

Análisis y evaluación, en proyección, del próximo sistema multi-aeropuerto de la ciudad de Bogotá y región

Javier Alejandro Benavides Zabaleta

Henry Alberto Reyes Andrade

**Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Civil
Bogotá D.C.**

2021

Análisis y evaluación, en proyección, del próximo sistema multi-aeropuerto de la ciudad de Bogotá y región

Javier Alejandro Benavides Zabaleta

Henry Alberto Reyes Andrade

Trabajo como opción de grado para optar al título de ingeniero civil

Director de Tesis

Oscar Eduardo Díaz Olariaga

Doctor en Ingeniería Aeronáutica

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá D.C.

2021

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
2.1 Definición del problema.....	8
2.2 Justificación del problema.....	8
3. OBJETIVOS	9
3.1 General	9
3.2 Específicos	9
4. MARCO CONCEPTUAL	10
4.1 Sistema aeroportuario	10
4.1.1 Aeropuerto.	10
4.1.2 Transporte aéreo en Colombia.....	11
4.1.3 Demanda del transporte aéreo	13
4.2 Planificación aeroportuaria.....	13
4.2.1 Operaciones de Aeronaves.....	13
4.2.2 Capacidad del Área de Movimiento.....	14
4.2.3 Mix de Aeronaves.....	14
4.3 Diseño aeroportuario	15
4.3.1 Ubicación.....	15
4.3.2 Proyección de Tráfico	16
4.3.3 Áreas terminales.....	16
4.4 Sistema multi-aeropuerto	17
4.4.1 Definición y contextualización	17
4.4.2 Servicios de las aerolíneas.....	19
4.4.3 Servicios del aeropuerto.....	19
5. METODOLOGÍA	21
5.1 Fase 1: Recolección de la Información.....	21
5.1 Fase 2: Análisis de la Información.....	22
5.1 Fase 3: Construcción de resultados.....	22
6. ESTADO ACTUAL AEROPUERTO EL DORADO	22
6.1 Ubicación aeropuerto El Dorado.....	22
6.2 Actualidad e historia del aeropuerto El Dorado.....	23
7. ANALISIS DE LA DEMANDA	24
7.1 Resultados pronóstico de la demanda PM 2001.....	24

7.1.1 Pasajeros comerciales	24
7.1.2 Carga internacional	26
7.1.3 Carga domestica	27
7.1.4 Operaciones aéreas	28
7.2 Resultados pronóstico de la demanda PM 2012.....	31
7.2.1 Pasajeros	32
7.2.2 Carga	34
7.3 Resultados pronóstico de la demanda PM 2021.....	36
7.4 Análisis comparativo entre pronósticos de planes maestros y datos observados	36
7.5 Proyección de tráfico El Dorado II	38
8. Análisis ubicación El Dorado II	40
8.1 Orientación de la pista 13/31	43
8.2 Orientación de la pista 16/34	45
8.3 Orientación de la pista 04/22	45
8.4 Resultados Ubicación y determinación de las pistas.....	46
9. Análisis operacional entre El Dorado y El Dorado II	49
9.1 Operaciones fase 1 alternativa hibrida.....	49
9.2 Operaciones fase 2 alternativa hibrida.....	51
9.3 Operaciones fase 3 alternativa hibrida.....	53
10. Distribución de tráfico entre El Dorado y El Dorado II.....	55
CONCLUSIONES.....	61
ANEXOS.....	62
Anexo A	62
REFERENCIAS	63

Índice de tablas

Tabla 1. Proyección pasajeros comerciales PM 2001	26
Tabla 2. Proyección carga internacional en toneladas métricas PM 2001	27
Tabla 3. Proyección carga doméstica en toneladas métricas PM 2001	28
Tabla 4. Proyección operaciones domesticas PM 2001.....	29
Tabla 5. Proyección operaciones internacionales PM 2001	30
Tabla 6. Proyección operaciones totales PM 2001	31
Tabla 7. Proyecciones para pasajeros nacionales - modelo macroeconómico PM 2012 .	32
Tabla 8. Proyecciones para pasajeros nacionales – Regresiones Lineales PM 2012	33
Tabla 9. Proyecciones para pasajeros nacionales – Regresiones Lineales PM 2012	33
Tabla 10. Proyecciones para pasajeros internacionales – Regresiones Lineales PM 2012	34
Tabla 11. Proyecciones para carga domestica – Regresiones Lineales PM 2012.....	35
Tabla 12. Proyecciones para carga internacional – Regresiones Lineales PM 2012	35
Tabla 13. Proyecciones Aeropuerto El Dorado PM 2021.....	36
Tabla 14. Proyecciones El Dorado II.....	39
Tabla 15. Evaluación de las alternativas seleccionadas.....	46
Tabla 16. Capacidades de las operaciones previstas para cada alternativa preseleccionada.	48
Tabla 17. Resumen de Asignación de Operaciones opciones 1 – 4.....	58
Tabla 18. Resumen de Asignación de Operaciones opción 5	60
Tabla 19. Resumen datos observados (Tráfico Real) Aeropuerto internacional El Dorado.....	62

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación aeropuerto El Dorado	222
Figura 2. Pronóstico de ADPi PM 2001	25
Figura 3. Comparativa de proyecciones de planes maestros y tráfico observado, Pax Nac	36
Figura 4. Comparativa de proyecciones de planes maestros y tráfico observado, Pax Intl	36
Figura 5. Comparativa de proyecciones de planes maestros y tráfico observado, Carga Nac.....	37
Figura 6. Comparativa de proyecciones de planes maestros y tráfico observado, Carga Intl	37
Figura 7. Proyección en el tipo de tráfico en EDII	39
Figura 8. Ubicación posibles ubicaciones El Dorado II.....	40
Figura 9. Ubicación Aerotrópolis El Dorado II.....	40
Figura 10. Polígono referencia El Dorado II	41
Figura 11. Concepto de operaciones pista 13	42
Figura 12. Concepto de operaciones pista 31	43
Figura 13. Concepto de operaciones pista 04	44
Figura 14. Concepto de operaciones pista 22	44
Figura 15. Concepto Alternativa Híbrida.....	46
Figura 16. Concepto de operaciones para la pista 13	49
Figura 17. Concepto de operaciones para la pista 31	49
Figura 18. Concepto de operaciones para la pista 13/04	51
Figura 19. Concepto de operaciones para la pista 22/13	51
Figura 20. Concepto de operaciones para la pista 22/31	52
Figura 21. Concepto de operaciones para la pista 22/31	53
Figura 22. Concepto de operaciones para la pista 22/31	54

1. INTRODUCCIÓN

El aeropuerto internacional El Dorado Luis Carlos Galán Sarmiento, código IATA: BOG y código OACI: SKBO, de la ciudad de Bogotá es el principal aeropuerto del país, siendo un importante HUB de pasajeros y carga, tanto para Colombia como para la región, sin embargo, el desenfrenado crecimiento de la población han dejado al aeropuerto inmerso dentro de la ciudad, por lo cual, y debido al vertiginoso crecimiento de la demanda del transporte aéreo y sus limitadas opciones de expansión, se estima que El Dorado alcance su capacidad operativa en un par de años.

Para dar solución y evitar que El Dorado entre en saturación, se ha dispuesto un ambicioso plan para convertir a Bogotá en una región multi-aeroportuaria, es decir, que la ciudad funcione, en principio, con dos aeropuertos, para tal fin, se prevé la construcción de un segundo aeropuerto, denominado El Dorado II, el cual funcionará, en primera instancia, como un aeropuerto complementario a El Dorado, satisfaciendo así, la creciente demanda del mundo, evitando congestiones y retrasos, brindando un mejor servicio, disminuyendo tiempos y costos.

En el presente estudio se analizará el estado actual de El Dorado, la demanda en proyección, tanto del El Dorado como de El Dorado II, la ubicación de El Dorado II y, finalmente, se hará el análisis operación y la distribución del tráfico del próximo sistema multi-aeropuerto de la ciudad de Bogotá y región.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Definición del problema

La demanda de transporte aéreo está creciendo en relación directa con la tasa de desarrollo económico global (Bonney, 2008). Entonces, cuando un solo aeropuerto ya no puede satisfacer la demanda de transporte aéreo de su área de influencia, ya sea debido a la planificación urbana o limitaciones físicas, la construcción de aeropuertos adicionales en sus proximidades es frecuentemente perseguido para distribuir la demanda insatisfecha. Así mismo cada vez es más común ver dos o más aeropuertos atendiendo la demanda teniendo una proximidad aparente entre ellos, presentando así, con la aparición de estos aeropuertos secundarios en el mundo, una mayor complejidad en las terminales de operación, lo que ha provocado congestiones y complejidades en el tráfico aéreo (Bonney, 2008).

2.2 Justificación del problema

En pocos años, siete u ocho, muy probablemente existirá en Bogotá y región un sistema multi-aeropuerto, que estará constituido por el (actual) Aeropuerto Internacional de Bogotá-El Dorado (en adelante BOG) y un futuro nuevo aeropuerto por ahora conocido como Aeropuerto El Dorado II. Debido a la dinámica de crecimiento de la demanda de transporte aéreo, se estima a muy corto plazo, uno o dos años, BOG alcance su máxima capacidad operativa. Y considerando a que es muy complejo, tanto desde el punto de vista sociopolítico como técnico y ambiental, una nueva ampliación del BOG (principalmente la construcción de una tercera pista), el ente gubernamental responsable prevé la construcción de un nuevo aeropuerto que funcione, al menos en sus primeras fases, de forma complementaria con BOG. Dicho esto, se justifica entonces un análisis del futuro sistema multi-aeropuerto de la ciudad de Bogotá y región.

3. OBJETIVOS

3.1 General

Analizar, en proyección, con enfoque exclusivamente operacional (es decir, operaciones aeronáuticas), el próximo sistema multi-aeropuerto de Bogotá y región.

3.2 Específicos

1. Analizar la evolución histórica del tráfico y el diagnóstico operacional actual de El Dorado.
2. Analizar las proyecciones de tráfico a corto, medio y largo plazo de El Dorado y El Dorado II.
3. Describir, analizar y evaluar la ubicación prevista para El Dorado II.
4. Realizar un análisis operacional (despegues y aterrizajes) en la primera pista a construirse en El Dorado II y su relación con la actual distribución operacional (despegues y aterrizajes) en las dos pistas de El Dorado.
5. Analizar la distribución de tráfico entre El Dorado y El Dorado II.

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1 Sistema aeroportuario

4.1.1 Aeropuerto.

Un aeropuerto es un gran procesador establecido en un área definida de terreno, en la cual se instauran de modo permanente todas las instalaciones y servicios necesarios para procesar tanto las aeronaves, en el lado aire, como a los pasajeros, equipaje y carga en el lado tierra. Existen dos tipos de aeropuertos según el tipo de tráfico que gestiona, el aeropuerto internacional y el aeropuerto doméstico o nacional.

Además, los aeropuertos son nodos importantes del sistema de transporte, ya que estos representan puntos de intercambio para los viajeros aéreos y elementos cruciales dentro de las aerolíneas (Postorino & Giammaria Praticò, 2012).

Por otra parte, definimos el área de influencia de un aeropuerto como el área superficial a la redonda donde los viajeros potenciales comienzan y terminan sus viajes (Postorino & Giammaria Praticò, 2012). Con base en lo anterior, tenemos que las zonas de servicio del aeropuerto (lado aire y lado tierra) están comprendidas por las siguientes áreas o zonas de movimiento:

- **Lado aire**

- Campo de vuelos: Pistas, Calles de Rodaje, Franjas, ayudas.
- Plataforma: Zona de espera, Seguridad y Estacionamiento.
- Viales y Aparcamientos de Vehículos de Servicio.
- Instalaciones para Equipos y Vehículos de Servicio.

- **Lado tierra**

- Gestión de carga.
- Gestión de pasajeros y equipaje.

- Gestión de otros agentes proveedores de servicios al aeropuerto y a empresas dentro del aeropuerto.

Cada aeropuerto recibe una clave de referencia, según la OACI, compuesta de dos elementos, el primero en función de la longitud del campo de referencia del avión y el segundo basado en su envergadura.

Por otra parte, cada aeropuerto tiene la obligación de suministrar al Servicio de Información Aeronáutica (AIS), entre esta información se encuentra: puntos de referencia del aeródromo, elevación del aeropuerto, coordenadas de los umbrales, elevación de los extremos y puntos intermedios de la pista.

4.1.2 Transporte aéreo en Colombia.

La entidad que gestiona y regula toda la actividad aeronáutica (de aviación civil y comercial) en Colombia es la Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil (Aerocivil). Esta entidad cumple las siguientes funciones Principales (Aeronáutica Civil de Colombia [Aerocivil], 2016):

- Coordinar con el Ministerio de Transporte la definición de políticas y planes generales de aeronáutica civil y transporte aéreo, dentro del plan global del transporte, propendiendo por el desarrollo aeronáutico y aeroportuario del país. (Aerocivil, 2016, p.1)
- Formular propuestas al Ministerio de Transporte para la definición de las políticas y planes generales de aeronáutica civil y transporte aéreo, dentro del plan global del transporte, propendiendo por el desarrollo aeronáutico y aeroportuario del país. (Aerocivil, 2016, p.1)
- Garantizar el cumplimiento del Convenio de Aviación Civil Internacional y sus anexos. (Aerocivil, 2016, p.1)

- Armonizar las disposiciones que promulgue la Organización de Aviación Civil Internacional con los Reglamentos Aeronáuticos Colombianos. (Aerocivil, 2016, p.1)
- Dirigir, organizar, coordinar, regular técnicamente el transporte aéreo.
- Fijar, recaudar y cobrar las tasas, tarifas y derechos por la prestación de los servicios aeronáuticos y aeroportuarios o los que se generen por las concesiones, autorizaciones, licencias o cualquier otro tipo de ingreso o bien patrimonial. (Aerocivil, 2016, p.1)
- Propiciar la participación regional y los esquemas mixtos en la administración aeroportuaria. (Aerocivil, 2016, p.1)

Por otro lado, en Colombia entre aeropuertos y aeródromos tanto públicos como privados, existen más de 500 instalaciones aeroportuarias, sin embargo, solo 75 están a cargo de forma directa y exclusiva por Aerocivil. Aunque, en las últimas décadas el gobierno colombiano ha establecido un sistema de concesiones con el fin de obtener y asegurar una mejor administración, modernización, expansión, operación y mantenimiento a los aeropuertos más importantes del país. Además, los aeródromos y aeropuertos del país brindan cobertura y servicio a gran parte del país con presencia en los 32 departamentos y el Distrito Capital Bogotá, con lo que se obtiene una cobertura del 100% a nivel departamental. Dado que los aeropuertos controlados por la Aerocivil son los que gozan de mayor tamaño, importancia y volumen de operaciones (Aerocivil, 2021, p.1).

Finalmente, cabe mencionar que Aerocivil es la encargada de elaborar, Publicar y hacer regir el RAC (Reglamentos Aeronáuticos de Colombia), siendo así:

Todas las normas contenidas en los RAC son aplicables de manera general a toda actividad de aeronáutica civil y a toda persona natural o jurídica, nacional o extranjera que las desarrolle; y de manera especial a las desarrolladas dentro del territorio

nacional; o a bordo de aeronaves civiles de matrícula colombiana o extranjeras que sean operadas por explotador colombiano (Aerocivil, 2021, p.1).

