, aceites, aguas negras, líquido anti-hielo y residuos sólidos orgánicos e inorgánicos. Éstas no incluyen las generadas por el equipo de apoyo, por ejemplo, en el edificio terminal e instalaciones aledañas que también aumentan los impactos de la actividad aeroportuaria. La falta de vigilancia en relación a la regulación vigente puede provocar la contaminación de los suelos y los cuerpos de agua cercanos, lo que repercute además de manera directa en la calidad de vida de las personas en los alrededores de los edificios terminales.

También se perciben efectos negativos en el paisaje, debido a que las actividades aéreas han alterado el entorno. Por ejemplo, el cambio de las rutas de aves migratorias, la tala de bosques y la compactación del suelo para la construcción de pistas, la desecación de ríos y lagos, la eliminación de especies animales nocivas para la aviación y de su hábitat.

Por último, la contaminación del ambiente local por las emisiones generadas por los motores de los aviones afecta a la población, sobre todo, a los trabajadores que están expuestos a los gases emanados en las operaciones. Las emisiones de la aviación son de carácter local en cuanto a que afectan el área que rodea a los aeropuertos, sin embargo debido a las leyes de la física, su movimiento es hacia alturas superiores donde se mezclan con otros gases e interactúan con el sol y el viento, por este motivo, los gases contaminantes también se consideran como efectos globales junto con el consumo de energía.

Respecto al consumo de energía, la aviación consume cerca del 12% del combustible fósil empleado en transporte, en 2010 el abastecimiento fue de 286, 000 millones de litros de queroseno con un costo de 139, 000 mmd (Rodrigo, 2012). En México el transporte carretero es el mayor consumidor de combustible por la cantidad de vehículos, el transporte aéreo tiene el consumo más

intensivo de energía con un número comparativamente reducido de aeronaves, cerca de 7000 en total, de las cuales, poco más de 300 son para la aviación comercial regular (DGAC, 2017).

Por equipo es necesaria una cantidad elevada de turbosina para su funcionamiento. Y aunque la industria aeroespacial ha desarrollado motores que reducen su consumo, debido al creciente volumen de aeronaves en circulación, la demanda de derivados del petróleo sigue a la alza. La eficiencia energética quizá sea el área de mayor desafío de los fabricantes de equipos y de las aerolíneas ya que según estudios realizados, el gasto en combustible puede llegar a superar el 30% del costo de operación (*Ibíd*, 2012).

En la práctica, los esfuerzos ambientales reales son de carácter compensatorio. Se centran en la implementación de aportaciones voluntarias para la siembra de árboles que capturen el carbono emitido. Es importante señalar que se realizan los primeros vuelos con bioturbosina (en 2011 Interjet realizó el primer vuelo a nivel nacional y Aeroméxico hizo lo propio a nivel internacional). Sin embargo, han sido ejemplos aislados ya que al ser voluntarios unos y costosos otros, la aceptación por parte de los consumidores aún no es favorable.

Actualmente, existen en el país diferentes iniciativas para investigar y desarrollar combustibles no fósiles. Por ejemplo, ASA con apoyo del Consejo nacional para la Ciencia y la Tecnología (CONACYT), han implementado programas en Chiapas y Veracruz para la fabricación de bioturbosina a partir de la planta *jatropha curcas*. Según Sepúlveda (2012) la producción de esta planta es pequeña, su proceso consiste en que después de cosechado el fruto se le extrae el aceite con el cual se produce la bioturbosina pero es generada fuera del país, después se traslada en pipas hacia el aeropuerto donde se vaya a utilizar (generalmente el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México). En síntesis, al ser un combustible nuevo, la investigación para mejorar su uso continúa.

Otro tema que debe incluirse es la cuestión del uso del espacio aéreo. Actualmente Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) es el encargado, entre otras funciones, de autorizar los horarios de llegada y salida de los aviones (slots) en conjunto con las administraciones de los aeropuertos. Debido a la falta de infraestructura en el país, las operaciones en la mayor parte de los aeropuertos se realizan de manera visual. El uso de radar se encuentra limitado a aeródromos con el mayor volumen de operaciones como Guadalajara, Mérida, Toluca, Cd. de México y Monterrey por lo

que el espacio aeronavegable se puede hacer más eficiente, por ejemplo mediante el uso de tecnologías satelitales como el sistema de posicionamiento global (GPS).

El resultado es la saturación de los aeropuertos (principalmente en el MEX), debido a patrones de espera inducidos por las autorizaciones dadas por los aeropuertos (de manera local) que no toman en cuenta la capacidad instalada de SENEAM, lo anterior provoca un aumento en las demoras de los vuelos, que se traduce en un mayor consumo de combustible.

2.5.- La respuesta de la aviación comercial ante la degradación ambiental

En este punto es necesario hacer mención del Convenio de la OACI y sus 19 anexos, mejor conocido como Convenio de Chicago, sobre Aviación Civil Internacional de 1944, del cual emana toda la regulación aeronáutica de los países. Específicamente, los dos volúmenes que conforman el anexo 16 relativos a la homologación de ruido y a las emisiones de los motores de aeronaves respectivamente, con los cuales se institucionaliza la protección del medio ambiente.

Del cual se desprenden diferentes estrategias para hacer frente a los problemas de degradación ambiental, por ejemplo en Estados Unidos se realizaron estudios para medir los diferentes impactos de la aviación para tratar de monetizarlos (Wolfe *et al.*, 2014). Además, se ha ahondado en este estudio en la emisión de ruido, daños en el clima y calidad del aire. Se encontró que las personas mostraron mayor interés por solucionar el problema que a su parecer es más tangible, el ruido; aunque las investigación ha concluido que el daño en el clima es el que repercute en mayor grado (*Ibíd.*, 2014).

En el caso concreto de México y derivado de los acuerdos internacionales, el esfuerzo del gobierno se ha traducido en una serie de medidas para hacerle frente al cambio climático. Como la incorporación del Sistema de Gestión Ambiental, pero aún es voluntario por lo que son pocos los entes que lo han incorporado, también existe el Comité para el Medio Ambiente para la Aviación en México¹¹ (CMAAM), el cual tiene entre sus objetivos el mejorar la reglamentación en este tenor.

¹¹ Sus objetivos son tres: 1)mitigar las emisiones de ruido y concentraciones de gases de efecto invernadero producto de la aviación mexicana, 2)adaptar la Red Nacional Aeroportuaria a los efectos adversos del cambio climático y, 3)desarrollar actividades que promuevan la eficiencia energética (SCT, 2015).

Según el Plan de Acción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) 2015-2018 estas medidas se dividen en mitigación y adaptación. Las primeras se centran en la incorporación de tecnología, mejoras operacionales, del flujo de tránsito aéreo, de la infraestructura aeroportuaria, así como la implementación de combustibles alternativos. Y entre las segundas proponen reducir la vulnerabilidad de la infraestructura. También proponen medidas transversales como iniciativas normativas y de cooperación internacional.

Es importante señalar que dicho plan tiene como objetivo la reducción de emisiones de la aviación civil mexicana de alcance internacional únicamente, sin embargo es necesario que las propuestas tomen en cuenta el tráfico nacional de pasajeros, el cual es mayor, sobre todo en el número de operaciones y consecuentemente en la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero de la aviación civil mexicana, se especifica que aún no se tienen avances en materia ambiental por lo que el interés primario es identificar y generar el marco jurídico necesario que soporte las medidas de dicho plan. Con esto, se intenta dar respuesta a la falta de una política aeronáutica en el país y, sobre todo, tener una opinión pública positiva en relación a la protección del entorno.

Las líneas de acción propuestas están encaminadas sistemáticamente a promover la incorporación de innovaciones tecnológicas para mejorar la eficiencia energética funcional durante la fase *Takeoff and Landing*, es decir, entre el despegue y el aterrizaje de la aeronave, pero existen otras áreas de oportunidad como los procesos de atención de los equipos en tierra que también se deben incorporar.

La detección de medidas de mitigación de los efectos del cambio climático dentro de edificios terminales e instalaciones aeroportuarias es otra área poco explorada. Aún no se han investigado mecanismos para trabajar en las causas provocadas por estos elementos, por lo que el análisis inicial que se hace es parcial, sólo incluye una parte del problema y no lo ataca de manera completa.

También se propone actualizar la manera en que se presentan los reportes con la finalidad de insertar indicadores ambientales para poder medir su aplicación, esto es, se proponen más medidas de comando y control pero no se llega a la parte coercitiva.

Por último, dentro de este mismo plan se especifica que la DGAC tiene planeado esperar a que el organismo internacional (OACI), genere un portafolio de instrumentos de mercado para posteriormente aplicarlo en el país, lo que denota un problema, es decir, la falta de consideración del contexto nacional lo que puede resultar en una deficiente implementación de tales instrumentos.

La propuesta gubernamental se centra en incentivar el desarrollo de los combustibles alternativos (biocombustibles), dentro de la agenda energética nacional para impulsar la industria y hacerla atractiva para la inversión privada. Pero se continúa mercantilizando el cambio climático y se utiliza de manera discursiva para aumentar la oferta de energía, es decir, aumentar la oferta de combustible en lugar de racionalizar su uso.

Por último, dentro de este mismo plan se especifica que la DGAC tiene planeado esperar a que la OACI genere un portafolio de instrumentos de mercado para posteriormente aplicarlo en el país, lo que denota un problema causado por la falta de consideración del contexto nacional, lo que puede resultar en una deficiente implementación de tales instrumentos.

La iniciativa privada se encuentra en un estado reactivo a las medidas adoptadas por el gobierno, sin propuestas de alternativas. El problema radica en soluciones que sólo toman en cuenta las inversiones que se tendrán que hacer a corto plazo sin considerar que en el futuro se necesitará subsanar los problemas que se generan en la actualidad, como el cambio de uso de suelo, deforestación, destrucción de fauna local, contaminación del agua y el suelo, incineración de basura, manejo de residuos peligrosos y aguas negras, entre otros.

Por otro lado, la mejora en los procedimientos operativos implica los menores gastos de implementación, ya que no se necesita el uso de nueva tecnología, con el costo que implica, sino aplicar de forma diferente los procesos para disminuir el uso de los insumos con los que se cuenta, como es el caso de la turbosina. La organización de los diferentes elementos que interactúan dentro del MEX influye en la forma en que se gestionan las demoras de los equipos.

Los aeropuertos son planteados como polos de desarrollo local. Sin embargo su planificación es un punto neurálgico que debe incorporar el correcto crecimiento y beneficio de la sociedad en donde se establezcan, la derrama económica que traen consigo, la construcción de las vías de comunicación y la instalación de los servicios básicos que rodea al edificio terminal en el ambiente.

CAPÍTULO III.- ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Introducción

En este capítulo se plasma la metodología utilizada en la presente investigación, la cual consta de un apartado cuantitativo, para determinar el tamaño de la muestra a utilizar del universo de información encontrada, y un apartado cualitativo para interpretar los resultados obtenidos de las entrevistas realizadas durante el trabajo de campo.

Para la parte cuantitativa, se analizaron las líneas aéreas que tuvieron participación durante el periodo de tiempo estudiado, la base de datos con la información más completa sobre la codificación de demoras emitida por la DGAC, así como el volumen de operaciones anuales manejados por los aeropuertos, con la finalidad de determinar el tamaño de la muestra de la organización aeroportuaria.

A continuación, se realizó la modelación de la huella de carbono de la aviación comercial de México mientras los equipos se encuentran en tierra, desde que terminan su aterrizaje y hasta antes de comenzar su carrera de despegue. La finalidad es determinar el consumo de turbosina empleado en operaciones regulares y en operaciones demoradas para proponer alternativas a los procesos actuales de tal manera que se disminuya la emisión de gases contaminantes al ambiente.

Para la parte cualitativa, se interpretó la información obtenida en las entrevistas a actores clave del sector, referente a la percepción de la estructura y funcionamiento de la organización, la coordinación y la flexibilidad de los procedimientos operativos al interior de los aeropuertos, así como su influencia en la huella de carbono del sector.

De esta manera, se desagregó el objetivo general en tres partes: primero, la forma en que se ha organizado la aviación comercial mexicana, segundo, la huella de carbono de la aviación comercial nacional y la influencia que tienen los procesos operativos en el periodo 2005-2017 y, tercero, proponer alternativas para disminuir las emisiones al ambiente.

Los datos sobre las operaciones se utilizaron para dimensionar la importancia de los aeródromos por el volumen de vuelos que manejan y de los explotadores aéreos nacionales de acuerdo al tamaño del mercado que transportan. Además, se incorporó al análisis la información referente a la codificación de demoras operacionales emitida por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) para determinar el volumen de emisiones de gases contaminantes al ambiente producto de estas afectaciones.

Por ejemplo en México, en el periodo 2011-2015 se registra un incremento en el consumo de turbosina del 37% (ASA, 2016). Según estadísticas de la Cámara Nacional de Transporte Aéreo (CANAERO), en 2015 se operaron cerca de dos millones de vuelos nacionales y se estima que aumenten en los próximos años (CANAERO, 2016).

La información fue recopilada en diferentes escalas de medición, mensuales o anuales, por lo que se procedió a analizar por separado las diferentes bases de datos elaboradas por la DGAC y publicadas por la CANAERO, en busca de patrones para investigar el objeto de estudio, en ocasiones, se tuvo que reelaborar la tabla dado que los datos no se encuentran estandarizados o los parámetros de medición no corresponden a la misma escala de tiempo.

Esta sección está conformada por la modelación hecha a las variables encontradas mediante la implementación del software de análisis predictivo *Statistical Package of the Social Sciences* (SPSS) versión 24.0, con la información relativa al periodo 2005-2017. Para esto, se utilizaron modelos cuantitativos como el análisis factorial y/o el de conglomerados según el conjunto de datos analizados, cabe mencionar que no se aplicó el mismo modelo a todas los estadísticos ya que cada método ayuda a explicar una parte del objeto de estudio.

De acuerdo a la búsqueda de información realizada, se encontró que la DGAC y la CANAERO, tienen las bases de datos de acceso público más actualizadas. El registro de la mayoría de las estadísticas encontradas se realizó mensualmente y el periodo disponible es de 1990 a diciembre de 2017 en la mayoría de los casos.

Como parte de las disposiciones legales para el manejo de la información proporcionada se transcribe el Artículo 38 de la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (LSNIEG), que a la letra dice:

Los datos e informes que los Informantes del Sistema proporcionen para fines estadísticos y que provengan de registros administrativos, serán manejados observando los principios de confidencialidad y reserva, por lo que no podrán divulgarse en ningún caso en forma nominativa o individualizada, ni harán prueba ante autoridad judicial o administrativa, incluyendo la fiscal, en juicio o fuera de él.

Cuando se deba divulgar la información a que se refiere el párrafo anterior, ésta deberá estar agregada de tal manera que no se pueda identificar a los Informantes del Sistema y, en general, a las personas físicas o morales objeto de la información (DGAC, 2017).

Lo anterior debido a que dentro de la investigación se utiliza información que puede ser catalogada como sensible para algunos de los actores, incluso dentro del mismo portal de la DGAC se encuentra esta referencia antes de acceder a sus bases de datos.

Asimismo, se investigó sobre la percepción de los actores clave sobre la problemática en cuestión con el objetivo de proponer alternativas de mejora. Por esta razón, además del uso de modelos cuantitativos, la presente investigación consta también de una parte cualitativa, al incorporar entrevistas semiestructuradas a actores clave para corroborar o en su caso contrastar los resultados obtenidos de las bases de datos (ver anexo 6). Para este fin, se empleó el programa de análisis cualitativo ATLAS.ti versión 7.5.4. A continuación se desarrolla con mayor detalle la estrategia utilizada.

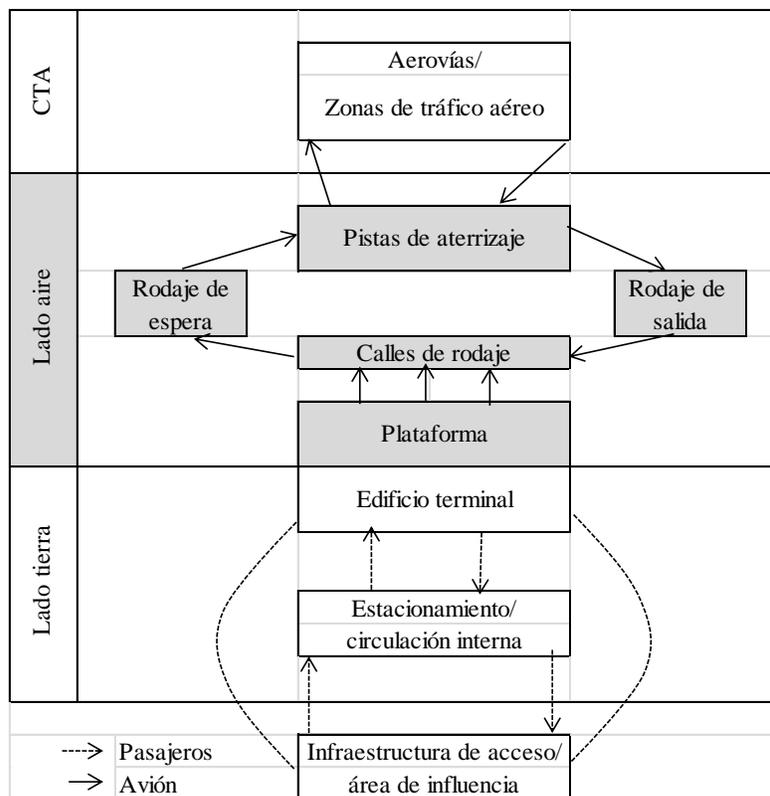
3.1.- Determinación de la muestra de la organización aeroportuaria

En la ilustración 3.1 se representan las tres áreas en las que se puede dividir una operación aérea. De abajo hacia arriba encontramos el lado tierra en donde se desplazan los pasajeros, comprende desde las vías de acceso al edificio terminal, el estacionamiento, el área de mostradores y comercios a los que se puede acceder sin necesidad de pasar algún filtro de seguridad, es decir, hasta donde se encuentran los Puntos de Inspección para Pasajeros y Equipaje de Mano (PIPEM), así como los puntos de acceso restringido, a partir de los cuales comienza lo que se conoce como área estéril.

El lado aire está formado por los accesos, las Salas de Última Espera (SUE), comercios, pasillos telescópicos, plataforma de operaciones, calles de rodaje y pistas, en esta parte es donde se centra la presente investigación debido a las interacciones que se dan entre los actores que participan en las operaciones diarias en los aeropuertos, así como el dinamismo de los procesos que se dan, por lo que es en la parte donde se generan la mayor parte de las demoras.

La tercera parte está formada por el espacio aéreo a partir de las pistas donde se inicia la carrera de despegue, durante las diferentes fases (despegue, ascenso, crucero, descenso y aterrizaje), hasta que termina la inercia del aterrizaje del equipo en tierra, la cual se encuentra bajo la jurisdicción de Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) a través del área de control de tráfico aéreo (CTA o ATC por sus siglas en inglés).

Ilustración 3.1.- Flujo del tráfico aéreo



Fuente: Postorino y Mantecchini, 2014.

3.1.1.- Selección de aerolíneas

A la información estadística por empresa, elaborada por la DGAC, se le hizo un análisis de conglomerados jerárquicos para determinar los grupos en los que se pueden clasificar, es decir, al número de vuelos mensual de las empresas mexicanas en servicio regular nacional (el tipo de servicio puede ser regular o de fletamento¹², así como nacional o internacional), se utilizó este modelo para obtener el dendrograma respectivo, al que se le aplicó el método de Ward y se estandarizó mediante la puntuación z.

También se utilizó el método de K-medias para clasificar los casos con el objeto de observar si existe una tendencia o patrón, de los resultados obtenidos se seleccionaron las tablas referentes a los centros de clústeres finales con el objeto de tener los promedios de cada uno de los grupos, así como la de número de casos y la de clúster de pertenencia para demostrar que se está tomando toda la información obtenida sin sesgos.

Con lo anterior se puede determinar las líneas aéreas que son significativas, su desarrollo durante el periodo, y se complementa con la información sobre las demoras para medir su grado de incidencia en la emisión de contaminantes a la atmósfera.

3.1.2.- Codificación de demoras

La demora operacional se considera como la diferencia de tiempo que existe desde que está programada la operación hasta la hora que en que se ejecuta (Rodríguez, 2015), es decir, el tiempo que permanece en tierra un equipo ajeno a la operación y la división del mismo de acuerdo a las causas que lo provocaron, de las cuales se separan las que no son imputables a los factores analizados.

¹² El servicio de fletamento se refiere a operaciones en un periodo determinado de tiempo dirigidas a un grupo específico, por ejemplo un vuelo chárter para asistir a un congreso.

Para codificar las demoras, se tomaron las operaciones de las nueve aerolíneas nacionales de transporte aéreo de pasajeros¹³ y se utilizó el modelo de análisis factorial, con el objeto de encontrar grupos relevantes, los datos se reacomodaron y se seleccionaron puesto que, en la base original, se enumeran todas las líneas aéreas que han tenido presencia en el país durante los últimos 20 años, además de que la información se cataloga por mes y año no por aerolínea.

De los resultados obtenidos se seleccionó la varianza total explicada para comenzar a determinar, del número de componentes, los que son significativos y se marcaron los códigos dependiendo al grupo al que pertenecen (si es lado tierra, lado aire o CTA), después, se procedió a analizar la matriz de componente rotado para codificar los nombres de cada uno de los grupos presentes. Así, se consideró un código como significativo si el valor está entre -1.0 y -0.5 o entre 0.5 y 1.0.

En este sentido, la DGAC ha clasificado las demoras posibles en 47 causas, pero en su página tiene publicada una lista de únicamente 20 causas la cual se presenta a continuación:

Tabla 3.1.- Clasificación de los códigos de demoras

Concepto	Descripción de las Causas de las Demoras
Accidente*(aire)	Todo suceso por el que se cause la muerte o lesiones graves a personas a bordo de la aeronave o bien, se ocasionen daños o roturas estructurales a la aeronave, o por el que la aeronave desaparezca o se encuentre en un lugar inaccesible
Accidente por un tercero ** (aire)	Aquel accidente no relacionado a la aerolínea (Instituciones, organismos, empresas, individuos, entre otros)
Aerocares ** (aire)	Falta de aerocares y/o deficiencia en el servicio (Vehículo utilizado para transportar pasajeros en el lado aire de los aeropuertos, comúnmente entre el edificio terminal y la posición de estacionamiento de la aeronave, o entre edificios terminales, también llamado cobus (Aeropuertos del Sureste, 2013).
Aplicación de control de flujo ** (CTA)	Falla en las consolas para los centros de control de tránsito aéreo y sala de control de flujo, orden en el flujo de las operaciones de llegada, flujo de aeronaves en el espacio aéreo controlado, flujo de las aeronaves a través del establecimiento de nuevos procedimientos en Áreas Terminales.
Autoridades ** (aire)	Falta de personal o trabajo deficiente, Aduana, Migración, SAGARPA, PFP, PGR, SENASICA, Sanidad.
Carga* (aire)	Errores documentando material no permitido, sobreventa de los espacios para carga, falta de guías de carga que se transporta, aceptación tardía, llegada tarde al avión,

13 Para este caso sí hay una separación entre las empresas de un mismo grupo, para evitar que las estadísticas de una afecten a la otra.

	empaque inadecuado, etc.
Comisariato* (aire)	Falta de alimentos, carga de alimentos tarde, etc. Es el servicio de abastecimiento de insumos al avión para la atención al pasajero que incluye bebida y comida dependiendo del tipo de operación, con la finalidad de estandarizar la calidad en el servicio.
Evento ocasional ** (aire)	Amenaza de bomba, salida/entrada del avión presidencial, activación de áreas militares y/o operaciones militares, etc.
Incidente* (aire)	Todo aquel suceso relacionado con la utilización de una aeronave que no llegue a ser accidente, que afecte o pueda afectar la seguridad de las operaciones.
Incidente por un tercero ** (aire)	Aquel incidente no relacionado a la aerolínea (Colisiones en el remolque, daño en la Carga/Descarga, golpes al avión en la plataforma, entre otros)
Infraestructura aeroportuaria ** (aire)	Saturación de filtros de seguridad, demoras ocasionadas por falta de pantallas, información deficiente o con información errónea, mantenimiento de las áreas operacionales, falta o inadecuada limpieza de las áreas operacionales, plataforma congestionada, entre otros.
Mantenimiento aeronaves* (aire)	Falta del personal, espera de refacciones, cambio de avión por razones técnicas, entrega tarde del avión por servicio programado o no programado de mantenimiento, falta de partes en almacén, etc.
Meteorología ** (CTA)	Reportes de tiempo de la estación de salida (Bajo límites), Reportes de tiempo de ruta o alterno (Bajo límites), Reportes de tiempo de la estación de destino (bajo límites), Vientos en contra, etc. (Lluvia, neblina, tormentas eléctricas, nieve)
Operaciones aerolínea* (aire)	Solicitud del capitán para procedimiento de seguridad, requerimientos operacionales, combustible adicional, cambio en el plan de vuelo, entre otros.
Pasillos ** (aire)	Falla del equipo o deficiencia en la prestación del servicio.
Rampa aerolínea* (aire)	Lentitud en la carga/descarga del avión por falta o insuficiencia del personal, complicación por la carga voluminosa, falta o falla de equipo de apoyo en tierra, retraso en la limpieza del avión, abastecimiento o descarga de combustible, equipo de servicio, falta o desperfecto mecánico de escaleras para pasajeros, planta de corriente eléctrica, tractor para remolque del avión, etc.
Repercusiones* (aire)	Originadas por la propia aerolínea (Generadas desde el aeropuerto de origen o aeropuerto intermedio, por ejemplo, espera de equipo, demoras en secuencia anterior, etc.)
Repercusiones por un tercero ** (aire)	Originadas por otra empresa, autoridades, etc. (Desde el aeropuerto de origen o aeropuerto intermedio, por ejemplo espera por carreteo simultáneo, fallas en las facilidades, falta de equipo de apoyo, etc.)
Trafico/documentación* (tierra)	Abordaje (Abordaje lento, discrepancia en número de pasajeros, etc.), sobreventa, localización o espera de pasajeros en tránsito, errores al documentar, cierre tarde del vuelo, bajando equipaje voluminoso, bajando equipaje de pasajero que no abordó, falla en el manejo de pasajeros discapacitados, falla del sistema de documentación.
Tripulaciones* (aire)	Asignación errónea de tripulación, espera de tripulación de reserva, tripulación presentándose tarde, procedimientos de salida tardíos

NOTA: * Códigos de demora imputables a la aerolínea

** Códigos de demora no imputables a la aerolínea

(aire) Demora ocasionada en el Lado Aire

(tierra) Demora ocasionada en el Lado Tierra

(CTA) Demora ocasionada en el CTA

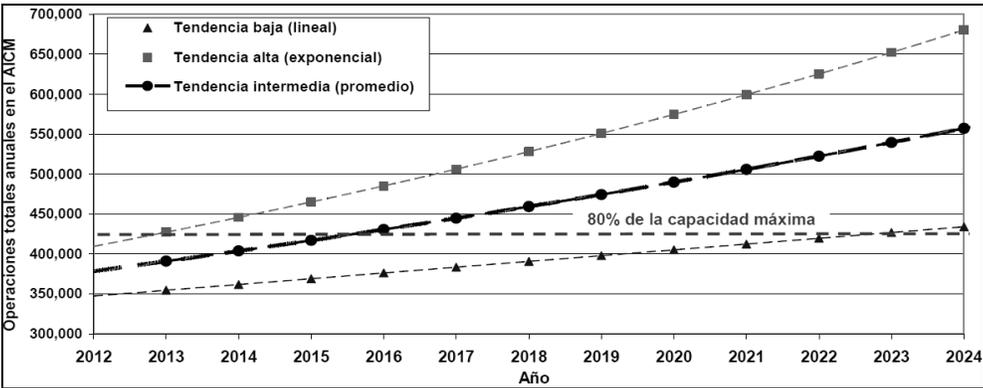
Fuente: DGAC, 2017.

Hay que hacer mención que de los 47 códigos manejados por la DGAC sólo 17 son atribuibles a las aerolíneas y el resto se dividen entre los diferentes actores que pueden llegar a participar, por lo que se analizó su ocurrencia a lo largo del año, para lograrlo, se empleó un análisis de conglomerados K medias en la información mensual de las demoras y se utilizó la tabla de centros de clústeres finales.

3.1.3.- Selección de aeropuertos

Herrera (2012) señala que un aeropuerto se encuentra saturado al sobrepasar el 80% de su capacidad dado que a partir de este umbral se comienza con una afectación mayor a las operaciones, es decir, el tamaño de las secuencias de despegue se incrementa drásticamente, aunque depende también de factores como el horario o las condiciones meteorológicas. En la gráfica 3.1 se puede observar que las instalaciones aeroportuarias de la Ciudad de México ya han alcanzado este punto.

Gráfica 3.1.- Tendencia de crecimiento de las operaciones aeroportuarias (MEX)



Nota 1: El pronóstico de la tendencia lineal de las operaciones totales representa la tendencia baja. Se obtuvo mediante la relación: Operaciones totales = $7228.28 \times \text{Año} - 1.418 \times 10^7$, con $R^2 = 0.91$. Con base en información estadística del periodo 1967-2011.

Nota 2: El pronóstico de la tendencia alta (exponencial) de las operaciones totales se obtuvo mediante la relación: Operaciones totales = $4.85 \times 10^{-32} \times e^{0.04227 \times \text{Año}}$, con $R^2 = 0.92$. Con base en información estadística del periodo 1967-2011.

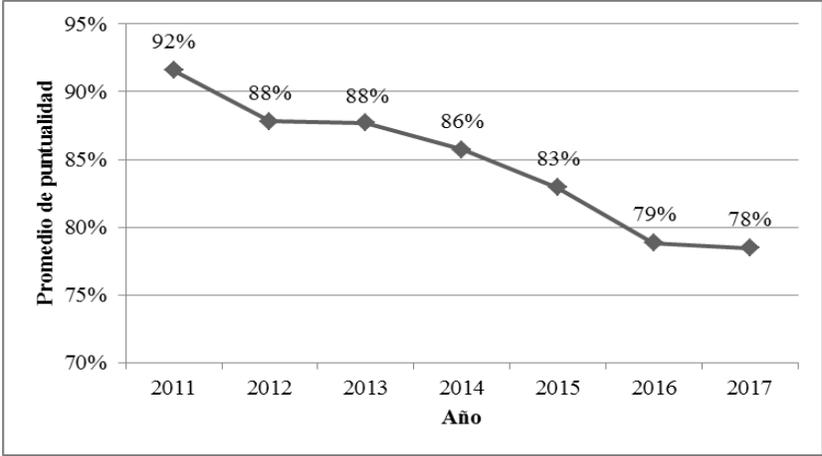
Nota 3: El pronóstico de la tendencia intermedia se obtuvo al promediar los valores de las tendencias baja y alta. En los tres casos señalados antes, las líneas punteadas representan las tendencias del crecimiento pronosticado. En relación con la prueba de significancia de los modelos de regresión utilizados para el pronóstico, en todos los casos se obtuvieron valores menores a 0.05 (el mayor fue de 6.4×10^{-24}), por lo que son aceptables.

