



4^{to} Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA PLATAFORMA COMERCIAL AEROPORTUARIA: DIMENSIÓN OPERACIONAL Y AMBIENTAL

G. Ramirez^a, J. Piechocki^b, A. Di Bernardi^b

^aCONICET y UIDET GTA-GIAI, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Calle 116 e/ 47 y 48 s/n (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina. <http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/gta/>

^bUIDET GTA-GIAI, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata

Palabras claves: Aeropuerto, Capacidad, Operacional, Ambiental, Plataforma, Gestión

Resumen

Entre los principales aspectos sobre los cuales se enfoca la gestión del sistema aeroportuario se encuentran la capacidad operacional y el medioambiente, los cuales históricamente han sido analizados a través de herramientas independientes a pesar de su estrecha relación.

El presente estudio tiene como objetivo generar un modelo de diseño aeroportuario de plataforma lineal (donde las aeronaves se disponen lado a lado) mediante la consideración conjunta de las dimensiones ambientales y operacionales en torno al concepto de capacidad. A tal efecto, se simuló distintos escenarios operativos de una plataforma lineal, empleando el software SIMMOD que se basa en la simulación de eventos discretos. Posteriormente, se analizó la relación entre la capacidad operacional, configuración de plataforma y nivel de emisiones, identificándose al indicador superficie de plataforma como un nexo válido para el análisis conjunto.

El resultado de este estudio es una representación gráfica del conjunto de variables, la cual sirve de modelo de interpretación de una tipología de plataforma, a partir de la cual es posible configurar distintas soluciones de infraestructura aeroportuaria, con un resultado de balance en capacidad operativa e impacto ambiental.

1. INTRODUCCIÓN

El estado del arte de las disciplinas de diseño aeroportuario reporta distintos casos en los que la capacidad del espacio aéreo es susceptible de optimización, a partir de contemplar la dimensión ambiental, la mezcla de aeronaves y la capacidad operacional en forma conjunta, como es el caso de estudio sobre el aeropuerto de Bologna [1]. Sin embargo, este tipo de estudios aún no se ha hecho extensivo a las componentes del área de movimientos del aeropuerto, vale decir el lado aeronáutico.

El objetivo general al cual contribuye este estudio es al desarrollo de una herramienta metodológica para la evaluación y análisis del sistema aeroportuario, considerando simultáneamente la dimensión operacional y ambiental. En particular esta última es considerada parcialmente, como punto de partida de análisis posteriores. Dado que los aeropuertos son sistemas complejos en los cuales participan un número de variables significativo, es habitual que los métodos presentes en la literatura se enfoquen sobre un aspecto en particular (operacional, ambiental, económico), y se analicen en forma parcial (por ejemplo, terminal, plataforma, calle de rodaje, pista, espacio aéreo) y desintegrada (estudiando la capacidad operativa o la ambiental). Las herramientas disponibles de simulación permiten analizar los sistemas aeroportuarios, pero de manera focalizada a una dimensión como es el caso de “Simulation Airfield and Airspace Simulation” SIMMOD o de “Aviation Environmental Design Tool” (AEDT).

2. DESARROLLO

El presente estudio consistió en tres etapas. La primera etapa incluyó el modelado del problema a través del software SIMMOD [2], el cual se utilizó para caracterizar la dimensión operacional. La construcción del modelo en SIMMOD implicó definir la configuración geométrica del aeropuerto, las características operativas de las aeronaves, y las reglas de operación y uso de la infraestructura. La segunda etapa consistió en identificar las variables ambientales que permitan establecer métodos de estimación de las relaciones de causalidad entre previsión de tráfico, operación e infraestructura en la generación de impacto ambiental. En la tercera etapa se integraron la dimensión operacional y ambiental, limitada a su etapa de construcción. Se las presentó en forma gráfica, y se identificaron sus relaciones. Este análisis permitió llevar a cabo el proceso de evaluación y toma de decisión en el análisis de una plataforma del tipo lineal.

2.1. Herramientas de análisis

En el análisis de la dimensión operacional se utilizó el software SIMMOD, que utiliza un modelo de simulación de eventos discretos el cual permite estudiar la dinámica del campo de vuelo, las rutas del espacio aéreo, las operaciones de taxeo, las secuencias de las colas de partida, entre otros eventos relacionados con la capacidad del sistema y la demora asociada a este. Este software permite cuantificar la demora en base a las reglas operacionales condicionales incluidas en el modelo, las cuales especifican las acciones a ser tomadas por la simulación en base al estado del sistema. La demora es computada como la diferencia entre el tiempo de entrada y el tiempo de salida de la cola de cada proceso que cada aeronave lleva a cabo.

En el análisis de la dimensión ambiental se empleó el software Airport Construction Emissions Inventory Tool (ACEIT) desarrollado en el marco del Airport Cooperative Research Program por el Transportation Research Board [3], el cual permite cuantificar las emisiones de las fuentes Nonroad, Onroad y Fugitivas generadas durante la etapa de construcción. Adicionalmente, se consideraron las emisiones asociadas a la fabricación del hormigón (principal insumo en la construcción de la plataforma) y las emisiones generadas durante la obtención de la materia prima, las cuales fueron estimadas a partir del factor de emisión publicado por [4, 5] el cual se basa en los lineamientos de inventario de emisiones publicados por [6].

2.2. Dimensiones de análisis

Dimensión Operacional

La principal variable operacional desde el punto de vista de la capacidad es la demora. Esta puede ser medida para cada subsistema y segregada en arribos y partidas. Para la consideración de distintas configuraciones de plataforma (número de puestos) se observó la demora promedio generada durante la franja horaria comprendida entre el primer arribo y la última partida.

Dimensión Ambiental

La dimensión ambiental puede ser analizada a partir de diferentes variables, por ejemplo, las emisiones de las aeronaves y/o vehículos de handling durante su operación, el impacto de la construcción de la infraestructura, la generación de efluentes durante las actividades aeroportuarias, entre otros.

En el caso del presente estudio, se propuso a la superficie en plataforma como indicador del impacto ambiental, dado que el aumento de superficie en plataforma conlleva un aumento en:

- el impacto de las actividades de construcción,
- la demanda de materias primas para la ejecución de obras,
- el volumen de actividades de mantenimiento,
- la distancia recorrida por las aeronaves,
- la dispersión y arrastre de efluentes en plataforma,
- la cantidad de vehículos de handling requeridos para las operaciones,
- la distancia recorrida por los vehículos.

