



**UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO**

**Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica**

**FINAL PROJECT REPORT**

**Análisis de la problemática para  
expresar la capacidad aeroportuaria:  
relación entre el volumen de tráfico aéreo  
por hora, el volumen de tráfico aéreo  
anual y la demora asociada en los  
principales aeropuertos españoles de la  
red de Aena**

**Edurne Bengoa Bernal**

**Curso 2022-2023**

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**Título:** Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos de la red de Aena

**Autor:** Eduarne Bengoa Bernal

**Tutor:** Álvaro Rodríguez Sanz

**Titulación:** Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

**Curso:** 2022-2023

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

*“What a life, what a night*

*What a beautiful, beautiful ride*

*Don't know where I'm in five but I'm young and alive...”*

*Scarlet Pleasure, 2020.*

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

## Agradecimientos

*La idea de este proyecto nació en Madrid y creció en Málaga. Durante el proceso, cambios y variables; como constantes, mi familia y amigos. Gracias por el amor y apoyo infinito.*

*Gracias a mi tutor, Álvaro Rodríguez Sanz, por aceptar acompañarme en la realización de este trabajo e inspirar el desarrollo del mismo gracias a su extenso conocimiento, disponibilidad y cercanía.*

*To be continued!*

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

## RESUMEN

La planificación aeroportuaria es esencial para el desarrollo de las infraestructuras aeroportuarias, cuyo objetivo es atender la demanda proyectada de manera segura y manteniendo altos estándares de calidad tanto en las infraestructuras como en los servicios básicos ofrecidos en ellas. De esta manera, se garantiza la continuidad en las operaciones aeroportuarias.

Para lograr una planificación precisa y un dimensionamiento de las instalaciones adecuado, se estudia qué volumen de pasajeros, aeronaves y carga deberá procesar la infraestructura aeroportuaria en una hora. Es necesario, pues, elaborar métodos y modelos que permitan relacionar el volumen de tráfico aéreo por hora y el volumen de tráfico aéreo anual ya que los cambios en la demanda de tráfico aéreo tanto a lo largo del año como, incluso, a lo largo de un mismo día hacen que la capacidad anual no sea una medida precisa de la capacidad de un aeropuerto. Todos comparten el objetivo común de optimizar la capacidad aeroportuaria, tratando de minimizar el impacto de la estacionalidad y evitando incurrir en dimensionamientos por encima o debajo de la demanda.

Este informe recoge los resultados de analizar el grado de adecuación de la metodología empleada por Aena para seleccionar una hora de diseño en los aeropuertos españoles de su red. El factor de estacionalidad es muy significativo en aquellos aeropuertos donde el tráfico es principalmente turístico.

Para el caso particular del Aeropuerto de Málaga, se añade, además, la componente de demora. A medida que la demanda se aproxima a la capacidad final, es probable que los retrasos de las aeronaves alcancen niveles intolerables. Por esta razón, es fundamental planificar adecuadamente la capacidad de un aeropuerto para poder atender la demanda de manera eficiente y evitar problemas de congestión.

**Palabras clave:** capacidad, demanda, demora, aeropuerto, tráfico aéreo, Aena.

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

## ABSTRACT

Airport planning is essential for the development of airport infrastructures, the objective of which is to meet the projected demand in a safe manner and maintain high quality standards both in the infrastructures and in the basic services offered therein. In this way, continuity in airport operations is guaranteed.

To achieve accurate planning and adequate sizing of the facilities, the volume of passengers, aircraft, and cargo that the airport infrastructure will have to process in an hour is studied. It is therefore necessary to develop methods and models to relate hourly air traffic volume and annual air traffic volume, since changes in air traffic demand both throughout the year and even within a single day mean that annual capacity is not an accurate measure of an airport's capacity. They all share the common goal of optimizing airport capacity, trying to minimize the impact of seasonality, and avoiding over- or under-sizing.

This report contains the results of analyzing the degree of adequacy of the methodology used by Aena to select a design time at the Spanish airports in its network. The seasonality factor is very significant in those airports where traffic is mainly tourist.

In the case of Malaga Airport, the delay component is also added. As demand approaches final capacity, aircraft delays are likely to reach intolerable levels. For this reason, it is essential to adequately plan the capacity of an airport to meet demand efficiently and avoid congestion problems.

**Key words:** capacity, demand, delay, airport, air traffic, Aena.

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

---

# Índice de contenidos

RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	11
1. Introducción .....	21
1.1 Justificación.....	22
1.2 Objetivos .....	24
1.3 Estructura .....	25
2. Estado del arte .....	29
2.1 Percentil 95.....	32
2.2 Hora de diseño de Aena .....	34
2.3 Demora.....	35
2.4 Aeropuerto de Málaga.....	38
3. Metodología .....	41
3.1 Tráfico en la hora de diseño y tráfico total anual .....	42
3.2 <i>Peak Service Rate</i> .....	42
3.3 Demora.....	43
4. Resultados .....	45
4.1 Tráfico en la hora de diseño y tráfico total anual .....	45
Tráfico de pasajeros .....	45
Tráfico de aeronaves .....	50
4.2 <i>Peak Service Rate</i> .....	55
4.3 Demora.....	56
5. Análisis de resultados.....	61
6. Conclusiones .....	67
7. Referencias.....	73
8. Apéndices.....	75

Apéndice A. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, 2004-2020 .....	75
Apéndice B. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, 2004-2020 .....	81
Apéndice C. Acrónimos .....	87