Nota 4: La capacidad máxima está referida a veinticuatro horas de operación diaria anualizada, por lo que su valor corresponde a 534,360 operaciones.

Fuente: Herrera, 2012.

El incremento del número de vuelos en el MEX ha provocado la disminución en la puntualidad de las operaciones con el paso del tiempo, lo que se puede corroborar en la siguiente gráfica, donde el promedio de las principales aerolíneas disminuyó del 92% en 2011 al 78% en 2017, esto es, un decremento del 14% en 6 años. Lo anterior, también está vinculado con el aumento de las demoras y por consecuencia, el aumento de la emisión de gases producto del consumo de turbosina (como se verá en el capítulo 4).

Gráfica 3.2.-Promedio de puntualidad por aerolínea en el MEX 2011-2017



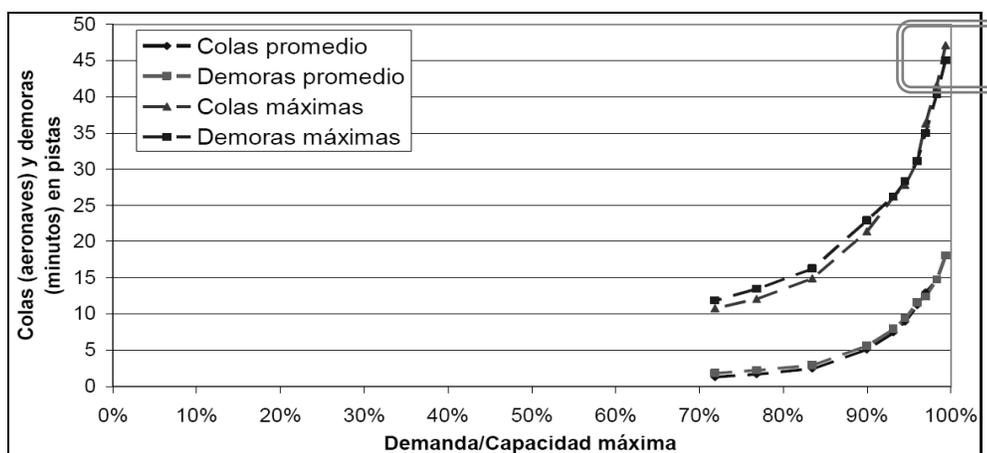
Fuente: DGAC, 2017

La ilustración 3.3 muestra la relación entre la capacidad máxima de operaciones soportada por el aeropuerto y el tiempo de espera de las aeronaves para la autorización de CTA para iniciar su carrera de despegue, también conocidas como colas o secuencia de despegue. Las demoras en el MEX repercuten en el horario del resto de los vuelos previstos para los equipos en cuestión.

Conforme aumenta la demanda de operaciones, el tiempo de demora es mayor, y si se toma en cuenta que desde 2015 el aeropuerto llegó al 100% de su operación, el tiempo de espera es de 45 minutos adicionales al planeado, tiempo en el cual se mantienen encendidos los dos motores, por lo que se genera la emisión constante de gases contaminantes a la atmósfera.

Cabe señalar que hay una discrepancia entre el volumen de operaciones soportado por el MEX en las Publicaciones Técnicas No. 180 (2001) y 365 (2012) emitidas por el IMT, ya que en la primera se maneja una capacidad máxima de 55 operaciones/hora, mientras que la segunda menciona un tope de 61 operaciones/hora. Lo anterior puede deberse al horario de servicio considerado, ya que en la de 2001 se tomaron las 24 horas de servicio y en la de 2012 sólo 18 horas (nota 3 de la ilustración 3.5). Para la presente investigación se retoma la información de la primer publicación dado que considera todo el horario de atención del MEX.

Gráfica 3.3.- Tendencia del tiempo de espera de la secuencias de despegue en el MEX



Nota 1: Cada punto representa el valor promedio de diez corridas de simulación.

Nota 2: Las líneas punteadas representan las tendencias.

Nota 3: La capacidad máxima está referida al intervalo de dieciocho horas, por lo que su valor corresponde a 1,098 operaciones.

Fuente: Herrera, 2012.

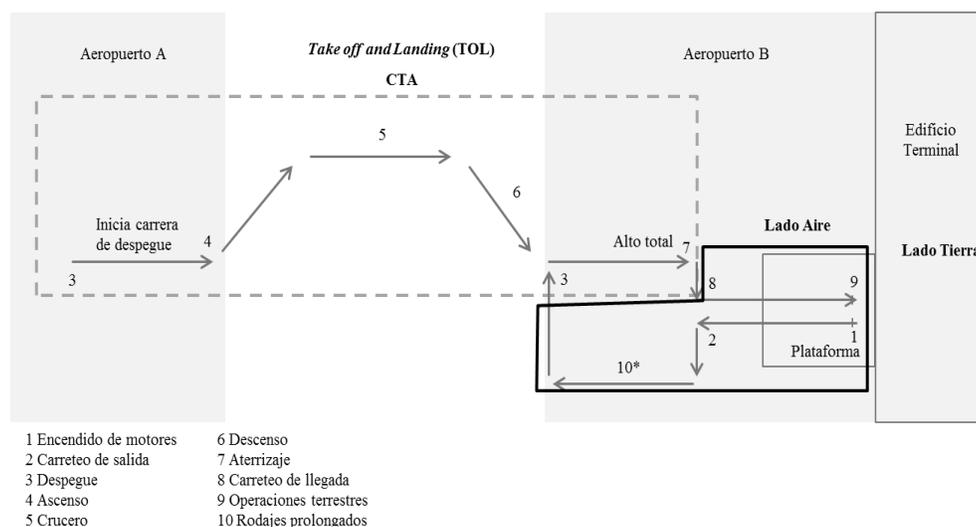
Con respecto a la relación entre los aeropuertos se utilizaron diferentes modelos cuantitativos para determinar su importancia; se generó un dendograma, el cual corresponde a la base de datos referente a las operaciones anuales por aeropuerto de la aviación comercial nacional. Se utilizó el método de clúster jerárquico para identificar patrones entre las variables y se determinó la existencia de grupos comunes.

3.2.- Modelación de la huella de carbono

Dentro de la literatura analizada se encontraron diferentes modelos que se han diseñado para medir la huella de carbono de la aviación, destacan Kurniawan y Khardi (2011), los cuales realizan una comparación entre metodologías para estimar las emisiones de contaminantes de los aviones, así como el impacto en el ambiente alrededor de los aeropuertos. Por otra parte, Postorino y Mantecchini (2014) proponen un enfoque sistemático para evaluar la efectividad de las estrategias de mitigación del ruido en los aeropuertos y De Rubeis *et al.* (2016), analizan los diferentes consumos de energía al interior del aeropuerto así como las alternativas para reducir la dependencia de combustibles fósiles.

La investigación realizada se centra en el lado aire, específicamente en el tiempo transcurrido entre la plataforma hasta las calles de rodaje y las actividades que se llevan a cabo en dichas áreas (Ilustración 3.2). Por lo tanto, se adaptó la Metodología para Estimar las Emisiones del Transporte (MEET) propuesta por la Comisión Europea de Transporte en 1999, la cual tiene la peculiaridad de que toma en cuenta cada fase operacional (nueve en total), por lo que se puede hacer más específica la medición de la huella para el caso del transporte aéreo.

Ilustración 3.2.- Adaptación de las Fases Operacionales propuestas por la MEET



NOTA: La fase 10 depende si hay algún tipo de demora por CTA después de iniciado el remolque de la aeronave.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Dado que el estándar de consumo en el plan de vuelo para el cálculo de combustible no necesariamente es el mismo que el empleado en la operación, es necesario establecer una fórmula para calcular la huella de carbono, debido a condiciones particulares de cada operación como la saturación del aeropuerto, las condiciones meteorológicas, los incidentes, etc., que pueden modificar el tiempo de permanencia de los equipos en tierra.

La fórmula propuesta es la siguiente:

$$E = \sum_{j=1}^9 T_j FC_j EI_j$$

En donde:

- E [g] emisión total del contaminante
- j [-] índice de alguna 9 fases operacionales (encendido de motores, carreteo de salida, despegue, ascenso, crucero, descenso, aterrizaje, carreteo de llegada y operaciones terrestres.
- T_j [s] duración de la fase operacional j
- FC_j [kg combustible/s] consumo de combustible durante la fase operacional j
- EI_j [g contaminante/kg combustible] índice de emisión del contaminante por fase operacional j

Los datos utilizados se estandarizaron de acuerdo a la información consultada en diferentes manuales, ya que como se verá más adelante existen diferentes tipos de equipos y motores por lo que la fórmula se adaptó a los alcances de la presente investigación. Por ejemplo, para estandarizar el consumo de combustible para la fase de operaciones terrestres se utilizó el consumo de operación de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU) por hora y se dividió entre la fracción de tiempo.

El índice de emisiones publicado es por motor, por lo que los valores expresados en la tabla 3.2 se duplicaron y se agregó una décima fase operacional donde se incorporó el tiempo por rodaje prolongado, es decir, el tiempo que lleva mover la aeronave del punto de atraque a la

calle de rodaje para tomar su lugar en la secuencia de despegue, debido a que corresponde a la codificación de demoras y es información imprescindible dentro de este trabajo.

Tabla 3.2. Valores de las fases operacionales adaptadas de la MEET

	j	T (min)	FC (kg)		EI (g/Kg de comb) por motor		
			Fase operacional (T)	Duración	Estela Mediana	Estela Pesada	Nox
1	encendido de motores	7	105	155	3.147	33.3	10.6
2	carreteo de salida	10	150	221	3.147	33.3	10.6
3	despegue	-	-	-	-	-	-
4	ascenso	-	-	-	-	-	-
5	crucero	-	-	-	-	-	-
6	descenso	-	-	-	-	-	-
7	aterrizaje	-	-	-	-	-	-
8	carreteo de llegada	5	75	165	3.149	33.3	10.6
9	operaciones terrestres*	25	27	60			
10	Rodaje prolongado (por minuto)	1	15	33	3.147	33.3	10.6

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Es necesario señalar que se realizó únicamente el cálculo de los valores de las fases utilizadas en este trabajo, las fases de la 3 a la 7 no se tomaron en cuenta debido a que pertenecen al tiempo denominado *Take off and Landing*. Además, hay elementos no considerados dentro de esta fórmula como las condiciones meteorológicas, la pista utilizada, las condiciones del aeropuerto (saturación), la altura sobre el nivel del mar o la dirección del viento, los cuales pueden ejercer una influencia en el consumo de combustible de los equipos por lo que se podría hablar de una subestimación. Pero a pesar de lo anterior se pueden utilizar estándares para realizar las mediciones del consumo de turbosina en las distintas fases para determinar las emisiones generadas por los equipos.

3.3.- Cálculo del consumo de turbosina

La información pública en este rubro es limitada, por lo que fue necesario determinar el promedio del consumo de combustible a partir de los datos disponibles para completar los

datos necesarios en el cálculo de la huella de carbono de la aviación comercial nacional. En la tabla 3.3 se expresan los valores del índice de emisión de gases determinados en la MEET de las fases en tierra de los equipos.

Tabla 3.3.- Distribución de gases generados por la combustión de un litro de turbosina

Total emission in LTO cycle using MEET methodology.				
Mode	Fuel per engine used	Emission indices per mode each engine (g/kg of fuel)		
	kg	NO _x	CO	HC
Taxi out	141	3.147	33.3	10.6
Taxi in	106	3.149	33.302	10.598
Landing	36	19.152	0.715	0.468
Descent	6	4.44	19.51	6.29

Fuente: Kurniawan y Khardi, 2011.

Además se actualizó al año más reciente el tamaño de la flota de las aerolíneas nacionales, la cual, para 2016 ascendía a 311 equipos, divididos en 11 modelos diferentes por lo que se utilizó la clasificación de su estela turbulenta para reducir las categorías en dos tamaños (mediana y pesada¹⁴), conforme al Doc. 8643 de la OACI, dicha nomenclatura se encuentra integrada en el campo 9 del plan de vuelo (Tabla 3.4).

Tabla 3.4.- Configuración de la flota comercial aérea nacional

Tipo de aeronave	Número de aeronaves en 2016	Estela Turbulenta
Airbus B4	4	H
Embraer 145	29	M
Boeing 737	70	H
Embraer ERJ 170	13	M
Embraer ERJ 175	3	M
Airbus 319	18	H

14 Para ello se ha tomado como referencia el peso máximo al despegue (MTOW) de cada una de ellas, estableciendo las siguientes categorías: Light (ligeras) – aeronaves de hasta 7,000 kg de MTOW. Medium (medianas) – aeronaves de entre 7,000 y 13,000 kg de MTOW. Heavy (pesadas) aeronaves de más de 136,000 kg de MTOW (González, 2012).

Airbus 320	109	H
Embraer 190	32	M
Sukhoi SU100	21	M
Boeing 787	10	H
Airbus 321	2	H

Fuente: DGAC, 2016.

En este sentido, las aerolíneas se organizaron en la tabla 3.5 de acuerdo a la estela turbulenta producida por los motores de sus equipos, donde se encontró que 10 de ellas tienen equipos con estelas medianas y los equipos de las otras 12 estelas pesadas, dentro de estas últimas se encuentran las aerolíneas objeto de estudio de la presente investigación como se verá en el siguiente capítulo.

Tabla 3.5.- Clasificación de las Aerolíneas de acuerdo a su estela

Estela Mediana		Estela Pesada		
Mexicana Link (I6)	Aero Calafia (CFV),	Interjet (4O)	Jet Paquetería (JQP)	Aerounión (6R)
TAR (TGI)	Aeromexico Connect (5D)	Estafeta (E7)	Mas de carga (M7)	Aeromexico Travel (6D)
Avolar (VLI)	Aeromar (VW)	VivaAerobus (VB)	Mexicana (MX)	Magnicharters (GMT)
Azteca (LCD)	Click de Mexicana (CBE)	Alma (MSO)	Volaris (Y4)	Aeromexico (AM)
Aerocalifornia (SER)	Aviacsa (CHP)			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.4.- Manejo de las entrevistas

Como parte de la investigación se realizaron nueve entrevistas a actores clave, las cuales se codificaron y se interpretaron con ayuda del programa Atlas.ti, las transcripciones se clasificaron en familias de acuerdo al tipo de información que contienen. El eje de esta división es el efecto que tienen en la huella de carbono, es decir, se vincularon las principales familias y se contrastaron con los postulados teóricos en los que se fundamenta este análisis.

Las entrevistas o documentos principales se agruparon en seis familias:

- Por su jerarquía (supervisado - supervisor).
- Por su ubicación (México - Huatulco).
- Por su certificación (con licencia federal - sin licencia).
- Por su estabilidad laboral (primer trabajo - múltiples trabajos).
- Por su género (femenino - masculino).
- Por su antigüedad (mucho experiencia - poca experiencia).

También se agruparon en cuatro familias los códigos utilizados para organizar la información de las entrevistas, las cuales fueron:

- Por su tipo (eficientes - ineficientes - alternativas).
- Por el tipo de recurso que genera la huella de carbono (económico – humano - material).
- Por la dinámica y la relación dentro la organización (estructura - funcionamiento).
- Por la interacción y la rigidez de los procesos aeroportuarios (coordinación - flexibilidad).

A todos se les aplicó la misma entrevista y posteriormente para analizarlas se dividieron los datos en tres conceptos: organización, procesos aeroportuarios y huella de carbono, los cuales se subdividieron en categorías como se muestra en la tabla 3.6. A partir de esto, se realizó una codificación de cada uno para ingresarla en el software de análisis cualitativo.

Tabla 3.6.- Conceptos principales de la codificación

Organización (ORG)		Procesos Aeroportuarios (PA)		Huella de Carbono (HdC)		
Estructura (E)	Funcionamiento (F)	Coordinación (COR)	Flexibilidad (FLEX)	Recursos Materiales (RM)	Recursos Humanos (RH)	Recursos Económicos (RE)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La subdivisión de los conceptos de la organización se desprende de los postulados teóricos

en los que se basa este trabajo, es decir, la teoría burocrática y la teoría de los sistemas complejo adaptativos, y se agruparon en dos categorías principales, la estructura y el funcionamiento, como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 3.7.- Códigos sobre organización

Concepto principal							
ORGANIZACIÓN (ORG)							
	Código		Código		Código		Código
Estructura	E			Funcionamiento	F		
Estructura jerárquica	Jer	Vertical	Ver	Tiempo toma de decisiones	TTD	Corto	co
		Horizontal	Hor			Largo	la
Grados de autoridad	GrAt	Cercano	Ce	Sinergia	Sine	Compleja	c
		Lejano	Le			Simple	s
Toma de decisiones	Tde	Lineal	Li	Objetivo específico	ObEp	Equifinalidad	Eq
		No lineal	Nli			Multifinalidad	Mt
Estructura Normativa Escrita	Nes	Homeostática	Hm	Relación entre elementos	Rele	Sistémico	Ss
		No homeostática	Nhm			Mecánico	Mc
Control de los recursos	CtR	Rígido	Ri	Aprendizaje	Apr	Capacitación	CP
		Flexible	Fl			Falta capacitación	Fcp
Responsabilidades	Rsp	Delimitadas	dl	Factor Humano	FH	Individualidad suprimida	Insu
		No delimitadas	ndl			Individualidad integrada	Inag
Procedimientos	Pcm	Estandarizados	et	Producción	PR	Entrópico	e
		No estandarizados	net			Neguentrópico	ne
Política salarial	Psl	Acorde a las necesidades de los trabajadores	an	Selección de los candidatos	Slp	De los más capacitados	cap
						De los que se presenten	pre
		No es acorde a las necesidades	nan	Rotación de personal	Rop	Alta	a
						Baja	b

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los procesos aeroportuarios se conformados en dos grupos (Tabla 3.8), en el primero se encuentran los códigos referentes a la forma en que están hechos los procesos (coordinación), esto es, la interacción de los procedimientos entre los diferentes actores, mientras que en el segundo se localizan los códigos referentes a la aplicación de dichos procesos (flexibilidad).

Tabla 3.8.- Códigos sobre procesos aeroportuarios

Concepto principal									
PROCESOS AEROPORTUARIOS (PA)									
Coordinación	CRD				Flexibilidad	FLX			
Capacidad de carga (CC)	CC	Saturación (sa)	Demora	dl	Habilidades personales	AhP	Tomada en cuenta (tc)	Desarrollo	ds
		No saturación (nsa)	Eficiencia	ef			No tomada en cuenta (n)	Estancamiento	es
Capacitación	Cap	Mejora criterio (mc)	Alternativa	Alt	Políticas de la empresa	PIEp	Eficiencia (Ef)	Acuerdo local	Ale
		Mejora técnica (mt)	Alternativa	Alt			Ineficiencia (Inef)		
Codificación de demoras	CoD	General (g)	Desagregar	ds	Presiones externas	Prex	No vulnerable (nvb)	Demora	dl
		Particular (p)	Integrar	it			Vulnerable (vb)		
Relación con Entorno	Rlen	Sensible (sn)	Adaptación	ad	Profesionalización	Prf	Capacitación continua (con)	Evolución	ev
		No sensible (Nsn)	Degradación	dr			Falta de capacitación (fca)		
Prioridad del servicio	Pse	Comercial (cm)	Aumento riesgo	ar	Protección corporativa	pco	Fuerte (f)	Deslinda responsa	drs
		Ambiental (am)	Protección amb	pa			Débil (d)		
		Seguridad (sg)	Degradación	dr					
Trabajo en equipo	Te	Existe (x)	A tiempo	ot					
		No existe (nx)	Demora	dl					

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para la huella de carbono, la codificación se dividió en tres categorías: recursos materiales, humanos y económicos, de tal manera que se pueda reconocer la fuente de los diferentes argumentos. Los recursos materiales son la infraestructura aeroportuaria con la que cuenta, los recursos humanos el personal que labora y los recursos económicos la influencia que ejerce la cuestión monetaria en los procesos operativos de la aviación comercial (Tabla 3.9).

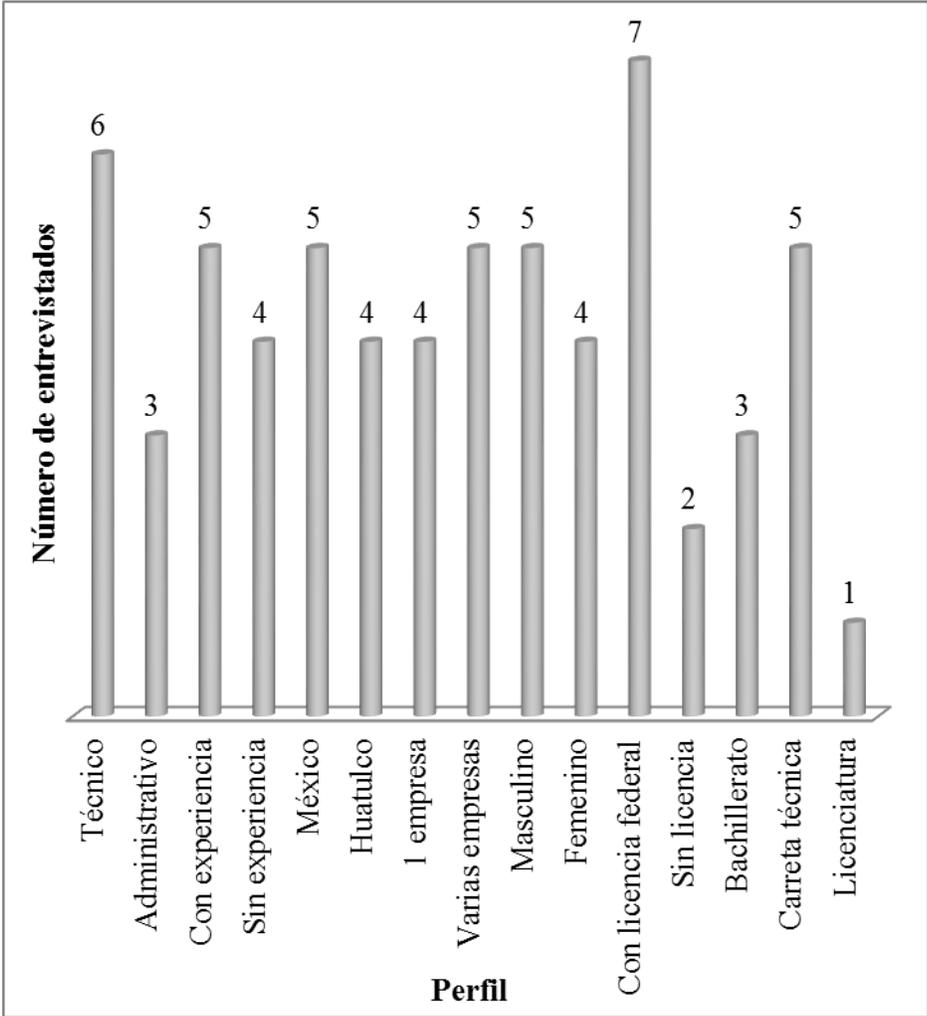
Tabla 3.9.- Códigos sobre huella de carbono

Concepto principal												
HUELLA DE CARBONO (HdC)												
Recursos Materiales (RM)	RM			Recursos Humanos (RH)	RH			Recursos Economicos (RE)	RE			
Uso Insumos	Is	No causa dly (ncd)		Capacidad de carga	Cca	No saturadas (NS)		Consumo turbosina	CnTur	Necesario (n)		
		Causa dly (cd)	Reestructuracp			Saturadas (S)	Alternativa			At	Extra (ex)	Alternativa
Equipo de apoyo	Eap	Suficiente (su)		SGA	SGA	Eficiencia (Ef)		Distribución Costos	DCos	Inversión (iv)		
		Insuficiente (is)	Demora			Ineficiencia (Ief)	Alternativa			At	Casto (gs)	Alternativa
Edificio terminal	ET	Suficiente (su)		Control de la incertidumbre	Cm	Suficiente (sf)	Distribución	Asignación Slots	ASI	No saturación (NS)		
		Insuficiente (is)	Planeación			pl	Insuficiente (Isf)			Aumento dly	ddl	adl
Plataforma	Pf	Saturación (S)	Demora	dl				Compensación a pax	Cpx	Se aplica (sa)	Aumento costac	
Calles de rodaje	Cr	No saturación (NS)		Plantilla de personal	Ppa	Suficiente (s)		Incidentes en tierra	It	No se aplica (ns)	Disminución	dc
		Funcionales (fn)		Personal cualificado	pca	Insuficiente (is)	Demora			dl	Afectación a la secuencia (as)	Demora
Pistas	Pi	Planificadas (pl)				Habilitado (h)				Sin afectación (sa)		
		No planificadas (np)	Demora	dl		No habilitado (ih)	Demora	dl				

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La finalidad de esta parte de la metodología es asociar códigos o etiquetas con fragmentos de texto, buscar códigos de patrones y clasificarlos (Lewis, 2004; Hwang, 2007). El grupo de personas entrevistadas (nueve), se caracterizó por ocupar en su mayoría puestos técnicos, contar con más de 10 años de experiencia, trabajar en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, haber laborado para varias empresas, pertenecer al género masculino, y haber estudiado una carrera técnica para obtener la licencia federal que los certifica para poder ejercer su función (Gráfica 3.4).

Gráfica 3.4.- Perfil de los entrevistados



Fuente: Elaboración propia, 2018.

CAPÍTULO IV.- LA HUELLA DE CARBONO DE LA AVIACIÓN COMERCIAL DE MÉXICO Y SUS COSTOS PARA LAS EMPRESAS, LOS USUARIOS Y EL AMBIENTE

Introducción

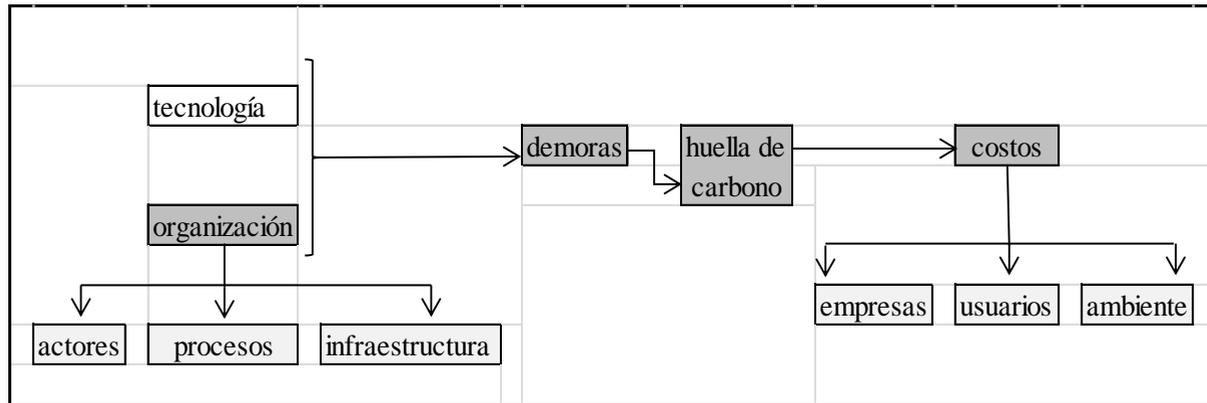
En este capítulo se desarrollan los resultados de la modelación de la huella de carbono de la aviación comercial del país de los equipos en tierra, asimismo, se analiza el costo que representan las demoras para las aerolíneas, pasajeros y el ambiente. Por lo tanto, la información se presenta en dos apartados, el primero trata sobre la estructura de la aviación comercial en México y las diferentes aerolíneas que han funcionado entre 2005 y 2017. También se incorpora el volumen de operaciones anual por aeropuerto para dimensionar el peso que tienen con respecto a los demás, de esta manera, el número de vuelos y de pasajeros transportados son la base sobre la que se organiza la muestra utilizada.

El segundo apartado se constituye por los resultados del cálculo de la huella de carbono de la aviación comercial nacional durante su permanencia en tierra, esto es, se analiza la parte del tiempo entre el aterrizaje y el despegue de los equipos para determinar el consumo de turbosina en operaciones normales, así como la emisión de gases contaminantes causada por las demoras. Para finalizar, se incorporan los costos de operación en términos económicos para los vuelos a itinerario y los demorados.

La presente investigación utiliza la innovación tecnológica y la organización como factores clave que influyen en el consumo de combustible de las aeronaves. Como se representa en la ilustración 4.1, los avances tecnológicos están encaminados a mantener el consumo de combustible al hacer más eficientes los motores, mientras que la estructura organizacional se puede utilizar para disminuir el uso de la turbosina en las diferentes fases de la operación, al mejorar la relación entre actores, procesos e infraestructura, es decir, realizar las mismas actividades pero con menores recursos.

En la actualidad, la organización de la aviación comercial provoca demoras en los itinerarios de los vuelos, al mantenerlos más tiempo del programado en tierra, lo que genera que aumente la huella de carbono de la aviación comercial, la que a su vez se traduce en aumento de costos para las empresas, pérdida de tiempo para los usuarios y aumento en las emisiones al ambiente.

Ilustración 4.1.- Proceso de análisis del objeto de estudio



Fuente: Elaboración propia, 2018.

4.1.- La aviación comercial

El transporte aéreo de pasajeros y carga tiene un aporte significativo al volumen de emisiones de CO_2 , a nivel internacional, según estadísticas de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), México produce 0.016% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono (Herrera, 2013), con apenas el 0.34% de la flota total en el mundo, Estados Unidos con cerca de 7 mil aeronaves (25% de la flota mundial) emite el 14.7% del total mundial, China con una flota de 5 mil equipos generó el 30.4% de las emisiones totales en 2016 (Grupo Banco Mundial, 2018).

Para dimensionar la presión de la aviación en el ambiente se ejemplifica con la relación anual: número de aeropuertos - volumen de pasajeros transportados, así, México en sus 58 aeropuertos trasladó a 45 millones de personas en 2017 (CANAERO, 2017). Estados Unidos con 19 mil aeropuertos transportó a poco más de 900 millones de pasajeros en este mismo lapso de tiempo (FAA, 2017), China transportó a más de mil millones de pasajeros a través de sus 28 aeropuertos (*The International Trade Administration*, 2018).

A nivel regional y en términos *per cápita*, en el caso de Norteamérica las emisiones de México representan 6.2 toneladas de CO_2 (Herrera, 2013), magnitud cercana a las 5 toneladas por habitante correspondientes al promedio mundial. Mientras que en Estados Unidos el promedio *per cápita* es de

16.4 (Schlossberg, 2017). Asimismo, China genera un promedio de 7.73 toneladas *per cápita*, con más de diez mil mega toneladas de CO₂ al año (Unidad Editorial Información Económica S.L., 2018).