En consecuencia, la superficie de plataforma es un indicador que admite el análisis comparativo de las distintas configuraciones de plataforma cuantificando, a partir de ella, la dimensión ambiental de modo indirecto. En el presente trabajo, sin embargo, aspectos como las emisiones producidas por la operación en la plataforma no fueron contempladas. Cuantificar las emisiones originadas por la operación de la plataforma requiere caracterizar un perfil de demanda diario y anual que permita el cálculo de la demora anual, y a partir de dicho indicador, cuantificar en forma relativa las emisiones producto de la operación durante todo el ciclo de vida de la infraestructura. Dicho nivel de análisis escapó al alcance del presente estudio. Como consecuencia, en el presente estudio se realizó una cuantificación parcial de las emisiones, el proceso que permitió establecer la magnitud de las emisiones asociadas a una plataforma determinada, se describe en la siguiente figura.

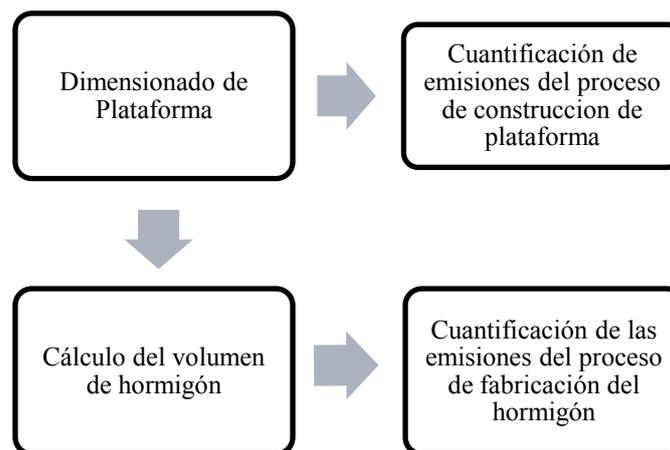


Figura 1: Procedimiento de estimación de emisiones (dimensión medioambiental)

2.3. Modelado del problema - dimensión operacional

Entradas

La información de partida utilizada en el modelo es: configuración esquemática del aeropuerto, tipos de aeronaves (categoría y modelo), programación del día de diseño, reglas operativas asociadas a los procedimientos de despegue-arribo y reglas de operación asignada al uso de la infraestructura. Cada uno de estos conjuntos de información se encuentra conformado por grupos de variables.

Esquema del aeropuerto

El objetivo de este estudio fue analizar focalizadamente una plataforma del tipo lineal como un sistema dependiente de los demás componentes de la infraestructura de la parte aeronáutica. A estos fines se definió un aeropuerto genérico en su totalidad, junto con las rutas de arribo y partida, para simular el comportamiento de la plataforma lineal incluida. Se adoptó una configuración de campo de vuelo de pista única con rodaje paralelo. Este rodaje paralelo sirve de ingreso y salida a los puestos de estacionamiento. La plataforma cuenta con un único punto de arribo y un único punto de partida. Por otro lado, el espacio aéreo se encuentra conformado por una ruta de arribo, una ruta de partida, y una ruta de escape en caso de aterrizaje abortado.

Los puestos de estacionamiento en plataforma se encuentran dispuestos lado a lado, siguiendo los lineamientos de diseño de la FAA [7] y OACI [8] considerando los puestos con solapado del área libre de objetos. Como consecuencia la separación entre los ejes de puesto estacionamiento corresponde a la aeronave crítica considerada, B737-800.

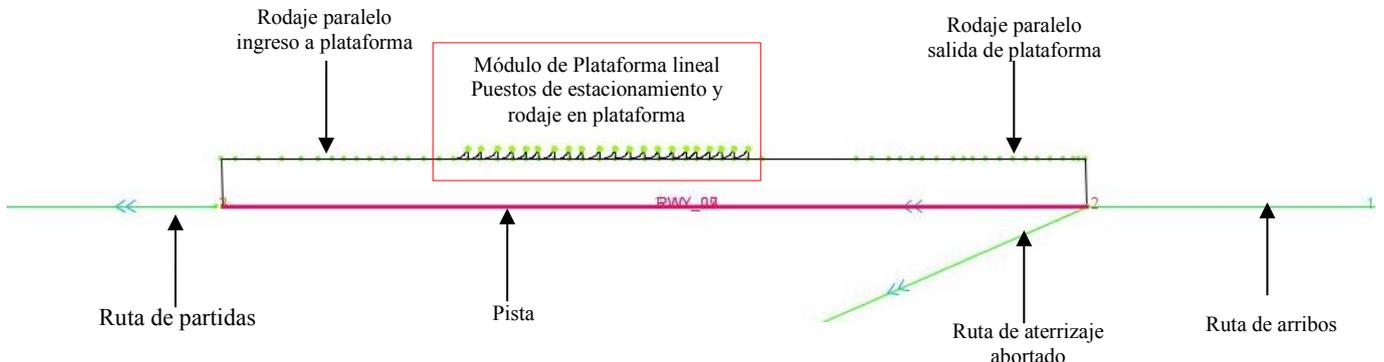


Figura 2: Representación esquemática del campo de vuelo en SIMMOD

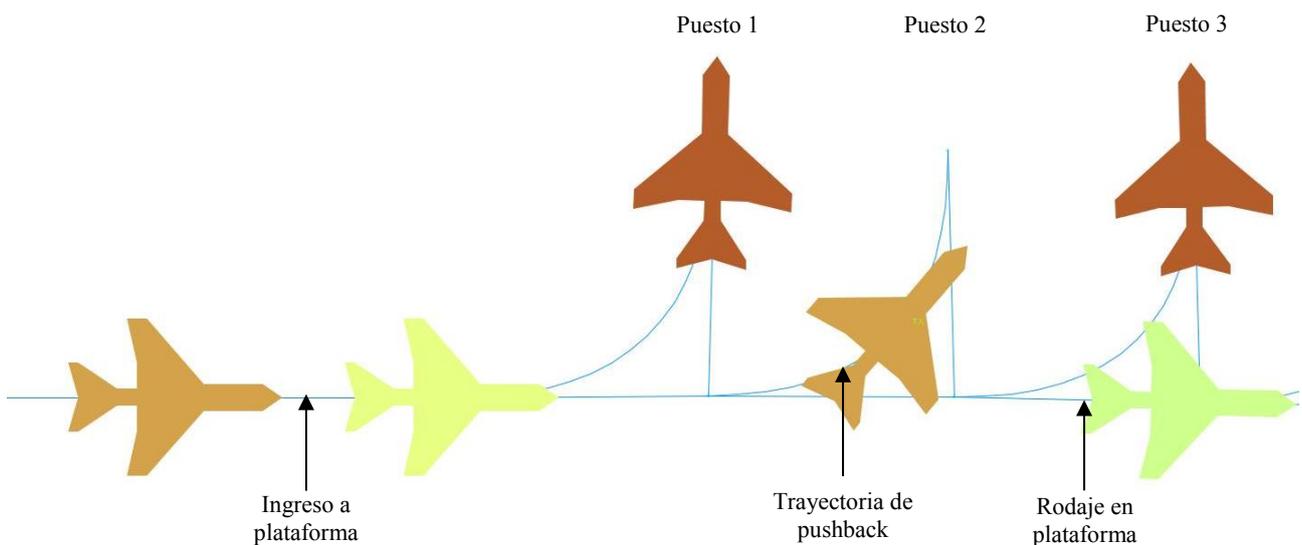


Figura 3: Representación esquemática del ingreso a plataforma en SIMMOD

Procedimientos

Entre las reglas operacionales incluidas en el modelo, se encuentran:

- ninguna aeronave puede despegar o aterrizar si la pista se encuentra activa (otra aeronave está usando la pista),
- el procedimiento de remolque en salida o pushback implica el remolque de la aeronave desde el puesto de estacionamiento hasta la calle de rodaje, donde la aeronave es alineada al eje de la calle de rodaje,
- las operaciones de rodaje, ingreso y salida del puesto de estacionamiento no pueden llevarse a cabo si en el puesto adyacente se está realizando la operación de pushback.

Reglas de separación

En el modelo las variables que determinan las separaciones entre aeronaves se definieron de modo tal que la distancia entre dos aeronaves nunca sea inferior a los 100 m, excepto para las aeronaves en los puestos de estacionamiento, donde la separación entre aeronaves en la plataforma esta determinadas por las dimensiones del

puesto. Las reglas de separación en aire se basan en los mínimos aceptables por los procedimientos de seguridad, asociados a la separación por estela turbulenta.

Velocidades operativas

Las velocidades de taxeo se fijaron para cada tipo de rodaje, asignando la velocidad de 30 km/h para los rodajes entre la pista y la calle de rodaje en plataforma, 10 km/h para el rodaje en plataforma, y 5 km/h para los rodajes de acceso a puesto y pushback.

Programación de vuelos

El desempeño de la infraestructura lado aeronáutico depende de las condiciones a la cual es sometida. Como consecuencia de las operaciones a las que sirve, se generan demoras en su uso, e impacto ambiental (de las operaciones) proporcional a dicha demanda. La programación de los vuelos de arribo se formuló en base a una planificación de tráfico establecida en la programación de vuelos con una tasa de arribo constante. La tasa de arribos correspondió a una aeronave cada 3 minutos, que equivale a una magnitud de movimientos de 40 operaciones por hora en una condición de operación estabilizada en donde la ocupación y desocupación de la plataforma opera de manera sostenida. Dicha demanda se mantuvo fija para todas las configuraciones de plataforma analizadas. El tiempo de servicio que corresponde a las plataformas es asignado aleatoriamente a cada vuelo, siguiendo una distribución de probabilidad cuyo valor esperado es de 60 min para la aeronave crítica, un Boeing 737-800, representación de una aeronave de categoría Large (Clasificación FAA).

En la siguiente figura, se observa un caso típico de distribución de las operaciones hora en la franja horaria simulada. La figura 4 presenta una distribución de operaciones que corresponde la demanda asociada a una infraestructura con 40 puestos en plataforma.

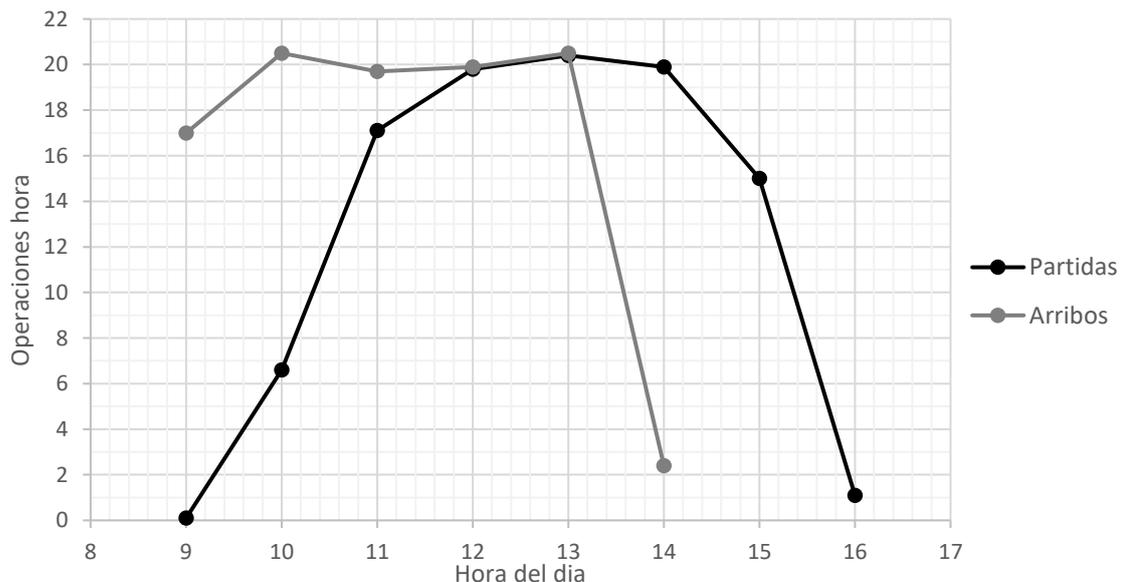


Figura 4: Perfil de operaciones hora

2.4. Definición de distribuciones de probabilidad

Los procesos de los sistemas de transporte aéreo están compuestos por fenómenos constituidos por cierto grado de aleatoriedad. Estos comportamientos se contemplan en el modelo utilizado a través de las distribuciones de probabilidades en tiempos de servicio y aparición de eventos discretos. En particular, las variables afectadas fueron el tiempo de retraso en arribos, el tiempo de servicio en plataforma, puesta en marcha de motores, y el tiempo del proceso pushback.

Siguiendo el orden mencionado, el tiempo de retraso en arribos es un parámetro asociado a cada vuelo. Éste desvío se puede interpretar como el conjunto de demoras generadas en procesos no modelados generadores de la dispersión. La herramienta de simulación permite introducir los retrasos con respecto al horario programado. Para ello se empleó la distribución que se presenta en la siguiente figura, la cual fue elaborada a partir del procesamiento

de los datos publicados por estudios de referencia [9] donde presenta un modelo analítico para simular la eficiencia de las operaciones turnaround en aeropuertos.