# Índice de figuras

<b>Figura 2.1.</b> Relación entre el tráfico horario y el tráfico en la hora pico anual, Aeropuerto de Málaga, año 2021 .....	30
<b>Figura 2.2.</b> Variación mensual de las operaciones de aeronaves, Aeropuerto de Málaga, año 2021.....	31
<b>Figura 2.3.</b> Número de horas con más de 5 operaciones/hora – ratio operaciones hora punta/percentil 95, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021 .....	33
<b>Figura 2.4.</b> Cálculo de la capacidad a partir de la demora media y la demanda .....	36
<b>Figura 2.5.</b> Demora media por vuelo y sus causas, Europa, Q2 2022 [7] .....	37
<b>Figura 2.6.</b> Aeropuerto de Málaga-Costa del Sol.....	38
<b>Figura 2.7.</b> Plano de aeródromo-OACI del Aeropuerto de Málaga-Costa del Sol [10] .....	39
<b>Figura 2.8.</b> Características físicas de las pistas del Aeropuerto de Málaga-Costa del Sol [10] .	40
<b>Figura 4.1.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2021 .....	45
<b>Figura 4.2.</b> Pasajeros totales anuales frente al ratio PHd/PTc, año 2021 .....	46
<b>Figura 4.3.</b> Pasajeros totales comerciales frente a pasajeros en la hora de diseño, año 2021 ....	47
<b>Figura 4.4.</b> Relación potencial entre pasajeros totales comerciales y pasajeros en la hora de diseño, año 2021.....	47
<b>Figura 4.5.</b> Relación porcentual entre las aeronaves de la hora de diseño y las operaciones totales anuales, año 2021 .....	50
<b>Figura 4.6.</b> Operaciones totales anuales frente al ratio AHd/ATc, año 2021 .....	51
<b>Figura 4.7.</b> Operaciones totales comerciales frente a aeronaves en la hora de diseño, año 2021 .....	52
<b>Figura 4.8.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las operaciones totales comerciales, año 2021 .....	52
<b>Figura 4.9.</b> Relación entre las operaciones totales anuales y el ratio PSR-AHd, año 2021 .....	55
<b>Figura 4.10.</b> Relación entre las operaciones totales anuales y el ratio PSR-ATc, año 2021 .....	56
<b>Figura 4.11.</b> Operaciones totales anuales y aeronaves en la hora pico, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021 .....	57
<b>Figura 4.12.</b> Aeronaves en la hora de diseño y aeronaves en la hora pico, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021 .....	57
<b>Figura 4.13.</b> Aeronaves en la hora pico y demora media por vuelo, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021 .....	58

---

<b>Figura 4.14.</b> Operaciones totales anuales y demora media por vuelo, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021 .....	58
<b>Figura 6.1.</b> Regresión lineal de los costes de demora, en la puerta de embarque y en el aire en función de los asientos disponibles [19].....	68
<b>Figura 6.2.</b> Distribución de los costes marginales medios de las aeronaves de fuselaje estrecho asociados a la demora [19].....	69
<b>Figura 6.3.</b> Distribución de los costes marginales medios de las aeronaves de fuselaje asociados a la demora [19] .....	70
<b>Figura 8.1.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2004.....	75
<b>Figura 8.2.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2005 .....	75
<b>Figura 8.3.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2006.....	75
<b>Figura 8.4.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2007 .....	76
<b>Figura 8.5.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2008.....	76
<b>Figura 8.6.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2009.....	76
<b>Figura 8.7.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2010.....	77
<b>Figura 8.8.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2011 .....	77
<b>Figura 8.9.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2012.....	77
<b>Figura 8.10.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2013.....	78
<b>Figura 8.11.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2014.....	78
<b>Figura 8.12.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2015.....	78
<b>Figura 8.13.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2016.....	79

<b>Figura 8.14.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2017.....	79
<b>Figura 8.15.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2018.....	79
<b>Figura 8.16.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2019.....	80
<b>Figura 8.17.</b> Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2020.....	80
<b>Figura 8.18.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2004.....	81
<b>Figura 8.19.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2005.....	81
<b>Figura 8.20.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2006.....	81
<b>Figura 8.21.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2007.....	82
<b>Figura 8.22.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2008.....	82
<b>Figura 8.23.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2009.....	82
<b>Figura 8.24.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2010.....	83
<b>Figura 8.25.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2011.....	83
<b>Figura 8.26.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2012.....	83
<b>Figura 8.27.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2013.....	84
<b>Figura 8.28.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2014.....	84
<b>Figura 8.29.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2015.....	84
<b>Figura 8.30.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2016.....	85

<b>Figura 8.31.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2017.....	85
<b>Figura 8.32.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2018.....	85
<b>Figura 8.33.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2019.....	86
<b>Figura 8.34.</b> Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2020.....	86

# Índice de tablas

<b>Tabla 2.1.</b> Operaciones mensuales, Aeropuerto de Málaga, año 2021.....	32
<b>Tabla 2.2.</b> Número de operaciones anuales, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021 .....	33
<b>Tabla 3.1.</b> Listado de aeropuertos seleccionados para el estudio, pasajeros y operaciones anuales, año 2021. ....	41
<b>Tabla 3.2.</b> Aeropuertos coordinados de España .....	43
<b>Tabla 4.1.</b> Estimación de pasajeros en la hora de diseño para 2022.....	48
<b>Tabla 4.2.</b> Estimación de pasajeros en la hora de diseño para 2026.....	49
<b>Tabla 4.3.</b> Estimación de aeronaves en la hora de diseño para 2022 .....	53
<b>Tabla 4.4.</b> Estimación de aeronaves en la hora de diseño para 2026 .....	54

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

# 1. Introducción

El estudio del tráfico horario es imprescindible a la hora de realizar la planificación de un aeropuerto y dimensionar las distintas instalaciones dedicadas al tratamiento de los pasajeros, aeronaves y mercancías que hacen uso de él (superficies del aeropuerto, puestos de estacionamiento de aeronaves, accesos, aparcamiento de vehículos, etc.) con el fin de definir una capacidad para estas instalaciones. La medición de la capacidad se realiza correctamente considerando periodos de tiempo cortos, es decir, no superior a una o dos horas. Sin embargo, el tráfico horario se estima a partir de las previsiones de tráfico aéreo, que, generalmente, suelen expresarse en volúmenes anuales.