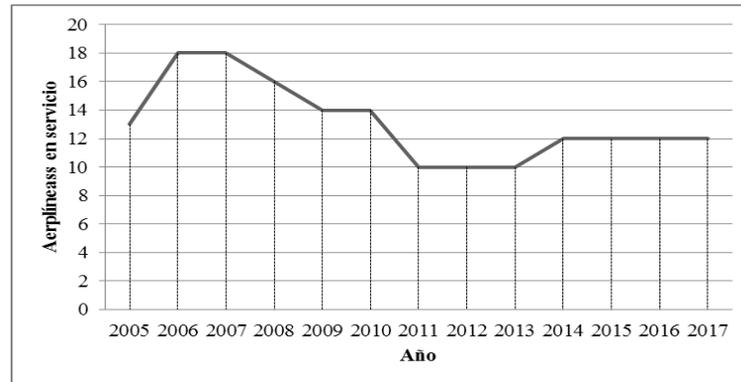
Con respecto a la participación de la aviación comercial en las emisiones por país, en México esta actividad representa el 1.6% (Herrera, 2013), mientras que en Estados Unidos representa el 11% de las emisiones, referente al caso de China no se tiene información al respecto. A pesar de ser el país con los indicadores más bajos en emisiones de los tres ejemplos expuestos, es importante estudiar el caso mexicano debido a cuestiones como los compromisos que el país ha adquirido a nivel nacional e internacional, es decir, la reducción del 22% de sus Gases de Efecto Invernadero (GEI) para 2030 (Gobierno de la República, 2015), por lo que las iniciativas que surjan en este sentido deben ser estudiadas con mayor detalle.

4.1.1.- Aerolíneas en servicio

A lo largo del periodo estudiado hubo variaciones en la composición del mercado de transporte aéreo en México, cabe señalar que el conjunto está formado por cuatro aerolíneas de carga: Mas de carga , Estafeta, Jet Paquetería, Aerounión, así como por 18 aerolíneas de pasajeros: Interjet, Aéreo Calafia, Aerocalifornia, VivaAerobus, Alma, Aeromar, Aeromexico Travel, Click de Mexicana, Aeromexico, Avolar, Volaris, Aviacsa, Magnicharters, Azteca, Mexicana, Mexicana Link, Aeromexico Connect y TAR, dado que hay empresas que pertenecen a un mismo dueño se consideran el grupo Aeromexico (Aeromexico, Aeromexico Connect y Aeromexico Travel), y el grupo Mexicana (Mexicana, Click de mexicana y Mexicana Link).

La variación en la gráfica 4.1 responde a la incorporación de las aerolíneas de bajo costo en 2005 y su auge entre 2006 y 2007. El 2008 y 2009 muestra una caída, pero es más pronunciada esta tendencia en el 2010 influida por la quiebra de varias aerolíneas (Alma, Avolar, Aerocalifornia, Aviacsa, Azteca). También se dio el cese de operaciones y la posterior quiebra de mexicana¹⁵. En el 2013 se dio un incremento porque se integraron nuevas aerolíneas, los cuales se han mantenido hasta la fecha.

Gráfica 4.1.- Aerolíneas en servicio 2005- 2017



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de la DGAC, 2018.

Las empresas aéreas se clasificaron a través del análisis de conglomerados jerárquicos y se obtuvo el dendrograma correspondiente (ver anexo 2), al que se le aplicó el método de Ward y se estandarizó mediante la puntuación z dando como resultado la agrupación en 5 conglomerados.

El primer conglomerado está formado por las aerolíneas con la menor cantidad de operaciones (las cuatro cargueras y ocho comerciales), de las cuales seis aún continúan en operación (Aerounión, Mas, Estafeta, Aerocalafia, Magnicharters y TAR), las seis restantes tuvieron entre uno y tres años de actividad.

En el segundo conglomerado se encuentran dos aerolíneas de pasajeros (VivaAerobus y Aeromar), una de bajo costo y una tradicional, caracterizada por sus altos precios en los boletos, que tuvieron un crecimiento constante en todo el periodo. En el tercer conglomerado se encuentra el Grupo Mexicana, con sus tres filiales, actualmente tampoco está en operación.

El cuarto conglomerado está formado por las aerolíneas de bajo costo (Interjet y Volaris), con el mayor crecimiento en el mercado. Por último, en el quinto conglomerado se encuentra el Grupo Aeroméxico ya que a lo largo de todo el periodo es el que tiene el mayor número de operaciones (2,104,107 de vuelos).

15 El 28 de agosto 2010 a las 14:15 hrs despegó el último vuelo operado por Mexicana de Aviación (MX886 MEX-YYZ) (Ruíz, 2015).

A partir de esta información, se determinó la muestra de las aerolíneas con el mayor peso relativo de acuerdo al volumen de operaciones que manejan los últimos dos conglomerados, el 76% del mercado, por lo que el comportamiento de estas tres aerolíneas (Grupo Aeromexico, Interjet y Volaris), tiene efectos determinantes en el cálculo de la huella.

4.1.2.- Clasificación de aeropuertos

Con respecto a la relación entre los aeropuertos, se utilizó el modelo cuantitativo de clúster jerárquico para determinar el que tiene mayor peso, por lo tanto se elaboró un dendograma (ver anexo 3), que corresponde a la base de datos referente a las operaciones anuales por aeropuerto 2006-2017 de la aviación comercial nacional. Después se utilizó el método de Ward para identificar patrones entre las variables y determinar la existencia de cuatro grupos para los 58 aeródromos.

El primero grupo está conformado por la mayoría de los aeródromos (49 de un total de 58), que se caracterizan por ser alimentadores (regionales) de los aeropuertos grandes o troncales. Estos aeropuertos tienen el volumen menor de operaciones, así como la infraestructura de menores dimensiones con respecto a los demás.

En el segundo grupo se encuentran cinco aeropuertos (Culiacán, Hermosillo, Tijuana, Ciudad del Carmen y Cancún). Tienen características peculiares, por ejemplo, Tijuana y su flujo migratorio, Ciudad del Carmen y sus plataformas petrolíferas, Cancún como destino turístico, etc., por lo que manejan un mayor número de operaciones y pasajeros.

En el tercer grupo se encuentran aeropuertos conocidos como *Hub's* (Monterrey, Guadalajara y Toluca) o troncales, los cuales son considerados centros de conexión y son usados por las aerolíneas para distribuir el tráfico de pasajeros hacia otros destinos por lo que se encargan de concentrar a los pasajeros para facilitar el flujo, incluso fueron la base de operación de alguna aerolínea.

En el cuarto grupo se encuentra el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (MEX), esto debido a que por sí solo maneja 21% de las operaciones y el 24% de pasajeros al año en promedio.

Además, debido a la estructura radial de los vuelos, es decir, de ida y vuelta, la mayoría de los equipos tienen que pasar en algún momento del día por esta terminal aérea.

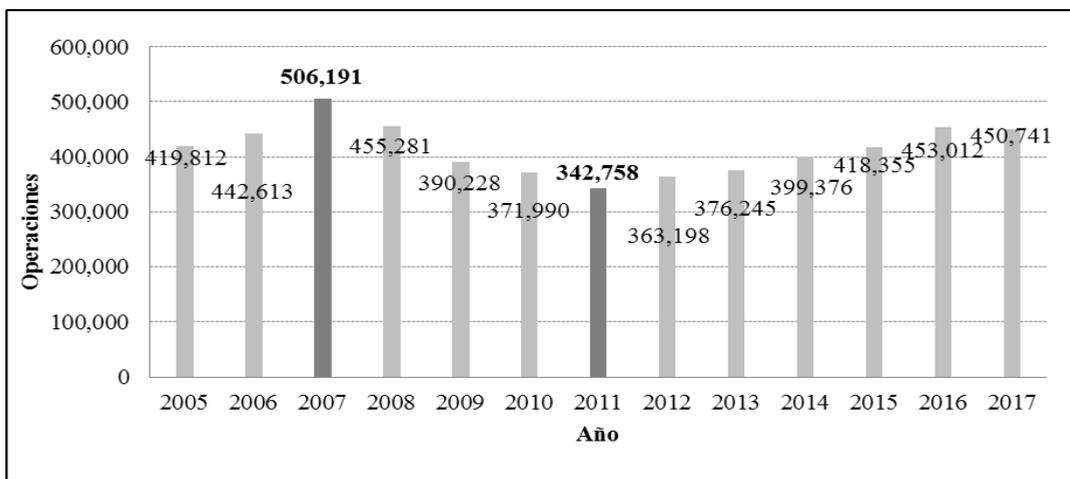
Por lo tanto para la investigación, el MEX es el objeto de estudio porque tiene mayor relevancia debido a las afectaciones que pueden tener las demoras en el resto de la red aeroportuaria. De esta forma, las mejoras que se puedan implementar en este aeródromo también beneficiarían al resto de las terminales aéreas.

4.1.3.- Registro de vuelos

En lo relativo al transporte de pasajeros, a pesar de que llegó a haber catorce aerolíneas, el mercado se ha organizado de forma oligopólica en donde tres empresas (Grupo Aeromexico, Interjet y Volaris) mantienen el control, aunque el Grupo Aeromexico lidera el mercado con más de dos de los cinco millones de operaciones registradas en el periodo, de acuerdo a los datos de la DGAC (2017).

Al igual que el número de aerolíneas, las operaciones tuvieron un incremento en 2007 y una caída en 2011, algo peculiar es que a pesar de existir menos explotadores aéreos, el volumen de operaciones nacionales se mantuvo, incluso aumentó después de la quiebra de Grupo Mexicana (Gráfica 4.2), lo cual refleja el crecimiento sostenido de esta actividad económica.

Gráfica 4.2.- Histórico de las operaciones comerciales aeroportuarias 2005-2017



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de la DGAC, 2018.

Para efectos estadísticos Aeromexico y Aeromexico Connect (ya que Aeromexico Travel dejó de operar) se consideran parte del mismo grupo, por lo que se habla de una sola empresa, de tal manera que manejan el grueso del transporte aéreo de pasajeros, pero para fines comerciales - operativos, se manejan separadas con el objeto de utilizar índices de puntualidad diferentes.

Se utilizó el método de K-medias para clasificar la información de la base de datos, de los resultados obtenidos se seleccionaron los centros de clústeres finales, ya que es la técnica de clasificación estadística con la que se puede observar la tendencia o patrón de las aerolíneas a lo largo del año, dado que reflejan las características del caso típico de cada clúster (Universidad de Granada, 2018).

De acuerdo a los principios de integridad y transparencia de la propuesta para medir la huella de carbono del Observatorio para la Sostenibilidad de España, en los que se basa esta investigación, se tomaron todos los datos públicos disponibles sobre todas las fuentes (aerolíneas) y se les aplicó el mismo método, sin sesgos. Para el año 2016 se obtuvo mayor información a nivel mensual sobre las operaciones de las aerolíneas, por lo que se utilizaron estos datos (Tabla 4.1).

Tabla 4.1.- Variación mensual de las aerolíneas

Mes	Clúster			
	Volaris/ Interjet	Aeromar/ VivaAerobus	Grupo Aeromexico	RESTO
Ene	6915	2623	14138	479
Feb	6246	2274	12974	440
Mar	7069	2749	14256	537
Abr	6784	2728	14201	506
May	7115	2803	14532	541
Jun	6913	2808	13982	548
Jul	7298	3552	14848	667
Ago	7451	3493	15122	661
Sep	6739	2976	14164	535
Oct	7155	3099	15089	571
Nov	7122	3171	14796	576
Dic	7574	3385	14744	622

Sesgo en la información		
Clúster	1	2
	2	2
	3	1
	4	6
Válidos		11
Perdidos		0

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de la DGAC, 2017

Mediante el registro mensual de operaciones se puede observar que, no todas las aerolíneas tienen el mismo comportamiento a lo largo del año, hay meses que son aprovechados de forma diferente por ejemplo julio, agosto, septiembre y diciembre, son los meses de mayor afluencia probablemente por el sector al que están dirigidos (familia, negocios, ocio, etc.). También se hace evidente la diferencia en el volumen de operaciones entre líneas aéreas, Grupo Aeromexico tiene más vuelos al mes que todas las demás aerolíneas juntas.

En este orden de ideas, se elaboró la tabla de estadísticos presentada a continuación, para ejemplificar la veracidad de la información utilizada (principio de transparencia), además, a través de la media como indicador se puede apreciar cuando está subutilizado (por debajo) o sobre utilizado (por encima) el recurso (equipos):

Tabla 4.2.- Promedios estadísticos de las aerolíneas seleccionadas

		Volaris/ Interjet	Aeromar/ VivaAerobus	Grupo Aeromexico	RESTO
Meses del año	Incluidos	12	12	12	12
	Perdidos	0	0	0	0
Promedio aerolínea		7031	2971	14403	556

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de la DGAC, 2017

Con base en lo anterior, el primer clúster formado por las aerolíneas (Volaris e Interjet), sobrepasaron su media en siete meses, lo cual se pueden explicar por las temporadas vacacionales (semana santa, puentes de mayo, verano y fin de año), y por su estructura de costos, lo que las hace más accesibles al público en general.

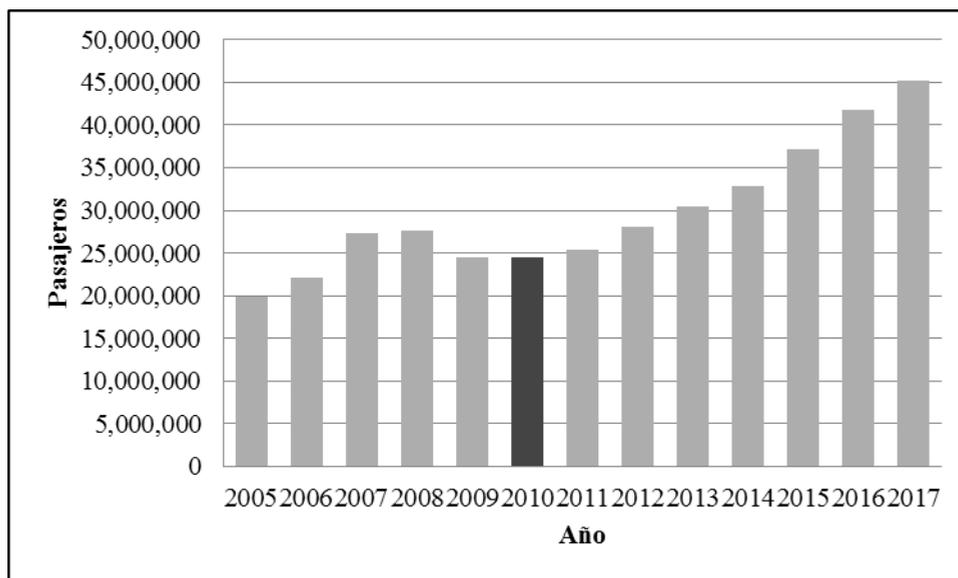
En el caso del segundo clúster, Aeromar y VivaAerobus, se observan dos temporadas, una baja de enero a junio y otra alta de julio a diciembre (con respecto a su media). Para el caso del tercer clúster, Grupo Aeromexico también estuvo seis meses por encima de su promedio y seis por debajo, pero su distribución fue diferente: mayo, julio- agosto y octubre- diciembre sobre su promedio y el resto de los meses por debajo, lo anterior también podría responder a las temporadas de vacaciones salvo por el de semana santa ya que no siempre es en las mismas fechas.

El cuarto clúster formado por el resto de las aerolíneas se comportó de la misma manera, es decir, tuvo una estacionalidad (julio-agosto y octubre-diciembre). Algo en común entre los cuatro grupos fue que, del segundo semestre, en septiembre se registró el menor volumen de operaciones, se supone que los motivos son por el desembolso económico necesario para el regreso a clases de los hijos y por los preparativos para el siguiente periodo vacacional diciembre.

4.1.4.- Pasajeros transportados

Al igual que en los casos anteriores, el tránsito de las personas en los aeródromos se vio incentivado por el aumento de la oferta de los vuelos (de 20 a 27 millones entre 2005 y 2007) con la entrada de las aerolíneas de bajo costo. Asimismo, la quiebra de las aerolíneas contrajo el mercado a un mínimo de 24.5 millones en 2010. A partir de 2011 la aviación comercial comenzó a recuperarse y ha experimentado un crecimiento continuo al llegar a un máximo histórico en 2017 de 45 millones de personas transportadas (Gráfica 4.3).

Gráfica 4.3.- Pasajeros transportados 2005-2017



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de la DGAC, 2018.

A pesar del incremento del 228% en el número de personas transportadas entre 2005 y 2017, la cantidad de asientos vendidos entre la capacidad del avión, también conocido como factor de ocupación, de los explotadores aéreos tuvo una variación de menor magnitud (Tabla 4.3), Interjet, Aeromexico Connect y TAR experimentaron un aumento de 24.9, 31.6 y 21.2% respectivamente, cabe señalar que como grupo, Aeromexico experimentó un crecimiento menor de 14.9%.

Mientras que las aerolíneas regionales aumentaron en menor medida: Aeromar, Aerocalafia y Magnicharters con un 2.9, 4.3 y 5.6% respectivamente. Sólo se toman las variaciones de las aerolíneas en servicio de mayor y menor intensidad para 2016, para el caso de las aerolíneas que han dejado de operar no se tomaron en cuenta (por ejemplo Avolar con 31.9%, Click de Mexicana con 20%, entre otros), dado que ya no es posible modificar sus actividades y por tanto, quedan fuera de los propósitos de la presente investigación.

Tabla 4.3.- Factor de ocupación de pasajeros de empresas nacionales regulares 2005-2016

Aerolíneas¹⁶	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Variación
Interjet	52.0%	55.0%	66.2%	68.2%	68.2%	76.5%	75.1%	74.2%	74.3%	72.5%	78.2%	76.9%	24.9%
Aéreo Calafia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74.0%	74.9%	78.3%	4.3%
Aerocalifornia	55.8%	57.4%	45.3%	50.8%	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.0%
Alma	-	-	53.9%	51.4%	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.5%
Aeromar	38.6%	40.8%	32.4%	40.8%	42.5%	41.6%	42.6%	42.4%	39.4%	40.4%	43.9%	41.5%	2.9%
Aeroméxico	67.1%	68.5%	58.6%	69.6%	68.5%	76.2%	76.7%	73.3%	78.5%	81.8%	81.7%	82.0%	14.9%
Aeroméxico Connect	45.5%	47.2%	59.0%	67.4%	70.5%	74.6%	79.5%	73.0%	72.3%	75.6%	75.4%	77.1%	31.6%
Aviacsa	65.0%	65.0%	37.2%	72.1%	70.4%	-	-	-	-	-	-	-	5.4%
Avolar	42.0%	45.1%	35.3%	73.9%	-	-	-	-	-	-	-	-	31.9%
Click de Mexicana	52.3%	54.8%	49.7%	67.2%	70.5%	72.3%	-	-	-	-	-	-	20.0%
Grupo Aeroméxico	65.0%	65.6%	58.7%	68.9%	69.3%	75.5%	77.8%	73.2%	75.8%	79.1%	79.0%	79.9%	14.9%
Líneas Aéreas Azteca	48.0%	45.0%	21.7%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-26.3%
Magnicharters	77.9%	79.4%	80.9%	84.3%	89.4%	81.8%	77.1%	80.1%	79.2%	82.0%	82.4%	83.5%	5.6%
Mexicana de Aviación	68.7%	69.3%	60.3%	72.8%	71.0%	74.0%	-	-	-	-	-	-	5.3%
Mexicana Link	-	-	-	-	58.0%	62.5%	-	-	-	-	-	-	4.5%
TAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41.3%	63.7%	62.5%	21.2%
VivaAerobus	-	-	67.9%	71.8%	74.8%	71.9%	72.6%	80.8%	78.6%	76.5%	77.8%	80.7%	12.8%
Volaris	-	-	69.2%	71.3%	67.8%	75.4%	75.6%	78.9%	78.3%	77.9%	78.7%	82.4%	13.2%

Fuente: DGAC, 2017.

16 En este rubro la DGAC maneja a Grupo Aeromexico y sus filiales por separado, por lo que se utilizó toda la información (principio de transparencia).

4.2.- Cálculo de la huella de carbono

De acuerdo a los índices señalados en la MEET, se utilizaron los datos respectivos a las aerolíneas mexicanas para hacer la conversión, por lo que se construyó la tabla 4.4 con los valores utilizados para los índices de emisión de gases contaminantes de la aviación comercial en México en la fórmula propuesta por Kurniawan y Khardi (2011).

De las nueve fases por las que atraviesa la aeronave desde que enciende motores hasta que los vuelve a apagar, sólo se tomaron los referentes al lado aire: encendido de motores, carreteo de salida, carreteo de llegada y operaciones terrestres (fases 1, 2, 8 y 9). Además, se agregó la fase 10 para estimar las emisiones generadas durante el rodaje prolongado de los aviones, la cual no está considerada en la MEET.

Las fases operacionales despegue, ascenso, crucero, descenso y aterrizaje (3, 4, 5, 6 y 7), no se consideraron en la estimación ya que corresponden a la parte de *Take off and Landing* (TOL), la cual queda fuera de los límites de la investigación (ver estrategia metodológica).

Tabla 4.4.- Emisiones de Co₂ generadas por fase operacional

		Co2 (gr)	
Fase operacional		Estela Mediana	Estela Pesada
1	encendido de motores	48,951	72,261
2	carreteo de salida	99,900	147,186
8	carreteo de llegada	24,975	54,945
9	operaciones terrestres*	44,955	99,900
10	Rodaje prolongado (por minuto)	999	2,198
Total sin demora		218,781	374,292

Fuente: Elaboración propia con base en información del IMT, 2018.

De esta forma, el dato que se toma como base para la medición es el del dióxido de carbono y se divide en el tipo de estela, ya que tiene que ver con el tamaño del motor, por lo que requiere una cantidad diferente de combustible para funcionar. Debido a que los índices obtuvieron en gramos,

para dimensionar el tamaño se tradujeron a kilos, además, la estimación se hizo tomando en cuenta el empleo de los dos motores.

También se realizó el cálculo por minuto de las emisiones producidas durante la espera de la autorización de despegue de los equipos, para cada tipo de estela de acuerdo a la clasificación propuesta en la metodología (capítulo tres), para exponer el volumen de emisiones entre 2005-2017. Así, se promediaron para los dos tipos de estelas dos momentos, el minuto 15 y el 45, con 85 y 255 kg de Co₂ respectivamente, ya que representan los tiempos de espera menor y mayor en el aeropuerto MEX entre 2005- 2017, de acuerdo a la información publicada por Herrera (2012), los cuales son la base del análisis de la presente investigación.

4.2.1.- Consumo de turbosina

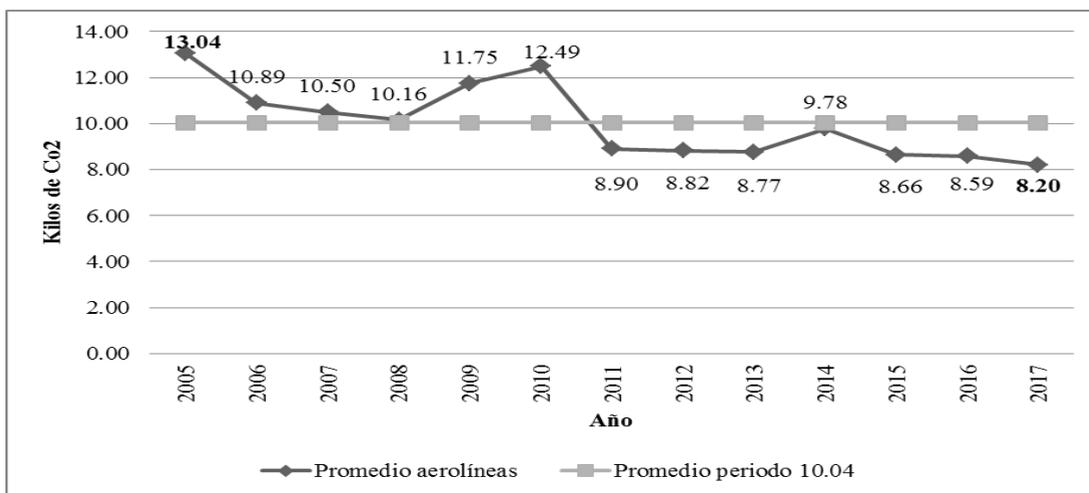
La determinación del consumo de combustible se hizo de acuerdo a la fase operacional para cada tipo de estela (como se vio en el apartado anterior), y además se utilizó la clasificación de las demoras emitida por la DGAC, así como el número de operaciones anual por aerolínea y el tiempo promedio de demora establecido en las publicaciones del IMT.

La estimaciones realizadas son del tiempo en tierra de los equipos (fases operacionales 1, 2, 8, 9 y 10), se puso especial énfasis en las diferentes causas que aumentan el tiempo de la fase 10 principalmente, es decir, las que dependen de la infraestructura aeroportuaria, así como de las aerolíneas (pasillos, saturación de plataforma, falta de equipo de apoyo, falta de personal, etc.), no se consideran los fenómenos meteorológicos ya que no pueden controlarse (lluvia, emisión de cenizas volcánicas, nieve, neblina, huracanes, etc.).

Una operación normal consume en promedio 958 kg de turbosina, mientras que en una operación demorada el tiempo máximo aumenta el consumo 2,160 kg, es decir un 225% extra, el principal problema es que este tipo de operaciones representa el 46% del total, lo que se puede traducir en una falta de interés por parte de las empresas o las autoridades, deficiencias en el seguimiento normativo, o en una falta de capacidad de respuesta (actualización de procedimientos).

De los datos obtenidos se realizó un promedio de las emisiones durante las fases operacionales 1, 2, 8 y 9 por los pasajeros transportados por las aerolíneas que tuvieron participación en el periodo de estudio (Gráfica 4.4). Se determinó un promedio de 10.04 kilos de CO₂, y se observa en 2005 un máximo de 13.04 kg mientras que en 2017 hay un mínimo de 8.20 kg. A pesar del incremento sostenido del tránsito de personas a partir del 2011, la huella se ha mantenido debajo de la media, una posible explicación puede ser la renovación de la flota de aeronaves, ya que el factor de ocupación creció un promedio de 14.5%.

Gráfica 4.4.- Promedio de emisiones de CO₂ en fases operacionales 1, 2, 8 y 9 por pasajero



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de la DGAC, 2018.

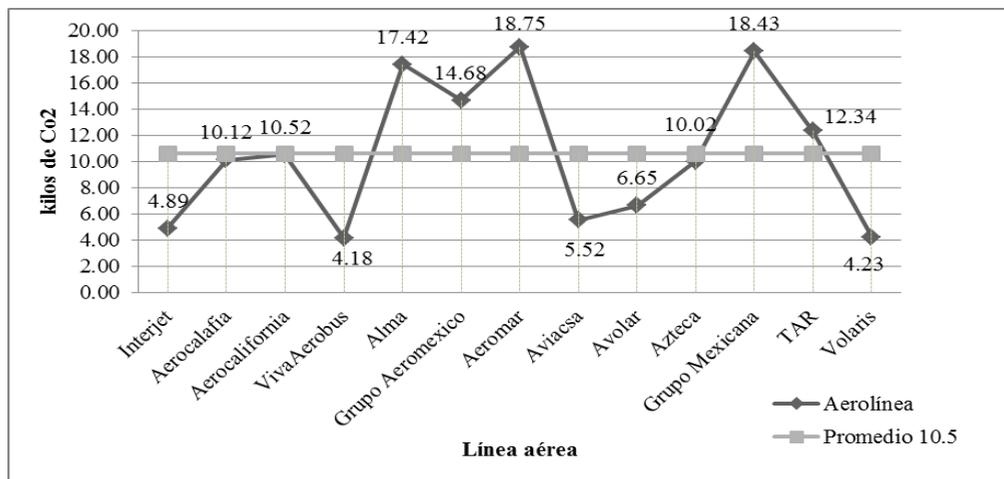
El argumento anterior podría indicar que las innovaciones tecnológicas han funcionado para disminuir el impacto al ambiente de la aviación comercial en el país, sin embargo la información pública disponible no incorpora todos los datos referentes a las demoras producidas, por lo que los resultados de la gráfica anterior se estimaron bajo el supuesto de que todas las operaciones son a itinerario, lo cual difiere de la realidad porque, el tiempo de espera de los equipos en plataforma va en aumento (disminución de la puntualidad), traducido a un mayor consumo de turbosina.

En lo referente a las aerolíneas, se calculó un promedio de emisión de 10.6 kilos de CO₂ por vuelo, de las actualmente en servicio, Interjet, VivaAerobus y Volaris tienen las emisiones menores (4.89,

4.18 y 4.23 kilos respectivamente), mientras que Aeromar y Grupo Aeroméxico tienen la huella más grande con 18.75 y 14.68 kilos (Gráfica 4.5).

Lo anterior puede que sea provocado porque la flota de Aeromar está formada por equipos de turbohélice que trasladan a una cantidad reducida de pasajeros. Mientras que en el caso de Grupo Aeroméxico tiene un factor de ocupación relativamente bajo para el volumen de vuelos ofertados, o por la configuración de sus cabinas¹⁷.

Gráfica 4.5- Promedio de emisiones por aerolínea por pasajero en el periodo 2005- 2017

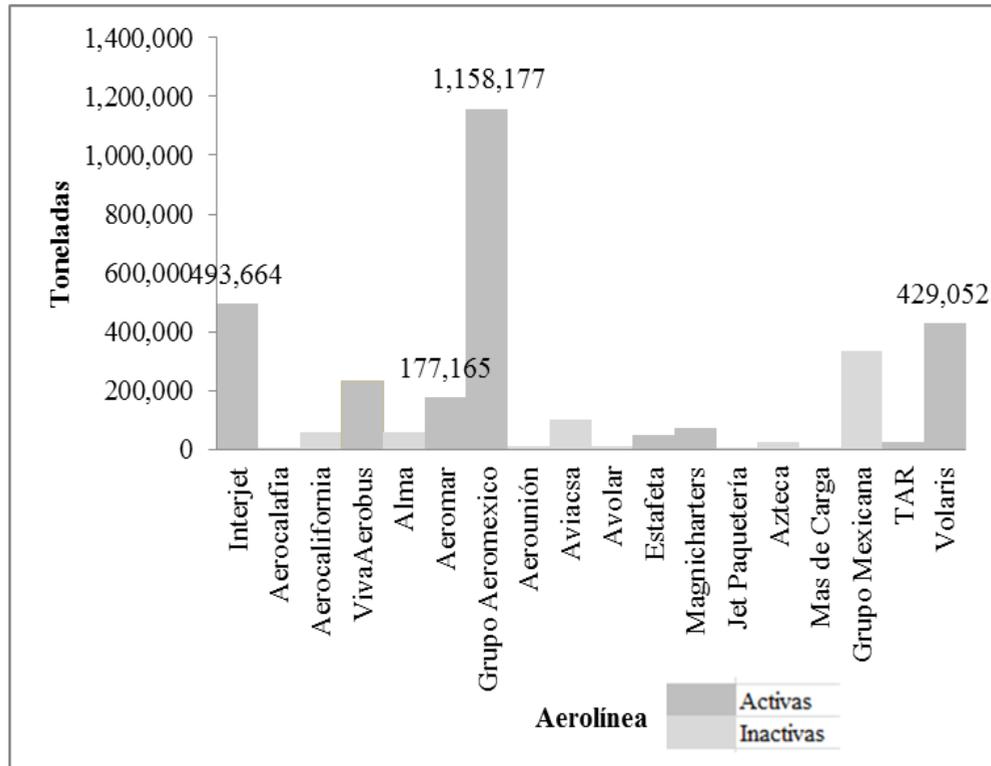


Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de la DGAC, 2018.