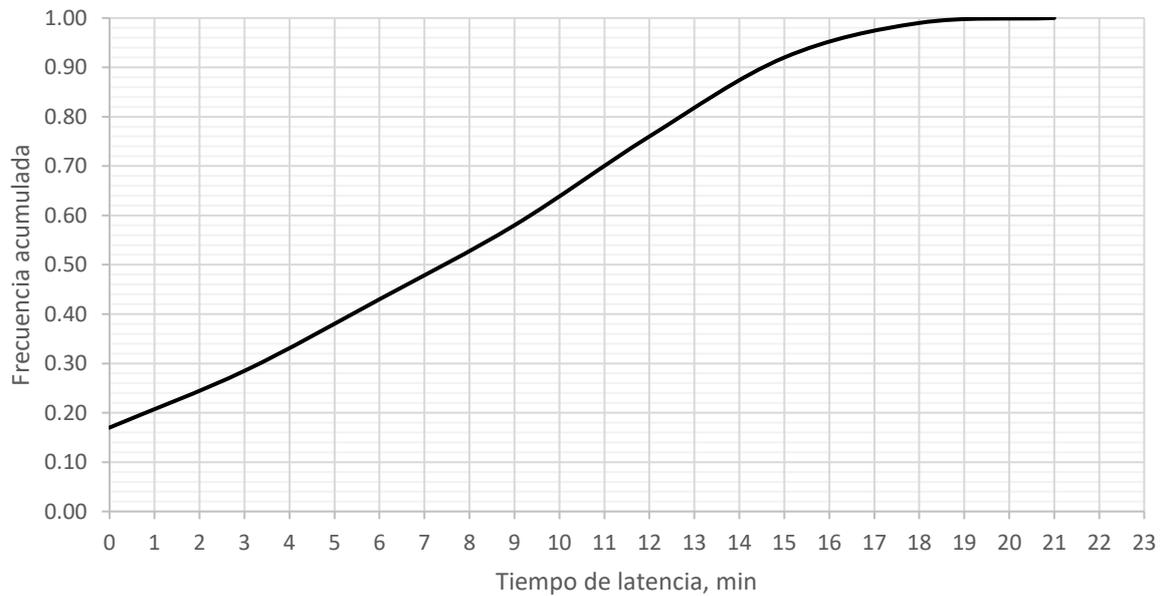


Figura 5: Distribución estadística del tiempo de latencia en arribos

El tiempo de servicio tiene asociada la distribución de probabilidad que se muestra en la siguiente figura, la cual es creada a través del procesamiento de los datos publicados por estudios como los de [10] en su estudio sobre el análisis de los Airline Service Quality Performance (ASQP). Están basados en los datos presentados por las líneas aéreas al Departamento de Transporte de los Estados Unidos. Dicha distribución toma en consideración el tiempo de servicio mínimo y máximo para cada clase de aeronave. El tiempo de servicio considera todos los servicios recibidos por la aeronave mientras esta permanece en el puesto de estacionamiento. Estos tiempos pueden presentar variaciones significativas con respecto a la distribución propuesta, ya que dicho tiempo depende del tipo de aeropuerto, aeronave, línea aérea y servicio.

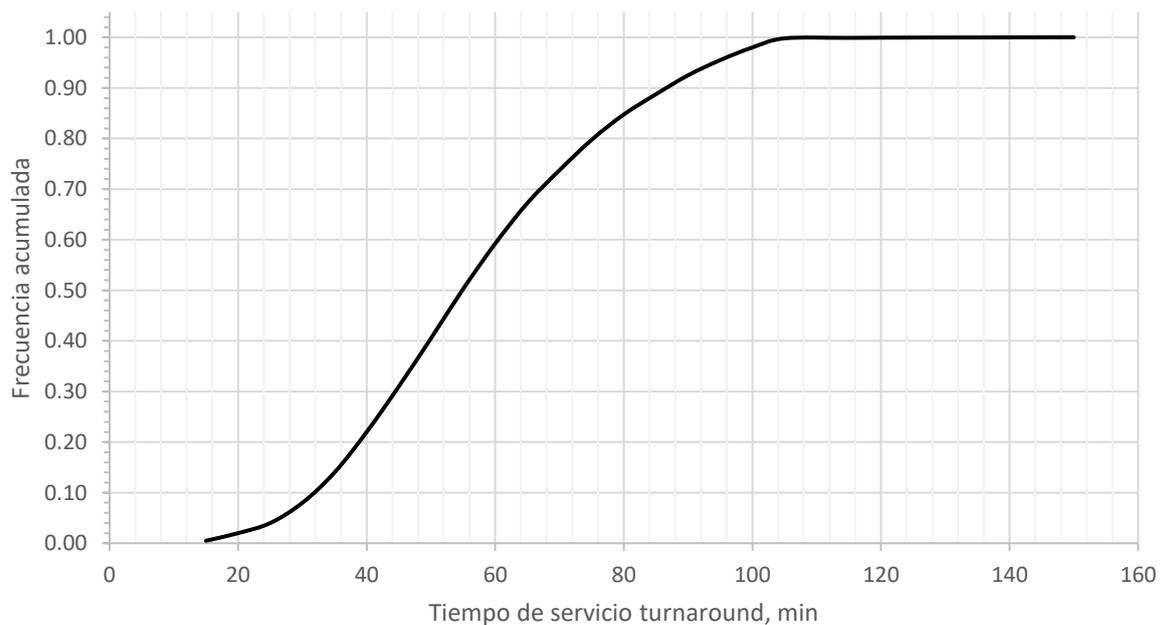


Figura 6: Distribución estadística del tiempo en plataforma

El procedimiento de pushback tiene asignada dos distribuciones de probabilidad, una asociada al procedimiento del posicionamiento y alineación de la aeronave en la calle de rodaje y la otra asociada a la puesta en marcha de los motores. La distribución fue construida a partir del procesamiento de los datos publicados por [11] donde presenta los resultados de tres días de medición de los tiempos de proceso de en el aeropuerto de Charlotte Douglas.