Para lograr una planificación detallada y un dimensionamiento de las instalaciones adecuado, se mantiene la capacidad horaria, ya que las variaciones estacionales y diarias del tráfico hacen que la capacidad anual no sea un valor representativo. De hecho, las limitaciones de capacidad de los grandes aeropuertos se producen principalmente en las horas punta de tráfico, mientras que las horas nocturnas, los domingos, algunos días festivos y otros periodos de baja demanda de tráfico en los que, valga la redundancia, suelen haber baja demanda de tráfico, se podría decir que la capacidad está sobreestimada. En resumen, hablar de un periodo medio, como es la capacidad anual, no sería característico en cuanto a la situación de la capacidad en un aeropuerto. La unidad de tiempo, por tanto, para medir la capacidad debe definirse de forma que permita una utilización continua de la pista para la demanda de operaciones de aeronaves.

De acuerdo con diversas previsiones del sector, se espera que el tráfico de pasajeros crezca a un ritmo anual de alrededor del 4% [1], en el mismo orden de magnitud que el crecimiento previsto para el tráfico de carga, estimado en un 5%. Así pues, los aeropuertos han de adaptar su capacidad con el fin de absorber el crecimiento previsto de la demanda y planificar, o redimensionar, nuevos componentes del sistema como pistas, accesos en tierra, terminales e instalaciones del lado aire.

La demanda y los movimientos de vuelo se prevén normalmente sobre una base anual, mientras que la capacidad, como medida del verdadero rendimiento del sistema, se calcula o estima, como se ha indicado anteriormente, para un periodo de tiempo reducido, normalmente una hora o incluso periodos más restringidos. Es necesario, pues, establecer una metodología que permita realizar esta conversión.

## 1.1 Justificación

Surge entonces una cuestión fundamental en planificación aeroportuaria: ¿Cómo comparar la capacidad horaria con el volumen de tráfico futuro?

Existen diferentes líneas de pensamiento en la determinación del volumen horario pertinente, dado el volumen de tráfico anual previsto, que dan respuesta a esta pregunta. Resulta interesante analizar y aplicar a la muestra de datos objeto de este estudio las diversas metodologías empleadas históricamente.

En este proyecto se analizan los aeropuertos españoles de la red de Aena. Aena SME, S.A. es una sociedad mercantil estatal que gestiona 46 aeropuertos y dos helipuertos en España y, a través de su filial Aena Internacional, participa también en la gestión de 16 aeropuertos en distintos países en Europa y América, entre ellos el Aeropuerto de Londres-Luton, del que posee el 51% del capital [3].

En este contexto, dado el alcance geográfico del trabajo, centrado en España, resulta imprescindible aludir al Documento de Regulación Aeroportuaria (DORA). El Documento de Regulación Aeroportuaria es un documento técnico que establece las condiciones de explotación de los aeropuertos españoles. Es aprobado por el Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana y tiene una vigencia de cinco años.

El DORA 2022-2026 es la última versión del documento y establece las condiciones para la explotación de los aeropuertos españoles durante ese período de tiempo. El DORA incluye información sobre el uso del espacio aéreo, el tráfico aéreo, la seguridad y la protección del medio ambiente en los aeropuertos españoles. También establece las tarifas y tasas que deben pagar los usuarios de los aeropuertos y las obligaciones de los operadores aeroportuarios en materia de servicios y calidad.

Se trata de un documento sustancial para la industria aeronáutica española, ya que establece las normas y regulaciones que deben seguirse en los aeropuertos del país. Es una herramienta esencial para garantizar la seguridad y eficiencia del tráfico aéreo en España y para proteger el medio ambiente.

Los datos de partida del proyecto son:

- Registros históricos de los pasajeros en la hora de diseño (PHd) y las aeronaves en la hora de diseño (AHd) en el periodo 2001-2021 de la red de aeropuertos españoles de la red de Aena.

Se compone de los valores definidos por Aena para los parámetros pasajeros en la hora de diseño, pasajeros en la hora de diseño en llegadas (PHd\_LL), pasajeros en la hora de diseño en salidas (PHd\_SS), aeronaves en la hora de diseño, aeronaves en la hora de diseño en llegadas (AHd\_LL) y aeronaves en la hora de diseño en salidas (AHd\_SS).

Para PHd corresponden al valor más restrictivo entre el correspondiente a la hora nº30, o el Nivel de Calidad de Diseño (NCD) de 97,75%. Para AHd corresponden al valor de las puntas comerciales eliminando valores atípicos, generalmente, valores de puntas aisladas.

- Datos de tráfico anual 2004-2021 de la red de aeropuertos españoles de la red de Aena.

Se compone de los datos definitivos registrados de tráfico de pasajeros, operaciones y carga en los aeropuertos españoles de la red de Aena. Los pasajeros totales comerciales se nombran con el acrónimo PTc, mientras que las operaciones totales comerciales, u aeronaves totales comerciales, se denominan con el acrónimo ATc.

- Datos de previsión de *peak service rate* (PSR) 2004-2021 de los aeropuertos españoles coordinados de la red de Aena.

Se compone de los valores de previsión del parámetro PSR en los aeropuertos españoles coordinados de la red de Aena. *Peak service rate* se define como el percentil 99% de las operaciones de aeronaves del año, por hora flotante cada cinco minutos, en el periodo de mayor actividad, de 7:00 a 23:00 LT.

- Archivos de demora 2004-2021 del Aeropuerto de Málaga.

Se compone del desglose de las operaciones registradas en el aeropuerto, a partir del cual se calcula la demora como la diferencia entre la hora de operación real y la hora de operación programada.

Generalmente, el modus operandi se basa en estimación de la capacidad a futuro, a partir de prognosis de tráfico, pero no se realiza el ejercicio en sentido inverso. Es decir, para un periodo

de tiempo definido, ya pasado, analizar la capacidad horaria estimada con anterioridad a dicha fecha con los valores reales de tráfico registrados.

El cruce de datos de diseño, los registros de tráfico anual con los valores de demora permiten examinar el grado de aplicación y efectividad de la metodología en cuestión sobre la muestra de datos.

## 1.2 Objetivos

El objetivo, y motivación en la realización de este trabajo podría resumirse en el estudio de la relación entre el volumen de tráfico aéreo anual y el volumen de tráfico aéreo por hora. El resultado final perceptible es la definición de un valor de capacidad, sin embargo, el proceso para obtenerlo requiere la consideración de múltiples aspectos y factores.