Por último, se realizó la estimación de la huella de carbono total generada por cada aerolínea en el periodo de tiempo analizado (Gráfica 4.6), con lo que se determina que a pesar de una huella por pasajero transportado elevada debido a la capacidad máxima por equipo (72 pasajeros, equipo ATR72), Aeromar tiene un impacto bajo (177,165 toneladas) originado por su volumen de operaciones, con respecto a sus compañeras Interjet (493,664 toneladas) y Volaris (429,052 toneladas) que manejan capacidades máximas entre 150 y 220 pasajeros (equipos A320 y A321 respectivamente), y el explotador aéreo con las emisiones más grandes es Grupo Aeroméxico (1,158,177 toneladas) con capacidad máxima de 274 pasajeros (equipo B787-9 dreamliner).

¹⁷ Actualmente sólo esta aerolínea tiene un espacio exclusivo para primera clase, lo que resta a la cantidad total de pasajeros por vuelo.

Gráfica 4.6.- Emisiones totales por aerolínea del 2005 a 2017



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de la DGAC, 2017.

4.2.2.- Las demoras y su repercusión

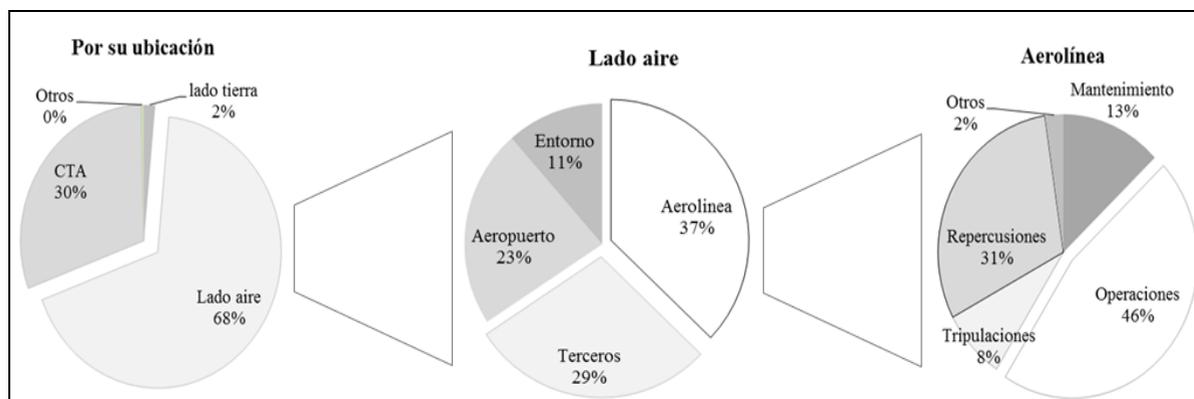
Como se puede observar en la gráfica 4.7, la información se organizó de acuerdo al área donde se generan las emisiones, que puede ser lado aire, lado tierra o control de tráfico aéreo, además se agregó un apartado llamado otros para englobar a los que no tienen un área de emisión definida, por lo que se concluye que el lado aire es el que mayor influencia tiene en la generación de emisiones al ambiente (68% del volumen total).

Dentro del lado aire, se clasificaron las fuentes en cuatro tipos principales (aerolínea, aeropuerto, terceros¹⁸ y entorno), por lo que las demoras producidas por las líneas aéreas (ya sea por la misma

¹⁸ Se refiere a todas las empresas que no son parte de la aerolínea o del aeropuerto, puede ser otra aerolínea o algún handler.

empresa o un tercero), son las que tienen una repercusión mayor con el 66% del total. Además, se realizó una clasificación dentro de las demoras imputables a los explotadores aéreos y se observó que casi la mitad de las operaciones con atrasos son producto del área de operaciones (46%)¹⁹.

Gráfico 4.7.- Ubicación espacial de las emisiones en las operaciones con demora



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de la DGAC, 2017.

Se partió de lo general a lo particular, considerando en primer término la clasificación general de la DGAC de las demoras y se seleccionaron las referentes al área de investigación (lado aire), las cuales se desagregaron de acuerdo a la responsabilidad de los diferentes actores, por lo que se enfatizó en las demoras producidas por las aerolíneas, y de estas, se concluye que las causas generadas por operaciones son las de mayor influencia en la huella de carbono.

De esta manera, se tomaron las operaciones de las nueve aerolíneas nacionales de transporte aéreo de pasajeros²⁰ (Interjet, Aeromexico, Aerocalafia, Magnicharters, TAR, Aeromexico Connect, Aeromar, VivaAerobus y Volaris) en 2016 y se utilizó el modelo de análisis factorial, con el objeto de encontrar grupos relevantes por aerolínea, los datos se reacomodaron y se seleccionaron puesto que, en la base original se enumeran todas las líneas aéreas que han tenido presencia en el país durante los últimos 20 años catalogadas por mes y año.

¹⁹ Cabe señalar que dentro de operaciones hay más áreas como despacho o rampa, en algunos casos la misma empresa cumple con la función de *handler* por lo que también se encarga del personal y el equipo en tierra, comisariato y/o seguridad contratada.

Con la información de la tabla 4.5, se puede concluir que debido a los porcentajes que se generaron, para el modelo de análisis factorial, los primeros cuatro factores de causas que originan las demoras resultan ser los de mayor grado de significación (% acumulado). Aunque es relevante mencionar que hace falta más información, ya que esta parte del modelo no es suficiente por sí sola para explicar el fenómeno estudiado por causas que a pesar de tener un valor bajo en el porcentaje, tienen un peso sustancial para esta investigación.

Lo anterior debido a la desagregación de la codificación, ya que por ejemplo, las afectaciones provocadas por Control de Tránsito Aéreo (CTA) están clasificadas en varios tipos, lo que estadísticamente tiene un bajo impacto con respecto a las demás. Con operaciones aerolínea pasa lo contrario, en donde se engloban diferentes actividades por lo que aumenta su participación en las demoras totales.

Tabla 4.5.- Agrupación de variables en factores

Factores	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
No imputables a la aerolínea	12.984	27.049	27.149
Imputables a la aerolínea	8.781	18.293	45.442
Imputables a aeropuerto	6.880	14.332	59.775
Operaciones	4.107	8.555	68.330
CTA	3.126	6.512	74.842
Procedimientos	2.927	6.098	80.940
Seguridad	2.786	5.804	86.744
Handler	2.364	4.926	91.670
Causas externas	2.153	4.485	96.155
Causas varias	1.105	2.302	98.457

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de la DGAC, 2017.

Para una explicación estadística se podrían usar solamente los primeros tres factores, sin embargo hay demoras importantes que se encuentran en otros factores, por lo que se incluye la tabla completa en el anexo 5, en donde se puede observar el valor de cada variable en función del grupo al que pertenecen así como el sentido de la relación entre las mismas.

20 Para este caso sí hay una separación entre las empresas de un mismo grupo, para evitar que las estadísticas de una afecten a la otra.

Así, en la tabla 4.6 se encuentran los principales factores de acuerdo a la relación que hay entre los elementos de cada grupo, se consideró un código como significativo si el valor está entre -1.0 y -0.5 ó entre 0.5 y 1.0. Si el sentido es negativo se considera una relación inversamente proporcional y si el sentido es positivo significa que es directamente proporcional, la intensidad de la relación es mayor entre más cercano se encuentre del 1.0, con base en esta información se les colocó el nombre a los diferentes factores que causan las demoras.

En el primer factor se le nombró causas no imputables a la aerolínea, dado que de las diez demoras, sólo dos son imputables a la aerolínea: repercusiones con 0.627 y tripulaciones con 0.598. Mientras que, hay dos con la mayor intensidad: servicios de apoyo en tierra y control terrestre con 0.989. Por lo que se puede deducir que en este caso el factor de mayor peso son las causas no imputables a las líneas aéreas.

Con respecto al segundo factor o causas imputables a la aerolínea, también está formado por diez códigos, de los cuales seis tienen una relación positiva y cuatro una negativa, asimismo, cinco son imputables a las aerolíneas y el resto no. Los rubros de mayor significancia son: tráfico/documentación con 0.904, rampa con 0.902, mantenimiento aeronaves con 0.852, así como una relación inversamente proporcional con comisariato ya que es de -0.843. Por lo tanto, se considera en este clúster a las causas imputables a las líneas aéreas ya que son las de mayor relevancia.

En el tercer factor o imputables al aeropuerto, se concentraron diez códigos, de los cuales dos son atribuibles a las aerolíneas y donde tres de los de mayor significancia corresponden a la gestión en los aeropuertos: saturación de servicios, inauguraciones y arco detector de rayos X con 0.996. El cuarto código con 0.996 es el relativo a eventos ocasionales, y aunque son cargados a las aerolíneas tienen relación con la infraestructura aeroportuaria como distancias recorridas para dar el servicio, espacios entre posiciones y tiempo que tardan para llegar los responsables del proceso en cuestión.

El cuarto factor lo conforman las demoras atribuibles a operaciones, formado por tres códigos, dos de los cuales son provocados por las aerolíneas: operaciones aerolínea con 0.749 y espera de equipo con 0.996, el tercero no tiene especificado las demoras incluidas: otros con 0.548. De esta forma, se le puso el nombre de operaciones ya que dicha área es la encargada de coordinar en tierra los

procedimientos de operación²¹ entre las diferentes áreas, por lo que las demoras cometidas en cualquier fase pueden ser cargados al responsable del vuelo.

En el quinto factor o CTA, se encuentran agrupadas tres de las demoras causadas por Control de Tránsito Aéreo (CTA): aplicación de control de flujos con 0.754, control de flujos SENEAM con 0.657 y, de forma inversa, visita papal con -0.958. La cuarta demora en este factor es por parte de la DGAC, ya que al ser la autoridad máxima del aeropuerto es la única que puede autorizar el cierre del mismo, aunque la relación es negativa con -0.912. Debido a lo anterior, se le nombró al factor como CTA.

El sexto factor o procedimientos, está formado por causas con diferentes orígenes, las cuales repercuten en el tiempo en plataforma de las aeronaves debido a la distancia que tienen que recorrer los actores así como a los pasos a seguir: autoridades migratorias con 0.890, espera de equipo de apoyo con 0.652, suministro de combustible con 0.533 y accidente con 0.508. Sólo la última de estas causas es generada por las aerolíneas.

En el caso del séptimo factor o seguridad, el origen de las demoras es por cuestiones de seguridad, tanto para la aeronave como para los pasajeros. Las dos causas que se englobaron tienen 0.973 de significancia (procedimientos de seguridad y emergencia médica), de las cuales, la segunda no es atribuible a la aerolínea.

En el octavo factor o *Handler* se encuentra sólo un elemento con relación significativa pero en sentido negativo, es decir, el *handler* con -0.743, el resto de las causas tiene una intensidad relativamente baja, por ejemplo la siguiente demora es accidente por un tercero con 0.426, dado que los valores menores a ± 0.5 no son significativos para el modelo, sólo se consideró el primero para ponerle el nombre al componente de la tabla.

En el noveno factor, la causa bloqueo carretero es la de mayor grado de significancia con 0.823 y de forma negativa los incidentes con un tercero con -0.701, ya que el siguiente valor es el de Control de flujo SENEAM con 0.403 por lo que se le puso el nombre de causas externas al aeropuerto.

21 Generalmente las aerolíneas se organizan dentro del aeropuerto para la atención de los vuelos en 6 áreas: operaciones, rampa, tráfico, mantenimiento, tripulaciones y comisariato.

En el décimo factor, encontramos tres causas diferentes: pasajero enfermo con 0.723, cambio de equipo con -0.747 y control de flujos con 0.601 por lo que se determinó nombrarlo como causas varias ya que la primera puede ser generada en el lado tierra o el lado aire, la segunda es provocada en el lado aire, mientras que la tercera es propia de CTA.

Tabla 4.6.- Clasificación de las demoras en sus principales factores

Código	Factor			Código	Factor		
	No imputables a la aerolínea	Imputables a la aerolínea	Imputable a aeropuerto		No imputables a la aerolínea	Imputables a la aerolínea	Imputable a aeropuerto
Operaciones Aerolínea*	0.593	0.005	-0.084	Control de Flujo SENEAM	0.357	0.029	0.401
Repercusiones*	0.627	-0.57	0.223	Otros	0.719	-0.257	-0.012
Mantenimiento Aeronaves*	0.19	0.852	0.348	Demora en Ruta	0.133	0.574	0.351
Tripulaciones*	0.598	0.153	0.437	Control de Flujo	0.299	0.198	0.204
Tráfico/Documentación*	0.216	0.904	0.031	Autoridades	-0.197	0.806	-0.207
Rampa Aerolínea*	0.004	0.902	0.181	Control de Flujo AICM	0.037	-0.738	0.434
Comisariato*	0.276	-0.843	0.018	Aerocares	-0.309	-0.005	0.682
Evento Ocasional *	-0.021	0.042	0.996	Servicios de Apoyo en Tierra	0.989	-0.095	-0.067
Repercusiones por un Tercero	0.857	0.063	0.019	Control Terrestre	0.989	-0.095	-0.067
Meteorología	0.748	0.33	-0.191	Repercusiones en Ruta	-0.296	0.898	0.074
Aplicación de Control de Flujo	0.475	0.174	0.274	Saturación de Servicios	-0.021	0.042	0.996
Infraestructura Aeroportuaria	0.649	-0.137	0.081	Inauguración	-0.021	0.042	0.996
Evento Ocasional	0.887	-0.188	-0.101	Arco Detector Rayos X	-0.021	0.042	0.996

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de la DGAC, 2017

Con lo anterior se puede observar que 35 de las demoras se producen del lado aire ya que de las 47 opciones, tres se localizan del lado tierra (tráfico/documentación, bloqueo carretera y arco detector rayos X), ocho corresponden a Control de Tránsito Aéreo (repercusiones por un tercero, meteorología, aplicación de control de flujo, evento ocasional, control de flujo SENEAM, demora en ruta, control de

flujo MEX y repercusiones en ruta), asimismo, se dejó uno sin clasificar debido a la amplitud de lo que se puede incluir ese rubro (otros).

Hay que hacer mención que de los 47 códigos de demora manejados por la DGAC (ver anexo 4), sólo 14 son atribuibles a las aerolíneas²² (operaciones aerolínea, repercusiones, mantenimiento aeronaves, tripulaciones, tráfico/documentación, rampa aerolínea, comisariato, incidente, carga, accidente, procedimiento de seguridad, cambio de equipo, evento ocasional y espera de equipo), el resto se dividen entre los diferentes actores (aeropuerto, terceros y entorno).

Por ejemplo, Control de Tránsito Aéreo (CTA) tiene cuatro códigos diferentes (aplicación de control de flujo, control de flujo SENEAM, control de flujo y control de flujo MEX), combustibles tiene dos (suministro de combustible y combustible tarde), meteorología tiene tres (meteorología, demora en ruta y repercusiones en ruta). Por lo que resulta interesante analizar su ocurrencia a lo largo del año. Para lograrlo, se empleó un análisis de conglomerados K medias en la información mensual de las demoras en 2016, los resultados de mayor relevancia se describen en la tabla 4.7.

Tabla 4.7.- Variación anual de las demoras

Causas de demora	Nov	Ene- Abr	May- Oct	Dic	Causa de demora	Nov	Ene- Abr	May- Oct	Dic
Operaciones Aerolínea*	5556	3343.3	2632.3	6042	Espera de Equipo de Apoyo	51	26.8	28.8	39
Repercusiones*	5051	759	2562.7	3497	Pasillos	44	19.3	36.3	40
Mantenimiento Aeronaves*	1004	1044.8	930.8	745	Ocasionada en su Origen	29	11	26.2	41
Tripulaciones*	917	513.8	627	582	Autoridades	28	77.8	37.7	22
Tráfico/Documentación*	276	328.5	196	236	Control de Flujo AICM	24	7.3	25.3	42
Rampa Aerolínea*	94	193.8	82	35	Suministro de Combustible	24	0	4	27
Comisariato*	44	11	27.7	53	Aerocares	23	36	54.7	20
Incidente*	42	7.8	5.5	46	Incidente por un Tercero	10	36.8	13.3	12
Carga*	9	18.3	24	7	Combustibles	7	0.8	11	6
Accidente*	1	0	0.7	0	Servicios de Apoyo en	3	0	0	0

²² En el anexo se señaló la fase en la que se localizan las demoras, por lo que también se puede observar que la mayoría corresponden al lado aire. Además se clasificó entre códigos imputables a la aerolínea (*) y las no imputables para ejemplificar la complejidad durante la determinación del origen de la falla.

					Tierra				
Procedimiento de Seguridad*	0	0	0.2	0	Accidente por un Tercero	1	19.8	11.2	0
Cambio de Equipo*	0	1.3	0	0	Pasajeros Especiales	1	0	0.2	0
Evento Ocasional *	0	0	0.3	0	Control Terrestre	1	0	0	0
Espera de Equipo*	0	0	0	6	Visita Papal	0	1.3	0	0
Repercusiones por un Tercero	4733	2698	2625.7	3355	Repercusiones en Ruta	0	64.8	30.3	3
Meteorología	3164	2537.8	2089.8	2365	Bloqueo Carretera	0	0	0.5	0
Aplicación de Control de Flujo	2807	2410.5	2409.2	2524	Saturación de Servicios	0	0	0.2	0
Infraestructura Aeroportuaria	1839	654.3	901.7	1462	Pasajero Enfermo	0	0.3	0	0
Evento Ocasional	459	223	207.2	227	Cierre de Aeropuerto	0	0.5	0.2	0
Control de Flujo SENEAM	210	165.5	183.8	192	Emergencia Médica	0	0	0.2	0
Otros	181	57.3	50	152	Handler	0	0	0.7	0
Demora en Ruta	108	106	106.7	70	Inauguración	0	0	0.3	0
Control de Flujo	58	47.8	47	55	Arco Rayos X	0	0	0.2	0
					Autoridades Migratorias	0	0	0.2	0

Fuente: Elaboración propia con base en información de la DGAC, 2017

El sistema agrupó en cuatro clústeres los meses del año por lo que se pueden apreciar las peculiaridades en cada grupo (noviembre, enero-abril, mayo-octubre y diciembre). En el caso de noviembre se observa que siete de las demoras superaron las mil recurrencias (operaciones, repercusiones, mantenimiento, flujos, meteorología e infraestructura aeroportuaria), aunque son 16 las causas con significancia²³. Lo anterior puede deberse al inicio de la temporada de vuelos charters, es decir, debido al incremento de operaciones temporales, la operación diaria se ve afectada al saturarse los horarios y aumentar el flujo de pasajeros.

A este respecto, las demoras por mantenimiento afectan debido a que se utiliza al 100% la flota de aeronaves por lo que no queda margen para cubrir estas eventualidades, las cuestiones meteorológicas influyen durante todo el año, pero en esta época también aumenta debido al volumen de vuelos y a la

23 Repercusiones (5051), Tripulaciones (917), Accidente (1), Repercusiones por un tercero (4733), Meteorología (3164), Aplicación de control de flujo (2807), Infraestructura aeroportuaria (1839), Evento ocasional (459), Control de flujo SENEAM (210), otros (181), Demora en ruta (108), Control de flujo (58), Espera de equipo de apoyo (51), Pasillos (44), ocasionada en su origen (29) y Control terrestre (1).

secuencia de los mismos. De esta forma, las diferentes causas tienen relación con la infraestructura aeroportuaria ya que se mantiene constante mientras el volumen de aeronaves en plataforma aumenta.

De enero a abril las principales causas de retrasos en los vuelos fueron mantenimiento aeronaves (1044), rampa aerolínea (194), y tráfico (328). Lo anterior pudo ser provocado porque a pesar de no elevarse sustancialmente el número de operaciones, el volumen de pasajeros transportado aumenta considerablemente en el periodo vacacional de semana santa. En el caso de las afectaciones por autoridades pudo ser causada por que el término de la temporada de chárter es en abril generalmente, por lo que deben mantener un control estricto del flujo de pasajeros nacionales y extranjeros.

De mayo a octubre se considera como la temporada baja para la mayoría de las aerolíneas, aunque existen diferencias de aprovechamiento de sus equipos a lo largo del año. La carga es un elemento que se incrementó en estos meses, probablemente como una estrategia compensatoria para el bajo volumen de pasajeros, al igual que las operaciones de una compañía que, por la forma de sus aviones, no puede usar los pasillos para embarcar/desembarcar pasajeros, por lo que ocupa aerocares, las principales demoras fueron repercusiones (2562), aerocares (55) y combustibles (11).

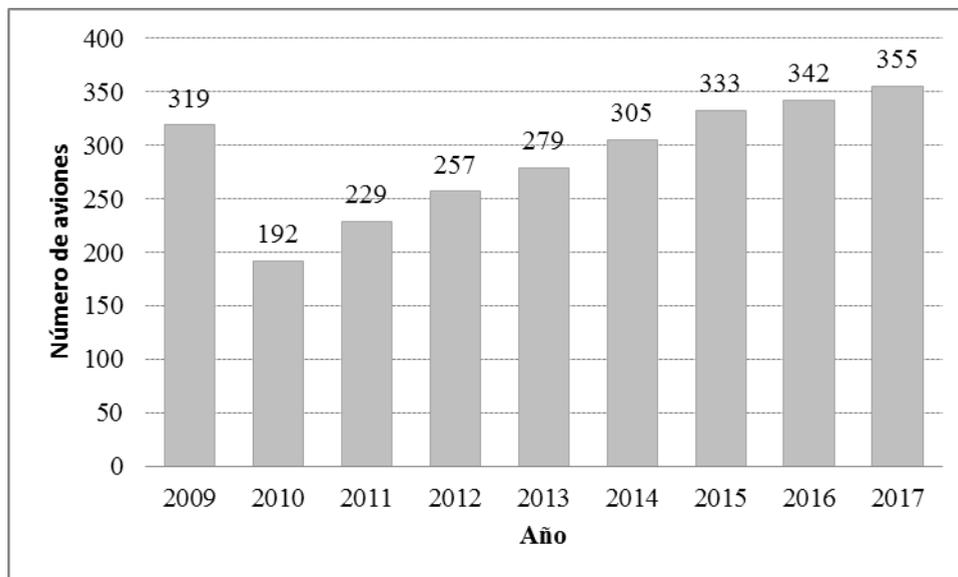
En diciembre, temporada con mayor actividad en los aeropuertos que alcanza los 27 mil vuelos, se observa el registro de más demoras que en los seis meses del clúster anterior, la de mayor significancia fue la relativa a las operaciones aerolínea con 6042 operaciones con atraso, casi una cuarta parte de las operaciones totales en ese mes, probablemente por el incremento de operaciones por temporada, que no necesariamente implica un aumento del personal o de equipo de apoyo para su atención.

4.2.3.- Costos de operación

De acuerdo a los resultados obtenidos se cuantificó el consumo de turbosina en términos monetarios y se dividió entre el costo necesario para la operación a itinerario en tierra, así como el costo generado por las demoras, el resultado es que la mayor proporción del recurso económico gastado no genera beneficios, es decir, el tiempo extra que permanece un equipo en tierra no es redituable para las empresas.

Con respecto a la flota de las aerolíneas nacionales, la flota que tardó más de 80 años en llegar a 319 equipos (1928- 2009), se redujo a 192 al año siguiente (2010) y en siete años se recuperó para llegar a 355 aeronaves, lo que se traduce en una fuerte inversión por parte de los explotadores aéreos, incluso un endeudamiento, que puede llegar a influir en la estructura de costos de operación a través de la especulación, dado que el crecimiento del mercado es solamente un pronóstico que puede ser variable de acuerdo a los acontecimientos que se susciten (Gráfica 4.8).

Gráfica 4.8.- Distribución de aeronaves en la industria de la aviación nacional del 2009 al 2017



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de la DGAC, 2017.

Para calcular el volumen de turbosina es necesario conocer la densidad del líquido dado que la información manejada es relativa al peso y se tiene que realizar la conversión a litros, el objetivo es estimar el costo económico que tiene para las aerolíneas de acuerdo al precio que fija ASA (2016) para el combustible, el cual es de \$9.11 por litro en promedio (2005-2016). El registro del combustible realizado por las aerolíneas se hace en kilos, mientras que (ASA), lo hace en litros suministrados, por lo que se procedió a hacer la conversión.

De acuerdo a la hoja de datos de seguridad para sustancias PR- 201/97 emitida por la gerencia de protección ambiental y seguridad industrial de PEMEX refinación la turbosina tipo JET A-1 tiene una densidad de 0.772²⁴, por lo que se procedió a calcular la cantidad de litros necesarios para cada fase operacional, del estándar por operación por tipo de estela (276 lt y 467 lt), así como su equivalencia en términos económicos (\$2,511 y \$4,227).

Tabla 4.8.- Conversiones kilos- litros- pesos

	Fase operacional (T)	Kilos		Litros		Pesos	
		Estela Mediana	Estela Pesada	Estela Mediana	Estela Pesada	Estela Mediana	Estela Pesada
1	Encendido de motores	105	155	81.06	119.66	738.5	1,090.1
2	Carreteo de salida	150	221	115.8	170.612	1,054.9	1,554.3
8	Carreteo de llegada	75	165	57.9	127.38	527.5	1,160.4
9	Operaciones terrestres*	27	60	20.844	46.32	189.9	422.0
10	Rodaje prolongado (por minuto)	15	33	11.58	25.476	105.5	232.1
Total sin demora		357	601	275.604	463.972	2,510.8	4,226.8

Fuente: Elaboración propia, 2017.

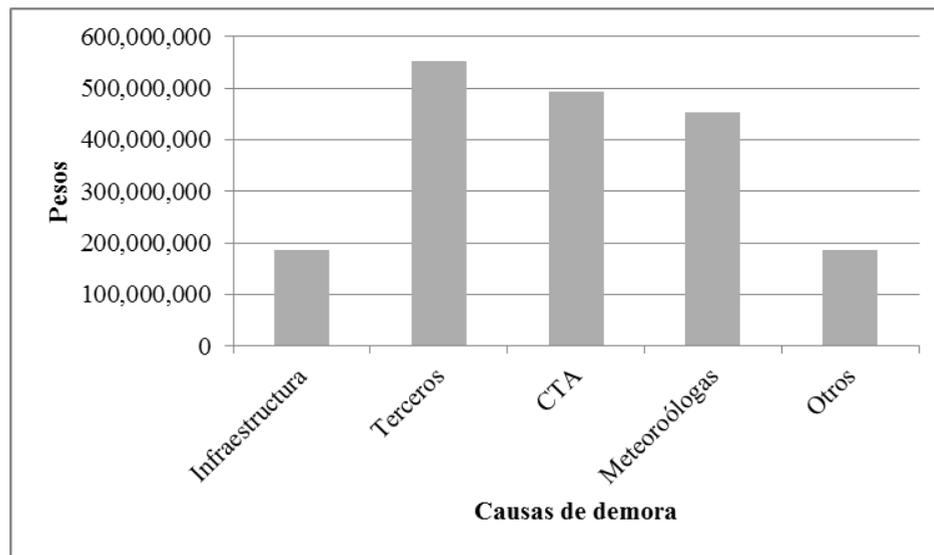
Las estimaciones realizadas promediaron los datos operacionales, los cuales se organizaron en totales por año para cada tipo de estela, no por el tamaño de motores, por lo que una operación sin demora tiene un costo por concepto de consumo de turbosina en tierra de \$6,738, mientras que los vuelos con retraso tienen un costo extra de \$15,191, es decir, un incremento del 225%.

Con las estimaciones realizadas, se analizó la estructura de costos de las aerolíneas y el efecto que tienen las demoras, por ejemplo, según datos de la DGAC, el total de operaciones en MEX fue de 453,012 en 2016, de las cuales 246,666 estuvieron a tiempo, mientras que 206,346 sufrieron algún tipo de demora. Si esto se traduce a dinero, el costo de operación fue de \$4, 797 mdp, de los cuales \$1,662 mdp corresponden a los vuelos sin afectaciones, y \$3,134 mdp a las que tuvieron retrasos en su itinerario.

24 Tomando como referencia los parámetros de la temperatura de 15°C considerados dentro de la *International Standard Atmosphere* (ISA).

Se realizó el mismo ejercicio con el costo de las demoras no imputables a las aerolíneas (\$1,742 mdp), el resultado fue que el costo mayor se concentró en las afectaciones provocadas por terceros (\$553 mdp), después Control de Tránsito Aéreo (\$493 mdp), meteorológicas (\$454 mdp), infraestructura aeroportuaria (\$185 mdp) y otras causas (\$56 mdp) (Gráfica 4.9).

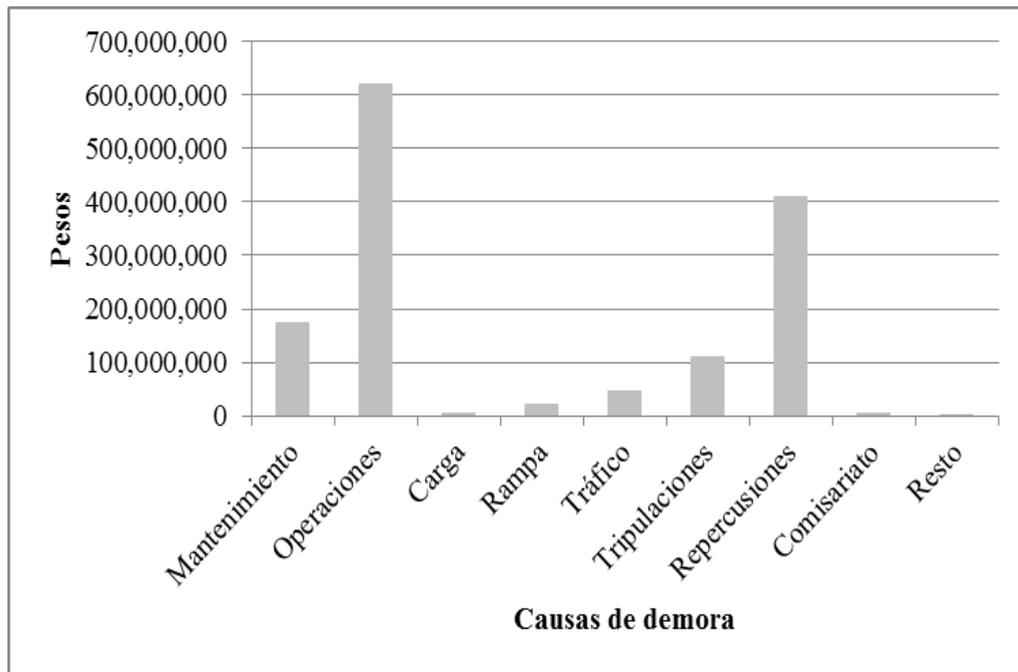
Gráfica 4.9.- Costo de las demoras no imputables a la aerolínea en 2016



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de la DGAC, 2017.