4.1.3 Demanda del transporte aéreo

El tráfico de pasajeros, aeronaves y mercancías ha crecido exponencialmente en la última década, transportando aproximadamente, según la OACI, 4.100 millones de pasajeros en el año 2017 (International Air Transport Association, 2019). Paralelamente, el tráfico de mercancías también ha aumentado sustancialmente en los últimos años, así como el aumento de aeronaves.

Siendo así, el conocimiento de la demanda es un dato fundamental para poder planear las necesidades de las infraestructuras; y el pronóstico acertado de cómo va a evolucionar, herramienta imprescindible ya que se necesitan entre cinco y diez años como mínimo desde que se da la orden de estudio de una posible actuación hasta su puesta en funcionamiento.

4.2 Planificación aeroportuaria.

4.2.1 Operaciones de Aeronaves.

En los inicios de esta era aeronáutica el número de aeronaves era muy limitado por lo que no había un problema con la ocupación del espacio aéreo, de esta manera los pilotos tenían una localización terrestre por medio de elementos notables a la vista con los cuales se localizaban y guiaban, con el crecimiento de la aviación, esta parte ha evolucionado hasta el punto de usar medios radio eléctricos o apoyo de satélites artificiales. Llegando así al punto de tener una ordenación del espacio, que constituye en el objeto de control de tránsito aéreo (CTA) que permite la seguridad en la circulación de los aviones y la máxima efectividad en la utilización del espacio (García, 2000).

Además, internacionalmente se han establecido reglas y normas que controlan estas operaciones, por la parte operativa estas reglas se dividen en: Reglas de vuelo visual y vuelo instrumental. Siendo así que las aeronaves no pueden volar libremente excepto en zona de “Espacio Aéreo Controlado” el cual establece rutas cuya altitud es determinada por el rumbo de la aeronave en el llamado espacio inferior y un sistema convenido de aerovías superior.

4.2.2 Capacidad del Área de Movimiento.

Al momento de hablar de la capacidad aérea se debe tener en cuenta el factor clave denominado “Demanda”, simplificado el número de pasajeros y de aeronaves que se esperan a usar determinado aeropuerto. Siendo así, del análisis de estos 2 se deducen las necesidades del servicio, en donde se realiza una comparación entre la capacidad actual del aeropuerto y su demanda proyectada a 5 o más años realizando un plan preferiblemente anualmente en donde se tengan proyectadas posibles ampliaciones (García, 2000).

Además, el análisis de capacidad debe examinarse por sus distintos componentes, ya que cualquiera de ellos puede ser el punto clave de estrangulamiento, estos elementos pueden ser: Longitud y orientación de las pistas, número y situación de las de salida de la pista, condiciones de control de tráfico y de aproximación de despegue, condiciones climatológicas, tipo y estado de las ayudas visuales, entre otras.

4.2.3 Mix de Aeronaves.

En un principio, las pequeñas dimensiones y el reducido peso de las aeronaves hacían que sus pistas de aterrizaje pudieran variar desde la pista de un hipódromo hasta un campo de cereales y que estos fueran suficientes para su operación, al momento de su aplicación para fines comerciales y militares se vieron en la obligación de generar superficies con dimensiones suficientes para este tipo de aeronaves, así llegaron los primeros aeródromos en donde se disponía un gran polígono, círculo o elipsoide explanado (García, 2000).

De igual manera se fueron ampliando todas las características de los aeropuertos, con la llegada del DC-2 en 1928 y el DC-3 en 1935 se vio necesario cambios importantes en las capacidades de los aeropuertos ya planteados en la época. Pero esto no se detiene allí, en los años setenta se anunció la llegada de los llamados “Reactores Gigantes” como el C-5, B-707 y el DC-8 o los “Jumbos” de fuselaje ancho siendo necesaria realizar cambios en los anchos de las pistas. Por último, es necesario revisar los Aviones de carga B 747-500 y los A-3XX que sobrepasan las dimensiones máximas anteriormente vistas en los demás (García, 2000).

4.3 Diseño aeroportuario

4.3.1 Ubicación.

La ubicación de un aeropuerto es un factor fundamental a la hora de su diseño, esta se encuentra limitada por varios factores: el primero, es la orientación de las pistas y su ubicación, puesto que sin pista prácticamente no existe aeropuerto, este ítem se fundamenta principalmente en los vientos dominantes de la zona de emplazamiento del aeropuerto, dado que los vientos dominantes limitan y son un factor determinante para mantener la seguridad operacional en las operaciones aeronáuticas (despegue y aterrizaje), además, el tanto por ciento de tiempo durante el que es posible la utilización de una pista cumpliendo la limitación de componente transversal de viento se denomina coeficiente o factor de utilización (García, 2000). Por tanto, la orientación de la pista debe ser tal que este factor de utilización no debe ser menor al 95% en su dirección, en otras palabras, para ambos sentidos que determinan las dos cabeceras, Si no existe ninguna que cumpla esta condición serán necesarias dos pistas (García, 2000). El segundo factor fundamental es la disponibilidad de terreno, debido a que los aeropuertos son infraestructuras que abarcan grandes extensiones de tierra, así mismo, dada la gran expansión de la demanda de tráfico aéreo es necesario disponer de terreno con el fin de realizar una expansión, a futuro, del aeropuerto. Por último, es importante tener en

cuenta las políticas que rigen la zona donde se ubica el aeropuerto por restricciones de ruido, estructuras aledañas y demás, esto puede ser un factor determinante para la operatividad del aeropuerto. Así mismo, es importante tener en cuenta el acceso por tierra, la topografía, así como factores determinantes como lo son los costos e inversiones.

4.3.2 *Proyección de Tráfico*

La realización de pronósticos de tráfico es fundamental para los procesos de planificación de un aeropuerto, este pronóstico se realiza a corto, mediano y largo plazo, es decir a 5, 10 y 20 años respectivamente. Las dimensiones de las instalaciones aeroportuarias están definidas por la actividad en el periodo punta. Por otra parte, este pronóstico debe tener en cuenta: el tráfico de pasajeros, carga, movimiento de aeronaves y de accesos por tierra (García, 2000).

Existen múltiples métodos para realizar la proyección del tráfico aéreo, las técnicas más sencillas se basan en el análisis de tendencias de volúmenes transportados y las más complejas se basan relacionando la demanda con un número de variables o factores econométricos mediante modelos probabilísticos.

4.3.3 *Áreas terminales.*

En un aeropuerto las aéreas terminales constituyen un intercambiador modal de transporte, así mismo, las terminales áreas se limitan, por un lado, por las llegadas/salidas por tierra ya sea por ferrocarril, metro, transporte público o privado y, por el otro lado, por las llegadas/salidas de aeronaves. Así mismo, en su interior, las terminales buscan como objetivo fundamental conseguir la máxima efectividad en los tiempos de procesado y comodidad de los pasajeros. Todos estos procesos tienen lugar en ambos sentidos de flujo (llegadas y salidas), estos procesos dependen del usuario principal (pasajero, correo o carga) y los procesos según la naturaleza del vuelo (nacional o internacional) y el tipo (regular o no

regular). Por lo anterior, se debe tener en cuenta: número de compañías aéreas, tipología de la flota, secuencia de llegadas y de salidas y el volumen del tránsito (diario, semanal, mensual y anual) (García, 2000).

4.4 Sistema multi-aeropuerto

4.4.1 Definición y contextualización

Cuando un solo aeropuerto ya no es suficiente para satisfacer la demanda de transporte aéreo de su área de influencia, ya sea debido a la planificación urbana o limitaciones físicas, la construcción de aeropuertos adicionales en sus proximidades es frecuentemente perseguido para distribuir la demanda insatisfecha. Si bien estos aeropuertos adicionales están en una relación competitiva inferior con respecto al aeropuerto original el resultado de descongestión, conectividad aéreo terrestre y accesibilidad más eficiente son evidenciados (Ruan, et al., 2021). Siendo así, un sistema multi-aeroportuario es el conjunto de aeropuertos importantes que sirven al transporte comercial en una región metropolitana sin tener en cuenta la propiedad o el control político de los aeropuertos individuales, teniendo en cuenta que, en primer lugar, un aeropuerto es considerado importante cuando este supera el millón de pasajeros movilizados anualmente y/o alrededor de las 100.000 toneladas de mercancía (Neufville, 2013) y, en segundo lugar, según la Real Academia Española (RAE), un área metropolitana es “la unidad territorial dominada por una gran ciudad o metrópoli en cuyo entorno se integran otros núcleos de población, formando una unidad funcional, con frecuencia institucionalizada” (RAE, 2001, p.1). Por demás, como realidad práctica, Neufville (2013) expresa que esta región metropolitana puede estar integrada por varias ciudades distintas, en consecuencia, se es habitual referirse a los aeropuertos de un sistema multi-aeroportuario con una etiqueta indicando su región metropolitana.

Además, se indica que un sistema multi-aeropuerto se centra en aeropuertos dedicados al transporte comercial, por lo tanto, no se tienen en cuenta aeropuertos cuya función sea militar (base militar) o para la fabricación de aeronaves, ya que estas instalaciones no son consideradas importantes para el mercado de aerolíneas, sin embargo, si se tienen en cuenta para el control de tráfico aéreo (Neufville, 2013).

Por otra parte, las decisiones colectivas de los pasajeros finalmente tienen algún impacto en la suerte de los aeropuertos individuales y quizás en la gestión de aerolíneas (Dender, 2007). Sin embargo, todas estas consideraciones son recursivas: los servicios de las aerolíneas (frecuencia, aeronaves, horarios) afectan la toma de decisiones del consumidor y del aeropuerto. Mientras tanto, las limitaciones de capacidad, ruido o expansión pueden jugar un papel sustancial en la provisión de servicios aéreos en un aeropuerto a lo largo del tiempo. (Fuellhart, et al., 2013).

De igual manera se logra evidenciar que la asignación de servicios del aeropuerto depende de su ubicación geográfica y regional (Mun & Teraji, 2012). Siendo así los distintos análisis de la elección de aeropuertos en un MAR (acrónimo en inglés de ‘Región Multi-Aeroportuaria’) han llevado a la conclusión que principalmente existen 2 factores para que el aeropuerto sea más atractivo, primero su accesibilidad y segundo su utilidad (De Luca, 2012).

En conclusión, Si bien el proceso de elección del aeropuerto (y, en consecuencia, de la aerolínea) es bastante complejo, también existe un acuerdo sustancial sobre los principales factores que afectan las decisiones de los consumidores, en el cual volar desde / hacia un aeropuerto entra en razonamiento cuando se puede acceder razonablemente a más de uno. (Fuellhart, et al., 2013). Estos factores incluyen medidas de acceso al aeropuerto, tarifas aéreas, competencia de tarifas bajas, horarios, entre otros. Además, al momento de intentar ejercer un sistema multi-aeropuerto en una región, es necesario tener en cuenta la demanda

del sitio y otros factores muy importantes como lo son la disponibilidad aérea, en donde el sistema logre funcionar de manera idónea para dar así un servicio adecuado, aunque primordialmente se debe realizar un estudio preventivo en el cual se verifique si realmente es necesario un sistema multi-aeropuerto en la región (Thomas, 2006).

4.4.2 Servicios de las aerolíneas

Un factor clave en la fidelidad del pasajero con una aerolínea es la puntualidad de su vuelo, en donde se ha evidenciado que el cambio de fidelidad es afectado por sus tiempos de servicio y puntualidad (Susuki, 2000). Un estudio demostró que los pasajeros son muy sensibles a los gastos de tiempo, en donde una diferencia así sea de 5 minutos afectaba claramente la elección de la aerolínea (Ishi, et al., 2009).

Además, actores del lado de la oferta como la presencia de aerolíneas de bajo costo (LCC, su acrónimo en inglés) afectan los servicios de las aerolíneas, siendo uno de los principales ejes de trabajo sobre la elección de aeropuertos y aerolíneas en un MAR (Región Multi-Aeroportuaria). Como se ha demostrado en estudios, las LCC tienen impactos importantes tanto directa como indirectamente, también siendo importante la frecuencia, la disponibilidad de vuelos sin escalas y las aeronaves, hasta el punto de poder cambiar el equilibrio competitivo de un aeropuerto dentro de un sistema multi-aeroportuario sobre otro (Fuellhart, et al., 2013).

Por otra parte, cuanto mayor sea la posibilidad de llegar en vuelo directo al destino que se desea, mayor será la comodidad del pasajero y su entusiasmo por volver a utilizar estos servicios (Yang & Notteboom, 2016).

4.4.3 Servicios del aeropuerto

La elección de un aeropuerto y la línea de preferencia se toman con base en una opción de viaje combinada, que tiene en cuenta instalaciones como zonas de parqueo,

actividades comerciales y servicios de la aerolínea como los destinos, frecuencia y tarifa (Postorino & Giammaria Praticò, 2012). Además, si el aeropuerto pertenece a un MAR y su área de influencia se superpone con otros aeropuertos, el viajero puede elegir uno de los aeropuertos disponibles sobre factores de accesibilidad y servicio (Postorino & Giammaria Praticò, 2012).

Otro factor a tener en cuenta es el de la distancia de viaje, siendo así:

Las distancias de ruta más largas también se relacionaron con las proporciones diferenciales de pasajeros, lo que sugiere que cuanto más largo es el viaje aéreo, más varía la proporción de pasajeros. Esto indica el hecho de que los pasajeros pueden estar dispuestos a realizar cambios en un aeropuerto preferido para viajes de mayor distancia, ya que cualquier tiempo adicional de acceso o salida será una proporción menor del viaje total (Fuellhart, et al., 2013, p. 178).

Por otra parte, se definió que la experiencia previa en el aeropuerto también afecta en la decisión de elección del consumidor. Del mismo modo, Investigaciones sobre Londres confirma una distinción entre negocios y vacaciones en la elección del consumidor, así como la importancia del acceso y la programación de vuelos fue un factor notable en sus vínculos con la elección del aeropuerto (Pels, et al. 2009; Hess y Polak, 2006).

Por último, las implicaciones políticas tienen una fuerte incidencia para los aeropuertos y las regiones. A medida que los principales lugares urbanos luchan por adaptarse al aumento del tráfico aéreo y las aerolíneas eligen pares de mercados específicos, es cada vez más importante que los responsables de la formulación de políticas y los planificadores comprendan el comportamiento del público que vuela cuando hay una variedad de opciones de aeropuertos disponibles. Ya que políticas como la aplicación de toques de queda, restricciones de ruido, la contratación de servicios aéreos y el desarrollo de

infraestructura influyen las operaciones de vuelo dentro de un MAR, lo que significa un impacto en el flujo y elección del aeropuerto y su funcionamiento dentro de una región multi-aeroportuaria.

5. METODOLOGÍA

Para el análisis y evaluación del sistema multi-aeropuerto de Bogotá y región, se opta por la implementación de una metodología de tipo cualitativo, en la cual se enfoca una investigación de tipo explicativa, por lo tanto, se dispone de un análisis documental y la revisión de diferentes metodologías implementadas a nivel mundial, con el fin de establecer la información adecuada y suficiente para analizar y generar conclusiones fundamentadas acerca del funcionamiento a futuro del sistema multi-aeropuerto de la ciudad de Bogotá y región, de tal forma que se disponen de las fases que se mencionan a continuación.