Existen varios factores que pueden influir en la capacidad aeroportuaria, es decir, en la cantidad de vuelos y pasajeros que un aeropuerto puede manejar en un determinado período de tiempo. A grandes rasgos, algunos de estos factores son:

- Infraestructura aeroportuaria: la capacidad de un aeropuerto está limitada por la infraestructura disponible, como pistas de aterrizaje, plataformas de estacionamiento de aviones, terminales de pasajeros y sistemas de control de tránsito aéreo (ATC).
- Tráfico aéreo: el propio tráfico aéreo en un aeropuerto puede afectar a su capacidad. Por ejemplo, si hay muchos vuelos programados en un corto período de tiempo, puede haber congestión en el espacio aéreo y en la infraestructura del aeropuerto. A su vez, en función de las dependencias de control de tránsito aéreo existentes, se podrá establecer una mayor o menor capacidad.
- Regulaciones y políticas: las regulaciones y políticas de aviación, como el DORA en España, repercute en la capacidad aeroportuaria al establecer límites en el tráfico aéreo y en el uso de la infraestructura.
- Demanda de pasajeros: la demanda de pasajeros también repercute en la capacidad aeroportuaria. Si hay un aumento en la demanda de vuelos, existe una mayor presión en la infraestructura del aeropuerto para satisfacer esa demanda.
- Medio ambiente: las consideraciones medioambientales, como los límites de ruido y las restricciones de emisiones de gases de efecto invernadero, pueden afectar a la capacidad aeroportuaria al limitar el número de vuelos permitidos.

- Personal: la disponibilidad de personal cualificado, como controladores de tráfico aéreo y trabajadores del aeropuerto, influyen en la capacidad aeroportuaria. Si hay una falta de personal cualificado, como ocurre con las huelgas, puede haber retrasos y congestión en el aeropuerto.

Se trata, pues, de una tarea de estudio que permite ampliar el conocimiento en diferentes divisiones de la rama de aeropuertos, donde se pone de manifiesto, una vez más, la compleja red que es el sector aeronáutico, donde participan numerosas partes.

De forma más precisa, el objetivo determinado de este trabajo podría dividirse en tres sólidos subobjetivos:

- Análisis de diferentes líneas de pensamiento desarrolladas históricamente y la metodología empleada por Aena para determinar la capacidad horaria.
- Aplicación de metodologías identificadas anteriormente sobre la muestra de datos, comparación de dichos resultados con los valores declarados por Aena y análisis de los datos de partida con un nuevo enfoque.
- Relación entre la demora y el grado de utilización de la capacidad en el Aeropuerto de Málaga.

### **1.3 Estructura**

La estructura del documento va ligada a los objetivos descritos anteriormente: una primera parte, *Capítulo 2*, en la que se describe el estado del arte en cuanto a metodologías para relacionar la demanda anual con la capacidad horaria. Conocer las líneas de pensamiento que se han desarrollado en los últimos años permite comprender mejor cómo se organizan y gestionan los aeropuertos, y, por supuesto, resulta imprescindible para incorporar mejoras o proponer alternativas a la metodología actual. Se diferencian dos enfoques: por un lado, el percentil 95, empleado extensamente en planificación aeroportuaria, y, la hora de diseño de Aena, bien sea considerando pasajeros o aeronaves. El último punto de este apartado es relativo al Aeropuerto de Málaga. Dado que, en capítulos posteriores se analiza la demora en dicho aeropuerto, es importante comprender la situación y operativa de éste.

A continuación, en el *Capítulo 3*, se explica la metodología seguida en el estudio de los datos cuyos resultados se muestran, posteriormente, en el *Capítulo 4*. En él, se analizan los datos disponibles siguiendo los enfoques descritos en el *Capítulo 2* a la vez que se proponen nuevas

formas de relacionar los parámetros. Se diferencian tres puntos en el capítulo. En primer lugar, se estudian propiamente el tráfico anual y el tráfico horario empleando los datos de PHd, PTc, AHd, ATc. Gracias a la observación de la tendencia de los valores mencionados, se proponen unas estimaciones a futuro para 2022 y 2026 a partir de los datos de volumen de pasajeros y volumen de operaciones previstos en el DORA. A pesar de que el año 2022 ya está finalizando, resulta interesante realizar la estimación ya que se puede comprobar, con los datos publicados hasta la fecha, el grado de coincidencia entre las estimaciones y los valores reales.

Seguidamente, se introduce un nuevo parámetro, el PSR, disponible únicamente para los aeropuertos coordinados. Nuevamente, se analiza la relación entre los parámetros PSR, PHd, PTc, AHd y ATc.

Por último, reduciendo el alcance al Aeropuerto de Málaga, se estudia la demora registrada en relación con los parámetros mencionados, PSR, PHd, PTc, AHd y ATc. Este punto constituye la novedad respecto a la literatura existente en esta línea de investigación pues, hasta el momento, no existen estudios sólidos que estudien la relación demora-capacidad.

En el último capítulo del informe, *Capítulo 5*, se valoran dichos resultados, a modo de conclusión y se proponen posibles mejoras y acciones futuras con el fin de optimizar la capacidad. En este punto, y de forma extensible al resto del documento, la pandemia del COVID-19 tiene un importante papel.

Desde 2020, el volumen de tráfico aéreo se ha visto menguado, así como las pronosis de tráfico, que han adoptado un punto de vista más conservativo. Se aprecian, pues, dos periodos diferenciados: un primer periodo desde 2004 hasta 2019, con una tendencia continua de crecimiento y un segundo periodo, realmente, constituido solo por 2021, en el que ya se aprecia la recuperación del sector aeronáutico, aún sin llegar a los niveles pre pandemia.

El sector aeronáutico, especialmente el área de aeropuertos, es muy sensible a la coyuntura internacional. Tanto la planificación y diseño, como la posterior explotación, están ligadas a factores externos. Un aumento o disminución en la demanda de viajes, debido, por ejemplo, a un evento deportivo, exige incrementar la capacidad de los aeropuertos afectados. El precio de combustible también es determinante. La volatilidad de este puede llevar a las aerolíneas a cambiar su política de almacenamiento y repostaje, generando la necesidad de nuevas instalaciones en aquellos aeropuertos donde tengan su hub.