La distribución de los \$1,392 mdp por causas atribuibles a las aerolíneas fue diferente: operaciones aerolínea, se llevó la mayor parte con \$619 mdp, repercusiones ajenas a la operación (afectaciones en aeropuertos anteriores), aportó \$410 mdp, mantenimiento a la aeronave (cambio de llantas o impactos de ave) tuvo \$174 mdp, luego tripulaciones de vuelo (requerimientos de última hora o vencimiento de jornada), con \$111 mdp, tráfico/ documentación de pasajeros (documentación tardía, abordaje lento, etc.), \$45 mdp, atención en rampa (limpieza de la aeronave, falta de equipo de apoyo, etc.) \$21 mdp, servicio de comisariato (lentitud en el procedimiento), \$4 mdp y el resto (procedimientos de autoridades, combustibles, etc.), \$2.5 mdp (Gráfica 4.10).

Gráfica 4.10.- Demoras imputables a la aerolínea 2016



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de la DGAC, 2017.

Con todo esto, se demuestra la afectación que tienen las demoras en el incremento del volumen de emisiones de CO_2 debido al aumento del tiempo en plataforma de los equipos, el tiempo estándar de 47 minutos en plataforma, se incrementa en un 96% ya que la demora promedio es de 45 minutos, así como de los costos de operación, por ejemplo, para 2016 los costos aumentan un 225%, con un aumento del 189% en el tamaño de la huella de carbono de la aviación comercial.

CAPÍTULO V.- LA PERCEPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN DE LA AVIACIÓN COMERCIAL EN MÉXICO

Introducción

Este capítulo incorpora la percepción de actores clave operativos: oficiales de operaciones, técnicos en mantenimiento de aeronaves, tripulaciones, controladores de tránsito aéreo, técnicos en el suministro de combustible; así como administrativos: gerentes de aeropuerto, supervisores e investigadores relacionados a la organización de la aviación comercial, con la finalidad de contrastar o corroborar los postulados teóricos utilizados con la evidencia empírica.

Para guardar la confidencialidad de los sujetos e instituciones de las cuales se obtuvo la información, los nombres de los participantes fueron cambiados, el objetivo es que se puedan retomar las ideas y se ejemplifique de la mejor manera posible el contexto en el que se desarrollan. El capítulo se estructuró en tres partes de acuerdo a los conceptos principales analizados: organización, procesos aeroportuarios y huella de carbono, con ayuda del software Atlas.ti de acuerdo a la metodología propuesta.

La información obtenida de las entrevista sobre la organización aeroportuaria, se clasificó de acuerdo a los enfoques teóricos utilizados (burocrático o sistémico), por lo que se subdividió a través de la estructura y el funcionamiento de la misma, para determinar la intensidad de los efectos que tiene cada perspectiva en la huella de carbono de la aviación.

Los procesos aeroportuarios se ordenaron de acuerdo al marco teórico, por lo que se analizó si existe coordinación entre procedimientos, así como flexibilidad para aplicarlos, con la finalidad de encontrar el tipo de impacto que tienen en el volumen de emisiones al ambiente. Además, si los procedimientos son estandarizados, es decir, si se encuentran dentro de las normas escritas de las empresas, o si se refieren a acuerdos no escritos (locales).

Lo referente a la huella de carbono se estructuró en tres apartados: recursos materiales, humanos y económicos, para poder determinar la fuente de donde se originan las emisiones. Además se indagó, si los procesos a los que se hace referencia tiene características de mitigación o adaptación, cabe señalar que el interés de esta investigación es encontrar alternativas en los procedimientos para reducir el tamaño de las emisiones de gases, a partir de la forma que se trabaja actualmente, no la implementación de nuevas tecnologías para mantener el consumo de turbosina.

5.1.- Organización burocrática aeroportuaria vs. alternativa sistémica

Para efectos de la presente investigación, las líneas aéreas, aeropuertos y otras empresas prestadoras de servicios a la aviación comercial se entienden como una organización donde hay un grupo de personas que trabajan para alcanzar un objetivo en común (Aguilar, 2009). Según Max Weber (1924), en la organización el principal actor es la burocracia, que organiza y controla el proceso de producción mediante un sistema jerárquico, con una estructura donde existen dos elementos principales, uno que supervisa a otro que se encarga de seguir las indicaciones (Martínez, 2005) (Ilustración 5.1).

Ilustración 5.1.- Elementos principales de la organización de acuerdo a Weber



Fuente: Adaptado de Weber, s.f.

Con estas características, los aeródromos de la República Mexicana son un ejemplo de organización jerárquica, vertical, burocrática, con puestos, procedimientos y responsabilidades delimitadas mediante un control rígido de los empleados, los cuales se capacitan para especializarse en su función.

En la organización aeroportuaria existe una jerarquía donde cada eslabón debe seguir una secuencia, lo que provoca un anquilosamiento de la toma de decisiones. Al presentarse un problema durante la operación, por ejemplo de mantenimiento, la solución no proviene del personal *in situ*, se tiene que seguir una serie de acciones, avisar a un mando medio y ese continúa la cadena hasta llegar al jefe, quien autoriza y después regresa por el mismo canal hasta llegar a la posición requerida²⁵. Por lo tanto, el establecimiento de grados de autoridad se observa cuando “al final de cuentas una sola persona es la que toma las decisiones (E2, Mantenimiento, 21 de marzo, 2018)”.

Cada actor tiene directrices que regulan su actividad, esto es, un grupo de reglas escritas que determinan sus funciones: “nosotros trabajamos basados en el manual, entonces pues son procedimientos muy cuadrados, porque te tienes que apegar (E2, Mantenimiento, 2018)”, por lo que no hay interacción o posibilidad de hacerlo diferente, es decir, “realmente no estoy en posibilidades de cambiar algún procedimiento, nos basamos en lo establecido en los manuales autorizados (E7, Gerente de aeropuerto, 12 de abril, 2018)”.

Todo el personal comparte un objetivo específico, ya que “entre menos tiempo estén los aviones en plataforma es mejor, los aviones fueron diseñados para volar no para quedarse en tierra (E1, Tránsito Aéreo, 17 de marzo, 2018)”, por lo que la meta a alcanzar es disminuir el tiempo que pasan los equipos sin volar, “un avión que esté en tierra es pérdida de dinero, los aviones se diseñaron para volar y reditúan en el aire (*Ibíd.*, 2018)”.

25 Por ejemplo en el caso de una llanta pinchada, un Trabajador General (TG), lo detecta mientras está subiendo el equipaje al compartimento de carga, lo tiene que reportar al Oficial de Operaciones, quien a su vez le avisa a mantenimiento y al Gerente de Aeropuerto; el mecánico hace la valoración y notifica a Tripulación, así como al Centro de Control Mantenimiento, si se genera demora, se coordinan con Centro de Control de Operaciones para hacer el envío de las refacciones y ellos le bajan la información a mantenimiento y a operaciones de la estación, entonces el oficial coordina para que el operador apoye a mantenimiento, eso con respecto a la aerolínea, además se debe informar al resto de los actores, y hacer la valoración si se requiere cancelación de vuelo, cambio de posición, vencimiento de jornada, etc.

Para lograrlo se ha establecido una delimitación específica de responsabilidades de cada puesto para “garantizar que todo el personal involucrado cumpla con las políticas y procedimientos que indica la aerolínea, que se cuente con el personal suficiente en cada área y sobretodo, velar por los intereses de la compañía y se logre una operación segura y a tiempo siempre (E7, Gerente de aeropuerto, 2018)”.

Además, existe un grupo de procedimientos estandarizados para evitar la pérdida de información, por ejemplo si se necesitan refacciones, el encargado habla a “control mantenimiento y control habla con el centro de control de operaciones y ellos ya bajan la información pero por la parte de operaciones, o sea yo comunico, entonces ya ellos miden sus tiempos, para mandarla, cómo la van a mandar y entonces ellos ya le dan con tiempos la información a operaciones (E2, Mantenimiento, 2018)”.

Por último, dentro de las políticas de las aerolíneas se tiene contemplado un mecanismo para seleccionar a los mejores candidatos para cada trabajo, por lo que existe una batería de exámenes y requisitos a cumplir por parte de los aspirantes, pero como se constata con las siguientes afirmaciones hay una alta rotación de personal:

“a lo mejor el que ya medio tenía experiencia o el que medio ya había tomado el curso, pues para la otra temporada ya no está, y entonces ahora empieza de ceros con este nuevo y, pues por los sueldos que hay es gente que dudo que tengan la secundaria (E2, Mantenimiento, 2018)”, por lo que se recurre al personal que se presenta, no necesariamente al más calificado.

Con base en lo anterior se cumplen los seis elementos de una organización burocrática a los que hace referencia Weber. Pero a pesar de contar con estos aspectos, si se toma en cuenta la influencia del entorno, las relaciones entre los elementos sistémicos y la necesidad de adaptarse al nuevo contexto es factible analizarlos mediante el enfoque de sistemas complejos adaptativos propuesto por Kauffman (1995) (Alfaro-Castillo, González, y Álvarez-Marín, 2013).

De acuerdo a la metodología propuesta, los conceptos investigados referentes a la organización se clasificaron de acuerdo a su estructura y a su funcionamiento (procedimientos estandarizados y

producción entrópica), para la atención de los vuelos en plataforma, por ejemplo respecto a la estructura en el caso de Control de Tránsito Aéreo (CTA):

“el primero en llamar es el primero en ser atendido, entonces si sale uno a ese se le da el servicio, porque ya está listo, sale otro, lo mismo, ya el que te habla como cuatro, pues va a ser el cuatro y ni modo (E1, Tránsito Aéreo, 2018)”, incluso la percepción del oficial de operaciones es que “muchas aerolíneas tienen algunos procedimientos que funcionan, hay otros que no, cada aerolínea cuenta con sus propios procedimientos, algunos más efectivos que otros (E5, Operaciones, 16 de marzo, 2018)”.

Debido a las características de la regulación aplicable, el enfoque sistémico de la organización aeroportuaria puede servir para analizar la característica de no linealidad de la aviación comercial, es decir, no es homogénea, ya que cada empresa ha implementado sus propios procedimientos, al interior de las mismas, todo esto provoca un incremento de la incertidumbre, o en otras palabras, un aumento en el tiempo de tránsito de los equipos en los aeropuertos dado que se pueden generar lagunas o duplicación de procedimientos.

Como alternativa para contrarrestar los problemas que se generan por la organización burocrática, los empleados se han organizado de forma diferente a la establecida, esto es, de forma sistémica ya que realizan acuerdos locales en donde cada parte pueda participar de forma proactiva en la toma de decisiones, además de utilizar su criterio para mantener el cumplimiento de los más altos estándares y cumplir con el itinerario establecido:

“se pueden mejorar todavía, quitar un poco de burocracia y hacer un poco más estándares los procedimientos y que no haya tanta diferencia entre una aerolínea y otra, en cuanto a delegar la responsabilidad como oficiales, pues tu delegas por ejemplo a un trabajador, ¿sabes qué? Dale la vuelta al avión, o sea te apoyas mucho con los empleados porque, no puedes estar en todos los lugares, pero puedes apoyarte de la gente. (E2, Mantenimiento, 2018)”.

Hay actividades que pueden reducir el impacto negativo de la organización en la huella de carbono, según el personal entrevistado la capacitación para mejorar habilidades del personal es una alternativa, especialmente en los cursos “los recurrentes o sea, cuando entras a una aerolínea, te

atacan con miles de cursos y al año ya no sabes nada pero ya ubicas, entonces yo creo que deberían de reforzar los cursos recurrentes y no nada más así en línea (E2, Mantenimiento, 2018)”.

Otra alternativa sistémica propuesta por los trabajadores es la incorporación de las capacidades personales de los empleados en la operación para aumentar la capacidad de respuesta ante contingencias, y disminuir el tiempo de atención de los equipos en la plataforma, esto es, aprovechar la sinergia de los elementos, mediante un mecanismo homeostático, para mantener la equifinalidad sistémica:

si se sabe con anticipación si el avión trae una falla, o que requiere algún servicio especial a la llegada, esto facilita la organización en tierra porque ya se tiene una idea de lo que se requiere y del personal que se necesita para la atención, se trabaja en equipo ya que cada parte del equipo sabe su labor y la de sus compañeros, se respeta el trabajo y el tiempo que requiere cada área que contribuye en la atención. (E11, Supervisor, 7 de abril, 2018).

Por último, la complejidad sistémica propone que se profesionalice el personal para garantizar una calidad óptima en el servicio, de tal manera que se pueda adaptar a la nueva situación “dando verdadera capacitación y familiarizando al personal que ponen en puestos sin tener idea de cómo se trabaja (E6, 9 de abril, 2018)”. Por lo que una organización sistémica mejoraría el funcionamiento de la aviación comercial.

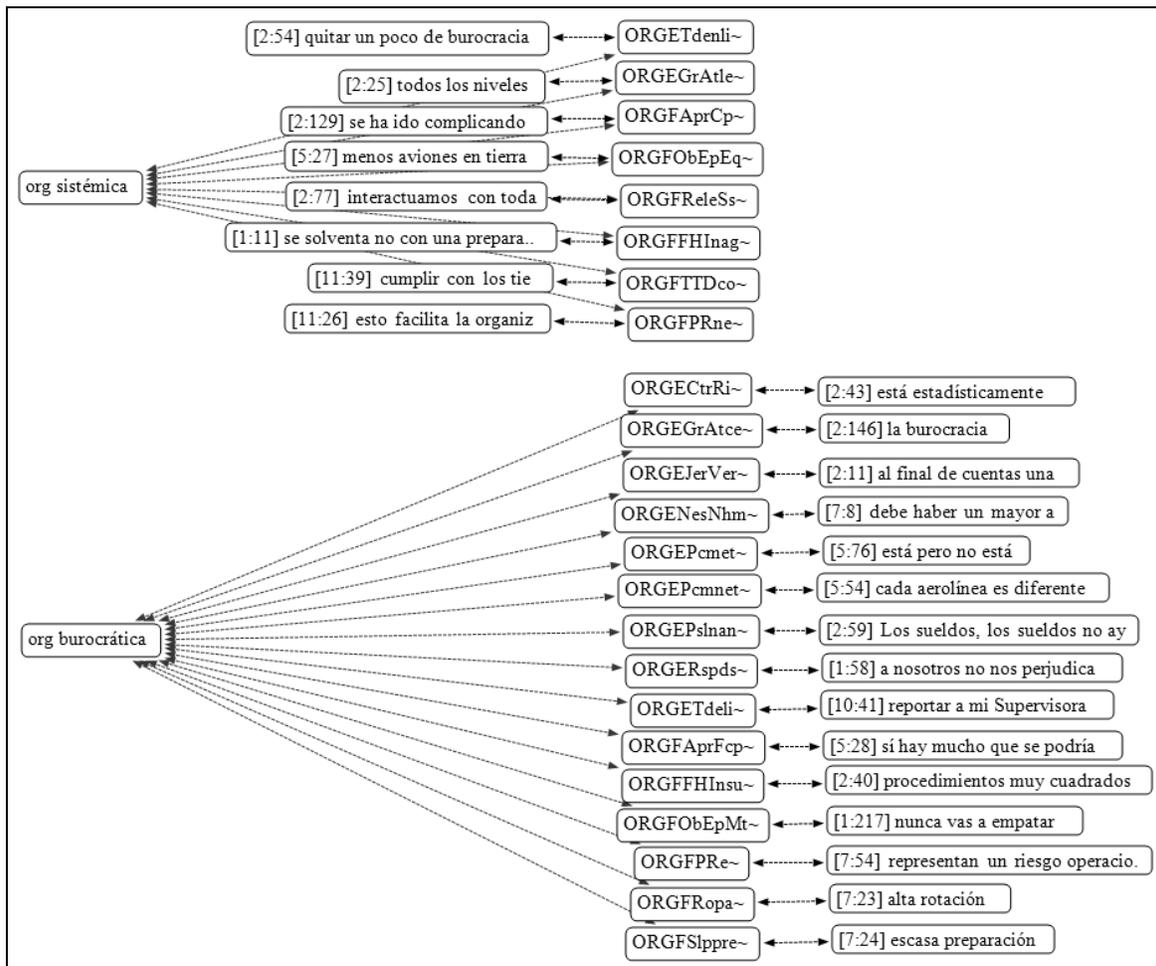
Las dos visiones (supervisado- supervisor), perciben como problema el aumento del volumen de emisiones de gases contaminantes, una peculiaridad es que del personal entrevistado los puestos operativos se centran en mejoras en la forma de aplicar los procedimientos “está bien hecho pero está mal, o sea, hacemos lo que se puede, no hacemos lo que deberíamos hacer (E1, Tránsito Aéreo, 2018)”.

Mientras que los mandos medios se enfocan en el diseño del proceso, ya que al ser su nivel es donde pueden intervenir: “adecuaría algunos procesos para el tipo de aeropuerto que es éste ya que todos los manuales están basados en el MEX, incluso hay procedimientos en los que se puede aprovechar la infraestructura mejor que lo establecido (E7, Gerente de aeropuerto, 2018)”.

En la siguiente ilustración se organizan las opiniones de los entrevistados según el tipo de organización (sistémica o burocrática) y del lado izquierdo se colocaron las que inciden en la reducción de la huella de carbono, mientras que del lado derecho se colocaron las que la aumentan.

Por lo que se puede observar que el personal entrevistado percibe en mayor tamaño los efectos negativos de la aviación comercial en la huella de carbono, asimismo se puede concluir que la organización burocrática tiene efectos negativos mientras que las características sistémicas representan un efecto mitigador en dicha huella.

Ilustración 5.2.- Efectos negativos y positivos de la organización en la huella de carbono



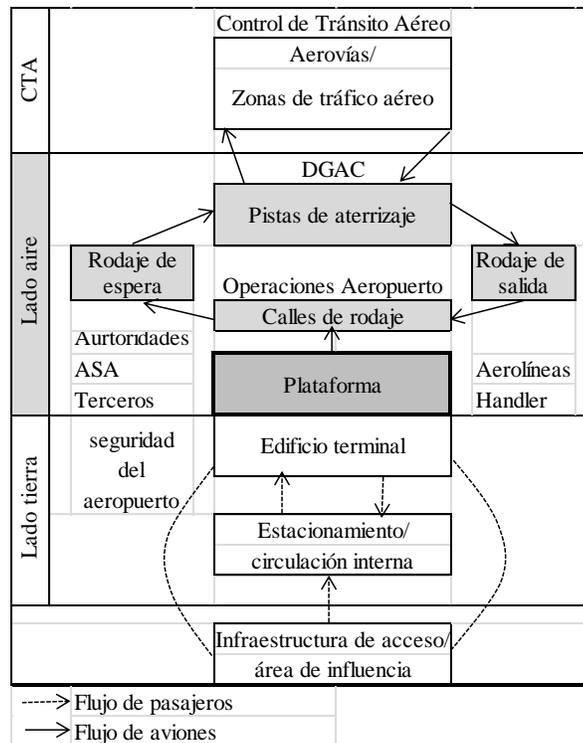
Fuente: Elaboración propia con base en entrevistas, 2018.

5.2.- Procesos aeroportuarios estandarizados y acuerdos locales

Las funciones del personal que labora en los aeropuertos están regidas por los manuales de operación de cada empresa, los cuales emanan de las directrices marcadas por la DGAC, la que a su vez toma lo estipulado en el Anexo 16 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), lo anterior puede tener diferentes efectos en la operación diaria según sea la flexibilidad en su aplicación y la coordinación entre actores que pueda existir.

Como se mencionó en la estrategia metodológica, de las tres secciones en que se dividen las actividades aeroportuarias (lado tierra, lado aire y control de tránsito aéreo), cada empresa tiene injerencia e interacción de diferente forma e intensidad con otras de acuerdo al servicio que presta. Por lo que la presente investigación se centra en el lado aire (Ilustración 5.3).

Ilustración 5.3.- Actores aeroportuarios y su área de influencia



Fuente: Adaptado de Postorino y Mantecchini, 2014.

Los aeródromos de la República Mexicana (públicos y privados) tienen la misma estructura general, varían sólo de acuerdo a su tamaño y volumen de operaciones. Los procesos para atender los vuelos en plataforma dependen del lugar en el que se encuentre el actor dentro de la jerarquía del aeropuerto, a continuación se hace un recuento de los principales actores, sus funciones y sus interacciones o la ausencia de ellas.

En la ilustración 5.4 se representa el organigrama de un aeródromo, a la cabeza se encuentra el comandante del aeropuerto como la máxima autoridad ya que representa a la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). De éste se desprenden los inspectores verificadores, quienes se encargan de constatar el apego a la regulación vigente, por parte de los explotadores aéreos así como del personal aeroportuario.

El administrador del aeropuerto es el segundo en importancia y de él se desprende una gerencia de operaciones, de quien dependen los oficiales de operaciones, que se encargan de vigilar el cumplimiento de los procedimientos de la empresa, la seguridad en plataforma, así como coordinar el uso de la infraestructura como son posiciones, puertas, mostradores, salas, plataforma de servicios, solicitar apoyo del Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios (CREI), localizar a personal de combustibles (Aeropuertos y Servicios Auxiliares), etc.

También está la gerencia de seguridad para controlar los puntos de acceso y mantener la esterilidad del lado aire, a través del Punto de inspección de Pasajeros y Equipaje de Mano (PIPEM) y de los guardias en la parte ambulatoria, una de sus funciones es observar para detectar pasajeros o equipaje sospechosos, así como personal debidamente identificado.

El controlador de tránsito aéreo representa a los Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) y su función es autorizar el uso de las pistas “nuestra jurisdicción, son el área de movimiento en los aeropuertos y las pistas, el área de movimiento incluye calles de rodaje pero en plataforma no (E1, Tránsito Aéreo, 2018)”, funcionalmente se encuentra en la parte superior de la pirámide ya que todas las aerolíneas deben acatar sus instrucciones.

Dentro del edificio terminal, la presencia de autoridades federales es necesaria, se encuentran el Instituto Nacional de Migración (Migración), la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (Aduana), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Senasica), la Secretaría de Salud (Sanidad Internacional), la Secretaría de Gobernación (Policía Federal) y la Secretaría de la Defensa Nacional (Militares).

Los explotadores aéreos o líneas aéreas están encabezados por los gerentes de aeropuerto quienes tienen la función de “supervisar y garantizar que todo el personal involucrado cumpla con las políticas y procedimientos que indica la aerolínea (E7, Gerente de aeropuerto, 2018)”, por lo que tienen a su cargo el área de operaciones y de tráfico, en ocasiones el servicio de rampa es prestado por la misma empresa y en otras es un *handler*.

El supervisor de tráfico se encarga de “que se cumpla con los parámetros de calidad en servicio a los clientes, estándares de calidad en limpieza abordo, cumplir con los tiempos (E11, Supervisor, 2018)”, esto es, verificar la atención que se le da al pasajero durante su paso por el edificio terminal hasta que aborda el avión.

Por lo tanto, los agentes de tráfico²⁶ representan el último eslabón con respecto a los clientes, entre sus funciones están documentación (pase de abordar y etiqueta de equipajes), abordaje, desembarque y direccionamiento de pasajeros, venta de boletos, cobros de excesos de equipaje o requerimientos extras, hacer revisados y solución de controversias debido a demoras o cancelaciones, por mencionar algunas, ya sea con sistema o de forma manual.

El volumen de vuelos al día, así como la plantilla de personal con que cuentan en el aeropuerto determina las funciones del oficial de operaciones (O.O.)²⁷, las cuales se pueden dividir en rampa y despacho o se pueden mantener unificadas. Legalmente es el responsable del equipo en tierra, es decir, durante el tiempo en que el capitán del avión no pueda moverlo por sí sólo.

26 Reciben diferentes nombres de acuerdo a la aerolínea para la que trabajen, también se conocen como Agentes de Servicio al Cliente o CSA por sus siglas en inglés.

27 Según la aerolínea, a partir de este eslabón, pueden ser parte de la misma o de una empresa de servicios a terceros (*handler*).

Si existe la figura del O.O. de rampa sus responsabilidades son “supervisión en rampa, coordinación de servicios (E6, Operaciones, 2018)”, tales como: direccionamiento al punto de atraque, acoplamiento del equipo de apoyo, revisión de compartimentos, descarga y carga de equipajes, explicación de las condiciones meteorológicas del origen, destino y alterno, plan de vuelo, recarga de combustible a la tripulación, control de limpieza, apariencia y vestido del equipo, coordinación de tiempos con tráfico para el embarque, control del acceso al avión, velar por la seguridad en plataforma, direccionamiento durante el remolque, coordinación de servicios extraordinarios como aguas negras, aguas azules, comisariato extra, mantenimiento, etc.

En el caso de despacho, se encarga de “elaborar los manifiestos de peso y balance y la planeación de la carga de paga de los vuelos (E5, Operaciones, 2018)”. Además tiene otras funciones antes de la operación como hacer el seguimiento de la secuencia del equipo²⁸, verificar los datos del plan de vuelo generado por el Centro de Control de Operaciones (CCO), y en caso de anomalías reportarlas para cambiarlo, monitorear la documentación del vuelo y realizar los precálculos²⁹, se coteja que no tenga sistemas diferidos que requieran atención especial, introducir los datos en el sistema para realizar el prebalance y hacer el *breafing*³⁰ con el personal asignado.

Durante la operación tiene que organizar la papelería necesaria (carpeta meteorológica, peso y balance, orden de carga de combustible, formato de distribución de equipaje, formato de revisión ocular del equipo, reportes meteorológicos, apoyar en la coordinación del remolque, de ser necesario se encarga de realizar la solicitud de antelación o prolongación de servicios ante las autoridades, mantenerse a la escucha con cabina de pilotos para tomar los tiempos de llegada, salida y por si tienen algún requerimiento de última hora. Después de la operación tiene la obligación de realizar la papelería del vuelo (manifiestos de llegada y salida), la introducción de los datos en el sistema, la

28 Por lo general los equipos tienen en promedio de 8 a 10 tramos por día, o de 4 a 5 vuelos radiales (ida y vuelta), por lo tanto se revisa el vuelo anterior y el siguiente para evitar o disminuir las afectaciones a los pasajeros en conexión producto de demoras o itinerarios reducidos.

29 Durante la documentación del vuelo se tiene que revisar de forma manual que los datos reflejados en el plan de vuelo sean los correctos por lo que se revisan los pesos estructurales, el análisis de pista y los de operación en busca de limitantes.

30 El *breafing* es la reunión antes del vuelo de todos los empleados de la aerolínea que van a participar, en donde se establece la forma en que se va a trabajar el vuelo, se coordinan los tiempos y las actividades, se hacen los recordatorios de los procedimientos especiales y se revisa que se cuente con el equipo necesario (comunicaciones, vehículos, insumos).

realización del archivo del vuelo, realizar los reportes diarios, semanales o mensuales de la estación, así como realizar el *debriefing*³¹.

Si no hay división de funciones, los oficiales de operaciones tiene que realizar todo el proceso desde la planeación (precálculos), la atención (operación) y la papelería del vuelo (manifiestos):

desde que llega el avión, darle su recorrido para ver que no venga con daños estructurales y checar que todo lo que es de seguridad, la colocación de conos para señalización y demás, que esto se lleve a cabo, y ya de ahí pues coordinar el descenso de pasajeros, checar sobre todo seguridad, el acoplamiento de los equipos de apoyo, y que todo esté en tiempo y forma, eso es lo primordial, este, digo estando en plataforma porque ya ves que, también cuando estamos dentro vemos otras cosas ¿no? como ver cuántos pasajeros estiman, las condiciones meteorológicas, el estatus del equipo, si trae alguna restricción, y hacer los cálculos pertinentes para la operación. (E6, Operaciones, 2018).

Los operadores del equipo de apoyo fungen como los jefes de cuadrilla, están capacitados para manejar los diferentes modelos de equipos de apoyo en tierra (escaleras motorizadas, tractores equipajeros, bandas, levanta contenedores, tractores para remolques), funcionalmente el O.O. les delega algunas responsabilidades, como la supervisión del personal y la seguridad en plataforma cuando se tiene que mover de ubicación.

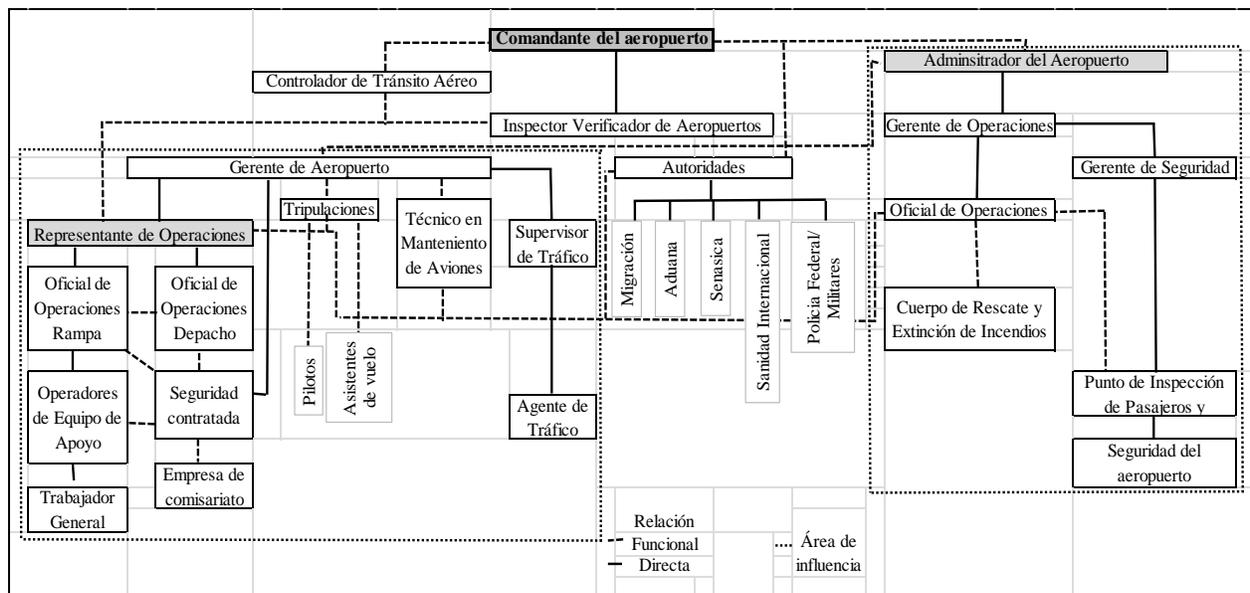
Dentro de los servicios a terceros, según el tipo de operación y las facilidades del aeropuerto, se encuentra la seguridad contratada que vigila el apego a los procedimientos por parte del personal de rampa, además de garantizar la esterilidad del equipaje y del avión. También supervisan las actividades de la empresa encargada del servicio de catering o comisariato, es decir el abastecimiento de insumos al avión (alimentos y bebidas).