5.1 Fase 1: Recolección de la Información.

En esta fase se hará la recolección de la bibliografía con la que se definirá una base de datos sólida que permita un análisis documental con un panorama amplio y completo que nos permita tener una visión clara e integral del funcionamiento, características, implicaciones y operatividad aeroportuaria de un sistema multi-aeropuerto. Así mismo, el análisis del tráfico y la evolución histórica del mismo que ha tenido “El Dorado” para proyectar el tráfico de “El Dorado 2”.

5.1 Fase 2: Análisis de la Información.

En esta fase se dispone a analizar y depurar la información obtenida en la fase anterior, con el fin de generar una base de datos óptima que nos permita evaluar el funcionamiento, características e implicaciones a futuro, del sistema multi-aeropuerto de Bogotá y región.

5.1 Fase 3: Construcción de resultados.

En esta fase, con base en la información analizada, se disponen las consideraciones finales y resultados obtenidos de todo el análisis documental, sumado a los diferentes casos a nivel mundial y algunas metodologías planteadas como la Metroplex establecida por la NASA o la metodología MCDM, así mismo, estableciendo un análisis en el tráfico presente, operaciones y gestión a futuro, tanto de “El Dorado” como de “El Dorado 2” fijando así, las conclusiones en un marco operacional a futuro del sistema multi-aeropuerto de la ciudad de Bogotá y región.

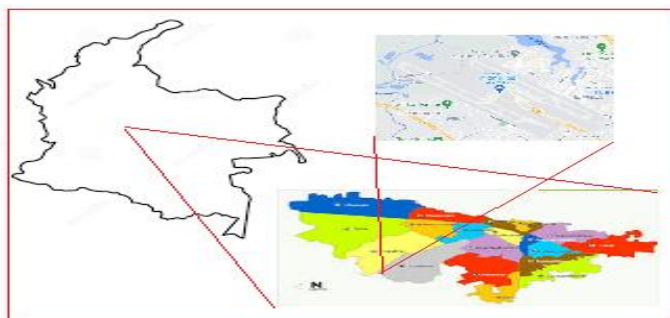
6. ESTADO ACTUAL AEROPUERTO EL DORADO.

6.1 Ubicación aeropuerto El Dorado.

El aeropuerto internacional El Dorado Luis Carlos Galán Sarmiento, código IATA: BOG y código OACI: SKBO, se encuentra ubicado al occidente de la ciudad de Bogotá D.C., a aproximadamente 15 kilómetros del centro de la ciudad, colinda al hacia el norte con la localidad de Engativá, hacia el occidente con el municipio de Funza y el río Bogotá y hacia el sur con la localidad de Fontibón. El mismo cuenta con una superficie total de 6.9 km².

Figura 1.

Ubicación aeropuerto El Dorado



Fuente: Elaboración propia

6.2 Actualidad e historia del aeropuerto El Dorado.

El aeropuerto internacional El Dorado Luis Carlos Galán Sarmiento, ubicado en la ciudad de Bogotá (SKBO/BOG), inicio su construcción el año 1955 y en el año 1959 culmino, dando así su entrada en servicio. Dada la creciente demanda, el aeropuerto ha desarrollado un plan de renovación para construir un aeropuerto más moderno y con mayor capacidad, para tal fin, en el febrero del 2007, el aeropuerto fue entregado como concesión al consorcio OPAIN, en ese entonces, el aeropuerto procesaba 9.974.600 de pasajeros al año y 543.135 de toneladas de carga, por lo que, en el año 2007 se dio inicio con la fase 0, comenzando con la demolición de la terminal de pasajeros y la antigua torre de control, con esto se construyeron 25.000 m² de plataforma de aeronaves, habilitando 6 posiciones de contacto tipo Charlie. En la fase 1, se dio la construcción del muelle sur, ampliando la terminal en aproximadamente 31.000 m², así mismo, se habilitaron dos posiciones de contacto tipo Charlie, igualmente, se dio la ampliación del muelle norte, habilitando 3 posiciones de contacto tipo Echo con posibilidad de convertirse en 6 posiciones de contacto tipo Charlie. En la fase 2, se amplió el muelle norte con una posición de contacto tipo Echo con posibilidad de utilizarse como 2 posiciones de contacto tipo Charlie. En la fase 3 se amplió la plataforma de aeronaves en 30.200 m² habilitando 3 posiciones remotas y 3

posiciones de contacto tipo Charlie. Por último, en la fase 4 se amplió el muelle sur hacia el oriente habilitando 8 nuevas posiciones de contacto tipo Charlie. Dichas ampliaciones fueron entregadas en el año 2017, aumentando la capacidad del aeropuerto para dicho año de 9 a 31 millones de pasajeros al año aproximadamente. Actualmente el aeropuerto, en el año 2019 procesó 34.865.000 de pasajeros y 590.324 toneladas de carga en el año.

El aeropuerto internacional El Dorado es uno de los principales aeropuertos de la región, cuenta con dos pistas paralelas, la pista 13R-31L tiene una longitud de 3800 metros y permite aproximaciones CAT III, la segunda pista, la pista 13L-31R con una longitud de 3800 metros y permite aproximaciones de CAT I. Por otra parte, cuenta con dos terminales, la primera cuenta con 235.000 m² y se utiliza para vuelos domésticos e internacionales, mientras que, la terminal 2 cuenta con 15.213 m² y se utiliza para vuelos domésticos, así mismo, cuenta con tres edificios terminales de carga. En resumen, el aeropuerto internacional El Dorado, cuenta con 4 plataformas comerciales, 3 plataformas militares, 1 plataforma de aviación general y 1 plataforma de carga. El aeropuerto procesa 27 aerolíneas de pasajeros, 24 aerolíneas de carga y 8 compañías chárter, además, en 2019, El Dorado atendió 35 millones de pasajeros, ocupando el tercer lugar en América Latina, realizó 351.174 operaciones ocupando el segundo lugar en la región, por último, movilizó 718.383 toneladas de carga ocupando el primer lugar en Latinoamérica.

7. ANALISIS DE LA DEMANDA.

7.1 Resultados pronóstico de la demanda PM 2001.

7.1.1 Pasajeros comerciales

A continuación, se presentan las estadísticas históricas del aeropuerto presentadas en el plan maestro del año 2001 y que comprenden el periodo transcurrido entre 2000 y 2011. La última actualización de los registros se llevó a cabo en el año 2000 por ADPi (Aéroport de

Paris Ingénieurs) y se recogen en el Plan Maestro del Aeropuerto Internacional El Dorado de la Ciudad de Bogotá del año 2001 (en adelante PM 2001), estos pronósticos fueron desarrollados para el periodo comprendido entre el año 2000 y 2025, en donde se estimó un crecimiento anual promedio de 5.9% para pasajeros internacionales, 2.1% para pasajeros domésticos y 3.2% del total de pasajeros. Este pronóstico a 20 años diagnosticó 15.7 millones de pasajeros para el año 2015, sin embargo, en el año 2010 estas proyecciones fueron superadas ya que el aeropuerto llegó a los 18.9 millones de pasajeros.

Figura 2.

Pronóstico de ADPi PM 2001



Fuente: Plan Maestro ADPi, 2000

Se proyectó que entre el año 2000 y 2011 el aeropuerto tendría un aumento considerable, pasando de 9.2 millones de pasajeros anuales a 20.3 millones. En la tabla 1 se presenta la proyección de pasajeros, tanto entrantes como salientes, realizada en el plan maestro del año 2001 para el año 2011.

Tabla 1.

Proyección pasajeros comerciales PM 2001

Año	Pasajeros Domésticos		Pasajeros Internacionales		Pasajeros Totales	
	Pasajeros	Cambio Anual	Pasajeros	Cambio Anual	Pasajeros	Cambio Anual
2000	6.618.497		2.573.392		9.191.889	
2001	6.759.604	2,13%	2.679.561	4,13%	9.439.165	2,69%
2002	7.028.332	3,98%	2.599.141	-3,00%	9.627.473	1,99%
2003	6.744.754	-4,03%	2.566.840	-1,24%	9.311.594	-3,28%
2004	7.077.021	4,93%	2.946.520	14,79%	10.023.541	7,65%
2005	7.406.658	4,66%	3.329.101	12,98%	10.735.759	7,11%
2006	7.979.926	7,74%	3.851.227	15,68%	11.831.153	10,20%
2007	8.443.612	5,81%	4.384.043	13,83%	12.827.655	8,42%
2008	8.806.971	4,30%	4.649.360	6,05%	13.456.331	4,90%
2009	10.278.181	16,71%	4.621.009	-0,61%	14.899.190	10,72%
2010	13.950.599	35,73%	4.983.604	7,85%	18.934.203	27,08%
2011	14.456.479	3,63%	5.829.665	16,98%	20.286.144	7,14%
Crecimiento promedio		7,36%		7,72%		7,46%

Fuente: Aerocivil (2001). Plan Maestro del Aeropuerto Internacional El Dorado de la Ciudad de Bogotá

7.1.2 Carga internacional

La carga internacional tomó mayor relevancia en el tráfico aéreo que la carga doméstica, por tanto, se estimó que las importaciones tuvieran un crecimiento del 6.7% en el periodo ya descrito, así mismo, en dicho periodo se proyectó un crecimiento promedio anual del 4.38%. A continuación, en la tabla 2 se presentan las proyecciones del crecimiento de la carga internacional en toneladas métricas para el año 2011.

Tabla 2.

Proyección carga internacional en toneladas métricas PM 2001

Año	Saliente	Entrante	Total	Cambio anual
2000	212.553	103.146	315.709	
2001	208.453	101.454	309.907	-1,84%
2002	230.095	108.641	338.734	9,30%
2003	265.098	122.8J3	387.901	14,51%
2004	283.386	139.210	422.596	8,94%
2005	291.072	154.361	445.433	5,40%
2006	305.615	153.465	469.080	5,31%
2007	297.267	176.942	474.209	1,09%
2008	296.183	171.657	467.840	-1,34%
2009	265.025	142.079	407.104	-12,98%
2010	294.399	197.773	492.172	20,90%
2011	295.929	210.136	506.065	2,82%
Crecimiento promedio				4,38%

Fuente: Aerocivil (2001). Plan Maestro del Aeropuerto Internacional El Dorado de la Ciudad de Bogotá

7.1.3 Carga doméstica

En el periodo comprendido entre 2000 y 2011 no se estimó un crecimiento considerable en el tráfico de carga doméstica, esperando un crecimiento promedio anual del 2.9%, asimismo, si analizamos la carga entrante y saliente, se esperó que sus comportamientos no fueran consistentes, en la tabla 3 se presentan las proyecciones realizadas en el plan maestro del año 2001 del crecimiento de la carga doméstica para el año 2011.

Tabla 3.

Proyección carga doméstica en toneladas métricas PM 2001

Año	Saliente	Entrante	Total	Cambio anual
2000	44.822	34.547	79.369	
2001	44.970	35.852	80.822	1, 83%
2002	51.908	47.734	99.642	23,29%
2003	59.314	55.315	114.629	15,04%
2004	57.067	54.208	111.275	-2,93%
2005	58.347	57.947	116.294	4, 51%
2006	63.976	56.559	120.535	3,65%
2007	62.268	58.639	120.907	0,31%
2008	58.043	52.506	110.549	-8, 57%
2009	43.486	40.591	84.077	-23,95%
2010	52.654	46.694	99.348	18,16%
2011	59.864	49.325	109.189	9,91%
Crecimiento promedio				2,94%

Fuente: Aerocivil (2001). Plan Maestro del Aeropuerto Internacional El Dorado de la Ciudad de Bogotá

7.1.4 Operaciones aéreas

7.1.4.1 Operaciones domésticas

En el periodo entre el año 2000 y 2011 se previó una tendencia en el crecimiento de pasajeros comerciales en vuelos domésticos, estimando un crecimiento promedio anual del 4.3%. Por otra parte, las proyecciones de carga establecieron un incremento promedio anual del 2.9%. A continuación, se presenta, en la tabla 4, las proyecciones de las operaciones domésticas de carga y pasajeros proyectadas en el plan maestro del año 2001 para el año 2011.

Tabla 4.

Proyección operaciones domesticas PM 2001

Año	Pasajeros	Cambio anual	Carga	Cambio anual
2000	114,975		6,637	
2001	118,940	3.45%	6,875	3.59%
2002	115,309	-3.05%	8,250	20.00%
2003	110,105	-4.51%	8,050	-2.42%
2004	102,820	-6.62%	7,400	-8.07%
2005	108,772	5.79%	6,954	-6.03%
2006	121,937	12.10%	6,310	-9.26%
2007	133,767	9.70%	5,622	-10.90%
2008	142,492	6.52%	6,231	10.83%
2009	157,258	10.36%	5,393	-13.45%
2010	183,806	16.88%	5,398	0.09%
2011	182,918	-0.48%	5,420	0.41%
Crecimiento promedio		4.31%		-1.82%

Fuente: Aerocivil (2001). Plan Maestro del Aeropuerto Internacional El Dorado de la Ciudad de Bogotá

7.1.4.2 Operaciones internacionales

En las proyecciones establecidas en el plan maestro del año 2001 para el año 2011 se estimó que la actividad militar tuviera un crecimiento anual del 6.8%, partiendo de una base de 625 operaciones en el año 2000. Por otra parte, se estimó que los taxis aéreos, pasarán de 580 operaciones en el año 2000 a 1511 en el año 2011, lo cual significaría un crecimiento del 8.9%. En general, se estimó que el promedio de crecimiento anual en el periodo de 2000 al 2011 fuera del orden del 15%, además, con respecto a toda la actividad internacional se esperó un aumento anual del 5.3% en las operaciones aéreas. En la tabla 5 se presentan las proyecciones de las operaciones internacionales para el año 2011.

Tabla 5.

Proyección operaciones internacionales PM 2001

Año	Militar	Cambio anual	Taxi aéreo	Cambio anual	General	Cambio anual	Total internacional	Cambio Anual
2000	625		590		727		39,363	
2001	742	18.72%	597	1.19%	729	0.28%	43,866	11,44%
2002	767	3.37%	282	-52.76%	702	-3.70%	39,926	-8,98%
2003	593	-22.69%	668	136.88%	970	38.18%	39,813	-0,28%
2004	1,070	80.44%	684	2.40%	1,375	41.75%	43,209	8,53%
2005	999	-6.64%	1,049	53.36%	1,888	37.31%	45,202	4,61%
2006	858	-14.11%	1,651	57.39%	2,104	11.44%	50,612	11,97%
2007	583	-32.05%	1,056	-36.04%	3,385	60.88%	53,330	5,37%
2008	1,022	75.30%	994	-5.87%	3,179	-6.09%	57,291	7,43%
2009	814	-20.35%	1,163	17.00%	3,907	22.90%	57,566	0,48%
2010	931	14.37%	1,355	16.51%	3,879	-0.72%	61,973	7,66%
2011	1,286	38.13%	1,511	11.51%	4,194	8.12%	69,644	12,38%
Crecimiento promedio		6.78%		8.93%		17.27%		5,32%

Fuente: Aerocivil (2001). Plan Maestro del Aeropuerto Internacional El Dorado de la Ciudad de Bogotá

7.1.4.3 Operaciones totales

Las operaciones aéreas totales se proyectaron con un crecimiento anual, a excepción de los años 2002, 2003 y 2004, del 4.08%. En la tabla 6 se presentan las proyecciones de las operaciones aéreas totales para el año 2011.