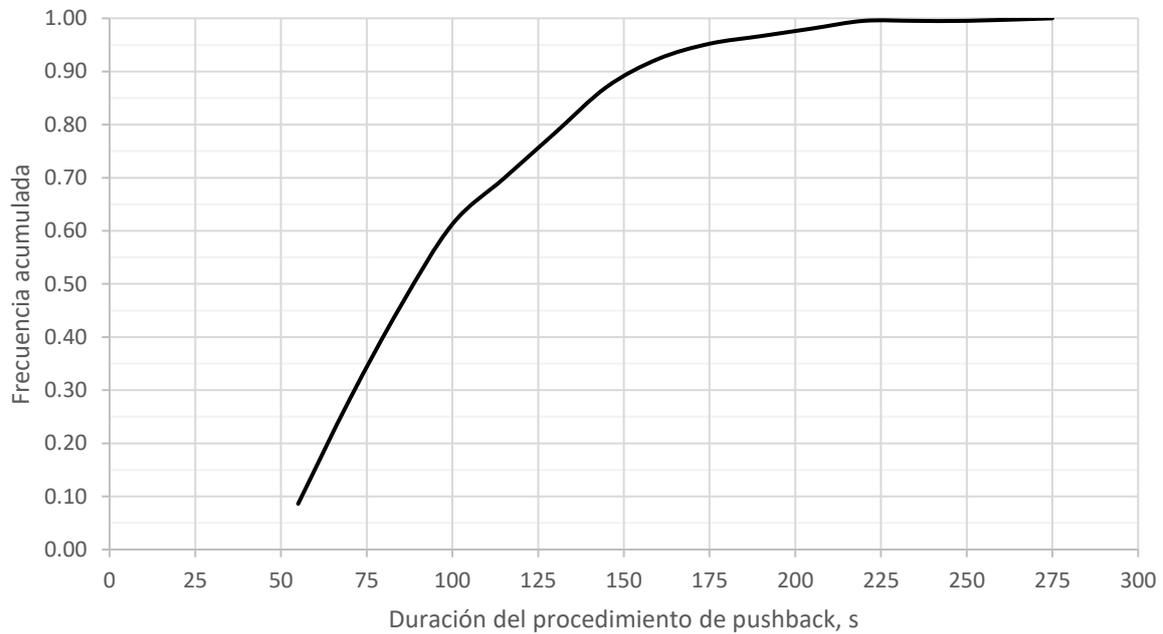


Figura 7: Distribución estadística de la duración del procedimiento de pushback

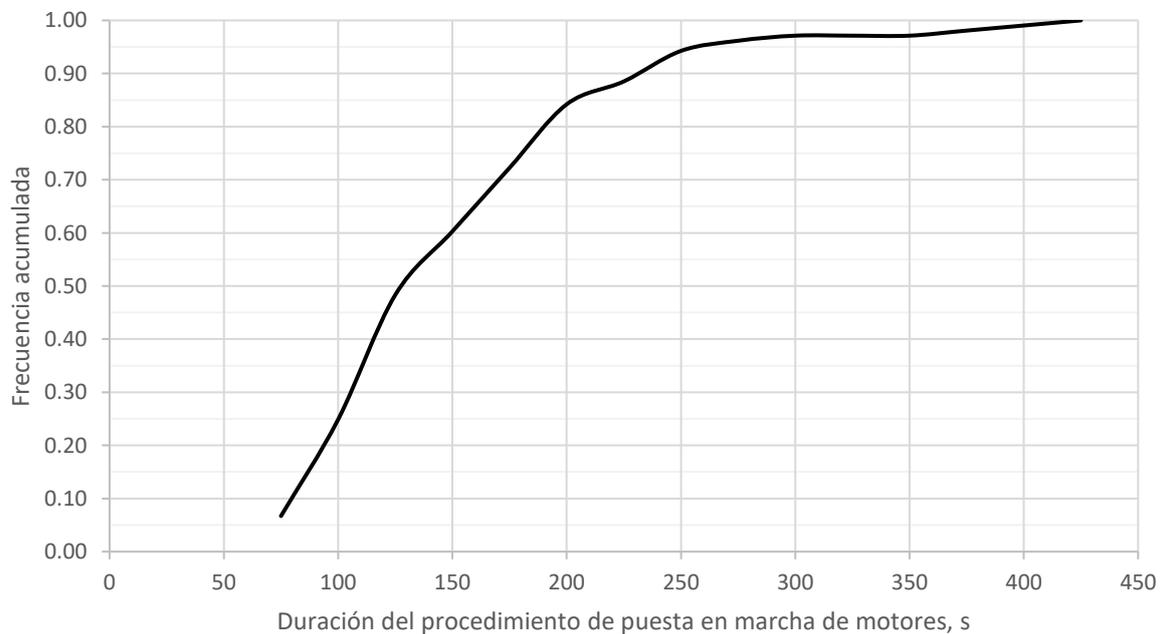


Figura 8: Distribución estadística de la duración del procedimiento de puesta en marcha de motores

2.5. Cálculo de la demora

Una vez definida la configuración básica del sistema, el cual contempla el esquema de aeropuerto (rutas, pistas, rodajes y puestos de estacionamiento), y las condiciones de contorno dadas por los procedimientos de uso de la infraestructura (desarrollada en base a patrones de operación representativos), las reglas de separación, las

velocidades operativas, la programación de los vuelos y las distribuciones de probabilidad, se simuló el sistema obteniéndose todas las salidas brindadas por el programa SIMMOD, de las cuales se relevó en forma particular las demoras del subsistema tierra. El cálculo de las configuraciones de plataforma restantes implicó generar puestos adicionales sobre el esquema del aeropuerto, midiendo los cambios marginales producidos en el sistema al agregarlos de a uno. Estos nuevos puestos de estacionamiento contaron con condiciones de contorno idénticas a la de la configuración inicial.

2.6. Modelado del problema - dimensión ambiental

Entradas

El software ACEIT define tres niveles de análisis para el cálculo de las emisiones del proyecto. Los niveles de análisis son clasificados en función de los datos mínimos requeridos para el ejecutar el programa, las características de estos niveles son:

- Nivel 1: Información mínima del proyecto (nombre del proyecto, duración de la obra, condiciones climáticas, actividades incluidas en la obra, costo y dimensión de la misma), en el primer nivel, el rendimiento de la mano de obra, equipamiento y materiales, se obtiene a través de factores estándar configurados por default en el programa, en este nivel las emisiones se limitan a las fuentes Onroad y Nonroad.
- Nivel 2: En este nivel, es posible modificar los datos de actividad y rendimiento de las actividades y equipamientos, con el objetivo de ajustar el cálculo a las particularidades del proyecto.
- Nivel 3: En este nivel se profundiza en el nivel de detalles con el objetivo de obtener una mayor exactitud en el cálculo de las emisiones fugitivas.

Dado que el presente estudio corresponde a un aeropuerto genérico, se realizó un análisis de Nivel 1, el cual requirió definir dos grupos de entradas, por un lado, las que se conservan fijas independientemente de la configuración de plataforma y, por otro lado, aquellas que depende de la configuración de plataforma.