Al final de la jerarquía de la aerolínea se encuentran los trabajadores generales, su labor es seguir los procedimientos de acuerdo al manual de rampa de la aerolínea o empresa para la que laboren, así como acatar las instrucciones del O.O., subir a los compartimentos del equipo para descargar y cargar

31 En esta reunión, los empleados de la aerolínea que participaron en la operación, platican sobre los problemas que hubo

el equipaje, realizar la limpieza (*groming*), apariencia y vestido del interior de las aeronaves, colocar los conos para señalización (balizar) y apoyar en el direccionamiento de la aeronave.

Ilustración 5.4- Actores aeroportuarios y sus relaciones



Fuente: Elaboración propia, 2018.

El área de mantenimiento de aviones puede ser parte de la misma aerolínea o puede ser una empresa subcontratada, nominalmente tiene su propio Centro de Control de Mantenimiento (CCM), pero funcionalmente está subordinado al gerente de aeropuerto y por encima de la figura del O.O.: “mis funciones es hacer una revisión visual lo más detallada posible a todo lo que es, el exterior de la aeronave, y platicar con tripulación si es que traen algún reporte que yo pueda solucionar o que pueda diferir de alguna forma, para que el avión quede de alguna forma aeronavegable, para la siguiente operación (E2, Mantenimiento, 2018)”.

La tripulación está formada por los pilotos (el capitán o comandante y el primer oficial) y los asistentes de vuelo (sobrecargos), los primeros están capacitados para manipular el equipo de un

para buscar la manera de solucionarlos y que sirva de retroalimentación para los siguientes vuelos.

punto a otro, tienen una certificación, además de contar con la experiencia y la técnica necesaria, mientras que los segundos su función principal es salvaguardar la seguridad de los pasajeros.

Como se observa hay una falta de flexibilidad en los procesos entre los actores aeroportuarios derivada de la distribución puntual de funciones de cada área. Con todo esto, la flexibilidad de los procesos aeroportuarios, o en este caso la falta de ella, genera que los empleados sólo busquen cumplir con su función, capacitación deficiente, falta de profesionalización y aumento de las jornadas de trabajo.

Pero la alta demanda de su trabajo conlleva un aumento de riesgos porque no hay una mayor contratación de personal, sino que se aumenta la jornada de trabajo lo que repercute en:

Aumento de riesgos de trabajo y error humano por más fatiga crónica por presionar al personal de la aviación para hacer los procedimientos más rápido y recuperar tiempo en demoras, y aun así no se recupera mucho tiempo pues ya hay una fila y orden para despegues provocando se hagan carreteos muy largos para despegar de 30 minutos hasta 1 hora; o en aterrizajes se generan patrones de espera para aterrizar (vueltas en el aire de 20 minutos) aterrizajes en aeropuertos alternos por falta de combustible y a cargar de nuevo combustible. (E10, Tripulación, 2018).

En general más que coordinación entre actores se percibe una delimitación de actividades que persigue deslindarse de responsabilidades, en lugar de buscar soluciones, hay una priorización en la obtención de ganancias por los directivos en la actividad aeroportuaria por lo que no hay iniciativas de optimización de procesos y coordinación, sino en obtener del mismo personal más funciones:

no hay una empatía y no creo que la vaya a haber porque cada quien se trata de imputar una demora, la DGAC siempre va a alegar por su lado, que no es su responsabilidad, problemas como la infraestructura o cosas por el estilo y por otro lado la compañía que dice sí, pero si yo te estoy pagando para que yo opere dentro de tu aeropuerto, pero no hay espacio. Entonces nunca se van a poner de acuerdo, porque si vamos así a la realidad por ejemplo, demora por los aerocares pero, nunca vinieron cuando les llamaron, pero los aerocares son un servicio de terceros, entonces a lo mejor no se le debería imputar a la compañía o al operador. (E1, Tránsito Aéreo, 2018).

Cuando no existe coordinación o es deficiente la aplicación de los procesos, como en el caso de las operaciones con demora, se puede producir un desapego a procedimientos, sobrecarga de trabajo, falta de equipo de trabajo, omisión de actividades:

hay cosas que te las vuelas, o sea, tratas de recuperar el tiempo, como que no se apegan a los procedimientos, pero pues todos ¿no? y bueno pues desafortunadamente ahí caemos muchos ¿no? porque este es un trabajo de mucha presión, entonces todos tenemos presión de tiempo, de los pasajeros, del avión de las refacciones, de todo, entonces uno por sacar el trabajo lo mejor y de la mejor forma, y lo más eficiente y lo más rápido, pues omitimos procesos. (E2, Mantenimiento, 2018).

La seguridad o el ambiente pasan a segundo término, la prioridad en el servicio es la parte comercial “todo lo quieren hacer con más velocidad dejando de lado la seguridad (E6, Operaciones, 2018)”, lo que es visto como la obsolescencia del sistema aeroportuario, el cual es considerado como la base de la problemática actual “vivimos en un sistema un tanto obsoleto, los aeropuertos más concurridos y más modernos a nivel mundial, tenemos muchas desventajas, facilidades, infraestructura sumamente deficiente y todo se va a la organización (E5, Operaciones, 2018)”.

Las presiones por parte de las empresas para cumplir con los estándares de puntualidad no sólo aumentan la complejidad de las labores de los empleados, también inciden en otros campos como la seguridad “están las presiones de los itinerarios, sobre todo, de que hay veces de que los aviones llegan muy tarde y quieren que salgan lo más rápido posible, eso no solamente es una presión sino también es una amenaza a la seguridad operacional (*Ibid*, 2018)”.

Cuando se toma en cuenta las habilidades personales se pueden obtener mejores resultados

“vamos a suponer que tienes dos aviones, y tienes un remolcado atrás, no lo vas a autorizar si no puedes, puede ocurrir un accidente, te esperas hasta que pase un avión para que le autorices qué número de secuencia va a ser”, “hay aeródromos donde siempre hay cuestiones atmosféricas no ideales, entonces los pilotos a pesar de que saben que va a haber condiciones adversas ellos intentan uno, dos, tres, cuatro veces, para intentar salvar la operación. (E1, Tránsito Aéreo, 2018).

La coordinación entre los diferentes procedimientos ayudaría a realizar el trabajo de los actores con calidad, ya que todos trabajan para alcanzar el mismo objetivo, además de mantener las operaciones a tiempo al reducir al mínimo el tiempo necesario en plataforma, también mantiene altos los estándares de seguridad operacional al evitar duplicación de funciones y rellenar vacíos que puedan existir en la normativa, lo que facilita el apoyo con otras áreas:

un 737 no es lo mismo que lo traiga una aerolínea mexicana a cómo lo vuelan las aerolíneas canadienses o cómo los vuelan las aerolíneas estadounidenses, o sea son muy diferentes, a pesar de que es el mismo avión, unos lo ascienden más lento que otros, otros los ascienden como deberían, o sea le dan toda la performance del avión para subir como cuetes y lo aceleran y todo chido ¿sí? Y hay compañías que no, de hecho aquí en México una compañía tiene una política de reducción de velocidad y tenemos un problema cada vez que despega, siempre le estamos diciendo incrementa a 200 nudos o mayor, por lo menos hasta 6 o 7 millas de la cabecera de la pista, a todos, porque ellos desaceleran y, no saben que el de atrás también viene, pero es que dicen no pues es que a mí la compañía me dice que lo tengo que volar así, pero ellos no saben que les pega a los demás ¿no? (E1, Tránsito Aéreo, 2018).

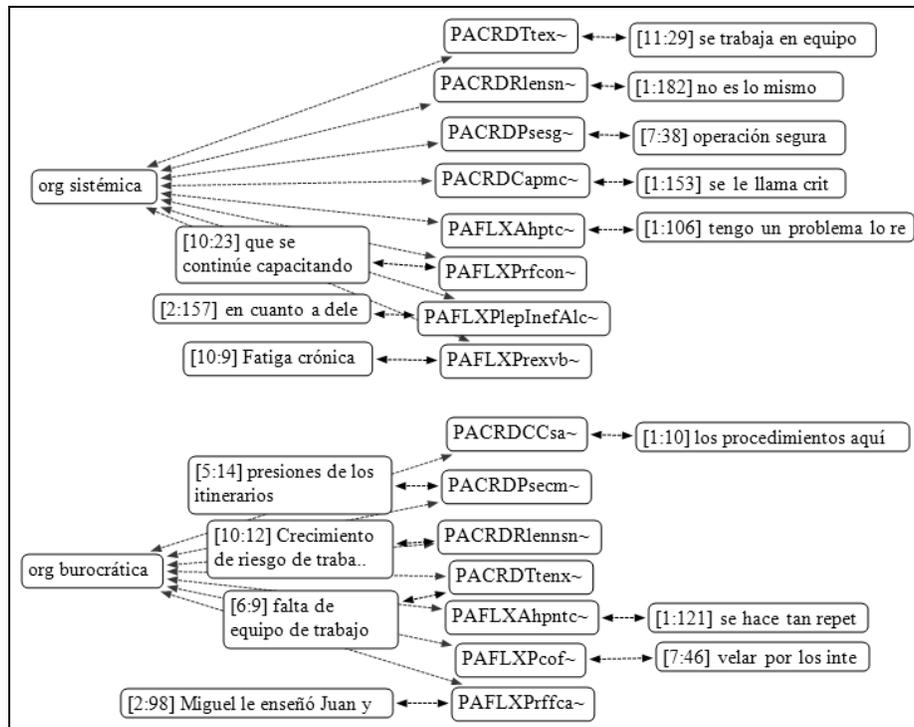
Debido a la complejidad en la que se desenvuelve la aviación comercial, los problemas tienen un efecto mayor, por lo que es necesario un mecanismo homeostático que ayude a mantener equilibrado al sistema, es decir, la rigidez actual de los procesos estandarizados hace necesario la adopción de acuerdos locales para mejorar el desempeño de los empleados “es algo que tú implementaste para ser más funcional en tu trabajo (E2, Mantenimiento, 2018)”.

La presión del tiempo ha obligado a las personas a encontrar mejores prácticas, las políticas de las empresas se han adaptado “son variables que no se toman en consideración, entonces, tengo un problema lo resuelvo, ¿cómo lo resuelvo?, o sea, se solventa no con una preparación, este, se solventa nada más por hacerlo en el momento (E1, Tránsito Aéreo, 2018)”.

La tendencia de la información obtenida con respecto a los procesos aeroportuarios fue que los supervisores, o administrativos, le dieron más importancia a mantener los procedimientos, es decir, a trabajar con lo que se tiene y continuar con el control, mientras que los supervisados u operativos

consideraron que los procesos deben flexibilizarse para ser más eficientes durante la operación. En la ilustración 5.5 se organizaron los principales puntos de vista de los empleados operativos (izquierda) y de los administrativos (derecha).

Ilustración 5.5.- Procesos aeroportuarios y la huella de carbono



Fuente: Elaboración propia con base en entrevistas, 2018.

5.3.- Huella de Carbono como proceso de mitigación o adaptación

La información sobre la huella de carbono se dividió en tres rubros: materiales, humanos y económicos, los cuales, debido a la forma en que se ha organizado la aviación comercial inciden en diferente forma y sentido. Al hablar de recursos materiales se hace referencia a las dificultades en el MEX y se enfatiza en la infraestructura en mal estado o insuficiente:

“hay horas en que son saturadas y a lo mejor tienes un slot de llegadas de 30 aviones y a lo mejor tú ya habías metido a un tráfico, o bueno, a un avión a una puerta y de repente te dicen no sabes qué está ocupada ¿por qué? Porque se demoró, porque le están echando todavía combustible, entonces lo mueves a otra posición que no estaba preparado”, “aquí en México lo que se necesita es que se cambie todo el aeropuerto, o sea literal, que se cambie todo el aeropuerto (E1, Tránsito Aéreo, 2018)”, “la terminal sí tiene problemas, somos un aeropuerto que ya está muy saturado, aquí en el país podemos tener hasta aeropuertos en peores condiciones que funcionan bien (E5, Operaciones, 2018)”, “es necesario adecuar mejor sus áreas de atención al pasajero (mostradores y salas de espera), resultan insuficientes y generan complicaciones para el correcto flujo de personas”, “inexistencia de túneles o pasillos telescópicos para el embarque y desembarque de pasajeros de las aeronaves (E7, Gerente de aeropuerto, 2018)”.

En segundo lugar los recursos humanos tienen una sobrecarga permanente de trabajo y con ello no pueden realizar correctamente sus funciones lo que repercute en las demoras y mal funcionamiento, por consiguiente en un aumento en la huella dado que “no puedes estar en todos los lugares (E2, Mantenimiento, 2018)”, hay falta crónica de personal “si los pilotos ya viene sobrevolados, es decir que se les va a aumentar su jornada con el hecho de irse a otro lugar y eso repercute en la secuencia de eventos, pero no se ponen a pensar que también son seres humanos (E1, Tránsito Aéreo, 2018)”.

La presión para cumplir con los itinerarios provoca omisiones a los procedimientos, ya que se le pone mayor atención a reducir el tiempo en plataforma más que a realizar los procesos de forma segura “algunos procesos pueden modificarse para reducir el tiempo como es la limpieza en cabina de pasajeros, preabordaje en sala, revisión de equipajes de mano voluminosos, agilizar abordaje, entre otros (E7, Gerente de aeropuerto, 2018)”.

La afectación principal en la huella de carbono es la provocada por la saturación de los *slots*

“es decir, el retraso en la autorización de despegue por congestión a la llegada en el AICM [o MEX], hemos presentado demoras de más de una hora en tierra ya con puertas cerradas de la aeronave por espera de autorización (E7, Gerente de Aeropuerto, 2018)”, “slots mal calculados por las empresas (E6, Operaciones, 2018)”, “definitivamente, ahorita en las condiciones actuales

el aeropuerto ya, su vida útil dejó de servir hace 20 años y llegó a su máximo histórico hace unos nueve años más o menos, ya no caben los aviones (E1, Tránsito Aéreo, 2018)” “hacia la ciudad de México definitivamente los slots (E2, Mantenimiento, 2018)”, “La gran cantidad de despegues y aterrizajes tanto en t1 y t2 de aerolíneas nacionales e internacionales provoca demoras. Lo cual da como resultado clientes insatisfechos, tripulantes con más fatiga y una mala imagen a nivel internacional (E10, Tripulaciones, 2018)”.

En tercer lugar, los recursos económicos ejercen su influencia con los itinerarios cortos y cuando hay vuelos simultáneos ya que facilitan la generación de:

demoras para tripulantes y pasajeros, fatiga crónica por la extensión de jornadas para tripulantes, personal de tráfico, mantenimiento y operaciones en general, reducción de conciencia situacional en personal de aviación por el aumento de jornadas laborales, crecimiento de riesgo de trabajo en trayecto y plataforma por reducción de tiempo para traslados de una aeronave a otra por cambios de equipo, por la reducción de tiempo para cambio de equipo y desembarco de un vuelo y embarque de otro en general personal de la aviación no puede comer, lo que origina gastritis, anemias, colitis, sobrepeso. (E10, Tripulación, 2018).

Las demoras provocan gastos de combustible en tierra no contemplados, por condiciones meteorológicas, *slots* saturados, cambios de pistas “a nosotros no nos interesa, si consumen o no consumen combustible ¿no?, o sea dada la situación que ahorita está en el aeropuerto, que es ya de saturación desde hace ya algunos años, obviamente los aviones no caben, entonces si no caben se les tiene que dar demora (E1, Tránsito Aéreo, 2018)”.

La utilización de un enfoque sistémico ofrece alternativas para disminuir el volumen de emisiones, por ejemplo existe una relación entre recursos materiales y humanos que responden a implicaciones económicas, es decir, la incorporación de equipos con nueva tecnología a las operaciones diarias “aumentando el tiempo en plataforma, o contratando más personal y mejor equipo de apoyo (E6, Operaciones. 2018)”, más salas ya que “se aborda a los clientes directamente caminando desde las salas de abordaje hasta el avión, no existen pasillos telescópicos, se corren riesgos de que un cliente pueda equivocarse de avión, o de sala a la cual debe llegar (E11, Supervisor, 2018)”.

La construcción de otro aeropuerto que incorpore las necesidades presentes y futuras para el caso de la Ciudad de México, representa un ejemplo de procesos neguentrónicos, es decir, acciones encaminadas a contrarrestar la entropía generada por la problemática actual, ya que mediante el uso de mecanismos homeostáticos el aeródromo va a poder manejar de manera óptima el flujo de vuelos:

“ahorita con el nuevo aeropuerto se supone que se van a hacer aproximaciones simultáneas, entonces, y despegues simultáneos ¿no?, pero, o sea ya lo planearon para que esto sucediera, pero eso se verá (E1, Tránsito Aéreo, 2018)”, “otro aeropuerto más grande, pero no en donde se encuentra en construcción el nuevo aeropuerto que ya se está hundiendo por estar cerca del lago de Texcoco, y falta que no creo soporte el peso de los aviones, debe buscar seguridad y calidad no solo bajo costo (E10, Tripulación, 2018)”.

La implementación de calles de rodaje de alta velocidad y de desalojo rápido, ayudarían a disminuir el tiempo de ocupación de las pistas, lo que disminuiría el consumo de combustible de tal manera que:

un aeródromo el ideal sería que fuera una pista pero que siempre tuviera qué, calles de rodaje de desaloje rápido, o sea que tengan un cierto ángulo de inclinación de la pista para que no se frene totalmente el avión, porque si tú lo tienes en un ángulo de 90 grados, se tiene que frenar y no se tiene que pasar y ya, pero si tú tienes desalojos de calle de rodaje rápidas, es decir, que tienen un cierto ángulo de inclinación con respecto al eje de la pista te expedita el tiempo de uso de pista. (E1, Tránsito Aéreo, 2018).

Dentro de los mecanismos homeostáticos, hay prácticas específicas que pueden reducir el consumo de turbosina, por ejemplo mediante el uso de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU), bajar cortinas, cerrar puertas cuando ya se terminó el abastecimiento de combustible y no hay pasajeros a bordo, “sin duda si se puede reducir, el mantener el aire acondicionado encendido con puertas abiertas durante 45 minutos o más, dependiendo si hay demora, genera el mayor consumo de combustible en tierra ya que el APU debe mantenerse encendido (E7, Gerente de aeropuerto, 2018)”, “no, no, porque se escapa el aire ¿no? es como un refri totalmente ¿no? bajar las cortinas, eso ayuda mucho, bajar cortinas, cerrar puertas (E2, Mantenimiento, 2018)”.

Otras alternativas son la implementación de mantenimiento continuo a los equipos o el uso de 1 sólo motor para el rodaje a la pista, “la Compañía cuenta con el procedimiento llamado *One Engine Taxi Out*, es decir el taxeo con un solo motor, aunque no en todos los aeropuertos aplica (E7, Gerente de aeropuerto, 2018)”,” sí ayudaría muchísimo ¿no? porque un motor andando consume muchísimo y en realidad para lo que lo necesitas que es estar formadito y avanzar tantito, no, no necesitas los dos con uno sólo se podría perfectamente, de hecho hay aerolíneas que lo tienen como parte de su procedimiento (E2, Mantenimiento, 2018)”.

También, el uso de plantas eléctricas podría reducir el consumo de turbosina ya que estos equipos consumen menos combustible que el APU, aunque depende del aeropuerto donde se utilicen ya que no es lo mismo atender una operación con 40 grados centígrados de temperatura ambiente que una a 18 grados centígrados, por ejemplo:

En la compañía se ha optado por el uso de planta eléctrica en tierra (GPU) para generar la energía suficiente para mantener la aeronave encendida y garantizar su funcionamiento pero se restringe su uso a operaciones cuyo tiempo en plataforma sea igual o mayor a 30 minutos por itinerario, es decir, si el vuelo tiene solo 25 minutos de estadía en tierra aunque se prevea una demora de 30 minutos más para la salida, no se conectará, aunado a que la mayoría de los comandantes de vuelo no aceptan el apagar el APU para conectar la planta auxiliar porque implicaría cortar el aire acondicionado generando incomodidad a los pasajeros. (E7, Gerente de aeropuerto, 2018).

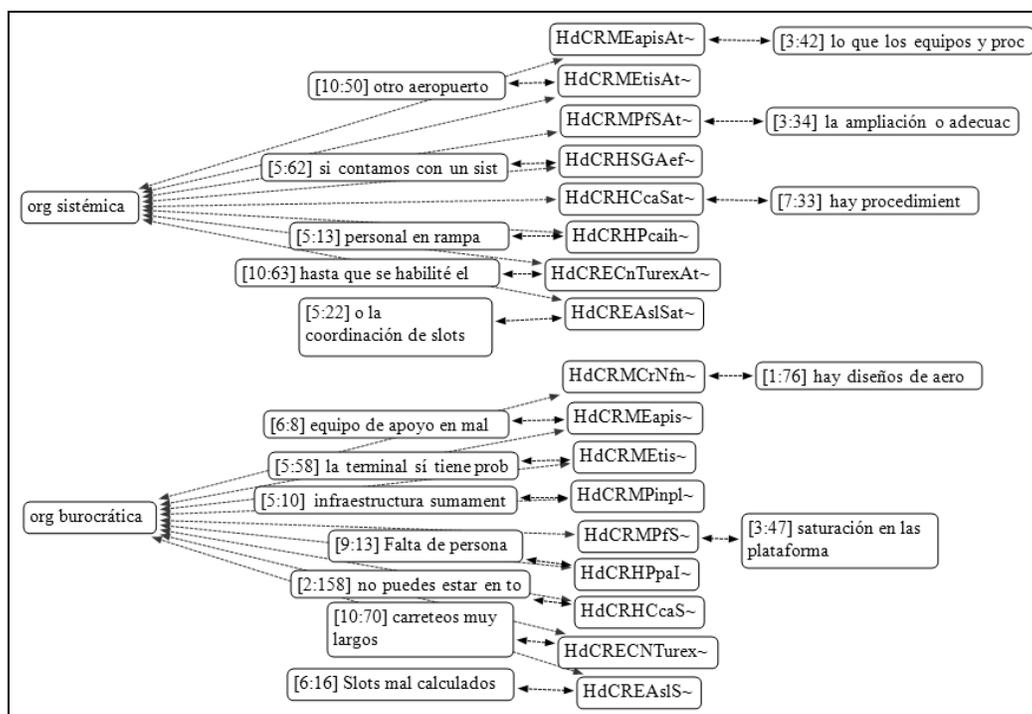
Otra manera de combatir la entropía del sistema es mediante la mejora de las facilidades aeroportuarias como la construcción de más pistas ya que se reduce la pérdida de energía por una retroalimentación negativa, es decir, de acuerdo a la incorporación del aprendizaje de los actores se adapta la estructura y el funcionamiento del sistema, así:

“ampliar la plataforma comercial, ya que son pocas las posiciones y muy reducidas (E9, Combustibles, 9 de abril, 2018)”, “una alternativa consiste en la utilización de sistemas de túneles con tomas retráctiles en las plataformas”, “desarrollando sistemas de pozos subterráneos, que suministran servicios utilitarios a las aeronaves mediante equipos retráctiles en las plataformas. Después de proporcionar servicio, los equipos se retractan, ocultándose totalmente al quedar al

nivel de la plataforma, por lo que ésta queda sin obstáculos para la circulación libre de las aeronaves”, “no hay una solución única, cada aeropuerto tendrá sus particularidades (E3, Dependencia de gobierno, 2018)”, “más pistas para despegues y aterrizajes con su mantenimiento continuo y contratación de mayor personal para no llevar a la fatiga crónica al personal (E10, Tripulación, 2018)”.

Lo anterior demuestra que la organización burocrática actual incide en el aumento de la huella de carbono de la aviación comercial, mientras que la adopción de un enfoque sistémico influiría en una disminución en la huella. En la ilustración 5.6 se representan del lado izquierdo los elementos percibidos por los supervisados, quienes tienen mayor interés en la identificación de problemas y en soluciones; mientras que del lado derecho se encuentran los encontrados por los supervisores, quienes se centran en la aplicación de lo que ya se tiene (procedimientos), aunque los dos grupos coincidieron en que los recursos materiales representan la principal causa de demora.

Ilustración 5.6.- Efectos de la aviación comercial en la huella de carbono



Fuente: Elaboración propia con base en entrevistas, 2018.

CONCLUSIONES

Después de analizar el desarrollo de la aviación comercial en México se concluye que la hipótesis en la que se basa esta investigación se acepta, ya que la organización burocrática de la aviación comercial de México influye en el consumo de turbosina, por lo que la relación entre procesos operativos - huella de carbono puede modificarse mediante un enfoque sistémico del transporte aéreo de pasajeros, con la finalidad de mitigar su impacto en el ambiente, por lo que el objetivo general se alcanzó.

Como se demostró, la organización burocrática de la aviación comercial en México provoca que el tiempo en plataforma de los vuelos comerciales de 47 minutos, se incremente casi al doble, si se parte del supuesto de una demora promedio de 45 minutos y además se considera el resto de la secuencia del equipo, la afectación que esto produce seguirá en aumento en cada aeropuerto al que se dirija ese avión.

Sólo para 2016 del total de demoras en el MEX, el 56% fueron originadas por causas no imputables a las aerolíneas, de las cuales, el 71% estuvo ligada a algún problema en la organización, lo que prácticamente triplicó el costo de operación (225%) así como las emisiones de gases contaminantes al ambiente (189%). Si se convierte el total de operaciones con algún tipo de demora de este año (206,346) al tiempo promedio que pasaron en plataforma, el dato que surge es de 9,285,570 minutos, ó 154,759.5 horas, lo que equivale a realizar el vuelo México – Tijuana 44,217 veces.

Además, de acuerdo a los postulados teóricos se comprobó que de las causas no imputables a las aerolíneas como infraestructura (por ejemplo: falta de equipo de apoyo, saturación de la plataforma, falla en los pasillos telescópicos), terceros (demoras de otra aerolínea, servicio de comisariato, entre otros) y CTA (demora en la secuencia de despegue, saturación del aeropuerto de destino, etc.), se producen porque la organización aeroportuaria se desarrolla bajo un enfoque burocrático. Dentro de esta clasificación se encuentran las causas meteorológicas (lluvias, huracanes, cenizas volcánicas, niebla), las cuales no se consideraron ya que dependen de fuerzas de la naturaleza que no pueden ser controladas.

Mientras el 44% restante de las demoras son por causas imputables a las aerolíneas, de éstas, 12.6% fueron por mantenimiento (impacto de aves, cambio de llantas), operaciones tuvo el mayor porcentaje con 44.5% (despacho tardío, falta de personal), tráfico provocó el 3.3% de las demoras (documentación tardía, problemas en el abordaje), 8% por tripulaciones (requerimientos de última hora, llegada tardía), y repercusiones fue la segunda causa en volumen con el 29.4% (demora en el aeropuerto anterior, mal tiempo al inicio de la secuencia).

Otra forma de organizar las causas de demora es por su ubicación, del total de vuelos demorados en 2016, el área de operaciones generó el volumen más significativo de demoras con el 11.6%, por lo que se confirma que las mejoras en esta área son las que van a tener mayor peso en la mitigación de la huella de carbono de la aviación comercial del país, las alternativas como el uso de un solo motor para los rodajes, reduciría a la mitad el consumo de combustible y, en consecuencia, habría una disminución en las emisiones de gases al ambiente.

Aunque antes de establecerlo como procedimiento a las aerolíneas, se debe revisar el marco normativo para evitar problemas de seguridad provocados por lagunas o por falta estandarización en el conjunto de procedimientos actuales. Este hueco normativo representa un abanico amplio de alternativas para incorporar actividades y actores que permitan un mejor desempeño ambiental en el sector.

Por lo que se plantea que la organización sistémica puede mitigar la huella de carbono de la aviación comercial del país. La red de transporte aéreo en el país vista como un sistema puede ayudar a comprender mejor la dinámica en la que se desenvuelve, y se puede disminuir el volumen de emisiones al reducir el tiempo de respuesta del personal, al incluirlos dentro de la toma de decisiones se pueden hacer más eficientes los procesos debido a una mejora continua.

La sinergia entre los elementos que participan en las operaciones, puede ayudar a reducir el estrés diario, aunque hay que recordar que cada operación es diferente por lo que la intensidad en la que participa cada uno de los actores varía entre vuelos, con lo que se minimiza la ocurrencia de incidentes/demoras, la permanencia en tierra de los aviones por más tiempo del programado representa un aumento en el consumo de combustible y, por lo tanto, de contaminantes emitidos a la atmósfera.

Lo anterior se basa en el supuesto de que las aeronaves fueron diseñadas para volar, por lo que el tiempo de permanencia en tierra debería ser minimizado, los motores fueron diseñados para mantener el empuje constante en los aviones, es decir, para mantenerlo en el aire, por lo que mientras están en plataforma su potencia no es utilizada eficientemente.

Una demora de 45 minutos implica un aumento del 225% en el consumo de combustible que se emplea para mantener en funcionamiento el equipo, ya que una operación a itinerario utiliza 958 kg de turbosina, en cambio, cuando existe una demora se usan 2160 kg extra, por lo que se generan 144 kg de emisiones contaminantes que podrían ser evitadas, además de los \$15,192 en gastos por combustible generados innecesariamente.

Por lo tanto, la modelación de la huella de carbono de la aviación comercial en México, durante las fases 1, 2, 8 y 9 (no incluye el tiempo extra provocado por los vuelos demorados), demuestra que para el periodo 2005-2017 se generaron 3,241,109 toneladas de CO₂, de las cuales el 36% corresponde a Grupo Aeromexico (1,158,177 ton), 15% para Interjet (493,664 ton), y 13% a Volaris (429,052 ton). Por lo que en términos de responsabilidad histórica, las aerolíneas antes mencionadas deben tener el mayor porcentaje de participación en las medidas que se puedan implementar para mitigar los efectos de los gases emitidos por el transporte aéreo de pasajeros, lo cual no exime la participación de las demás líneas aéreas.

El cálculo de la huella de carbono realizada en el presente trabajo es objetiva, ya que cumplió con los cinco principios propuestos por el Observatorio para la Sostenibilidad en España, la muestra utilizada de la aviación comercial es representativa ya que con los datos manejados se incluyó al menos a la mitad de los actores (principio de relevancia), se utilizó toda la información a la que se tuvo acceso (principio de integridad), se estableció una metodología clara para que sea posible comparar los resultados a través del tiempo (principio de consistencia), se expusieron las cifras de forma efectiva, puntual y comprensible (principio de transparencia), y los cálculos realizados fueron reales, es decir, sin omitir o sesgar la información (principio de precisión).