Tabla 6.

Proyección operaciones totales PM 2001

Año	Operaciones					
	Domésticas		Internacionales		Totales	
	Pasajeros	Cambio Anual	Pasajeros	Cambio Anual	Pasajeros	Cambio Anual
2000	160,116		39,363		199,479	
2001	162,482	1.48%	43,866	11.44%	206,348	3.44%
2002	163,024	0.33%	39,926	-8.98%	202,950	-1.65%
2003	155,901	-4.37%	39,813	-0.28%	195,714	-3.57%
2004	150,067	-3.74%	43,209	8.53%	193,276	-1.25%
2005	152,015	1.30%	45,202	4.61%	197,217	2.04%
2006	165,982	9.19%	50,612	11.97%	216,594	9.83%
2007	179,055	7.88%	53,330	5.37%	232,385	7.29%
2008	191,351	6.87%	57,291	7.43%	248,642	7.00%
2009	205,527	7.41%	57,566	0.48%	263,093	5.81%
2010	237,390	15.50%	61,973	7.66%	299,363	13.79%
2011	240,064	1.13%	69,644	12.38%	309,708	3.46%
Crecimiento promedio		3.75%		5.32%		4.08%

Fuente: Aerocivil (2001). Plan Maestro del Aeropuerto Internacional El Dorado de la Ciudad de Bogotá.

7.2 Resultados pronóstico de la demanda PM 2012

En esta sección se muestran los resultados de los pronósticos de las demandas para el periodo contenido entre 2012 y 2041 para pasajeros y carga, tanto para el mercado doméstico como el internacional, recogidos en la ACTUALIZACION DEL PLAN MAESTRO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO del año 2012 (en adelante PM 2012).

Vale recalcar que el grado de magnitud y confiabilidad está determinado por el factor de correlación expresado como r^2 , siendo este factor una medida estadística de la relación entre las diferentes variables incluidas en los análisis. Para tal efecto, y para propósitos del pronóstico, solo se consideran relevantes en el PM 2012 las regresiones que arrojen una correlación r^2 mayor a 0.90. Asimismo, los pronósticos se hicieron para tres periodos, a corto plazo (0 - 5 años), mediano plazo (6 - 10 años) y largo plazo (11 - 30 años). (Aerocivil, 2012).

7.2.1 Pasajeros

Pasajeros nacionales - Modelos Macroeconómico

Para este caso, se obtuvo un valor de r^2 de 0.94, por tanto, la bondad de ajuste es alta y los parámetros estipulados mantienen el signo y magnitud apropiados, lo que corresponden a pruebas de hipótesis altamente significativas. A continuación, en la tabla 7, se presentan los resultados de las proyecciones para pasajeros nacionales del modelo macroeconómico, para un resultado esperado bajo, base y alto.

Tabla 7.

Proyecciones para pasajeros nacionales - modelo macroeconómico PM 2012

Año	Bajo	Cambio anual	Base	Cambio anual	Alto	Cambio anual
2011	14,456,479		14,456,479		14,456,479	
2012	15,547,390	7.55%	15,729,121	8.80%	15,910,853	10.06%
2013	16,634,532	6.99%	17,036,631	8.31%	17,436,705	9.59%
2014	17,941,886	7.86%	18,600,506	9.18%	19,260,029	10.46%
2015	19,064,662	6.26%	20,010,058	7.58%	20,965,573	8.86%
2016	20,307,690	6.52%	21,578,894	7.84%	22,877,118	9.12%
2021	25,550,773	4.70%	28,905,577	6.02%	32,535,636	7.30%
2031	31,605,218	2.15%	40,653,328	3.47%	51,731,366	4.75%
2041	33,572,264	0.61%	49,194,702	1.93%	70,901,126	3.20%
Crecimiento promedio		2.85%		4.17%		5.44%

Fuente: Aeronáutica Civil (2012). Actualización Del Plan Maestro Del Aeropuerto Internacional El Dorado.

Pasajeros nacionales - Regresiones lineales

Los factores de correlación r^2 no son buenos en las regresiones, obteniendo un valor de 0.73, pero se hace en las proyecciones usando el PIB para hacer una comparación con otras previsiones. Estas se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8.

Proyecciones para pasajeros nacionales – Regresiones Lineales PM 2012

Año	Regresión Lineal		Regresión Logarítmica	
	Proyecciones	Cambio Anual	Proyecciones	Cambio Anual
2011	14,456,479		14,456,479	
2012	13,619,761	-5.79%	13,038,186	-9.81%
2013	14,494,127	6.42%	13,668,439	4.83%
2014	15,416,998	6.37%	14,305,466	4.66%
2015	16,391,749	6.32%	14,949,489	4.50%
2016	17,410,367	6.21%	15,593,518	4.31%
2021	22,897,403	5.63%	18,645,856	5.22%
2031	37,142,861	4.96%	24,469,459	2.76%
2041	53,264,852	3.67%	29,092,981	1.75%
Crecimiento promedio		4.44%		2.36%

Fuente: Aeronáutica Civil (2012). Actualización Del Plan Maestro Del Aeropuerto Internacional El Dorado.

Pasajeros internacionales - Modelos Macroeconómico

Para este caso, se obtuvo un valor de r^2 de 0.99, por tanto, la bondad de ajuste es alta.

Las proyecciones estimadas del modelo macroeconómico de pasajeros internacionales se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9.

Proyecciones para pasajeros nacionales – Regresiones Lineales PM 2012

Año	Escenario bajo		Escenario Base		Escenario alto	
	Pasajeros	Cambio Anual	Pasajeros	Cambio Anual	Pasajeros	Cambio Anual
2011	5,829,665		5,829,665		5,829,665	
2012	6,217,799	6.66%	6,270,236	7.56%	6,322,674	8.46%
2013	6,707,781	7.88%	6,820,745	8.78%	6,934,664	9.68%
2014	7,064,934	5.32%	7,245,253	6.22%	7,428,651	7.12%
2015	7,434,045	5.22%	7,688,935	6.12%	7,950,405	7.02%
2016	7,822,447	5.22%	8,159,787	6.12%	8,508,812	7.02%
2021	9,878,550	4.78%	10,754,196	5.86%	11,700,005	6.58%
2031	14,459,380	3.88%	17,156,162	4.78%	20,333,236	5.68%
2041	21,001,295	3.80%	27,157,599	4.70%	35,068,986	5.60%
Crecimiento promedio		4.36%		5.26%		6.16%

Fuente: Aeronáutica Civil (2012). Actualización Del Plan Maestro Del Aeropuerto Internacional El Dorado

Pasajeros internacionales - Regresiones lineales

Los parámetros seleccionados tienen una magnitud y correlación apropiada y prueban la hipótesis, obteniendo un valor de r^2 de 0.96. Los pronósticos de pasajeros internacionales usando las regresiones lineales y logarítmicas se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10.

Proyecciones para pasajeros internacionales – Regresiones Lineales PM 2012

Año	Regresión Lineal		Regresión Logarítmica	
	Proyecciones	Cambio Anual	Proyecciones	Cambio Anual
2011	5,829,665		5,829,665	
2012	5,976,106	2.51%	5,745,831	-1.44%
2013	6,379,400	6.75%	6,042,173	5.16%
2014	6,805,067	6.67%	6,341,700	4.96%
2015	7,254,663	6.61%	6,644,516	4.77%
2016	7,724,491	6.48%	6,947,336	4.56%
2021	10,255,535	5.83%	8,382,530	3.49%
2031	16,788,000	5.05%	11,200,162	2.47%
2041	24,853,488	4.00%	13,533,813	1.53%
Crecimiento promedio		4.95%		2.85%

Fuente: Aeronáutica Civil (2012). Actualización Del Plan Maestro Del Aeropuerto Internacional El Dorado.

7.2.2 Carga

Carga Doméstica - Regresiones lineales y logarítmicas

Se observó que la tendencia de la carga doméstica fue de un crecimiento del 3.00% promedio anual en ambos sentidos en el periodo de 2000-2011. Se ha considerado que se mantendría esta tendencia con una leve reducción en el futuro. La Tabla 11 presenta el pronóstico de la demanda para carga doméstica, tanto saliente como entrante.

Tabla 11.

Proyecciones para carga doméstica – Regresiones Lineales PM 2012

Año	Saliente	Cambio anual	Entrante	Cambio anual	Total	Cambio anual
2011	59,864		49,325		109,189	
2012	61,660	3.00%	50,800	2.99%	112,460	3.00%
2013	63,510	3.00%	52,320	2.99%	115,830	3.00%
2014	65,420	3.01%	53,890	3.00%	119,310	3.00%
2015	67,380	3.00%	55,510	3.01%	122,890	3.00%
2016	69,400	3.00%	57,180	3.01%	126,580	3.00%
2021	80,440	3.00%	66,290	3.00%	146,730	3.00%
2031	150,510	2.75%	86,950	2.75%	237,460	2.75%
2041	131,150	2.20%	108,090	2.20%	239,240	2.20%
Crecimiento promedio		2.65%		2.65%		2.65%

Fuente: Aeronáutica Civil (2012). Actualización Del Plan Maestro Del Aeropuerto Internacional El Dorado.

Carga Internacional - Regresiones lineales y logarítmicas

Aunque los factores de correlación no son muy altos, ya que se encuentran por debajo de 0.9, se evaluaron para determinar qué tipo de proyección genera esta correlación. La Tabla 12 presenta los resultados.

Tabla 12.

Proyecciones para carga internacional – Regresiones Lineales PM 2012

Año	Regresión Lineal		Regresión Logarítmica	
	Proyecciones	Cambio Anual	Proyecciones	Cambio Anual
2011	295,929		295,929	
2012	321,970	8.80%	318,890	7.76%
2013	331,320	2.90%	326,090	2.26%
2014	341,180	2.98%	333,370	2.23%
2015	351,600	3.05%	340,730	2.21%
2016	362,480	3.09%	348,080	2.16%
2021	421,120	3.04%	382,080	1.93%
2031	573,350	3.13%	449,490	1.61%
2041	745,640	2.66%	502,310	1.12%
Crecimiento promedio		3.13%		1.78%

Fuente: Aeronáutica Civil (2012). Actualización Del Plan Maestro Del Aeropuerto Internacional El Dorado.

7.3 Resultados pronóstico de la demanda PM 2021.

En la tabla 13 se presentan las proyecciones a corto (año 2025), mediano (año 2035) y largo plazo (año 2050), realizadas en el plan maestro del año 2021 para el aeropuerto El Dorado, En éstas proyecciones se estiman un total de 494.160 operaciones, y una demanda de 63.854.480 pasajeros y 1.140.682 toneladas de carga para el año 2050, representado un crecimiento del 36% en operaciones, un 83% en pasajeros y del 60% en operaciones totales, lo anterior con respecto al año 2019.

Tabla 13.

Proyecciones Aeropuerto El Dorado PM 2021

	Corto (año 2025)	Mediano (año 2035)	Largo (año 2050)
Op. Totales	432,990	447,170	494,160
Op. Pasajeros	380,000	415,110	460,300
Op. Carga	20,230	16,060	16,860
Pax. Totales	46,562,400	53,504,880	63,854,480
Pax. Dom.	31,536,700	34,528,480	38,402,800
Pax Intern.	15,025,700	18,976,400	25,451,680
Ton. Carga	859,357	917,963	1,140,682

Fuente: Aeronáutica Civil (2019). Consultoría para la Actualización Del Plan Maestro Del Aeropuerto Internacional El Dorado.

7.4 Análisis comparativo entre pronósticos de planes maestros y datos observados

Si realizamos una comparación entre los planes maestros anteriormente mencionados y los datos observados (Tráfico real) (Anexo A), encontramos que, en cuanto a pasajeros nacionales (Gráfica 2) el PM 2001 se queda escaso en las proyecciones a corto, medio y largo plazo, por otro lado, el PM 2012 presenta una proyección más acorde a los datos observados, quedándose un poco insuficiente en la proyección a largo plazo. En el apartado de pasajeros internacionales (Gráfica 3) se observa que las proyecciones, tanto el PM 2001 como el PM

2012, se ajustan de buena manera a los datos observados. En la comparación de la carga nacional (Gráfica 4) y la carga internacional (Gráfica 5) el PM 2001 muestra una alta coincidencia en los pronósticos, no obstante, el PM 2012 se queda escaso en los pronósticos en comparación a los datos observados.

Figura 3.

Comparativa de proyecciones de planes maestros y tráfico observado, Pax Nac

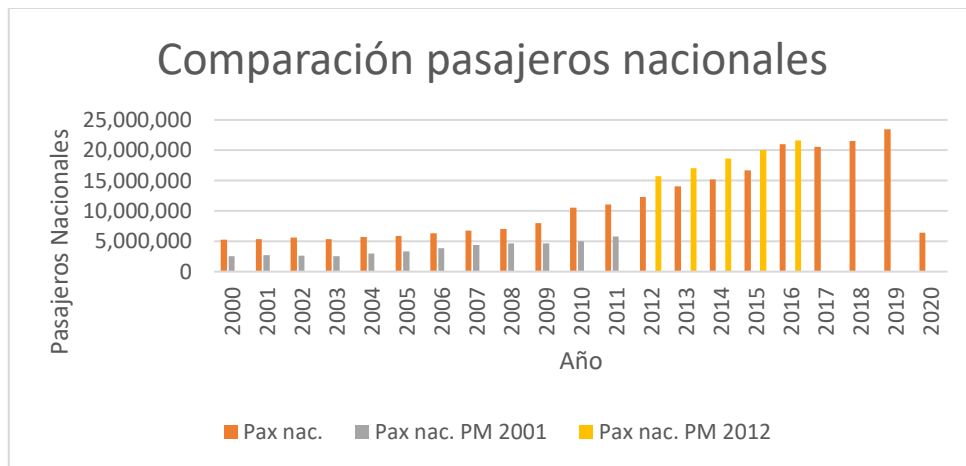


Figura 4.

Comparativa de proyecciones de planes maestros y tráfico observado, Pax Intl

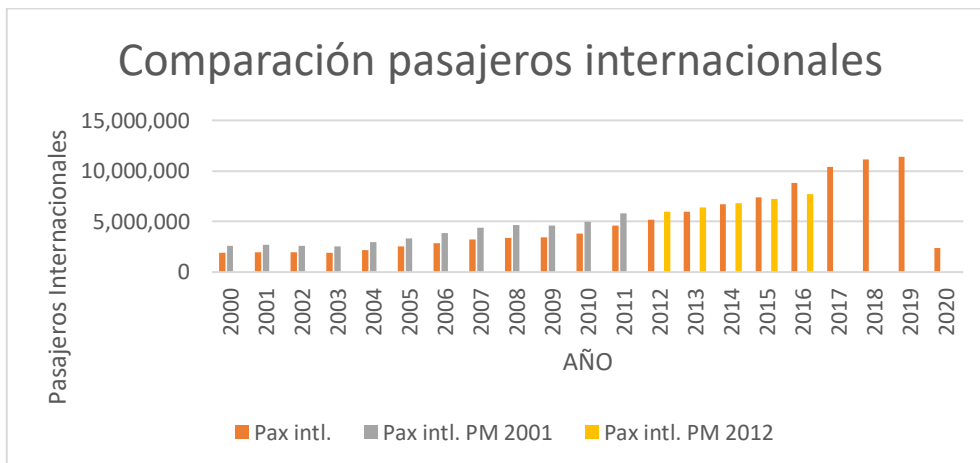


Figura 5.