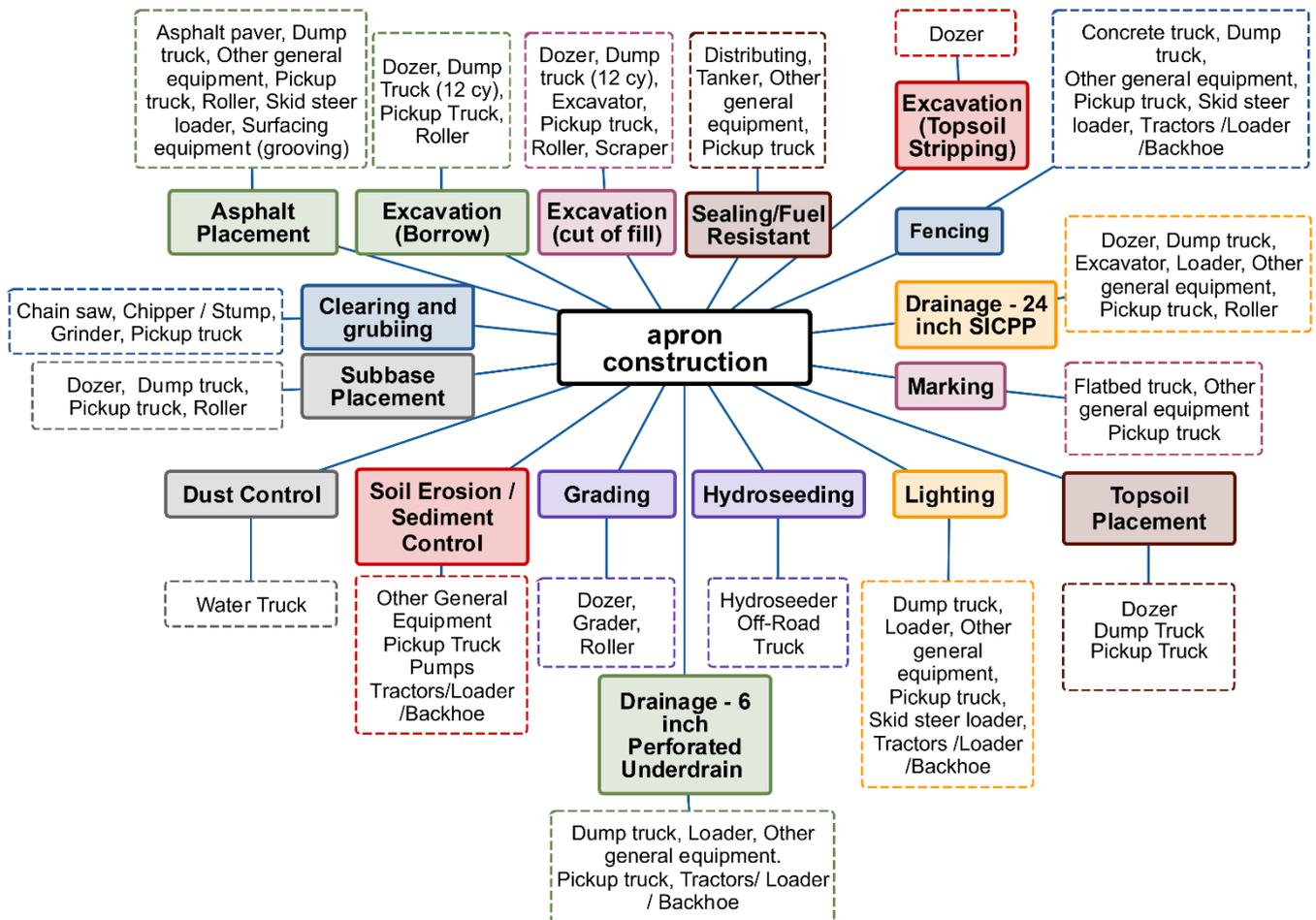


Figura 9: Construcción de plataforma: actividades y equipamiento por actividad, elaboración propia basada en [3]

Entradas independientes de la configuración de plataforma

Las entradas independientes incluyen como supuesto la duración de la obra, temporada de construcción, condiciones climáticas, actividades y equipamiento empleado, las cuales se encuentran definidas a continuación.

- Duración de la obra: 6 meses
- Temporada de las actividades de construcción: 50% invierno + 50% verano
- Temperatura diaria promedio en verano; mayor a 25°
- Temperatura diaria promedio en invierno: entre 10°C y 25°C

Actividades y equipamiento: En la figura 9 se presentan las actividades en el primer nivel y el equipamiento asociado a cada actividad en el segundo nivel, en todos los casos se asumió que el combustible empleado por los vehículos, corresponde a diésel.

Entradas dependientes del tipo de configuración

Las entradas como *dimensión de plataforma* y *costo del proyecto*, fueron variables definidas para cada tipo de configuración. En el caso de la variable *dimensión de plataforma*, se adoptó una relación lineal dada por:

$$y = 1600 n \quad (1)$$

Donde y es la *superficie de plataforma* a construir y está dada en m^2 , y n es el *número de puestos en plataforma*. En el caso de la variable costo del proyecto, se cuantifico a través de la siguiente expresión:

$$z = -0.0125 n^2 + 1.875n + 2.5 \quad (2)$$

donde z es el *costo del proyecto* expresado en millones de USD, y n es el *número de puestos en plataforma*.

Calculo de emisiones equivalentes del proceso de fabricación de materias primas

El cálculo de las emisiones de obtención de las materias primas, se consideraron las emisiones del hormigón, basándose en los lineamientos [6]. Para ello se empleó el factor de emisión publicado [5] correspondiente al hormigón tradicional, el cual equivale a 519 kg CO₂ emitido por m³ de hormigón. El cálculo del volumen de hormigón se basó en la siguiente expresión

$$V = e y \quad (3)$$

Donde y es la superficie de plataforma en m^2 , y e es el espesor del hormigón de la plataforma, el cual fue considerado igual a 0,35 m.

Emisiones equivalentes globales

La construcción de una plataforma de estacionamiento de aeronaves supone la incorporación de un sistema de infraestructuras mucho más complejo del modelado, en donde sería menester considerar el ciclo de vida de cada elemento, conjuntamente con las operaciones que posibilita. El modelo previsto incorpora una evaluación de primer orden asociado a su construcción, que es proporcional al número de puestos, y entonces a los metros cuadrados incorporados. En el caso de considerarse la operación de los vehículos de handling, se prevé que el nivel de emisiones aumente, conservando también un comportamiento lineal. En el caso de considerar la operación de las aeronaves se prevé que, si bien las emisiones totales presentaran un aumento, el comportamiento de la curva será dependiente de la demora en la utilización de la infraestructura, mostrando mínimos para demoras bajo el nivel de servicio límite propuesto (4 minutos). Por otro lado, las emisiones globales de la construcción de la plataforma deberían prorratearse en la vida útil de la infraestructura, que tendrá un límite temporal y un límite en cantidad de operaciones. Esta medida permitirá establecer el aporte contaminante de cada operación en plataforma.