En relación a los actores y sus procesos con la huella de carbono de la aviación comercial en México, se propone continuar con el análisis de la estructura del sistema aeroportuario para

determinar la influencia que ejerce el MEX, por ejemplo si la cercanía con otros destinos es un factor determinante, o la relación con aeropuertos de diferentes tamaños, es necesario observar la evolución que ha tenido el transporte aéreo de pasajeros y las interacciones entre sus actores.

Con esto se hace manifiesto el rumbo que han tomado las organizaciones internacionales que regulan a la aviación comercial, en donde el mantenimiento del beneficio económico es el motor de las políticas implementadas, mientras que el apartado ambiental es utilizado sólo con fines discursivos, los esfuerzos se encuentran concentrados en las mejoras aerodinámicas, así como en la eficiencia de los motores, con la finalidad de aumentar la oferta de asientos.

Aunque se reconocen los acuerdos a nivel internacional es necesario generar normas, mecanismos de cumplimiento o incentivos necesarios para darles seguimiento con la finalidad de cumplir las metas que el país se ha fijado a nivel internacional, como es el caso del Plan de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional (CORSIA) (OACI, 2016).

Este tipo de acuerdos a pesar de tener como objetivo la reducción de emisiones a través de la implementación de avances tecnológicos como la renovación de la flota, están encaminados a mantener el crecimiento de la aviación, dejando de lado aspectos para la reducción del uso excesivo de combustible mientras los equipos están en tránsito en los aeródromos. No obstante, se afirma que la innovación tecnológica no es la única alternativa para disminuir el consumo de turbosina.

Por lo que los procedimientos aeroportuarios tienen un efecto directo sobre la huella de carbono, en la actualidad la forma en que se aplican genera un volumen de emisión, de tal forma que al cambiarlos también se modifica el consumo de turbosina para beneficio de la sociedad y del ambiente.

No fue posible incorporar al análisis elementos como el resto de la estructura del sistema aeroportuario, en donde los puertos aéreos pequeños alimentan a otros más grandes (*hubs*), por lo que la concentración puede provocar saturación de terminales y aumentar las demoras, de esta manera, se podrían analizar otros modelos de gestión del transporte aéreo para analizar las alternativas disponibles.

De las propuestas, la mejora en los procedimientos operativos no requiere inversión en nueva tecnología, con el costo que implica, sino utilizar de mejor manera los insumos con los que se cuenta. La organización de los diferentes elementos que interactúan dentro del MEX influye en la forma en que se gestionan las demoras de las aeronaves.

La dinámica al interior de los aeropuertos es compleja, por lo que se necesita profundizar en el estudio para mejorar la eficiencia de los recursos e interacciones entre las diferentes partes, como el uso de plantas eléctricas para energizar el avión mientras se encuentra en plataforma y la mejora en la capacitación del personal para desarrollar un criterio acorde ante los inconvenientes que puedan surgir en una operación.

La falta de mecanismos para integrar la protección ambiental en la aviación comercial del país es un reto que debe ser abordado a la brevedad, es necesario realizar investigaciones de carácter nacional para que reflejen la problemática real y no se pretenda imponer modelos no acordes que en lugar de ayudar compliquen más la situación.

La cuestión radica en que para minimizar costos actuales no se toman en cuenta las inversiones que se tendrán que hacer en el futuro para subsanar los problemas que se van a generar. Es necesario planear integralmente desde el inicio del proyecto incorporando los impactos al ambiente como el cambio de uso de suelo, deforestación, destrucción de fauna local, contaminación del agua y el suelo, incineración de basura, manejo de residuos peligrosos y aguas negras, entre otros.

La dinámica actual basada en la obtención de ganancias, y la búsqueda del deslinde de la responsabilidad en lugar de buscar la solución, representan obstáculos para los encargados de la toma de decisiones y para el sistema como tal, ya que se puede provocar un proceso que ponga en entredicho al sistema aeroportuario nacional.

La lucha de intereses ha llevado a dividir los esfuerzos y a politizar un asunto que debería estar por arriba de este campo, en otras palabras, la política debe ser un instrumento para la protección ambiental y no al revés, como actualmente sucede. Los beneficios que trae consigo la aviación comercial son opacados por los efectos perniciosos que también conlleva, por lo que es necesario seguir en la búsqueda de alternativas.

Falta mejorar el vínculo entre la academia y las actividades productivas en el país, los avances en el campo de la investigación científica no alcanzan a permear en los fenómenos que estudian debido a la falta de difusión, lo que provoca desconocimiento o incluso falta de interés por parte de la iniciativa pública y privada.

A este respecto, la iniciativa privada no ha hecho alguna propuesta, por el contrario, se encuentran en un estado reactivo a las medidas adoptadas por el gobierno. La inversión en investigación y difusión son necesarias para mantener informada a la sociedad y para generar esquemas de mejora constante.

La falta de interés y apoyo a la academia se demuestran en la poca cooperación y acceso a la información, lo cual representó uno de los obstáculos a los que se enfrentó la presente investigación. Existe una falta de apertura de las aerolíneas y dependencias para realizar investigaciones cuantitativas puntuales, para ciertas partes del periodo de análisis no se pudo contar con la información completa (codificación de demoras, tipos de estela, etc.), por ejemplo, con cada actualización al sitio oficial de la DGAC, los datos que publica aparecen ordenados de diferente manera o ya no aparecen.

Además, durante el trabajo de campo de la parte cualitativa nos encontramos con la negativa a participar por parte de las dependencias gubernamentales, y algunos de los actores clave entrevistados, se desconoce si fue por falta de tiempo o por no querer proporcionar datos que pudieran servir para evidenciar alguna falla, a pesar de que la investigación está basada en la confidencialidad y en la ética profesional.

Para concluir, es importante mencionar que a pesar de la existencia de diferentes aerolíneas, la industria no está preparada para competir con empresas extranjeras, entre otras razones porque la flota mexicana es pequeña, mal organizada, con tecnología deficiente, factor humano saturado, etc. El soporte en tierra, la tecnología y el factor humano de la aviación de los países más desarrollados se encuentran en una etapa superior de desarrollo, lo cual pone en desventaja a la aviación mexicana.

Aunque no está dentro de los objetivos de esta investigación, es necesario mencionar un reto al que se está enfrentando la aviación de México a causa de la organización burocrática, esto

es, la apertura de los cielos nacionales, para que compañías aéreas extranjeras compitan en el país, por lo que se puede decir que sería un golpe crítico para la aviación nacional, porque las líneas aéreas mexicanas corren el riesgo de ser absorbidas o de cerrar operaciones, al no poder hacerle frente a la competencia hasta el punto de quebrar.

Es evidente el crecimiento que experimentará la aviación comercial en los próximos años, por lo que la emisión de gases al ambiente producto de la quema de turbosina continuará. La demanda del servicio de transporte aéreo es un elemento que no entró en la investigación, pero se tienen datos por parte de las principales armadoras que el mercado va a pasar de 28 mil aeronaves a 35 mil en menos de 20 años, en donde el crecimiento más marcado se encontrará en Asia, Norteamérica y Europa (Boeing, 2018).

El modelo económico actual ya no responde a la problemática contemporánea, incluso, el concepto de desarrollo sustentable tiene que ser reevaluado para evitar que sea utilizado como estrategia política, por lo tanto, no es posible hablar de soluciones únicas, las alternativas deben provenir de diferentes sectores, niveles, enfoques y hasta tiempos. Las organizaciones internacionales, armadoras, dependencias gubernamentales, aerolíneas, trabajadores e incluso, pasajeros, deben integrarse y tomar cartas en el asunto. De lo contrario, la protección ambiental se puede equiparar a la espera de Godot³².

32 “Esperando a Godot es el título de una obra perteneciente al teatro de lo absurdo y escrita a finales de los años cuarenta por el escritor irlandés Samuel Beckett. En la obra, los protagonistas esperan en vano junto a un camino a un tal Godot, con quien (quizá) tienen alguna cita y que nunca llega. La obra simboliza el tedio y la frustración de la espera frente a algo/alguien que nunca ocurre” (Lucatello y Rodríguez, 2011).

BIBLIOGRAFÍA:

- Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (2017). Tarifas. <https://www.aicm.com.mx/negocios/tarifas>
- Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, 2015 Breve historia. AICM, <https://www.aicm.com.mx/aicm/acerca-del-aicm/breve-historia>
- Aeropuertos del Sureste (2013). Glosario. ASUR. <http://www.asur.com.mx/es/inversionistas/herramientas-de-ri/glosario.html> (consultado el 26/05/2018)
- Aeropuertos y Servicios Auxiliares, (2016). Aeropuertos y Servicios Auxiliares. Transparencia. Transparencia Focalizada. Litros y Servicios por Venta de Combustibles. http://www.asa.gob.mx/es/ASA/Litros_y_Servicios_por_Venta_de_Combustibles
- Aftab, A. (2016) Techno-stress and productivity: Survey evidence from the aviation industry. *Journal of Air Transport Management*, 50, 62-70, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2015.10.003>
- Agencia Estatal de Meteorología (s.f.). Estelas de condensación. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/modificacion_artificial_tiempo/estelas_condensacion.pdf
- Aguilar, D. (2009). La Teoría de la Organización, <https://clea.edu.mx/biblioteca/Teoria%20de%20la%20Organizacion.pdf>
- Aguilera, F. (2015) Impacto de la aviación sobre el medio ambiente. Departamento de Ingeniería Gráfica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, España. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90183/fichero/TFG-Francisco+Aguilera+Reina.pdf>
- Aguilera, R. (2005). Administración básica. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Contaduría y Administración. <http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/2005/informatica/1/1157.pdf>
- Airbus, (2017). A 380. Airbus, <http://www.aircraft.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a380family/>
- Alcántara, E. (2010). Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad. Corporación Andina de Fomento, Colombia. https://www.caf.com/media/3155/An%C3%A1lisis_movilidad_urbana.pdf
- Alfaro-Castillo, M., González, E. y Álvarez-Marín, A. (2013). Empresa como sistema adaptativo complejo y gestión de la complejidad. *Revista Universitaria Ruta*. revistas.userena.cl/index.php/ruta/article/download/642/761
- Alonso Rodrigo, G. y Ruiz, A. (2012) El impacto ambiental del transporte aéreo y las medidas para mitigarlo. Universidad Politécnica de Madrid. http://oa.upm.es/20345/1/INVE_MEM_2012_133532.pdf
- Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), (2009) Mitad de Emisiones en 2050.- La Aviación Presenta sus Objetivos en Copenhague. *Noticias 54*, IATA, http://www.iata.org/pressroom/pr/Documents/Spanish_PR_2009_12_08_01.pdf
- Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C., (2017). Sistema Metropolitano de Aeropuertos. AMIVTAC,

<http://www.amivtac.org/assets/files/books/publications/sisaeropuertos/files/basic-html/page120.html>

- Ávalos, M. y Valdés, V. (2006) Regulación de aerolíneas en México. Centro de Investigación para el Desarrollo, A.C. México. <http://reddecompetencia.cidac.org/es/uploads/1/RegulacionAerolineas.pdf>
- Banco Nacional de Comercio Exterior (2016) Transporte y logística. Reporte sectorial de la Dirección de Estudios Económicos. BANCOMEXT. <http://www.bancomext.com/wp-content/uploads/2016/04/EES-Logistica-2016-1.pdf>
- Benito, A. (2014) Desarrollo sostenible del transporte aéreo. Departamento de Infraestructura, Sistemas aeroespaciales y Aeropuertos, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid, España. <http://aerolatinnews.com/wp-content/uploads/2014/05/DESARROLLO-SOSTENIBLE-DEL-TRANSPORTE-AEREO-BENITO-ARTURO.pdf>
- Benito, A. (2010) El Avión y el tren de alta velocidad en el sistema español de transportes. Asociación de Compañías Españolas de Transporte Aéreo (ACETA), España. <http://www.aceta.es/archivos/1404215064.pdf>
- Bertalanffy, L. (1976). Teoría general de los sistemas. Fondo de Cultura Económica. México. http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/eureka/pudgvirtual/Teoria%20general%20de%20los%20sistemas_v4.pdf
- Boeing (2018). Current Market Outlook 2017-2036. [http://www.boeing.com/commercial/market/current-market-outlook-2017/\(08/04/2018\)](http://www.boeing.com/commercial/market/current-market-outlook-2017/(08/04/2018))
- Boeing, (2017). 747-8. Boeing, <http://www.boeing.es/productos-y-servicios/commercial-airplanes/747-8.page?>
- Bórquez, R. (2010) Huella de carbono. Fundación TERRAM, ADCMA, 26, <http://www.cambioclimaticochile.cl/pdf/adcma-26-huella-de-carbono-final-ok.pdf>
- Buckley, W. (1993). La sociología y la teoría moderna de los sistemas. Amorrortu editores, Argentina.
- Cámara de Diputados (2014). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental. Nuevo Reglamento publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de mayo de 2000. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_MEIA_311014.pdf
- Cámara de Diputados (2017) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. LXIII Legislatura. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2006). Ley de Aeropuertos. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de diciembre de 1995. Última reforma publicada DOF 08-06-2016. Secretaría General, Secretaría de Servicios Parlamentarios. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/15_080616.pdf
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2014). Reglamento de la Ley de Aviación Civil. Nuevo Reglamento publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 1998. Última reforma publicada DOF 14-03-2014. Secretaría General, Secretaría de Servicios Parlamentarios. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LAC.pdf

- Cámara Nacional de Aerotransporte (2016), Flota por aerolínea histórica. <http://canaero.org.mx/flota-por-aerolinea/>
- Cámara Nacional de Aerotransporte (2016), Operaciones por Grupo Aeroportuario. <http://canaero.org.mx/operaciones-por-grupo-aeroportuario/>
- Cámara Nacional de Aerotransportes (2017). Estadística operativa por aerolínea en servicio regular desde 1992. Dirección General de Aeronáutica Civil. <http://canaero.org.mx/estadistica-operativa-por-aerolinea/> (08/04/2018)
- Carabias, J. (1988) Deterioro ambiental en México. *Ciencias*, 13, 13-19. <http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/13/CNS01303.pdf>
- Cardoso- Vargas, C. (2016) Competencia económica en el sector de transporte aéreo de pasajeros en México. *Economía Informa* núm. 397 marzo - abril 2016, UNAM, <http://www.economia.unam.mx/assets/pdfs/econinfo/397/02Cardoso.pdf>
- Castillo Saldaña, I. y Portela, M. (2002). Tecnología y competitividad en la teoría de los recursos y capacidades. <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/reseconinforma/pdfs/308/07%20Teor%EDa%20de%20los%20recursos%20y%20capacidades.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2017) Acerca del desarrollo sostenible. CEPAL, <http://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible> (22/06/2017)
- Cornejo, A. (2004). Complejidad y caos. Guía para la administración del siglo XXI. <http://www.eumed.net/cursecon/libreria/2004/aca/4.pdf>
- Dae, K. (2015) An airline's management strategies in a competitive air transport market. *Journal of Air Transport Management*, 50, 53-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2015.10.005>
- De Rubeis, T., Nardi, I., Paoletti, D., Di Leonardo, A., Ambrosini, D., Poli, R., y Sfarra, S. (2016). Multi-year consumption analysis and innovative energy perspectives: The case study of Leonardo da Vinci International Airport of Rome. *Energy Conversion and Management* 128, 261–272, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.09.076>
- Dirección General de Aeronáutica Civil (2016). Distribución de aeronaves en la industria de la aviación nacional. <http://canaero.org.mx/antiguedad-promedio-de-aeronaves-de-aerolineas/>
- Dirección General de Aeronáutica Civil (2017) Estadísticas. DGAC. <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/5-estadisticas/>
- Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología (2012) Industria aeronáutica en México. Secretaría de Economía, Marzo de 2012. http://www.economia.gob.mx/files/Monografia_Industria_Aeronautica.pdf
- Doménech, J. (2007) Huella ecológica y desarrollo sostenible. Asociación Española de Normalización y Certificación, http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44602357/Huella-Ecologica-AENOR.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1498156112&Signature=oHj5L2nBqdJDGKbs3%2FxoO7rLpxU%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DHuella_ecologica_y_desarrollo_sostenible.pdf
- Domínguez, R. y García, S. (2005). Conflicto constructivo e integración en la obra de Mary Parker Follet. *Athenea Digital*, 7. Universidad Rey Juan Carlos. Facultad de Ciencias

de la Comunicación y del Turismo.
<http://www.raco.cat/index.php/Athenea/article/viewFile/34185/34024>

- Espíndola, C. y Valderrama, J. (2012). Huella del Carbono. Parte 2: La Visión de las Empresas, los Cuestionamientos y el Futuro. *Información tecnológica*, 23(1), 177-192. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100018>
- Estrada, F. (2007). Herbert A. Simon y la economía organizacional. *Cuadernos de economía*, V, XXVI, 46, 169-199, Bogotá. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2578530.pdf>
- Federal Aviation Administration, (2017). Air Traffic By The Numbers. U.S. Department of Transportation. https://www.faa.gov/air_traffic/by_the_numbers/ (08/04/2018)
- Flamarique, E. (2012) La huella de carbono como ventaja competitiva. *Certificaciones y comunicaciones*. Agencia Española de Normalización y Certificación. http://www.crana.org/themed/crana/files/docs/036/016/4aenor_huella_carbono.pdf
- Flores, A. (2012). Instrumentos económicos en la regulación ambiental en México. Instituto Nacional de Ecología, DGIPEA, México. http://www.biodiversidad.gob.mx/Difusion/pdf/seminario/instrumentos_economicos_regulacion_ambiental.pdf
- Garcilazo, J. (2011). La teoría de la ecología poblacional examinada a la luz de teorías adaptacionistas. *Visión de Futuro* 8(15), Universidad Católica de Santa Fe – CONICET, Instituto de Ciencias de la Administración (ICA) – Facultad de Ciencias Económicas. <http://www.scielo.org.ar/pdf/vf/v15n1/v15n1a03.pdf>
- Garrido, J. (1999) Impactos medioambientales y sociales del transporte. *GEOGRAPHICALIA*, 37. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio Universidad de Zaragoza, España. <http://www.unizar.es/geografia/geographicalia/garrido.pdf>
- Germà, B. y Fageda, G.(2006) Aeropuertos y globalización: Opciones de gestión aeroportuaria e implicaciones sobre el territorio. Instituto de Estudios Regionales y Metropolitanos de Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona, Campus de Bellaterra, España. <http://www.ub.edu/graap/AEROPUERTOS.pdf>
- Gobierno de la Ciudad de México (2016). Para la opinión de la ciudad. Documento para la discusión de los ciudadanos. Primera entrega. ¿Qué hacer si el aeropuerto se va de la Ciudad? Una oportunidad para pensar nuestro futuro CDMX. Gobierno de la ciudad de México, Consejo Económico y Social de la ciudad de México, Banco de Desarrollo de América Latina. <http://laopiniondelaciudad.mx/wp-content/uploads/2016/03/LIBRO-PARA-LA-OPINION-DE-LA-CIUDAD.pdf>
- Gobierno de la República (2015). Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39248/2015_indc_esp.pdf
- González, F. (2012). Estela turbulenta, un peligro “casi” invisible. Asociación de spotters de canarias. Principios de vuelo: estelas turbulentas. <http://www.cispotting.net/cms/?p=1152>
- Gordo, I. (2016). El ABC del Sistema Metropolitano de Aeropuertos; conectividad en México. *Excelsior*. <http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2016/05/14/1092523> (consultado el 12/09/17)

- Grupo Banco Mundial (2018). Emisiones de CO₂ (kt). Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, Estados Unidos). <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC (1999) La aviación y la atmósfera global. Resumen para responsables de políticas. OMM, PNUMA. <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/av-sp.pdf>
- Guevara, E. (2008). La gestión de las responsabilidades y la Responsabilidad Social Empresarial. Universidad de Málaga. www.eumed.net/libros-gratis/2008c/438/Douglas%20McGregor.htm
- Herrera, A. (2001). Simulación de operaciones aeroportuarias. El caso de despegues y aterrizajes en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, Publicación técnica No. 180, Instituto Mexicano del Transporte, <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt180.pdf>
- Herrera, A. (2006). Alternativas de solución para problemas de capacidad aeroportuaria. Publicación técnica No. 284. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt284.pdf>
- Herrera, A. (2012) Modelo de simulación de operaciones aéreas en aeropuertos saturados. El caso del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Publicación técnica No. 365, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte. <http://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt365.pdf>
- Herrera, A. (2013) Estimación de las emisiones de gases contaminantes generadas por la actividad aérea en México. Publicación Técnica, 384. Instituto Mexicano del Transporte, México. <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt384.pdf>
- Herrera, A. y Vales, N. (2013). Estimación de las emisiones de gases contaminantes generadas por la actividad aérea en México, Publicación Técnica #384, IMT, <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt384.pdf>
- Herrera, C. y Elizalde, T. (2008). Felipe Calderón inaugura Terminal 2 del AICM; costó \$8 mil 595 millones. La jornada virtual. <http://www.jornada.unam.mx/2008/03/27/index.php?section=politica&article=014n2pol> (consultado el 12/09/17)
- Hwang, S. (2007). Utilizing qualitative data analysis software: A review of ATLAS.ti. *Social Science Computer Review*, 26(4). doi:10.1177/0894439307312485
- Instituto Dominicano de Aviación Civil (2015) Plan de acción sobre reducción de emisiones de CO₂. IDAC. http://www.icao.int/environmental-protection/Lists/ActionPlan/Attachments/32/Dominican%20Republic_Action-Plan-on%20Emission-Reduction.pdf
- *International Air Transport Association* (2009) Mitad de Emisiones en 2050.- La Aviación Presenta sus Objetivos en Copenhague. Noticias 54, IATA, http://www.iata.org/pressroom/pr/Documents/Spanish_PR_2009_12_08_01.pdf
- *International Panel on Climate Change* (2001). Cambio climático 2001, la base científica. Tercer informe de evaluación. Organización Meteorológica Mundial, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/scientific-basis/scientific-spm-ts-sp.pdf>

- *International Panel on Climate Change* (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- *International Panel on Climate Change* (2014) Cambio Climático 2014. Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf
- International Standard Organization (2006) Greenhouse gases Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. ISO, <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:es>
- Islas, V. y Lelis, M. (2007) Análisis de los sistemas de transporte. Vol.1 conceptos básicos. Instituto Mexicano del Transporte, Publicación técnica 307, <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt307.pdf>
- Kurniawan, J. y Khardi, S. (2011). Comparison of methodologies estimating emissions of aircraft pollutants, environmental impact assessment around airports. *Environmental Impact Assessment Review* 31, 240–252. doi:10.1016/j.eiar.2010.09.001
- Lara, J., Falfán, L. y Villa, A. (2012) Huella Ecológica, datos y rostros. SEMARNAT, http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/educacionambiental/publicaciones/cda_huella_ecologica.pdf
- Lee, D., *et al.* (2009a) Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. *Atmospheric Environment*, 44, 4678–4734. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.06.005
- Lee, D., *et al.* (2009b) Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmospheric Environment*, 43, 3520–3537. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.04.024
- Lewis, R. (2004). NVivo 2.0 and ATLAS.ti 5.0: A comparative review of two popular qualitative data-analysis programs. *Field Methods*, 16(4). doi:10.1177/1525822X04269174
- López, A. (2014). Nuevo AICM: beneficios económicos, sociales y ambientales. Dinero en imagen. <http://www.dineroenimagen.com/2014-09-04/42859> (consultado el 13/09/17)
- López, C., Díaz, P. y Robledo, J. (2013). La organización informal y sus efectos en las capacidades de innovación. Universidad Nacional de Colombia, Centro de Investigación en Comportamiento Organizacional. http://www.altec2013.org/programme_pdf/1296.pdf
- Lucatello, S. y Rodríguez, D. (2011). Las dimensiones sociales del cambio climático: Un panorama desde México ¿Cambio social o crisis ambiental? Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 161-182
- Magro, J. (2012) Nuevas expectativas y necesidades de la sociedad y las empresas en materia de sostenibilidad. Cálculo y verificación de la huella de carbono. Acciones de reducción de emisiones. Asociación Española de Normalización y Certificación, https://www.aec.es/c/document_library/get_file?p_1_id=315713&folderId=880358&name=DLFE-10603.pdf
- Manrique, R. (1987). Estructuras disipativas. De la termodinámica a la psicoterapia familiar. Asociación Española de Neuropsiquiatría. VII (11). <http://revistaaen.es/index.php/aen/article/viewFile/14949/14817>
- Manso, J. (2002). El legado de Frederick Irving Herzberg. *Revista universidad EAFIT*, 128, 79-86, Colombia. <http://www.redalyc.org/pdf/215/21512808.pdf>

- Marín-Idárraga, D. y Cuartas-Marín, J. (2014). Teorías del análisis y diseño organizacional: una revisión a los postulados contingentes y de la co-alineación estratégica. *rev.fac.cienc.econ.*, Vol. XXII (1), Enero-Junio, 153-168. <file:///D:/Downloads/Dialnet-TeoriasDelAnalisisYDisenoOrganizacional-5189793.pdf>
- Martínez, E. (2016). Nuevo AICM costará 11 mil mdp más. *El financiero*. <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/nuevo-aicm-costara-11-mil-mdp-mas.html> (consultado el 13/09/17)
- Martínez, J. (2005). Administración y organizaciones. Su desarrollo evolutivo y las propuestas para el nuevo siglo. *Semestre económico*, <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2929438.pdf>
- Martínez, J. y Peters, J. (2015) Contaminación acústica y ruido. *Ecologistas en Acción*, Madrid. https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/cuaderno_ruido_2013.pdf
- Mena, D. (2010). Propuesta de un modelo de planeación operativa para la reducción de costos laborales de las tripulaciones técnicas en una línea aérea. (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/10237/361.pdf?sequence=1>
- Molina, M. et al. (2009) Reducing abrupt climate change risk using the Montreal Protocol and other regulatory actions to complement cuts in CO2 emissions. *PNAS*, 49, 20616–20621. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0902568106
- Núñez, J. y Núñez, R. (2012) Huella de carbono: más allá de un instrumento de medición. Necesidad de conocer su impacto verdadero. *IV Congreso Internacional Latina de Comunicación Social*. http://www.revistalatinacs.org/12SLCS/2012_actas/058_Nunez.pdf
- Observatorio para la Sostenibilidad en España (2013) Manual de cálculo y reducción de huella de carbono para actividades de transporte por carretera. OSE, España, http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2013/06/manual_huella-carbono_transporte.pdf
- Organización de Aviación Civil Internacional (2016). La aviación unida. Organismo especializado de las Naciones Unidas, presentación de los resultados estadísticos sobre el transporte aéreo de 2016. OACI. <https://www.icao.int/annual-report-2016/Pages/the-world-of-air-transport-in-2016-statistical-results.aspx>
- Organización de Aviación Civil Internacional, (2009). Informe Anual del Consejo. Doc 9921. OACI. https://www.icao.int/publications/Documents/9921_es.pdf
- Organización de la Aviación Civil Internacional (2016). Se alcanza acuerdo histórico para mitigar las emisiones procedentes de la aviación internacional. Montreal, Canadá. <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/ES/Historic-agreement-reached-to-mitigate-international-aviation/emissions.aspx>
- Organización de la Aviación Civil Internacional (2011). La aviación y la sostenibilidad. Determinación de los complejos efectos ambientales, económicos y sociales que definen el futuro de la aviación. OACI 66, 6. https://www.icao.int/publications/journalsreports/2011/6606_es.pdf
- Organización Internacional del Trabajo (2013) La aviación civil y los cambios en su entorno laboral. Departamento de actividades sectoriales, Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra. http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/meetingdocument/wcms_201283.pdf

- Organización de las Naciones Unidas (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Asamblea General. Cuadragésimo segundo período de sesiones. <https://es.scribd.com/doc/105305734/ONU-Informe-Brundtland-Ago-1987-Informe-de-la-Comision-Mundial-sobre-Medio-Ambiente-y-Desarrollo>
- Organización Mundial del Comercio (2016). Examen estadístico del comercio mundial 2016. Organización Mundial del Comercio. Suiza. https://www.wto.org/spanish/res_s/statis_s/wts2016_s/wts2016_s.pdf
- Orozco, P. Bahías de Huatulco. Reseña de reubicación. Alteridades, 2, 4, 95-99. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Distrito Federal, México. <http://www.redalyc.org/pdf/747/74711363010.pdf>
- Pérez, I. (2002). Dos pioneros. Universidad de Concepción, 109-120. <http://economia.uc.cl/docs/004perea.pdf>
- Petrella, C. (2007). Análisis de la teoría burocrática. Aportes para la comprensión del modelo burocrático. Revista Electrónica de la Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad Católica del Uruguay. <https://www.fing.edu.uy/catedras/disi/DISI/pdf/Analisisdelateoriaburocratica.pdf>
- Postorino, M. y Mantecchini, L. (2014). A transport carbon footprint methodology to assess airport carbon emissions. Journal of Air Transport Management 37, 76-86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.03.001>
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal (2005) Contaminación por ruido y vibraciones: Implicaciones en la salud y calidad de vida de la población urbana. http://www.saludambiental.udg.mx/maestria/II_dip_files/Modulo_II/Urbanismo/Salud%20urbana.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de Aviación Civil Internacional (1999) Manual- guía de protección ambiental para aeropuertos. Proyecto Regional RLA/92/031, Planificación y Sistematización de la Aviación Civil. http://www.kpesic.com/sites/default/files/MANUAL_Guia_Prot_Amb_Aero-OACI.pdf
- Real Academia Española, Diccionario de la lengua española, 2017, <http://dle.rae.es/?id=AT3QP6H>
- Rees, W. y Wackernagel, M. (1996) Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable—And why they are a key to sustainability. Environmental Impact Assessment Review. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(96\)00022-4](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(96)00022-4)
- Reglamento de la Ley de Aeropuertos. Cámara de Diputados (2016). http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LAero.pdf
- Reglamento de Tránsito Aéreo. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo88633.pdf>
- Restrepo, M. y Rosero, X. (2002). Teoría institucional y proceso de internacionalización de las empresas colombianas. Estudios Gerenciales, 84, Universidad ICESI, Colombia. <http://www.redalyc.org/pdf/212/21208406.pdf>
- Rico, O. (2002) Estrategias de actuación comercial para las terminales con baja utilización en la nueva estructura aeroportuaria mexicana. Publicación Técnica 212, Instituto Mexicano del Transporte (IMT). <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt212.pdf>