Comparativa de proyecciones de planes maestros y tráfico observado, Carga Nac

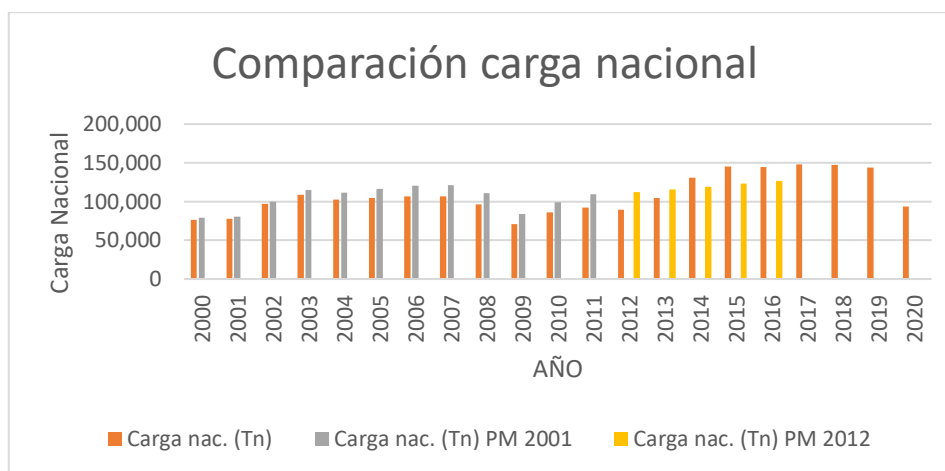
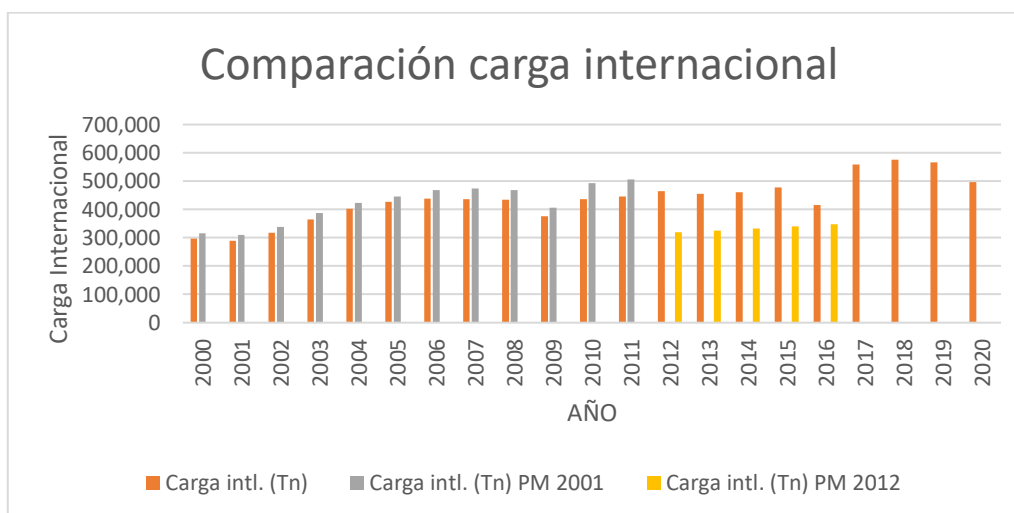


Figura 6.

Comparativa de proyecciones de planes maestros y tráfico observado, Carga Intl



7.5 Proyección de tráfico El Dorado II

A continuación, se exponen las proyecciones tanto de pasajeros, como carga y número de operaciones durante un periodo de 20 años, realizada por la Aeronáutica Civil (Aerocivil). En los cuales se toma como punto de inicio el año 2023 donde se espera que la primera fase de la construcción y operación del EDII entre en funcionamiento.

Tabla 14.

Proyecciones El Dorado II

Total Pax	2016	2023	2028	2032	2033	2043
El Dorado II	-	6,116,608	7,531,188	9,726,831	21,793,531	33,873,932
El Dorado I	31,005,442	35,772,433	44,389,430	51,324,925	41,640,979	54,713,271
Total Ops	2016	2023	2028	2032	2033	2043
El Dorado II	-	102,587	117,710	137,959	216,198	297,495
El Dorado I	328,691	311,238	370,209	414,690	352,940	435,268
Total Carga (Kg)	2016	2023	2028	2032	2033	2043
El Dorado II	-	3,165,687	3,709,741	4,475,324	55,401,489	71,056,723
El Dorado I	674,201,371	746,222,464	807,717,896	863,022,486	874,691,922	1,033,594,296

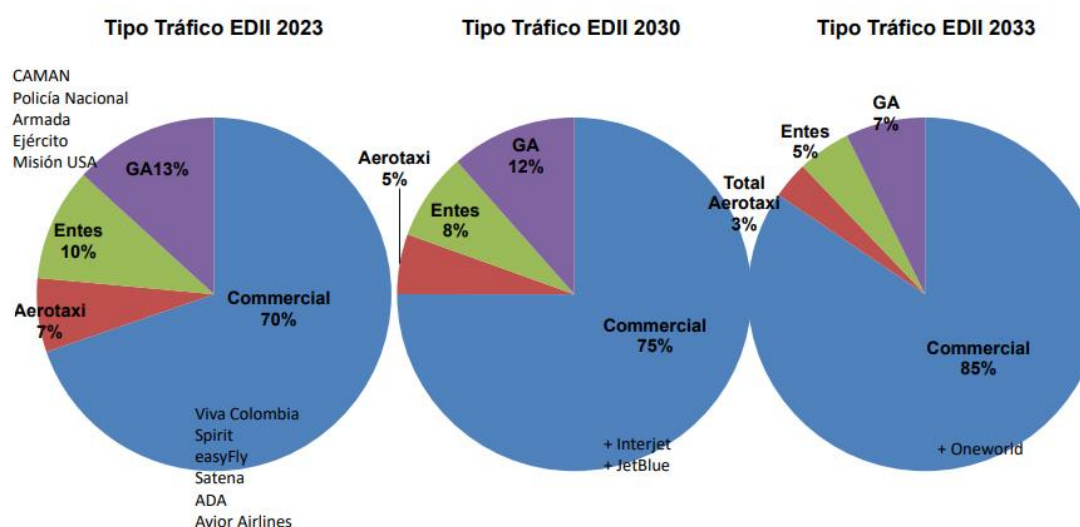
Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

En la anterior imagen de proyecciones se logra apreciar los años donde se identifican puntos importantes en el proyecto EDII, después de su puesta en funcionamiento se logra ver que en el año 2028 tenemos una proyección positiva del número esperado de operaciones, pasajeros y total de carga, además en este año es donde entra la segunda adjudicación de la concesión realizando la segunda pista y terminal etapa 2. El año 2033 es importante por varios factores que se explicaran a continuación, primero a simple vista se logra evidenciar que en la tabla de proyecciones de este año con respecto al anterior (2032) se evidencia una disminución en el número de operaciones y total de pasajeros y por la parte de la carga se evidencia un aumento exponencial en EDII, esto es debido a la finalización de la concesión del 2028 en donde se espera que en el año 2033 entre en funcionamiento tanto la pista 2 como el terminal etapa 2 y de esta manera se logra alinear la etapa 2 de EDII con el Gran Dorado.

Por otra parte, también se estudia la proyección en el tipo de tráfico en EDII.

Figura 7.

Proyección en el tipo de tráfico en EDII



Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

Se logra evidenciar como se espera la evolución del tipo de tráfico en EDII, donde se inicia en el año 2023 con aerolíneas denominadas de “Bajo Coste” de tipo nacional e internacional también presencia de diferentes entes del estado, Aerotaxi y otros.

Para el año 2030 se espera la incorporación de aerolíneas de más aerolíneas como lo son Jetblue e Interjet y para finalizar en el año 2033 en la entrada de “El Gran Dorado” se logra la incorporación de Oneworld la cual es una alianza de 14 aerolíneas comerciales.

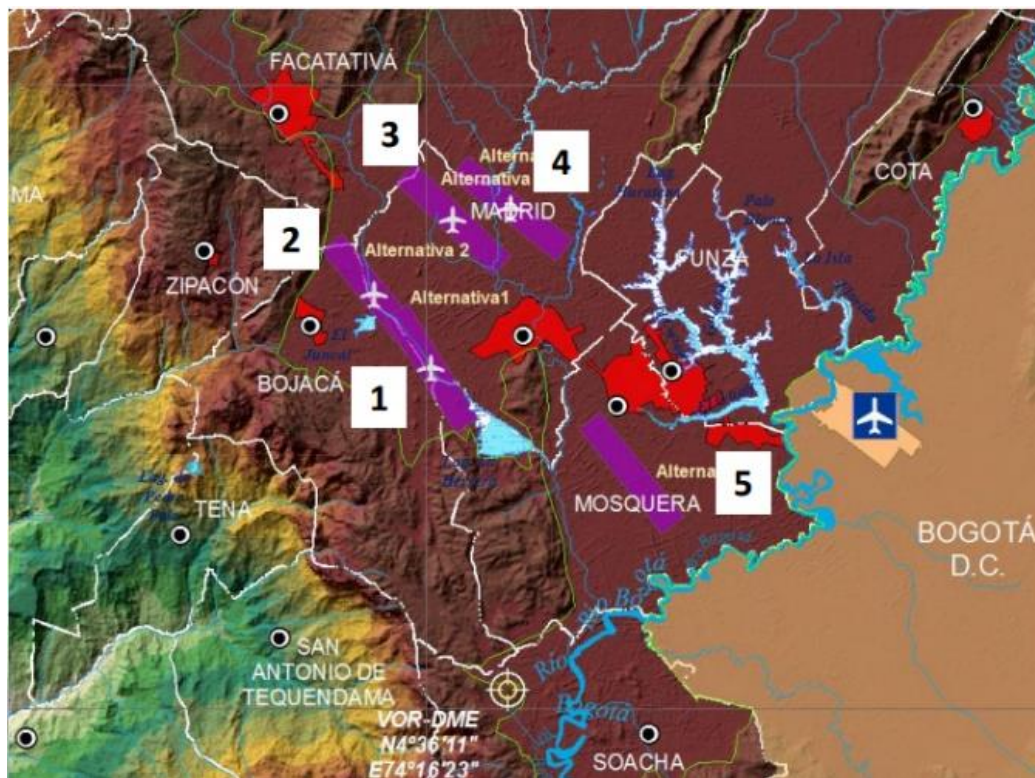
8. Análisis ubicación El Dorado II

Para realizar la correcta elección de la ubicación de El Dorado II, se inició por plantear 5 distintas ubicaciones en la periferia del actual aeropuerto, en las cuales se tuvieron en cuenta factores como lo son zonas planas, presencia de municipios, Hidrología,

Infraestructura existente, reservas ambientales, factores aeronáuticos, conectividad, viabilidad urbana y capacidad de expansión, Además, se tiene en cuenta un factor fundamental como el porcentaje de utilización de cada pista según el viento de la zona. En la siguiente ilustración se presentan las 5 posibles ubicaciones de El Dorado II.

Figura 8.

Posibles ubicaciones de El Dorado II

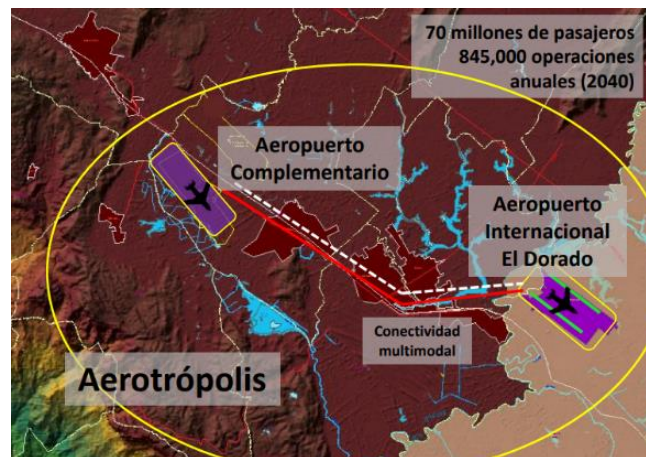


Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

Como se logra evidenciar en la imagen anterior se redujeron para una segunda fase de elección a 3 alternativas, las cuales fueron elegidas la ubicación 3,4 y 5. Para finalizar se seleccionará la alternativa número 3 siendo la que cumplía la mayoría de los factores anteriormente mencionados dando así una imagen de la aerotrópolis preliminar.

Figura 9.

Ubicación Aerotrópolis El Dorado II

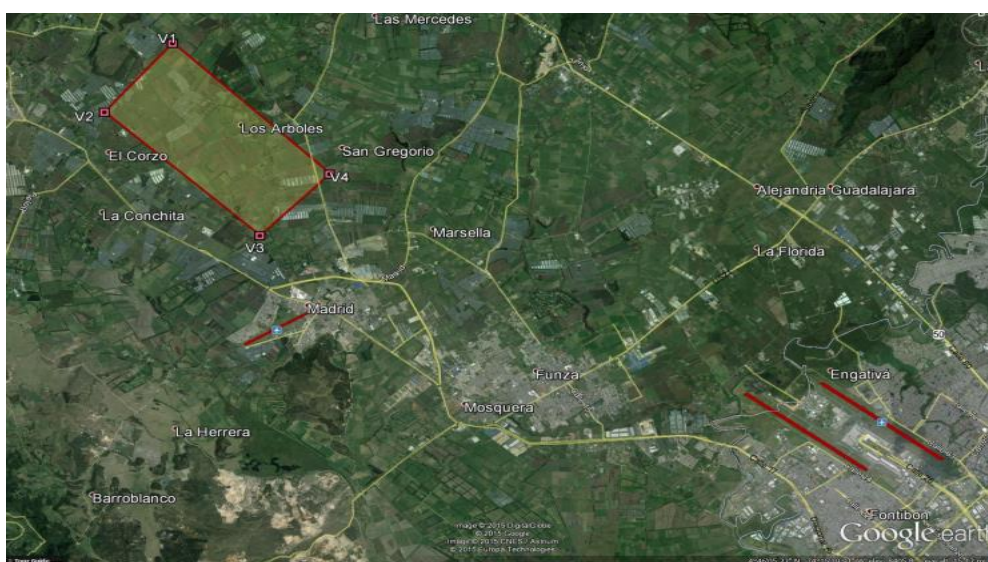


Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

A continuación, se muestra una imagen del polígono de referencia que se tiene predestinado para el proyecto.

Figura 10.

Polígono referencia El Dorado II



Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

Otra parte importante en los aeropuertos además de los factores que se mencionaron anteriormente para la elección de la ubicación, es el sentido y dirección de las pistas para el nuevo aeropuerto, a continuación, se explicará los pasos que se dieron para llegar a una elección final.