El clima y el medio ambiente pueden tener un impacto significativo en la operación de un aeropuerto. Por ejemplo, el mal tiempo puede afectar la disponibilidad de pistas y retrasar los vuelos. Además, el cambio climático puede requerir cambios en la infraestructura del aeropuerto para protegerlo de eventos climáticos extremos, como inundaciones o sequías.

Las regulaciones gubernamentales, como las leyes de seguridad y medioambientales, los cambios en el mercado... En resumen, los eventos externos pueden tener un gran impacto en la planificación y diseño de aeropuertos y en su posterior explotación. Es importante tener en cuenta estos factores al planificar y operar un aeropuerto para minimizar los riesgos y garantizar una operación eficiente y segura.

En este trabajo se pone de manifiesto esta vulnerabilidad en numerosas ocasiones, remarcando y explicando la razón de los mismos.

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

## 2. Estado del arte

El término capacidad se refiere a la capacidad de una instalación para gestionar personas, mercancías, vehículos, etc. El criterio para definir la capacidad difiere si se considera una instalación para el tratamiento de pasajeros o de aeronaves. Una terminal no se diseña para el número máximo de pasajeros en la hora pico, ya que es una concentración puntual. Se opta por buscar un volumen de pasajeros sostenido. En cambio, para el campo de vuelos, generalmente, la capacidad coincide con el número máximo de vehículos que pueden pasar por la instalación en un periodo de tiempo determinado en condiciones específicas, cumpliendo en todo momento con los estándares establecidos de seguridad, funcionamiento, ocupación y demás aspectos claves en la operativa de un aeropuerto [4].

Históricamente, se han desarrollado cuatro líneas de pensamiento relativas al cálculo de capacidad de pistas:

- Enfoques empíricos (*benchmarking*).
- Modelos de teorías de colas.
- Enfoques analíticos.
- Modelos de simulación.

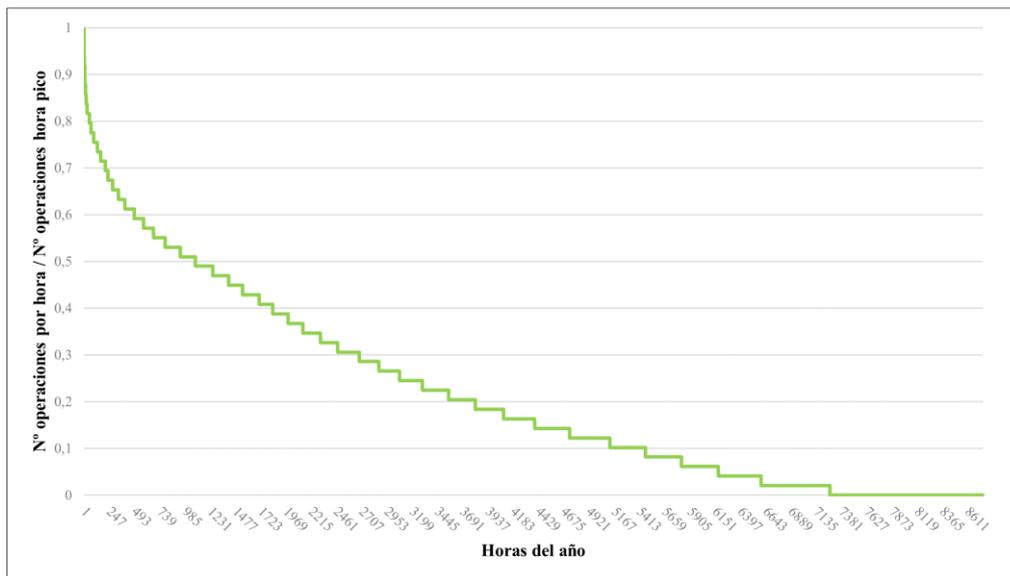
Los modelos de simulación representarían el planteamiento más completo. Los movimientos de las aeronaves se simulan en el espacio y el tiempo, de acuerdo con las normas de operación vigentes. La simulación proporciona registros de movimiento, además de la demora asociada, y otras características para las secciones críticas del aeropuerto [2].

Para comparar el tráfico anual con la capacidad horaria, es necesario escoger una hora de referencia y, posteriormente, estimar el volumen de tráfico en esta hora a partir de la demanda anual prevista.

Se trata de buscar un valor horario con el que compatibilizar, por un lado, la capacidad operativa de las instalaciones, y, por otro lado, unas necesidades de tratamiento del tráfico a cubrir, es decir, la demanda, manteniendo el estándar de calidad establecido y en el rango de costes asociado admisible.

Como se ha comentado anteriormente, una hora con un volumen de tráfico medio no sería representativo del tráfico real del aeropuerto. Normalmente, se utiliza una hora punta porque la infraestructura debe ser capaz de gestionar el tráfico en situaciones de alta demanda, que se producen con regularidad. No obstante, no se debe escoger estrictamente la hora de mayor tráfico del año. Dimensionar un aeropuerto para este valor supondría un “lujo” en lo que a instalaciones aeroportuarias para el tratamiento de pasajeros se refiere, pues significaría que de las 8.760 horas operativas disponibles en un aeropuerto abierto 24 horas al día, un total de 8.759 horas el aeropuerto estaría siendo utilizado por debajo de su capacidad.

La *Figura 2.1* muestra la relación entre el volumen de aeronaves en cada hora del año, en este caso 2021, y el volumen de la hora pico de ese año. La parte izquierda de la curva presenta una pendiente pronunciada, hasta, aproximadamente, 500 horas, cuando el tráfico es mayor. Posteriormente, la curva se estabiliza, aunque decrece de manera sostenida. Esta parte representaría el tráfico habitual del aeropuerto, donde se optimiza la utilización de la capacidad.