3. RESULTADOS

La simulación de los diferentes escenarios permitió medir la demora en cada uno de los subsistemas del aeropuerto para el propósito de este estudio. Los índices de interés fueron las demoras en tierra (dimensión operacional) y las emisiones asociadas al desarrollo de plataforma (dimensión ambiental, limitada en este caso al impacto de la construcción), las cuales se presentan en la figura a continuación como función del número de puestos de estacionamiento. En la Figura 9 se presenta la demora por operación que se registra con una demanda constante, una operación cada 3 minutos, al aumentar la disponibilidad de puestos de estacionamiento. Concurren en la generación de la demora la asociación entre calle de rodaje, puestos de estacionamiento y procedimientos aplicados.

Es posible observar que a partir de los 30 puestos de estacionamiento de esta tipología de plataforma no se obtiene una reducción neta del tiempo de demora y se manifiestan fenómenos de otros órdenes.

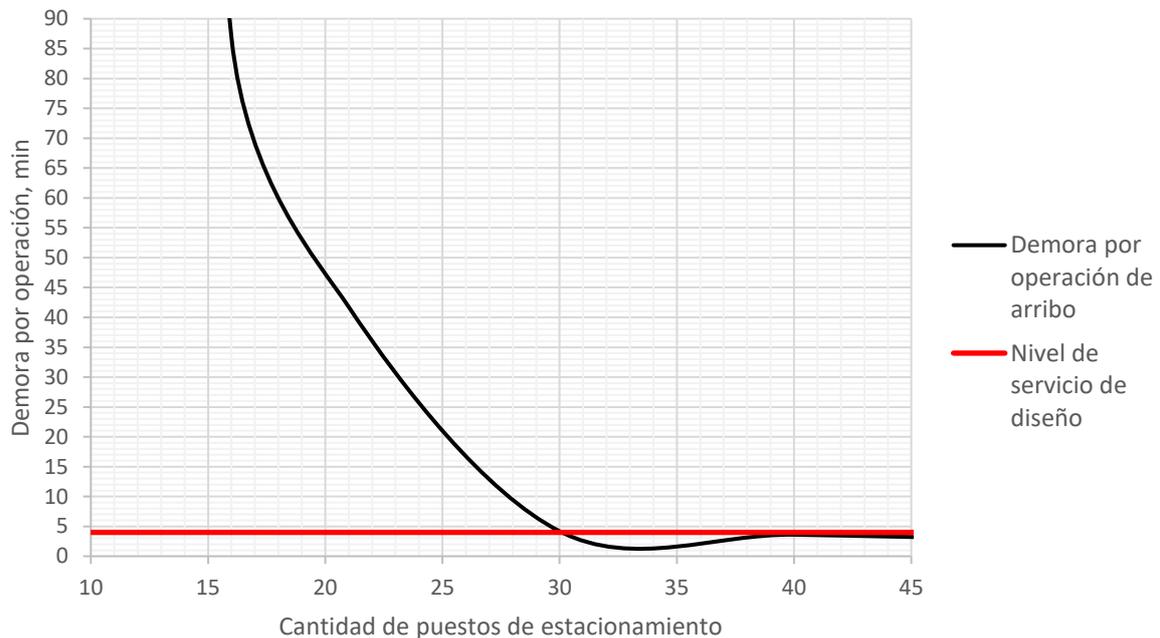


Figura 10: Relación entre el crecimiento de la plataforma y la demora promedio por aeronave.

En la Figura 11 se presenta el aumento de las emisiones de dióxido de carbono equivalentes a la construcción de la superficie de plataforma, mostrando un aumento lineal de este efluente equivalente con la cantidad de puestos.

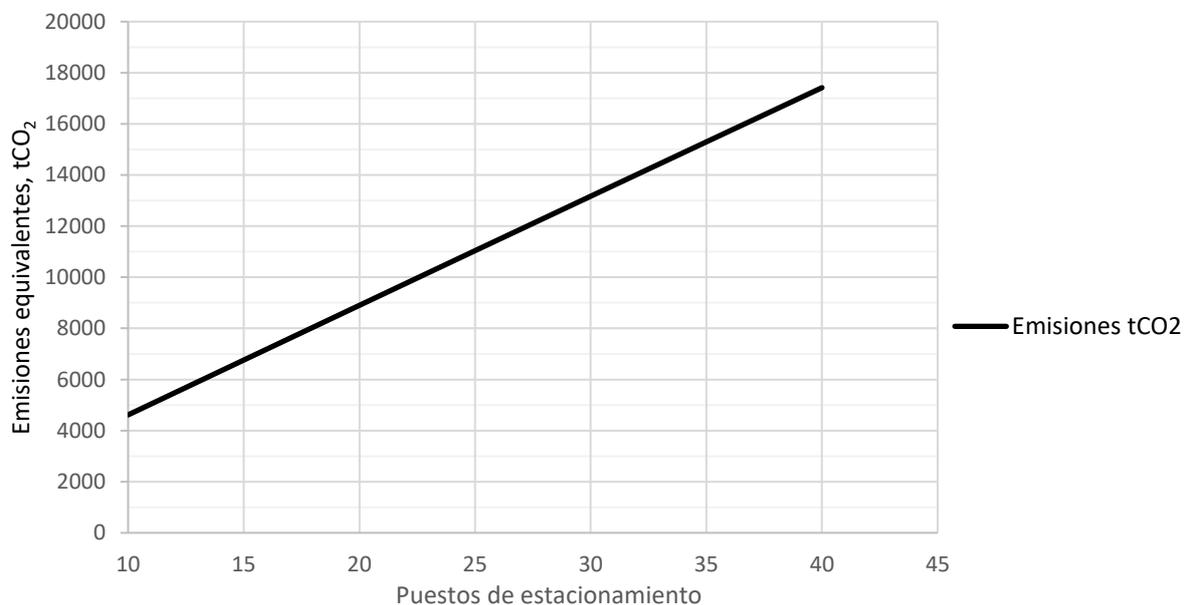


Figura 11: Relación entre el crecimiento de la plataforma y la emisión global total de dióxido de carbono equivalente.

La relación observada en las figuras 10 y 11, entre los indicadores de demoras y emisiones, sugiere que para la demanda sobre la zona de plataforma (una aeronave entrante cada 3 minutos) a partir de los 30 puestos de estacionamiento es conveniente incorporar una calle de salida de plataforma y limitar su ampliación a estas dimensiones. Este hecho surge de observar que, a partir del punto indicado, la incorporación de una mayor capacidad

en puestos de estacionamiento no genera una mejora sustancial en la demora, mientras que la generación de impacto ambiental sigue siendo proporcional.