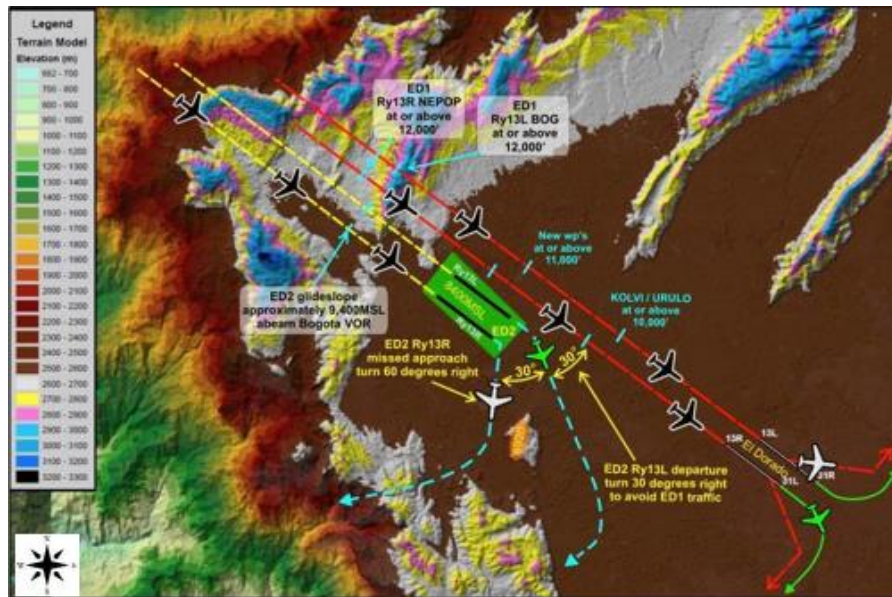
En las siguientes secciones se presentan las orientaciones de las tres propuestas para los sistemas de pistas paralelas a dos, analizando la cobertura del viento, la capacidad del flujo y la penetración en el terreno.

8.1 Orientación de la pista 13/31

En orientación 13/31 (Noroeste – Sureste), la cobertura del viento es del 99.92%, lo cual es aceptable. En el análisis se supone una distancia entre las pistas paralelas de 1.536 metros. Por otra parte, esta configuración requiere un aumento menor en la penetración del terreno en la ubicación propuesta para El Dorado II. Asimismo, ambos aeropuertos (EDI y EDII) alcanzan una capacidad de flujo primario moderada y una baja capacidad en el flujo secundario, además, la pista 13L/31R representa una falta, dadas las condiciones del terreno, de la capacidad de realizar operaciones duales de llegada, por demás, la pista 13R/31L si permite la realización de operaciones duales, tanto de llegada como de salida. En las ilustraciones 5 y 6 se presentan el concepto de operaciones para la pista 13 y 31

Figura 11.

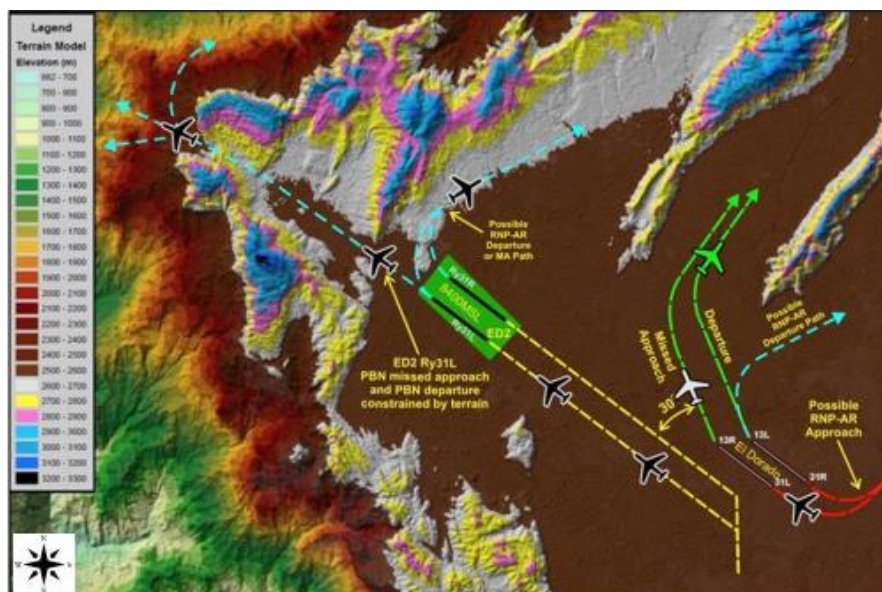
Concepto de operaciones pista 13



Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

Figura 12.

Concepto de operaciones pista 31



Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

8.2 Orientación de la pista 16/34

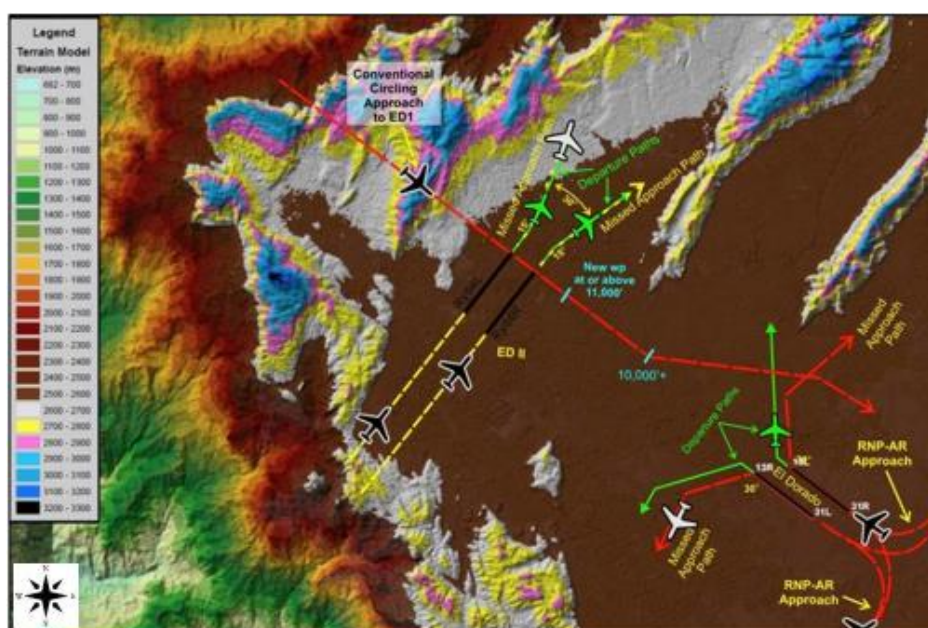
La orientación 16/34 (Nor-Noroeste – Sur-Sureste) representa una cobertura aceptable del viento del 99.91%, sin embargo, esta orientación representa una gran penetración en el terreno, por lo cual, la operación en el flujo primario no es viable. Por otra parte, se evaluó la orientación 15/33, no obstante, representa los mismos obstáculos de terreno. Por tanto, ambas orientaciones resultan inviables para el proyecto y son descartadas.

8.3 Orientación de la pista 04/22

Según IDEAM (2012) Chase En la orientación 04/22 (Noreste – Suroeste), la cobertura de viento de 99,65% es aceptable. Se logra una alta capacidad en ambas orientaciones, y las superficies estándar de las Pistas 04R/22L y 04R/22L tienen penetraciones menores del terreno. En las ilustraciones 7 y 8 se presentan el concepto de operaciones para la pista 04 y 22.

Figura 13.

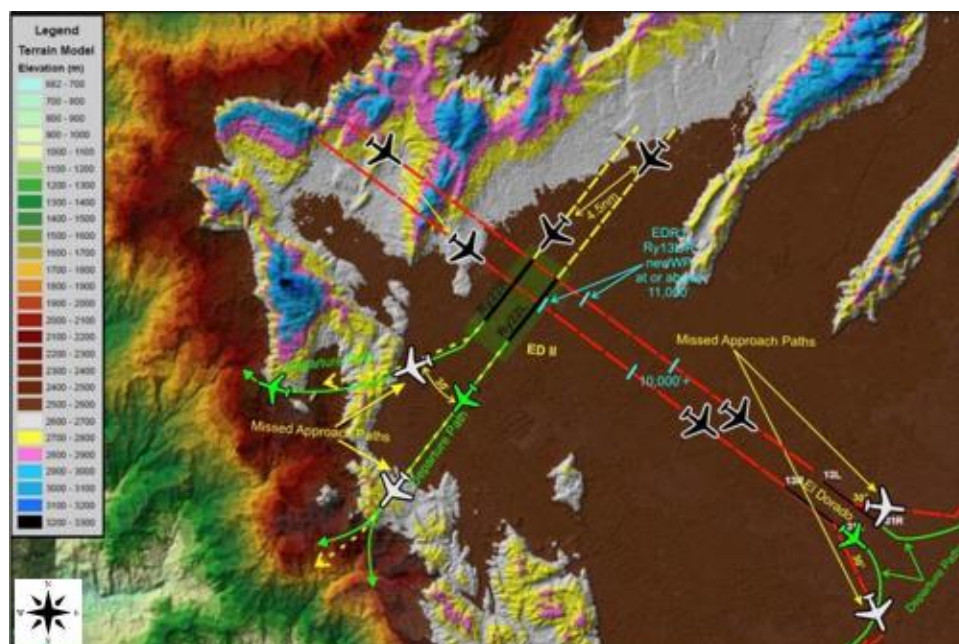
Concepto de operaciones pista 04



Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

Figura 14.

Concepto de operaciones pista 22



Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

8.4 Resultados Ubicación y determinación de las pistas.

En un estudio preliminar se seleccionaron 3 alternativas posibles para la dirección de las nuevas pistas, estas fueron la pista 13/31 dirección SE-NW, la pista 16/34 dirección SSE-NNW y la pista 04/22 dirección NE-SW.

Tabla 15.

Evaluación de las alternativas seleccionadas

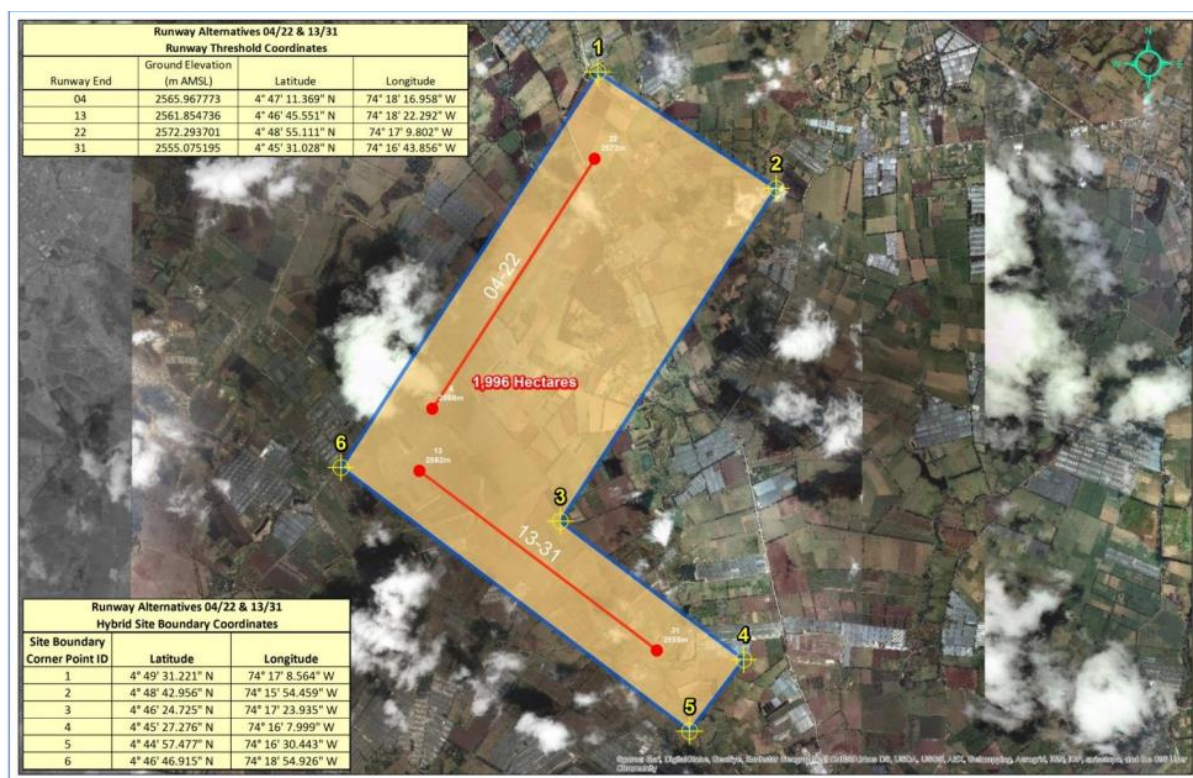
ALINEAMIENTO DE EL DORADO II	APROXIMACIÓN ÚNICA/DOBLE	IMPACTO DEL TERRENO	IMPACTO DEL SITIO	RIESGO DE OPS & TÉCNICO	IMPACTO DEL RUIDO	POTENCIAL DE CAPACIDAD
13/31	Única	Moderado	Bajo	Bajo	Moderado	Capacidad moderada
04/22	Doble	Bajo	Alto	Riesgo operativo más alto	Bajo	Potencial de capacidad alto
Híbrida	Doble	Bajo	Alto	Moderado	Bajo	Alto

Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

De estas posibles pistas se analizó diferentes factores como lo es el aprovechamiento, el impacto del terreno, el impacto del sitio, Riesgo de operaciones, impacto de ruido y la capacidad potencial. De las cuales la pista 13/31 y la pista 04/22 se consideran las mejores, aunque presentan limitaciones potenciales para el correcto funcionamiento del aeropuerto. Además, se consideró una posibilidad adicional de hacer las pistas de forma híbrida de la siguiente manera.

Figura 15.

Concepto Alternativa Híbrida



Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

Los beneficios que se encontraron de la opción híbrida son que aparecen todas las combinaciones de 4/22 y 13/31 factible para EDII, Con ambas direcciones en EDII podría haber flexibilidad para operar 4/13, 22/13, 4/31 y 22/31, El flujo de EDII podría cambiar para complementar EDI, con el fin de minimizar los impactos al EDI. En la tabla 15 se presenta el

resumen de las capacidades de las operaciones previstas para cada alternativa preseleccionada.

Tabla 16.

Capacidades de las operaciones previstas para cada alternativa preseleccionada.