**Figura 2.1.** Relación entre el tráfico horario y el tráfico en la hora pico anual, Aeropuerto de Málaga, año 2021

Se conocen varios métodos que distintas organizaciones internacionales aeronáuticas utilizan para determinar dicha hora diseño, entre los que se pueden destacar como más comunes los siguientes:

- La 30ª hora punta, la hora con el 30º volumen de tráfico más alto del año.
- La 40ª hora punta, la hora con el 40º volumen de tráfico más alto del año.
- La media de las 50 horas más ocupadas del año.

- El 95% de la hora punta del año, hora con un volumen de tráfico que se alcanza o se supera en el 5% de todas las horas operativas del año de planificación, es decir, los volúmenes de tráfico por hora del año se clasifican en orden descendente y se elige el percentil 95.
- Un % determinado de su tráfico anual, dependiendo del volumen de éste.

El tráfico en los aeropuertos fluctúa entre el día y la noche, siendo superior en horario diurno. A su vez, también existe una variación estacional. Normalmente, los meses de verano se caracterizan por unos niveles de demanda elevados, mientras que de noviembre a marzo el tráfico es relativamente bajo.

En la *Figura 2.2* se constata la existencia de esta fluctuación estacional en el Aeropuerto de Málaga en 2021. Es el aeropuerto más importante de Andalucía, cuarto a nivel nacional en cuanto a volumen de pasajeros, y la principal puerta de entrada y salida del turismo de la Costa del Sol y también de Andalucía [5]. La actividad turística, fuente principal de ingresos del aeropuerto, hace que la variación estacional sea muy marcada, concentrándose en los meses de verano.

La *Tabla 2.1* muestra los datos mensuales del número de operaciones en el Aeropuerto de Málaga, representados en la *Figura 2.2*. Los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, concentran el 53% del tráfico anual del aeropuerto. El mes pico de tráfico de aeronaves, agosto, representa el 14% del tráfico anual. En cambio, febrero, mes con menos tráfico de 2021, supone únicamente un 2%.



**Figura 2.2.** Variación mensual de las operaciones de aeronaves, Aeropuerto de Málaga, año 2021

Mes	Nº Operaciones
Enero	2.895
Febrero	2.195
Marzo	3.015
Abril	3.593
Mayo	5.318
Junio	7.917
Julio	11.801
Agosto	13.034
Septiembre	12.097
Octubre	12.756
Noviembre	8.900
Diciembre	8.726

**Tabla 2.1.** Operaciones mensuales, Aeropuerto de Málaga, año 2021

Independientemente del volumen de tráfico del aeropuerto o de la importancia de este, existe una diferencia significativa entre el tráfico en situaciones de baja demanda, como la noche, y en situaciones de máxima demanda. Este fenómeno demuestra que seleccionar la capacidad anual como valor de referencia para la planificación aeroportuaria no sería adecuado, pues tiene en cuenta registros atípicos debido a eventos y situaciones puntuales.

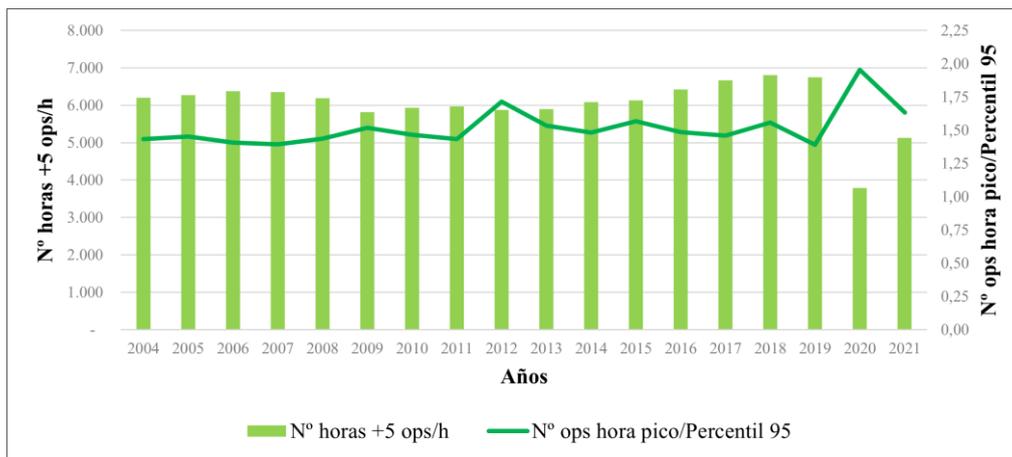
## 2.1 Percentil 95

El estudio publicado en el artículo titulado “*New empirical evidence on airport capacity utilisation: Relationships between hourly and annual air traffic volumes*” [2], elabora un modelo en el que emplea la hora punta del 5%. En él, se evidencian dos hechos que, a priori, podrían parecer contradictorios: cuanto mayor es el número de movimientos de aeronaves al año, mayor es el volumen del 5% de la hora punta; en cambio, cuanto mayor es el número de horas con más de cinco movimientos de aeronaves por hora, menor será el tráfico del 5% en hora punta.

Dicho estudio considera los aeropuertos que presentan más de 70.000 operaciones de aeronaves anuales. A medida que aumenta el número de horas de funcionamiento sin restricciones en un aeropuerto, aumenta la flexibilidad en la programación de operaciones ya que se dispone de mayor capacidad, y, como consecuencia, disminuye la carga máxima. Así, se reduce el valor del 5% del volumen de la hora punta. Para estos aeropuertos, el número de horas con más de cinco movimientos de aeronaves por hora tiene un efecto negativo en el volumen del 5% de la hora punta. Si, por el contrario, nos fijamos en los aeropuertos pequeños, que cuentan con amplias reservas de capacidad, la relación entre el número de horas con más de cinco movimientos de aeronaves por hora y el volumen del 5% de la hora punta se invierte, debido a un bajo nivel de utilización de la capacidad.

Finalmente, concluyen que la hora punta del 5%, que se sitúa entre la 330ª y la 440ª hora operativa del año, es una hora punta típica, porque el tráfico es menos volátil entre las horas vecinas que en las horas que preceden a la hora punta del 5%.

La *Figura 2.3* muestra el número de horas con más de 5 operaciones por hora desde 2004 a 2021, en el Aeropuerto de Málaga. Sobre las columnas, se representa el ratio entre el valor de las operaciones en hora punta y el percentil 95 de cada año.