- Rico, O. (2010) Potencial de la demanda de viaje como variable explicativa de la distribución espacial del transporte aéreo en el territorio mexicano. *Revista Transporte y Territorio*, 2, 6-17. www.rtt.filo.uba.ar/RTT00202006.pdf
- Rico, O. y Herrera, A. (2014). Situación actual de los mercados del aerotransporte comercial mexicano, *Publicación Técnica 422*, Instituto Mexicano del Transporte <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt422.pdf>
- Robbins, S. y DeCenzo, D. (2009). *Fundamentos de administración: conceptos esenciales y aplicaciones*. Pearson Educación. https://books.google.com.mx/books?id=yly3Ak0GLykC&dq=maslow+teoria+organizacion&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Rodrigo, G. y Ruiz, A. (2012) El impacto ambiental del transporte aéreo y las medidas para mitigarlo. Universidad Politécnica de Madrid. España. http://oa.upm.es/20345/1/INVE_MEM_2012_133532.pdf
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2017). Marco normativo. SCT. <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/2-marco-normativo/210-reglamentos/>
- Rodríguez, J., Peralta, E. y Pacheco, B. (2015) Estudio de factores que generan demoras en tierra en el aeropuerto El Dorado. Universidad los Libertadores, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Aeronáutica, Bogota, <http://repository.libertadores.edu.co/bitstream/11371/324/1/EliudtSarocPeraltaBorraes.pdf>
- Rodríguez, M. (2003). Instrumentos de gestión ambiental. <http://www.manuelrodriguezbecerra.org/bajar/gestion/capitulo11.pdf>
- Ruiz, A. (2014) Desarrollo sostenible del transporte aéreo. Departamento de Infraestructura, Sistemas aeroespaciales y Aeropuertos, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid, España. <http://aerolatinnews.com/wp-content/uploads/2014/05/DESARROLLO-SOSTENIBLE-DEL-TRANSPORTE-AEREO-BENITO-ARTURO.pdf>
- Ruiz, M. (2015) 50 años, Aeropuertos y Servicios Auxiliares. *Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA)* <http://sct.gob.mx/publicaciones/pesct/ASA-50-anos.pdf>
- Sacristán, E. (2006) Las privatizaciones en México. *Economía UNAM*, 3, 54-64 <http://www.ejournal.unam.mx/ecu/ecunam9/ecunam0904.pdf>
- Salgado, E. (2003). Teoría de costos de transacción: una breve reseña. *Cuadernos de Administración*, 16 (26), 61-78. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. <http://www.redalyc.org/pdf/205/20502604.pdf>
- Schlossberg, T. (2017). Flying Is Bad for the Planet. You Can Help Make It Better. *The New York Times Company*. <https://www.nytimes.com/2017/07/27/climate/airplane-pollution-global-warming.html> (08/04/2018)
- Schneider, H. y Samaniego, J. (2010) La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Naciones Unidas, Santiago de Chile, <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/3753?locale-attribute=en>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2015). Plan de acción para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero de la aviación civil mexicana 2015-2018. Comité de Medio Ambiente para la Aviación México. Dirección General de Aeronáutica Civil. <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/6-medio-ambiente-y-desarrollo-sustentable/61-medio-ambiente-y-desarrollo-sustentable/plan-de-accion/>

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (s.f.). Reglamento de la Ley de Aeropuertos. Reglamento publicado en el Diario Oficial de la Federación el 17 de febrero de 2000. <http://www.sct.gob.mx/JURE/doc/regl-ley-aeropuertos.pdf>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes- Servicios a la Navegación en el espacio Aéreo Mexicano (2018). Plan de vuelo electrónico. Dirección Adjunta de Tránsito Aéreo. <https://seneam.gob.mx/scta/planvuelo.asp>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2008). Memoria de obras, Infraestructura aeroportuaria. SCT, http://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/SCT-MO-2008-Aeropuertos.pdf
- Secretaría de Energía (2011) Indicadores de eficiencia energética en México: 5 sectores, 5 retos. SENER en colaboración con la Agencia Internacional de Energía (AIE). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85305/Bibliograf_a_6.pdf
- Secretaría de Gobernación (2006). Ley de Aviación Civil. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de mayo de 1995. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4873844&fecha=12/05/1995
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013) Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. México.
- Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca SEMARNAP (2000). Gestión ambiental hacia la industria. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. SEMARNAP, INE, PROFEPA. <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/256.pdf>
- Sepúlveda, I. (2012). Bioturbosina. Producción de cultivos energéticos para la aviación comercial. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3, 579-594. <http://www.redalyc.org/html/2631/263123205013/>
- Serrano, M. y García, M. (2015) Cambios recientes del tráfico de pasajeros en los aeropuertos españoles: modificaciones acusadas en un contexto económico desfavorable. Revista Transporte y Territorio, 12, 127-149. <http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/rtt/article/view/1226/1187>
- The International Trade Administration (2018). China – Aviation. U.S. Department of Commerce. <https://www.privacyshield.gov/article?id=China-Aviation>
- Torres, Z. (2014). Teoría general de la administración. Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales, Mexico, <http://www.editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074386196.pdf>
- Tovar, L. (2009). Evolución de la teoría de la organización. Revista Universidad & Empresa, Universidad del Rosario, 17, 11-32. http://economia.urosario.edu.co/urosario_files/57/575586aa-4e66-467c-a0e7-5b3e25539cd1.pdf
- Unidad Editorial Información Económica S.L. (2018). Emisiones de CO2. Datos/ Medio ambiente y energía. Expansión/Datosmacro.com <https://www.datosmacro.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2> (08/04/2018)
- Universidad de granada (2018). Estadística. Métodos de análisis multivariante: análisis clúster. <http://wpd.ugr.es/~bioestad/guia-spss/practica-8/>

- Vara, A. y Vázquez, M. (2011). La creación de valor en las empresas de información económica: el caso de Expansión. Universidad de Navarra, España. <http://www.ec.ubi.pt/ec/10/pdf/EC10-2011Dez-11.pdf>
- Wackernagel, M. y Rees, W. (1998) Our ecological footprints. Reducing Human impact on the earth. New Society Publishers. Canadá. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=WVNEAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&ots=VIUJ7NxMKq&sig=KovPmwRK3KPkYR6zqVU3EtnBVFY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Weber, M. (s.f.) ¿Qué es la burocracia? Libros Tauro, http://www.ucema.edu.ar/u/ame/Weber_burocracia.pdf
- Wiedmann, T. and Minx, J. (2008). A Definition of 'Carbon Footprint'. Ecological Economics Research Trends, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA. https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5999.
- Wolfe, P. et al. (2014) Near-airport distribution of the environmental costs of aviation. Transport Policy, 34,102–108. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.02.023>
- World Resource Institute (2010) Estándar de política y acción. Resumen ejecutivo. Estados Unidos. http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards_supporting/Executive%20Summary%20%28Espa%C3%B1ol%29.pdf

ANEXOS

Anexo 1.- Legislación aplicable a la aviación comercial en México

LEYES (12)

Ley de Aviación Civil

Ley de Aeropuertos

Ley de Seguridad Nacional

Ley de Vías Generales de Comunicación

Ley del Servicio Profesional de Carrera en la Administración Pública Federal

Ley Federal de Derechos

Ley Federal de Procedimiento Administrativo

Ley Federal de Procedimiento Contencioso Administrativo

Ley Federal de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos

Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública

Ley Federal sobre Metrología y Normalización

Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados

NOM (18 y 2 modificaciones)

NOM-002-SCT3-2012, Que establece el contenido del Manual General de Operaciones

NOM-003-SCT3-2010, Que establece el uso dentro del espacio aéreo mexicano, del transpondedor para aeronaves, así como los criterios para su instalación, especificaciones y procedimientos de operación

NOM-006-SCT3-2012, Que establece el contenido del Manual General de Mantenimiento

NOM-008-SCT3-2002, Que establece los requisitos técnicos a cumplir por los concesionarios y permisionarios del servicio al público de transporte aéreo, para la obtención del certificado de explotador de servicios aéreos, así como los requisitos técnicos a cumplir por los permisionarios del servicio de transporte aéreo privado comercial

MODIFICACIÓN NOM-008-SCT3-2002, Que establece los requisitos técnicos a cumplir por los concesionarios y permisionarios del servicio al público de transporte aéreo, para la obtención del certificado de explotador de servicios aéreos, así como los requisitos técnicos a cumplir por los permisionarios del servicio de transporte aéreo privado comercial, publicada el 14 de mayo de 2003

NOM-009-SCT3-2012 Que regula los requisitos y especificaciones para el establecimiento y funcionamiento de oficinas de despacho en sus diferentes modalidades

NOM-012-SCT3-2012, Que establece los requerimientos para los instrumentos, equipo, documentos y manuales que han de llevarse a bordo de las aeronaves

MODIFICACIÓN NOM-012-SCT3-2012, Que establece los requerimientos para los instrumentos, equipo, documentos y manuales que han de llevarse a bordo de las aeronaves, publicada el 14 de agosto de 2012

MODIFICACIÓN NOM-012-SCT3-2012, Que establece los requerimientos para los instrumentos, equipo, documentos y manuales que han de llevarse a bordo de las aeronaves

NOM-018-SCT3-2012, Que establece el contenido del Manual de Vuelo

NOM-021/3-SCT3-2010, Que establece los requerimientos que deben cumplir los estudios técnicos para las modificaciones o alteraciones que afecten el diseño original de una aeronave

NOM-022-SCT3-2011, Que establece el uso de registradores de vuelo, instalados en aeronaves que operen

en el espacio aéreo mexicano, así como sus características

NOM-039-SCT3-2010, Que regula la aplicación de directivas de aeronavegabilidad y boletines de servicio a aeronaves y sus componentes

NOM-051-SCT3-2011, Que regula los procedimientos de aplicación del Sistema Mundial de Determinación de la Posición (GPS), como medio de navegación dentro del espacio aéreo mexicano

NOM-060-SCT3-2011, Que establece las especificaciones para conformar un sistema de identificación de defectos y fallas ocurridas a las aeronaves

NOM-064-SCT3-2012, Que establece las especificaciones del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional (SMS: *Safety Management System*)

NOM-069-SCT3-2010, Que establece el uso obligatorio del Sistema de Anticolisión de a Bordo (ACAS) en aeronaves de ala fija que operen en espacio aéreo mexicano, así como sus características

NOM-070-SCT3-2010 Que establece el uso obligatorio del sistema de advertencia de la proximidad del terreno (GPWS) en aeronaves de ala fija que operen en espacio aéreo mexicano, así como sus características

NOM-091-SCT3-2004 Que establece las operaciones en el espacio aéreo mexicano con separación vertical mínima reducida (MRVSM)

NOM-145/2-SCT3-2001, Que establece el contenido del Manual de Procedimientos del Taller de Aeronáutico

REGLAMENTOS (12)

Reglamento de Escuelas Técnicas Aeronáuticas

Reglamento de la Ley Aviación Civil

Reglamento de la Ley de Aeropuertos

Reglamento de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental

Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización

Reglamento de la Ley del Servicio Profesional de Carrera en la Administración Pública Federal

Reglamento de Operación de Aeronaves Civiles

Reglamento del Registro Aeronáutico Mexicano

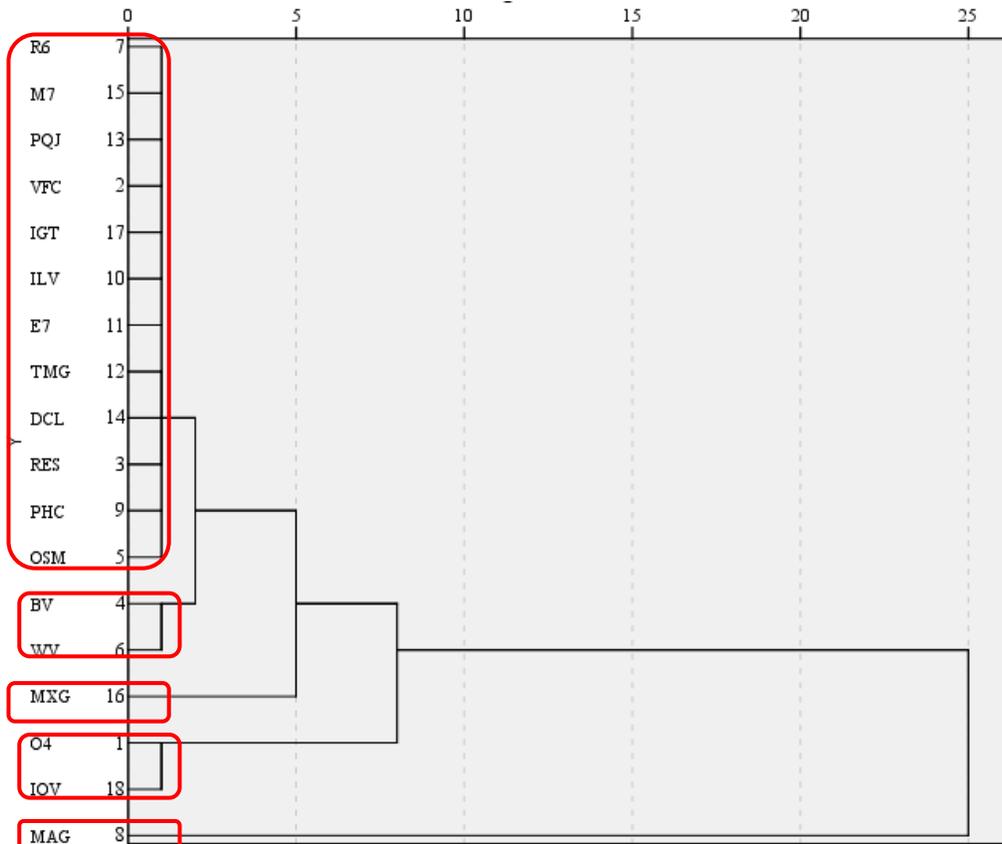
Reglamento del Servicio de Medicina en el Transporte

Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Reglamento para Búsqueda y Salvamento e Investigación de Accidentes Aéreos

Reglamento para la Expedición de Permisos, Licencias y Certificados de Capacidad del Personal Técnico Aeronáutico

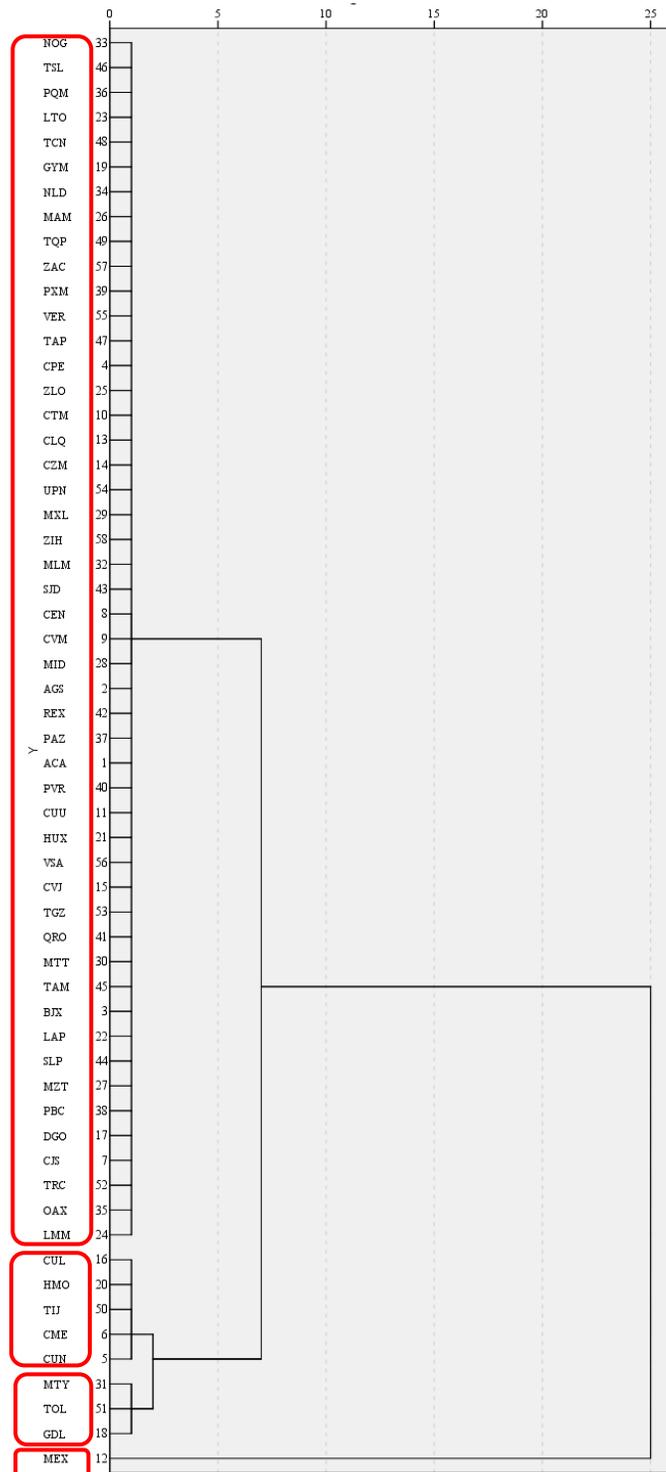
Anexo 2.- Conglomerados de las aerolíneas mexicanas en servicio regular nacional



- NOTA: R6 - Aeruni3n
M7 - Mas de carga
PQJ - Jet Paquetería
VFC - Aerocalafia
IGT - TAR
ILV - Avolar
E7 - Estafeta
TMG - Magnicharter
DCL - Líneas Aéreas Azteca
RES - Aerocalifornia
PHC - Aviacsa
OSM - Alma
BV - VivaAerobus
WV - Aeromar
MXG - Grupo Mexicana
O4- Interjet
IOV- Volaris
MAG - Grupo Aeroméxico

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de la DGAC, 2018.

Anexo 3.- Clasificación de los aeropuertos con aviación comercial en México



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas proporcionadas por la DGAC, 2018.

Anexo 4.- Clasificación de demoras

Accidente*	Todo suceso por el que se cause la muerte o lesiones graves a personas a bordo de la aeronave o bien, se ocasionen daños o roturas estructurales a la aeronave, o por el que la aeronave desaparezca o se encuentre en un lugar inaccesible
Accidente por un tercero	Aquel accidente no relacionado a la aerolínea (Instituciones, organismos, empresas, individuos, entre otros)
Aerocares	Falta de “aerocares” y/o deficiencia en el servicio (vehículo que facilita el transporte de pasajeros y equipaje)
Aplicación de control de flujo	Falla en las consolas para los centros de control de tránsito aéreo y sala de control de flujo, orden en el flujo de las operaciones de llegada, flujo de aeronaves en el espacio aéreo controlado, flujo de las aeronaves a través del establecimiento de nuevos procedimientos en Áreas Terminales.
Autoridades	Falta de personal o trabajo deficiente, Aduana, Migración, SAGARPA, PFP, PGR, SENASICA, Sanidad.
Carga*	Errores documentando material no permitido, sobreventa de los espacios para carga, falta de guías de carga que se transporta, aceptación tardía, llegada tarde al avión, empaque inadecuado, etc.
Comisariato*	Falta de alimentos, carga de alimentos tarde, etc.
Evento ocasional	Amenaza de bomba, salida/entrada del avión presidencial, activación de áreas militares y/o operaciones militares, etc.
Incidente*	Todo aquel suceso relacionado con la utilización de una aeronave que no llegue a ser accidente, que afecte o pueda afectar la seguridad de las operaciones.
Incidente por un tercero	Aquel incidente no relacionado a la aerolínea (Colisiones en el remolque, daño en la Carga/Descarga, golpes al avión en la plataforma, entre otros)
Infraestructura aeroportuaria	Saturación de filtros de seguridad, demoras ocasionadas por falta de pantallas, información deficiente o con información errónea, mantenimiento de las áreas operacionales, falta o inadecuada limpieza de las áreas operacionales, plataforma congestionada, entre otros.
Mantenimiento aeronaves*	Falta del personal, espera de refacciones, cambio de avión por razones técnicas, entrega tarde del avión por servicio programado o no programado de mantenimiento, falta de partes en almacén, etc.
Meteorología	Reportes de tiempo de la estación de salida (bajo límites), Reportes de tiempo de ruta o alterno (bajo límites), Reportes de tiempo de la estación de destino (bajo límites), Vientos en contra, etc. (Lluvia, neblina, tormentas eléctricas, nieve)
Operaciones aerolínea*	Solicitud del capitán para procedimiento de seguridad, requerimientos operacionales, combustible adicional, cambio en el plan de vuelo, entre otros.
Pasillos	Falla del equipo o deficiencia en la prestación del servicio.
Rampa aerolínea*	Lentitud en la carga/descarga del avión por falta o insuficiencia del personal, complicación por la carga voluminosa, falta o falla de equipo de apoyo en tierra, retraso en la limpieza del avión, abastecimiento o descarga de combustible, equipo de servicio, falta o desperfecto mecánico de escaleras para pasajeros, planta de corriente eléctrica, tractor para remolque del avión, etc
Repercusiones*	Originadas por la propia aerolínea (Generadas desde el aeropuerto de origen o aeropuerto intermedio)
Repercusiones por un tercero	Originadas por otra empresa, autoridades, etc. (Desde el aeropuerto de origen o aeropuerto intermedio)
Trafico/documentación*	Abordaje (abordaje lento, discrepancia en número de pasajeros, etc.), sobreventa, localización o espera de pasajeros en tránsito, errores al documentar, cierre tarde del vuelo, bajando equipaje voluminoso, bajando equipaje de pasajero que no abordó, falla en el manejo de pasajeros discapacitados, falla del sistema de documentación.
Tripulaciones*	Asignación errónea de tripulación, esperando tripulación de reserva, tripulación presentándose tarde, procedimientos de salida tardíos

Fuente: DGAC, 2017

Anexo 5.- Clasificación de las demoras en factores.

Código de demora	Componente									
	No imputables a la aerolínea	Imputables a la aerolínea	Imputable a aeropuerto	Operaciones	CTA	Procedimientos	Seguridad	Handler	Causas externas	Causas varias
Operaciones Aerolínea*	0.593	0.005	-0.084	0.749	0.143	-0.109	-0.154	0.082	-0.060	0.071
Repercusiones*	0.627	-0.570	0.223	0.225	0.173	0.018	0.269	-0.141	0.227	0.010
Mantenimiento Aeronaves*	0.190	0.852	0.348	-0.148	0.031	-0.041	0.251	-0.139	0.069	-0.064
Tripulaciones*	0.598	0.153	0.437	0.089	0.124	-0.133	0.549	-0.217	0.155	-0.014
Tráfico/Documentación**	0.216	0.904	0.031	0.222	-0.178	-0.094	-0.111	0.065	-0.071	0.154
Rampa Aerolínea*	0.004	0.902	0.181	-0.119	-0.053	-0.155	-0.159	0.118	-0.203	0.150
Comisariato*	0.276	-0.843	0.018	0.266	0.015	-0.254	-0.048	0.110	-0.230	-0.100
Incidente*	0.578	-0.250	-0.049	0.693	0.131	-0.019	0.009	0.108	-0.071	0.063
Carga*	-0.314	-0.030	0.592	-0.471	0.240	-0.424	-0.100	-0.066	-0.094	-0.237
Accidente*	0.151	-0.691	-0.174	-0.399	0.098	0.508	-0.163	0.106	0.048	0.004
Procedimiento de Seguridad*	-0.100	0.092	-0.087	-0.060	-0.047	-0.016	0.973	0.067	0.111	0.001
Cambio de Equipo*	-0.043	0.442	-0.123	-0.025	0.271	0.010	-0.159	0.200	-0.100	-0.747
Evento Ocasional *	-0.021	0.042	0.996	-0.007	0.050	-0.014	-0.017	0.026	0.042	0.013
Espera de Equipo*	-0.090	-0.279	-0.079	0.946	0.045	-0.054	-0.029	0.026	-0.020	0.004
Repercusiones por un Tercero***	0.857	0.063	0.019	0.296	0.347	-0.082	0.007	-0.016	0.107	0.128
Meteorología ***	0.748	0.330	-0.191	0.175	-0.160	0.012	-0.191	0.218	-0.032	0.347
Aplicación de Control de Flujo ***	0.475	0.174	0.274	0.185	0.754	0.064	-0.025	0.160	0.183	-0.047
Infraestructura Aeroportuaria*	0.649	-0.137	0.081	0.438	0.211	0.165	-0.007	-0.410	0.332	-0.062
Evento Ocasional ***	0.887	-0.188	-0.101	-0.046	0.048	-0.214	-0.194	0.147	-0.171	-0.160
Control de Flujo SENEAM ***	0.357	0.029	0.401	0.208	0.657	0.027	-0.011	-0.248	0.403	0.067
Otros	0.719	-0.257	-0.012	0.548	0.030	0.169	-0.187	0.189	0.048	-0.099
Demora en Ruta ***	0.133	0.574	0.351	-0.120	0.354	-0.379	0.265	-0.185	0.346	-0.092
Control de Flujo *	0.299	0.198	0.204	0.349	0.176	0.233	0.075	-0.049	0.415	0.601
Espera de Equipo de	0.595	-0.174	0.058	0.309	0.199	0.652	0.116	0.128	-0.002	-0.138

Apoyo *										
Pasillos*	0.154	-0.724	-0.034	0.005	0.468	0.316	-0.037	0.034	-0.010	-0.196
Ocasionada en su Origen*	0.144	-0.656	0.507	0.300	0.302	-0.050	-0.176	0.133	0.120	0.039
Autoridades *	-0.197	0.806	-0.207	-0.162	0.049	-0.136	-0.002	0.198	-0.283	-0.263
Control de Flujo AICM***	0.037	-0.738	0.434	0.251	0.205	-0.009	-0.282	0.177	0.191	0.102
Suministro de Combustible *	0.420	-0.450	-0.139	0.522	0.070	0.553	-0.059	-0.013	-0.059	0.035
Aerocares*	-0.309	-0.005	0.682	-0.386	0.464	-0.034	0.042	-0.239	-0.119	-0.019
Incidente por un Tercero*	-0.135	0.051	-0.266	-0.199	0.009	-0.326	-0.298	0.384	-0.701	-0.189
Combustibles*	0.015	-0.346	0.398	-0.110	0.207	-0.340	-0.054	-0.427	0.604	0.016
Servicios de Apoyo en Tierra*	0.989	-0.095	-0.067	-0.031	0.029	0.075	0.015	-0.013	-0.006	0.019
Accidente por un Tercero*	-0.212	-0.021	-0.281	-0.368	-0.024	-0.468	-0.372	0.426	0.062	0.407
Pasajeros Especiales*	0.718	-0.040	0.689	-0.028	0.058	0.045	-0.001	0.010	0.027	0.023
Control Terrestre*	0.989	-0.095	-0.067	-0.031	0.029	0.075	0.015	-0.013	-0.006	0.019
Visita Papal*	-0.043	0.194	-0.057	-0.015	-0.958	-0.028	-0.174	0.067	-0.014	-0.026
Repercusiones en Ruta***	-0.296	0.898	0.074	-0.144	0.097	-0.175	0.166	0.095	0.038	-0.040
Bloqueo Carretera**	-0.149	-0.225	-0.165	-0.222	0.068	-0.221	0.260	0.225	0.823	-0.017
Saturación de Servicios*	-0.021	0.042	0.996	-0.007	0.050	-0.014	-0.017	0.026	0.042	0.013
Pasajero Enfermo*	-0.067	0.404	-0.141	-0.058	0.236	-0.085	-0.171	0.204	-0.114	0.723
Cierre de Aeropuerto*	-0.086	0.223	-0.093	-0.041	-0.912	-0.033	0.290	0.094	0.039	-0.023
Emergencia Médica*	-0.100	0.092	-0.087	-0.060	-0.047	-0.016	0.973	0.067	0.111	0.001
Handler*	-0.216	-0.171	-0.114	-0.188	0.082	0.543	-0.108	-0.743	-0.007	0.019
Inauguración *	-0.021	0.042	0.996	-0.007	0.050	-0.014	-0.017	0.026	0.042	0.013
Arco Detector Rayos X**	-0.021	0.042	0.996	-0.007	0.050	-0.014	-0.017	0.026	0.042	0.013
Autoridades Migratorias*	-0.201	-0.327	-0.072	-0.180	0.035	0.890	-0.080	-0.037	-0.067	0.035

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 9 iteraciones.

NOTA: * Demora ocasionada en el Lado Aire

** Demora ocasionada en el Lado Tierra

*** Demora ocasionada en CTA

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de la DGAC, 2017.

Anexo 6.- Entrevista semiestructurada

La influencia de la organización de la aviación comercial de México en el periodo 2005-2016: relación procesos operativos- mitigación de la huella de carbono del consumo de turbosina.

Buenos _____, Como parte de mi tesis en El Colegio de la Frontera Norte estoy realizando una investigación acerca de la huella de carbono producto del consumo de turbosina de la aviación comercial nacional. La información brindada en esta entrevista es de carácter confidencial, solo será utilizada para los propósitos de la investigación. Agradezco su colaboración

Fecha: _____
Empresa: _____
Persona entrevistada: ____ __
Función: _____
Experiencia (Años) _____

Preguntas:

- 1.- ¿Cuál es su opinión sobre la forma en que está organizada la aviación comercial en México?
- 2.- ¿Cree que existen presiones que influyan en la atención de los vuelos?
- 3.- ¿Cuál es su opinión sobre el procedimiento de autorizaciones de despegue?
- 4.- Con respecto a las operaciones ¿Cómo modificaría los procedimientos de atención en tierra?
- 5.- ¿Cómo se coordinan en su interacción con los demás actores durante la atención del vuelo?
- 6.- En su opinión, ¿cuál es la principal causa de demora de los vuelos?
- 7.- ¿Cuáles son sus funciones durante la operación de un vuelo en tierra?
- 8.- ¿Qué modificaría de la infraestructura aeroportuaria para hacerla más funcional?
- 9.- Dentro de su empresa, ¿cuentan con un Sistema de Gestión Ambiental? ¿Sabe cómo funciona?
- 10.- ¿Qué opina sobre el consumo de turbosina de los equipos mientras se encuentran en tierra?
- 11.- En este sentido, ¿cuál es su opinión sobre el procedimiento de recarga de combustible?
- 12.- ¿Conoce el procedimiento para codificar demoras emitido por la DGAC? ¿Considera que se puede mejorar?
- 13.- ¿Cómo se modifican los procesos en tierra cuando un vuelo está demorado?

El autor es Licenciado en Relaciones Internacionales por la Universidad del Mar, Campus Huatulco en Bahías de Huatulco, Oaxaca. Egresado de la Maestría en Administración Integral del Ambiente de El Colegio de la Frontera Norte.

Correo electrónico: edgy_5@hotmail.com
al581onso@gmail.com

© *Todos los derechos reservados. Se autorizan la reproducción y difusión total y parcial por cualquier medio, indicando la fuente.*

Forma de citar:

Gómez R., E. Alonso (2018). “El papel de la organización de la aviación comercial de México en la huella de carbono (2005-2017)”. Tesis de Maestría en Administración Integral del Ambiente. El Colegio de la Frontera Norte, A.C. México. 139 pp.