En la figura que sigue se presentan tres intensidades diferentes de demanda a la cual es sometida el sistema de plataforma lineal. La denominada Intensidad I corresponde a una demanda de aeronaves entrantes a la plataforma cada 3 minutos, la Intensidad de demanda II corresponde 2,5 minutos y la intensidad de demanda III corresponde a 2 minutos de separación.

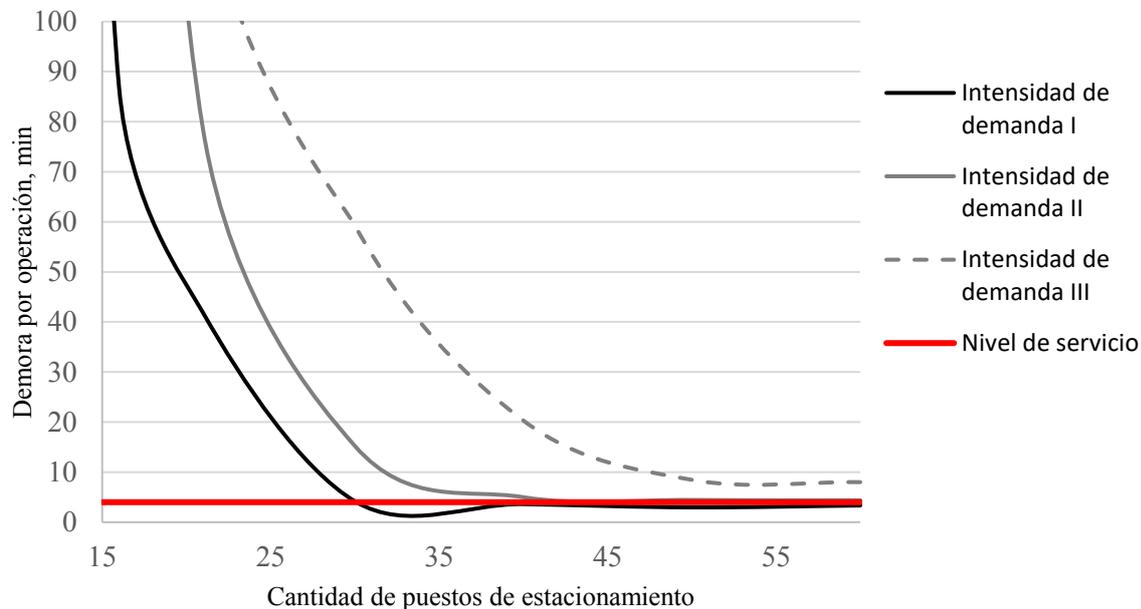


Figura 12: Relación entre cantidad de puesto de la plataforma y la demora promedio por aeronave para distintos niveles de intensidad de demanda. La línea roja corresponde a un nivel de servicio objetivo de 4 minutos de demora

Es posible observar que existe un patrón de comportamiento de la demora que genera el sistema para distintos niveles de demanda que indica que la mejora en la demora inducida que supone la incorporación de un nuevo puesto de estacionamiento, mejora marginal de la demora, pierde efectividad a partir de un nivel dado de puestos de estacionamiento.

4. CONCLUSIONES

Se puede decir como conclusión que, para cada patrón de demanda y configuración de plataforma, existe un límite de ampliación de puestos de estacionamiento. En particular es la dimensión ambiental la que inviabiliza el incorporar capacidad marginal a la plataforma. Vale decir que se evidencia la existencia de límites de ampliación para cada tipología de infraestructura de plataforma dependiente de su equilibrio implícito funcional (relación rodajes y puestos de estacionamiento) y la dimensión ambiental. El funcionamiento del sistema de distribución de demanda, rodaje de plataforma, introduce límites en la posibilidad de establecer canales de servicio, puestos de estacionamiento. La Figura 12 indica que es posible establecer un límite del orden de 30 puestos de estacionamientos bajo una misma calle de rodaje, puesto que el impacto ambiental mantiene su proporcionalidad con la superficie incorporada, pero la capacidad de reducir la demora frente a distintas condiciones de demanda pierde efectividad. Es necesario explorar un conjunto de condiciones de demanda y operación más amplia para determinar regularidades de este comportamiento, como también de comportamiento ambiental de las infraestructuras.

El análisis de los resultados permitió concluir que es posible encontrar un punto de diseño donde la dimensión ambiental y operacional se integren obteniéndose valores equilibrados de desempeño. Este punto de diseño presenta una fuerte dependencia de las características operacionales, dado que es susceptible a la distribución de los tiempos de servicio, retrasos generados en procesos previos al arribo, puesta en marcha de motores y procedimiento de pushback. Es posible establecer una metodología general de integración de variables operacionales y ambientales en torno al concepto de capacidad operativa, para evaluar la infraestructura aeroportuaria en general. El presente estudio representa un caso específico de ese cuerpo metodológico.

REFERENCIAS

- [1] N. Gualandi, L. Mantecchini, and D. Serrau, “Environmental Capacity and Sustainability of European Regional Airports: A Case Study,” *Conf. World Acad. Sci. Technol.*, vol. 2, pp. 783–788, 2008.
- [2] FAA, “Simmod Manual: How SIMMOD Works,” pp. 1–79.
- [3] T. R. Board, “ACRP REPORT 102 Guidance for Estimating Airport Construction Emissions,” 2013.
- [4] Asociación de Fabricantes de Cemento Portland, “Informe de Sostenibilidad 2011,” 2011.
- [5] I. C. Brunatti, “Hormigón y Pavimentos Consideraciones generales,” 2013.
- [6] EMEP and EEA, “Air pollutant emission inventory guidebook 2016,” 2016.
- [7] Federal Aviation Administration (FAA), “Advisory Circular: AC 150/5300-13A: Airport Design,” 2014.
- [8] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Anexo 14*. 2009.
- [9] C.-L. Wu and R. E. Caves, “Modelling and optimization of aircraft turnaround time at an airport,” *Transp. Plan. Technol.*, vol. 27, pp. 47–66, 2004.
- [10] L. Schaefer and T. Noam, “Aircraft Turnaround Times for Air Traffic Simulation Analyses,” *Transp. Res. Board*, 2003.
- [11] W. J. Coupe, D. Milutinovi, W. Malik, and Y. Jung, “A Data Driven Approach for Characterization of Ramp Area Push Back and Ramp-Taxi Processes,” *AIAA Aviat. Technol. Integr. Oper. Conf.*, no. June, pp. 1–15, 2016.