**Figura 2.3.** Número de horas con más de 5 operaciones/hora – ratio operaciones hora punta/percentil 95, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021

A continuación, en la *Tabla 2.2*, se muestran el número de operaciones anuales en el periodo 2004-2021 en el Aeropuerto de Málaga, para facilitar la interpretación de la *Figura 2.3*.

Año	Nº Operaciones
2004	116.047
2005	123.959
2006	127.776
2007	129.698
2008	119.821
2009	103.539
2010	105.634
2011	107.397
2012	102.162
2013	102.362
2014	108.261
2015	108.909
2016	123.715
2017	137.178
2018	141.352
2019	144.939
2020	59.670
2021	92.248

**Tabla 2.2.** Número de operaciones anuales, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021

A medida que disminuye el número de horas con más de 5 operaciones por hora, aumenta el ratio descrito. Esto se debe al fenómeno comentado antes, fruto del estudio del artículo también mencionado previamente [2], un aumento del número de horas con más de 5 operaciones por hora significa que el tráfico se distribuye con mayor uniformidad y, por tanto, disminuye el valor de los movimientos en la hora pico, aproximándose más al valor del percentil 95. Se observa, pues, una relación inversa entre el número de horas con más de 5 operaciones por hora y el ratio entre el valor de las operaciones en hora punta y el percentil 95 de cada año.

Destaca el año 2020, que presenta un máximo en el ratio. Dicho año, el tráfico aéreo mundial experimentó una caída debido a la pandemia del COVID-19. A medida que el virus se extendió por todo el mundo a principios de 2020, muchos países comenzaron a implementar medidas de cuarentena y cierre de fronteras para frenar la propagación del virus. Esto tuvo como resultado una disminución significativa en el número de vuelos comerciales y una gran reducción en la demanda de viajes aéreos. Previo al cierre, prácticamente total, de las operaciones comerciales, en el Aeropuerto de Málaga, la hora pico se registró el 16 de febrero a las 11h, con 43 operaciones, un valor usual. En cambio, el percentil 95 de las operaciones anuales es mucho menor, pues, desde marzo de 2020, el tráfico aéreo quedó suspendido, razón por la cual crece el ratio entre el valor de las operaciones en hora punta y el percentil 95 de cada año.

## 2.2 Hora de diseño de Aena

Aena emplea otro método para elegir la hora de referencia de diseño, diferenciando este factor ya sea para estimar pasajeros o aeronaves.

La diferencia entre ambos criterios radica en el procesamiento dispar para cada uno de los flujos. Una instalación dedicada al tratamiento de pasajeros permite procesar puntualmente demandas superiores a su capacidad, aunque la calidad del servicio se vea mermada, reduciendo el espacio medio asignado a cada pasajero o aumentando los tiempos de espera en colas. Para el caso de las aeronaves no sería físicamente posible destinar menor espacio de estacionamiento a las aeronaves en caso de querer atender una demanda superior a su capacidad de plataforma.

Para el estudio del tráfico de pasajeros en la hora de diseño, la metodología que proponen se basa en el establecimiento inicial de un nivel denominado Nivel de Calidad de Diseño. Con este proceso de diseño se propone partir de un nivel de calidad mínimo a ofrecer, el mismo para todos los aeropuertos para, posteriormente, determinar, con qué valor hora diseño habría que dimensionar para cumplir con dicho criterio de calidad. En concreto este Nivel de Calidad de Diseño estaría definido por el valor horario con el que se acumula el 97,75% del tráfico anual en el aeropuerto. Para aquellos aeropuertos en los que se acumule el 97.75% del tráfico anual para

un valor horario superior a la hora 30ª de mayor tráfico, se escoge ésta como hora diseño. En consecuencia, en los aeropuertos donde se produce esta circunstancia, la hora diseño considerada, hora 30ª, acumula un % del tráfico anual superior al Nivel de Calidad de Diseño anteriormente mencionado [6].

El criterio empleado se resume así: *la hora de diseño para el tráfico de pasajeros se define como aquella cuyo volumen de tráfico corresponda a un Nivel de Calidad de Diseño del 97,75% o la hora 30ª, si el valor correspondiente al NCD establecido se produjera para una hora superior a la 30ª* [6].

En cuanto al estudio del tráfico de aeronaves en la hora de diseño, se considera adecuado determinar un Nivel de Calidad de Diseño de forma que se pueda atender la demanda máxima de tráfico horario comercial, excluyendo los valores atípicos en caso de que se detecten, consultando directamente con los aeropuertos sobre posibles incidencias, eventos, etc.

En resumen, se empleará como criterio para la selección de la hora de diseño del tráfico de aeronaves: *La hora de diseño para el tráfico de aeronaves se define como aquella en la que se produce la máxima concentración de tráfico comercial, excluyendo aquellos valores atípicos no representativos del funcionamiento del aeropuerto* [6].

Todas las metodologías descritas podrían mejorarse y ajustar los resultados si se relacionaran los volúmenes de las horas punta con factores que describan la calidad de las operaciones de tráfico. A medida que el tráfico se aproxima a la capacidad, los retrasos de los movimientos de aeronaves aumentan. Los valores declarados sobre el grado de utilización de la capacidad serían más significativos si los datos sobre el volumen pudieran relacionarse con los datos sobre los retrasos, de modo que los umbrales establecidos para demoras en las operaciones de las aeronaves determinarían el nivel de las restricciones que podrían seguir siendo toleradas o no.

En este trabajo continúa esta línea de investigación para el Aeropuerto de Málaga, analizando las relaciones entre los valores de diseño y la demora registrada.