13/31	DIRECCIÓN DE FLUJO	13L/R @ EL DORADO I 13L/R @ EL DORADO II	31L/R @ EL DORADO I 31L/R @ EL DORADO II
	Capacidad de El Dorado I	86	42
	Capacidad de El Dorado II	70	42
04/22	DIRECCIÓN DE FLUJO	13L/R @ EL DORADO I 22L/R @ EL DORADO II	31L/R @ EL DORADO I 04L/R @ EL DORADO II
	Capacidad de El Dorado I	86	70
	Capacidad de El Dorado II	70	70
HÍBRIDA	DIRECCIÓN DE FLUJO	13L/R @ EL DORADO I 13-22L/R @ EL DORADO II	31L/R @ EL DORADO I 22-31L/R @ EL DORADO II
	Capacidad de El Dorado I	Est. 86	Est. 70
	Capacidad de El Dorado II	Est. 70-100	Est. 70-75

Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

Se logra evidenciar que en El Dorado II todas las combinaciones de pistas 04/22 y 13/31 parecen ser viables, las limitaciones que tenían estas pistas pueden ser de cierta manera compensadas haciéndolas de manera híbrida también aumenta las características y factores favorables para la misma. Asimismo, las dos direcciones en El Dorado II proporcionan la flexibilidad adicional de operar cualquier combinación de pistas, de forma tal que el flujo de El Dorado II podría variarse para complementar las condiciones y minimizar los impactos de El Dorado I.

9. Análisis operacional entre El Dorado y El Dorado II

Para este fin, se tendrá en cuenta el análisis de la alternativa híbrida, siendo esta la de mayor viabilidad. Esta alternativa se desarrollará en tres fases. En la primera se dará la construcción de la pista 13/31, en la fase 2 se desarrollaría la pista 04L/22R según las necesidades de la demanda, para finalmente, en la fase 3 se dé la construcción de la pista 04R/22L.

9.1 Operaciones fase 1 alternativa híbrida.

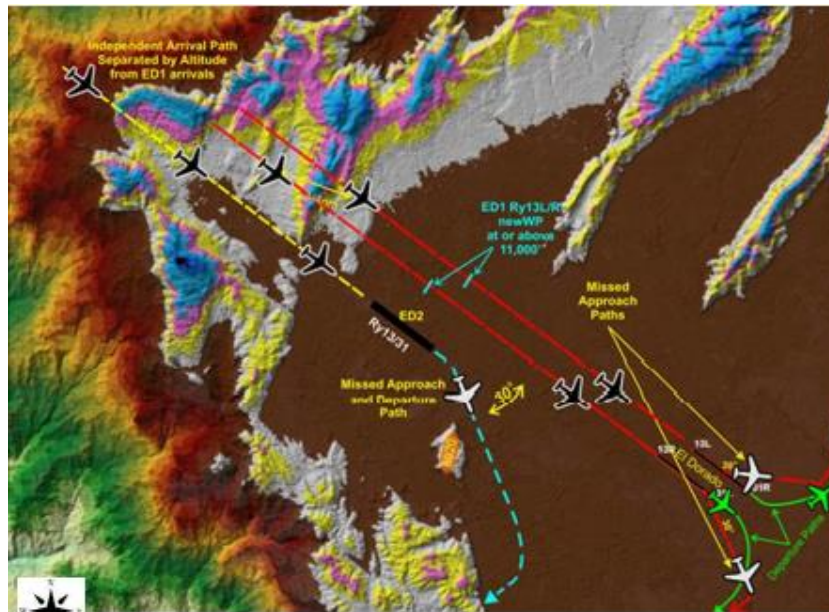
En la fase 1 de la alternativa híbrida, se prevé la construcción de la pista 13/31 cuya capacidad estimada será de 42 operaciones por hora. Dichas operaciones se dividen de la siguiente manera:

- Pista de aterrizaje y salidas 13 en el Dorado II cuando en el Dorado I esté operando la pista 13L Y 13R.
- Pista de aterrizaje y salidas 31 en el Dorado II cuando en el Dorado I esté operando la pista 31L Y 31R.

En las ilustraciones 10 y 11 se presenta a detalle el esquema de operaciones para ambos casos señalados:

Figura 16.

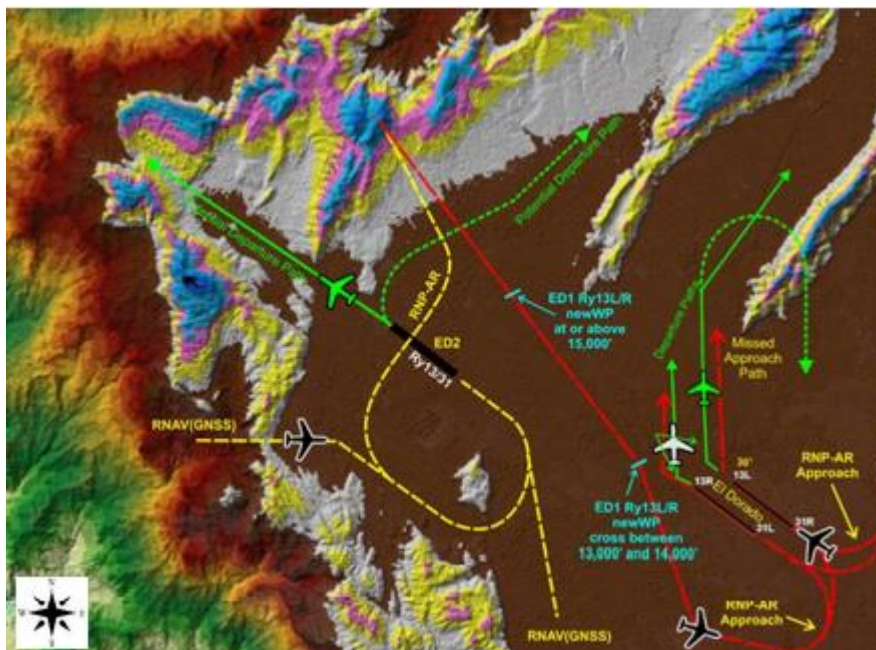
Concepto de operaciones para la pista 13



Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

Figura 17.

Concepto de operaciones para la pista 31



Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

En resumen, se estima, que para la pista 13 en el Dorado I, se efectúen 86 operaciones por hora y en el Dorado II 42 operaciones por hora, asimismo, para la pista 31 se estiman 42 operaciones por hora tanto para el Dorado I como para el Dorado II.

Además, con este esquema, las operaciones en la dirección 13 se integran con gran facilidad a las operaciones actuales de el Dorado I, por lo que, las aproximaciones frustradas y salidas en el Dorado II son independientes a las operaciones del Dorado I.

9.2 Operaciones fase 2 alternativa híbrida.

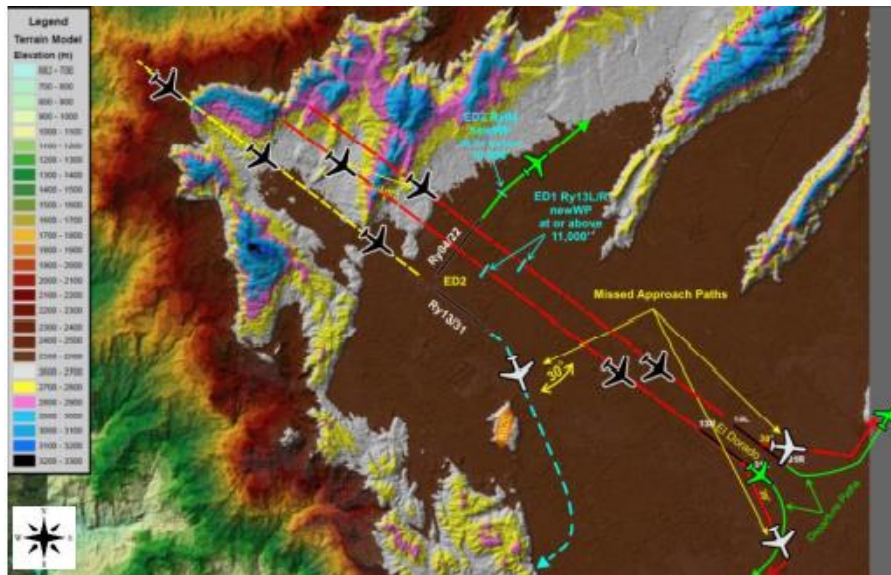
En la segunda fase El Dorado II operaría con una pista 13/31 y una pista 04/22. cuya capacidad estimada será de 70 operaciones por hora en la dirección 13 y 42 operación por hora en la dirección 31. Dichas operaciones se dividen de la siguiente manera:

- Pista de aterrizaje 13, Pista de salida 04 (13/04) en El Dorado II, cuando El Dorado I esté operando en las Pistas 13L y 13R
- Pista de aterrizaje 22, Pista de salida 13 (22/13) en El Dorado II, cuando El Dorado I esté operando en las Pistas 13L y 13R
- Pista de aterrizaje 04, Pista de salida 31 (22/31) en El Dorado II, cuando El Dorado I esté operando en las Pistas 31L y 31R.
- Pista de aterrizaje 22, Pista de salida 31 (22/31) en El Dorado II, cuando El Dorado I esté operando en las Pistas 31L y 31R.

En las ilustraciones 12, 13 y 14 se presenta a detalle el esquema de operaciones para ambos casos señalados:

Figura 18.

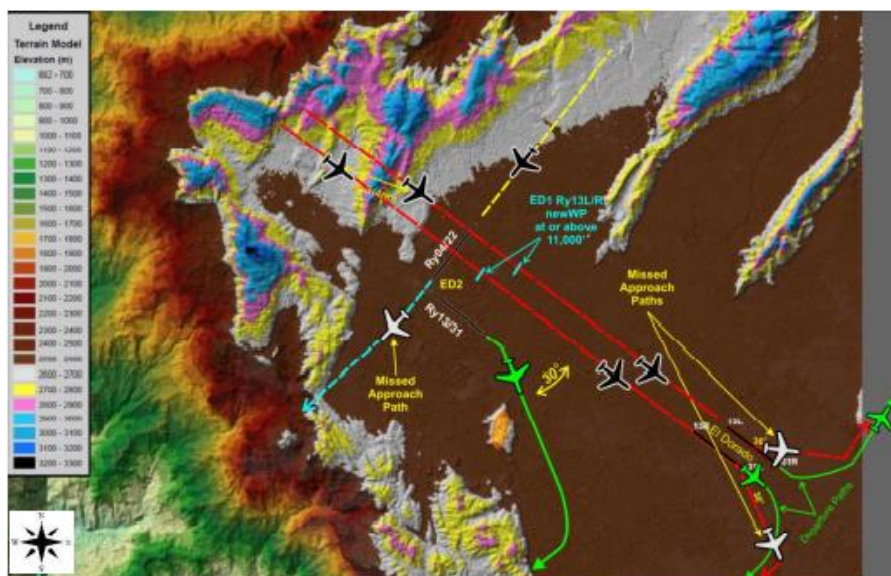
Concepto de operaciones para la pista 13/04



Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

Figura 19.

Concepto de operaciones para la pista 22/13



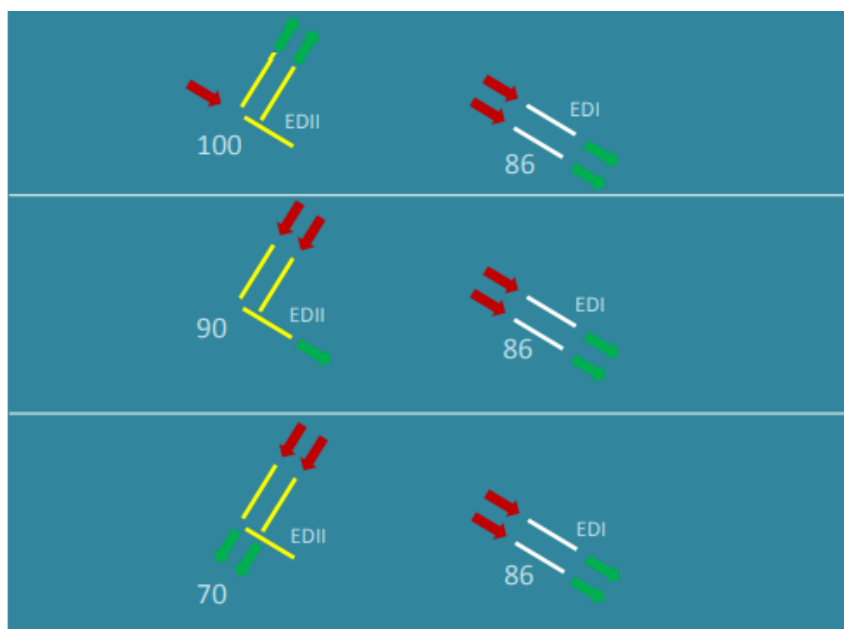
Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

En la ilustración 15 se evidencian los distintos usos de pista en la dirección 13.

Además, la capacidad del el Dorado I se mantiene en 86 operaciones por hora, mientras que en el Dorado II, varía según la configuración entre 70 y 100 operaciones por hora.

Figura 21.

Concepto de operaciones para la pista 22/31



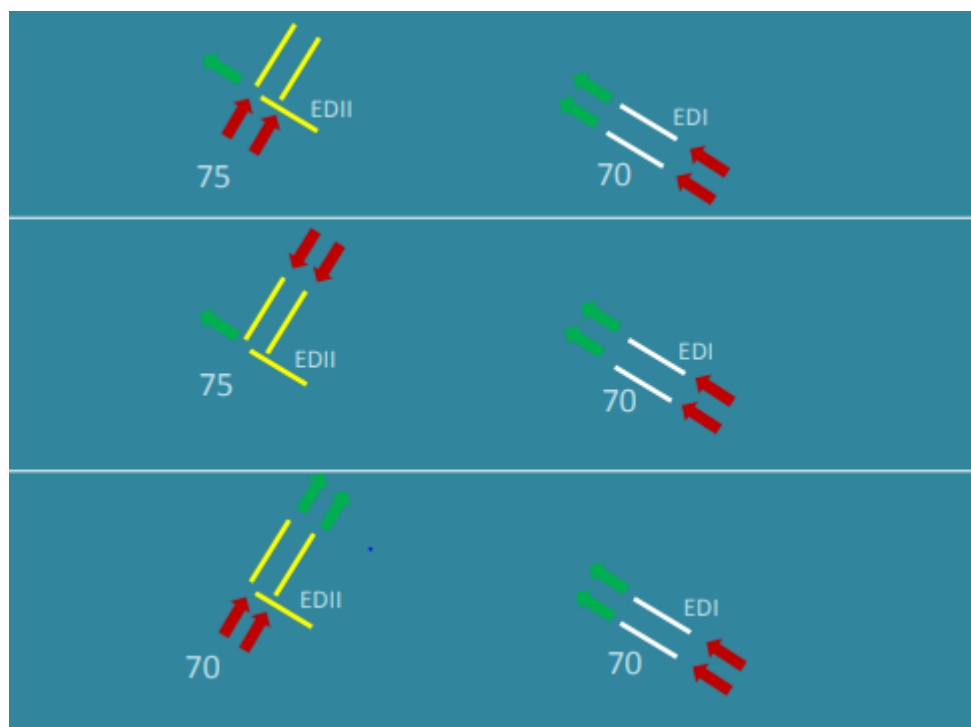
Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

En la ilustración 16 se evidencian los distintos usos de pista en la dirección 31.

Además, la capacidad del el Dorado I se mantiene en 70 operaciones por hora, mientras que en el Dorado II, varía según la configuración entre 70 y 76 operaciones por hora.

Figura 22.

Concepto de operaciones para la pista 22/31



Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

10. Distribución de tráfico entre El Dorado y El Dorado II

Con la finalidad de establecer la distribución de tráfico que existirá a partir de que entre en operación El Dorado II, se consideraron varios supuestos de reubicación y asignación para cada segmento del tráfico aéreo, además, se analizó la reubicación de varias aerolíneas de pasajeros, asimismo, en cada escenario se mantuvieron las prioridades operacionales estipuladas para El Dorado I según la Aeronáutica Civil. Los escenarios supuestos son los siguientes, suponiendo la entrada en funcionamiento de El Dorado II en el año 2021 (recordar que el estudio relacionado se realizó en el año 2016, por ello esta suposición ya caducó y habría que trasladarla al año de entrada de operación real del aeropuerto) (Aerocivil, 2016):

- El centro de conexiones de Avianca permanece en El Dorado I.
- Los socios de Star Alliance permanecen en El Dorado I.
- Ninguna aerolínea dividirá las operaciones entre El Dorado I y El Dorado II.
- Las operaciones de carga de cargueros se mantienen en El Dorado I.
- Los vuelos militares/gubernamentales se mantienen en El Dorado I.
- La aviación general pesada permanece en El Dorado I y la mayoría de la aviación general se traslada a El Dorado II.

Por otra parte, se analizaron las alternativas de reubicación de las aerolíneas, para satisfacer una demandan a largo plazo de entre 4.1 y 14.3 millones de pasajeros en el año 2041 para El Dorado II, dejando así una demanda entre 65.1 y 54.9 millones de pasajeros al año en El Dorado I. sumado a esto, se estiman para el año 2041 un aproximado de entre 101.000 a 207.000 operaciones para El Dorado II. Para ello, se plantearon las siguientes 4 opciones:

- Opción 1: Todas las aerolíneas que no pertenecen a Star Alliance se trasladan a El Dorado II.
- Opción 2: Las aerolíneas nacionales excluyendo a Avianca y las pequeñas compañías internacionales se trasladan a El Dorado II.
- Opción 3: Las aerolíneas nacionales excluyendo a Avianca se trasladan a El Dorado II.
- Opción 4: Las pequeñas compañías internacionales se trasladan a El Dorado II.

Las operaciones de carga se mantuvieron para las cuatro opciones en El Dorado I, debido a los recientes aportes de desarrollo y modernización en las instalaciones de carga. Además, se analizó la posibilidad de trasladar las operaciones militares/gubernamentales que

no corresponda al Estado Colombia a El Dorado II, por tanto, se derivan las siguientes opciones de la opción 4:

- Opción 4b – Los operadores internacionales más pequeños se trasladan a El Dorado II, junto con el 100% de las operaciones militares/gubernamentales, el 100% de los operadores pequeños de aviación general y el 90% del tráfico pesado de la aviación general (vuelo chárter y taxis aéreos).
- Opción 4c – Los operadores internacionales más pequeñas se trasladan a El Dorado II, junto con el 100% de las operaciones militares/gubernamentales, y el 100% del tráfico de la aviación general.

En la tabla 16 se presenta la distribución del tráfico y el resumen de las operaciones entre El Dorado I y El Dorado II para las 4 opciones planteadas:

Tabla 17.

Resumen de Asignación de Operaciones opciones 1 – 4

Asignación de Pasajeros								
Pasajeros	El Dorado I				El Dorado II			
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
2014	27,189,000	27,189,000	27,189,000	27,189,000	-	-	-	-
Año de Pronostico								
2015	29,303,000	29,303,000	29,303,000	29,303,000	-	-	-	-
2016	31,197,000	31,197,000	31,197,000	31,197,000	Operaciones comienzan en 2021			
2021	32,020,000	34,530,000	36,478,000	37,632,000	7,560,000	5,050,000	3,102,000	1,948,000
2026	38,066,000	41,225,000	43,677,000	44,840,000	9,225,000	6,066,000	3,615,000	2,452,000
2031	43,484,000	47,289,000	50,241,000	51,336,000	10,804,000	7,000,000	4,047,000	2,953,000
2036	48,870,000	53,362,000	56,849,000	57,820,000	12,437,000	7,944,000	4,458,000	3,486,000
2041	54,902,000	60,212,000	64,334,000	65,110,000	14,330,000	9,020,000	4,898,000	4,122,000
División de Trafico	Opción 1		Opción 2		Opción 3		Opción 4	
	%EDI	%EDII	%EDI	%EDII	%EDI	%EDII	%EDI	%EDII
2014	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%
Año de Pronostico								
2015	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%
2016	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%
2021	81%	19%	87%	13%	92%	8%	95%	5%
2026	80%	20%	87%	13%	92%	8%	95%	5%
2031	80%	20%	87%	13%	93%	7%	95%	5%
2036	80%	20%	87%	13%	93%	7%	94%	6%
2041	79%	21%	87%	13%	93%	7%	94%	6%

Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

Por último, se planteó una opción número 5, la cual se estipula como la más viable, generando el menor impacto entre las aerolíneas existente y requiere el nivel más bajo de conexiones entre operadores, en esta opción se estipulan los siguientes supuestos:

- Las aerolíneas comerciales de pasajeros que no comparten códigos con otras aerolíneas, y operan mayormente independientemente de otras esto comprende servicio nacional e internacional.

- Las operaciones de la Fuerza Aérea colombiana se mantienen en El Dorado I; todas las demás operaciones militares/gubernamentales se trasladan a El Dorado II o Representa el 50% del tráfico militar/gubernamental en cada aeropuerto.
- Todo el tráfico de carga con cargueros se mantiene en El Dorado I.
- El tráfico pesado de aviación general permanece en El Dorado I; el resto pasa a El Dorado II o Representa el 10% del tráfico de aviación general en El Dorado I y el 90% en El Dorado II.

Esta opción dio como resultado una distribución de aproximadamente 61.6 millones de pasajero y 587.000 toneladas de carga al año para El Dorado I en el 2041 y 7.7 millones de pasajeros y 171.900 toneladas de carga al año para El Dorado II en el mismo periodo de tiempo.

En la tabla 17 se presenta la distribución del tráfico y el resumen de las operaciones entre El Dorado I y El Dorado II para la opción 5 planteada:

Tabla 18.

Resumen de Asignación de Operaciones opción 5

Asignación de Pasajeros Comerciales-Opción 5									
Pasajeros	El Dorado I			El Dorado II			Totales		
	Nacionales	Internacional	Totales	Nacionales	Internacional	Totales	Nacionales	Internacional	Totales
2014	18,835,000	8,354,000	27,189,000	-	-	-	18,835,000	8,354,000	27,189,000
Año de Pronostico									
2015	20,249,000	9,055,000	29,304,000	-	-	-	20,249,000	9,055,000	29,304,000
2016	21,443,000	9,754,000	31,197,000	Operaciones comienzan en 2021			21,443,000	9,754,000	31,197,000
2021	22,805,000	12,199,000	35,004,000	3,685,000	891,000	4,576,000	26,490,000	13,090,000	39,580,000
2026	26,532,000	15,350,000	41,882,000	4,287,000	1,122,000	5,409,000	30,819,000	16,472,000	47,291,000
2031	29,658,000	18,487,000	48,145,000	4,792,000	1,351,000	6,143,000	34,450,000	19,838,000	54,288,000
2036	32,612,000	21,830,000	54,442,000	5,270,000	1,595,000	6,865,000	37,882,000	23,425,000	61,307,000
2041	35,761,000	25,807,000	61,658,000	5,778,000	1,886,000	7,664,000	41,539,000	27,693,000	69,232,000
CAGR 2014-2041	2.4%	4.3%	3.1%				3.0%	4.5%	3.5%
CAGR 2021-2041	2.3%	3.8%	2.9%	2.3%	3.8%	2.6%	2.3%	3.8%	2.8%
División de Trafico	El Dorado I			El Dorado II			Totales		
	Nacionales	Internacional	Totales	Nacionales	Internacional	Totales	Nacionales	Internacional	Totales
2014	69%	31%	100%	-	-	-	69%	31%	100%
Año de Pronostico									
2015	69%	31%	100%	-	-	-	69%	31%	100%
2016	69%	31%	100%	Operaciones comienzan en 2021			69%	31%	100%
2021	65%	35%	100%	81%	19%	100%	67%	33%	100%
2026	63%	37%	100%	79%	21%	100%	65%	35%	100%
2031	62%	38%	100%	78%	22%	100%	63%	37%	100%
2036	60%	40%	100%	77%	23%	100%	62%	38%	100%
2041	58%	42%	100%	75%	25%	100%	60%	40%	100%

Fuente: Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II

CONCLUSIONES

La capacidad máxima estimada de pasajeros y carga que podía procesar el aeropuerto El Dorado sin llegar a estar saturado se preveía llegara entre los años 2022 y 2025, sin embargo, esta proyección se adelantó 4 años, llegando a estar al tope de su máxima capacidad en el año 2019, por lo que, se hace urgente el desarrollo y la implementación de estrategias y mecanismos que permitan una mayor capacidad operacional, como la disposición de más puntos de contactos y la construcción de una tercera pista, o, en su defecto, la construcción de un segundo aeropuerto complementario.

Para mejorar la capacidad de El Dorado es necesaria la construcción de más puntos de estacionamiento con contacto al terminal y remotas, así como las suficientes calles de rodaje, sin embargo, dadas las condiciones socio-políticas, económicas, ambientales y demográficas, es posible aumentar los puestos de estacionamiento y aumentar cierta infraestructura del lado aire y del lado tierra, no obstante, se hace imposible construir una tercera pista. Por lo tanto, dado el gran aumento de la demanda del transporte aéreo, que ronda el 9% promedio anual, es cuestión del tiempo para que El Dorado llegue y sobre pase su capacidad operacional.

Con la construcción de El Dorado II, se prevé, en principio que se trasladen todos los operadores pequeños y se mantengan los grandes operadores en El Dorado, asimismo, la mejor configuración de pistas es la que se definió como híbrida, constando de dos pistas paralelas dirección 04/22 y una pista independiente dirección 13/31, manteniendo una capacidad en la dirección 13 de 86 y entre 70 y 100 operaciones por hora para El Dorado y El Dorado II respectivamente, siendo esta la opción que mayor capacidad operacional ofrece,

asimismo, permite aterrizajes y despejes simultáneos entre ambos aeropuertos, manejando un aproximado de 70 millones de pasajeros en el año 2041 entre ambos aeropuertos.

ANEXOS

Anexo A

Tabla 19.

Resumen datos observados (Tráfico Real) Aeropuerto internacional El Dorado

AEROPUERTO Internacional EL DORADO					
Año	Pax nac.	Pax intl.	Carga nac. (Tn)	carga intl. (Tn)	Operaciones (total)
2000	5,272,103	1,921,289	76,166	297,395	199,489
2001	5,384,401	1,971,728	77,905	290,130	206,348
2002	5,597,270	1,940,408	96,797	316,884	202,938
2003	5,371,479	1,916,293	108,549	364,289	195,733
2004	5,663,036	2,186,815	102,693	401,551	193,276
2005	5,875,348	2,561,737	104,799	427,748	197,234
2006	6,352,057	2,878,534	106,469	438,233	216,576
2007	6,725,752	3,248,848	106,541	436,594	232,382
2008	7,018,734	3,411,463	96,199	434,106	248,819
2009	7,960,557	3,445,425	70,852	375,777	263,072
2010	10,521,814	3,828,874	85,824	436,270	299,346
2011	11,059,315	4,599,803	92,119	445,828	309,745
2012	12,330,301	5,169,161	89,380	463,878	316,704
2013	14,093,257	5,968,945	104,557	454,556	324,791
2014	15,238,139	6,705,203	130,684	460,741	337,137
2015	16,708,621	7,383,370	145,374	477,583	343,509
2016	20,978,761	8,792,616	144,500	415,118	331,956
2017	20,582,580	10,407,052	147,967	558,836	322,121
2018	21,549,372	11,142,474	147,056	575,535	333,433
2019	23,442,093	11,422,907	143,748	566,341	362,433
2020	6,373,237	2,370,127	93,375	496,949	146,099

REFERENCIAS

- Aeronáutica Civil de Colombia [Aerocivil]. (2016, 01 de septiembre). *Funciones y deberes*.
Aeronáutica Civil de Colombia. <https://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/funciones>
- Aeronáutica Civil de Colombia [Aerocivil]. (2021, 13 de mayo). RAC. Aeronáutica Civil de Colombia. <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/reglamentacion/rac>
- Aeronáutica Civil (2001). Plan Maestro del Aeropuerto Internacional El Dorado de la Ciudad de Bogotá D.C.
- Aeronáutica Civil (2012). Plan Maestro del Aeropuerto Internacional El Dorado de la Ciudad de Bogotá D.C.
- Aerocivil (2016). Análisis Técnico De La Viabilidad Operacional Y Elaboración Del Plan Maestro Aeroportuario Para El Proyecto De Infraestructura El Dorado II.
- Bonnefoy, P. A. (2008). Scalability of the air transportation system and development of multi-airport systems: A worldwide perspective (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- De Luca, S., 2012. Modelling airport choice behaviour for direct flights, connecting flights and different travel plans. *J. Transp. Geogr.* 22, 148–163
- Dender, K. (2007). Determinants of fares and operating revenues at US airports. *Journal of Urban Economics*, 62(2), 317-336
- De Neufville, R. (2013). *Airport Systems Planning, Design, and Management*. Mc Graw Hill.
- Fuellhart, K., O'Connor, K., & Woltemade, C. (2013). Route-level passenger variation within three multi-airport regions in the USA. *Journal of Transport Geography*, 31, 171-180.
- García, M. (2000). *Ingeniería Aeroportuaria*. (ed. 2). ETSI de Ingenieros Aeronáuticos.

- Hess, S., & Polak, J. W. (2006). Exploring the potential for cross-nesting structures in airport-choice analysis: a case-study of the Greater London area. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(2), 63-81.
- International Air Transport Association. (2019). WATS World Air Transport Statistics 2019 World Air Transport Statistics.
- Ishii, J., Jun, S., & Van Dender, K. (2009). Air travel choices in multi-airport markets. *Journal of Urban Economics*, 65(2), 216-227.
- Mun, S. I., & Teraji, Y. (2012). The organisation of multiple airports in a metropolitan area. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 46(2), 221-237.
- Pels, E., Njegovan, N., & Behrens, C. (2009). Low-cost airlines and airport competition. *Transportation Research Part E*, 45, 335–344
- Postorino, M. N. & Giammaria Praticò, F. (2012). An application of the Multi-Criteria Decision-Making analysis to a regional multi-airport system. *Research in Transportation Business & Management*, 4, 44-52.
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210539512000247?via%3Dihub>
- Real Academia Española [RAE] (2001). Área metropolitana. Real Academia Española.
- Ruan, L., Gardi, A., & Sabatini, R. (2021). Operational efficiency analysis of Beijing multi-airport terminal airspace. *Journal of Air Transport Management*, 92, 102013.
- Suzuki, Y., 2000. The relationship between on-time performance and airline market share: a new approach. *Transp. Res. E* 36 (2), 139–154. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(99\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(99)00026-5).
- Thomas, P. (2006). Towards Urban Multi-Airport Systems. *Economic and Political Weekly*.

Yang, Z., Yu, S., & Notteboom, T. (2016). Airport location in multiple airport regions (MARs): The role of land and airside accessibility. *Journal of Transport Geography*, 52, 98-110.