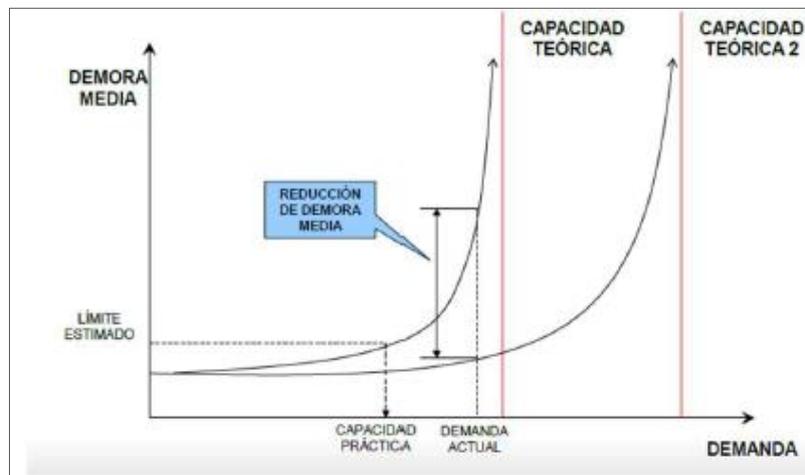
### **2.3 Demora**

A grandes rasgos, en la previsión a largo plazo, hay que cuantificar la futura demanda de pasajeros y carga, y los movimientos de aeronaves para una situación de capacidad sin restricciones. Es decir, hay que determinar la capacidad futura y comparar dicha capacidad con el volumen de operaciones de aeronaves estimado en una hora punta preestablecida.

A medida que la demanda se aproxima a la capacidad final, es probable que los retrasos de las aeronaves alcancen niveles intolerables. Este hecho se verifica con los resultados obtenidos, como se explica con mayor detalle en el *Capítulo 4* y *Capítulo 5*.

Capacidad final se define como el número máximo sostenido de operaciones, durante un intervalo específico de tiempo cuando existe una demanda continua de servicio. También se denomina capacidad de saturación.

La *Figura 2.4* muestra la gráfica de relación entre la demora media por vuelo y la demanda. Entrando en ella con el valor de demora media admisible, en el eje de ordenadas, se traza una horizontal hasta alcanzar la curva, la coordenada X de ese punto será la capacidad práctica.

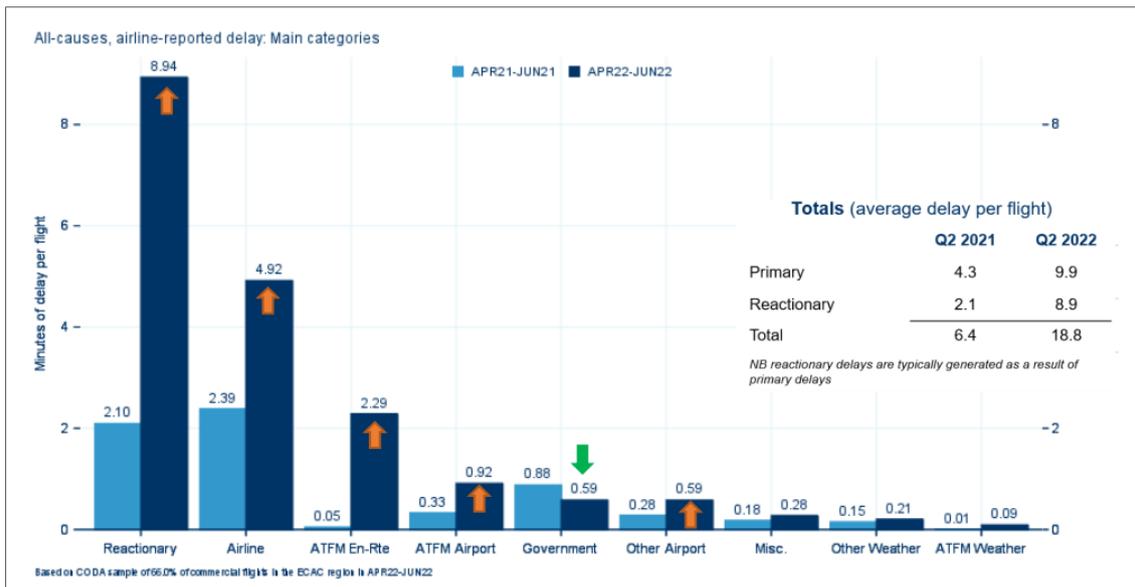


**Figura 2.4.** Cálculo de la capacidad a partir de la demora media y la demanda

Se definen a continuación los términos de capacidad que aparecen en la *Figura 2.4*:

- Capacidad práctica: número máximo de operaciones durante un intervalo específico de tiempo sin que se produzcan demoras medias por encima de un nivel tolerable.
- Capacidad teórica: número máximo de operaciones, durante un intervalo específico de tiempo que es capaz de procesar un sistema según criterio.

Desafortunadamente, un correcto diseño no es garantía de reducción de la demora ya que esta se debe a múltiples razones, siendo la demora por reacción, debida a vuelos anteriores, la principal causa, seguida de la propia aerolínea, de acuerdo con el documento *CODA Digest Q2 2022* [7]. En la *Figura 2.5* se muestra un gráfico con las diferentes causas de la demora en Europa y su representación sobre el total. También compara los valores de Q2 de 2022 con los de Q2 de 2021.



**Figura 2.5.** Demora media por vuelo y sus causas, Europa, Q2 2022 [7]

Según IATA, existen doce categorías de causas de demoras: ocho relacionadas con la aerolínea, una debida a la meteorología adversa, otra, consecuencia de restricciones de gestión del flujo de tráfico aéreo (ATFM), una asociada aeropuerto y/o autoridades y una última reaccionaria.

Dentro de las demoras de la aerolínea, estas pueden deberse a problemas con el avión, con la tripulación, con los pasajeros, con la carga, con el catering, con el combustible, con huelgas propias, etc.

Las demoras relacionadas con meteorología adversa prevista con antelación son aquellas que impiden las operaciones con normalidad.

Las demoras asociadas al aeropuerto o autoridades se dan cuando el espacio físico o las normativas legales impiden asumir más operaciones.

Las demoras consecuencia de la gestión del flujo de tráfico aéreo están divididas entre los aeropuertos y los sectores aéreos de los centros de control y pueden deberse a falta de capacidad, falta de controladores aéreos, meteorología adversa imprevista, problemas técnicos, acciones sindicales/industriales, etc.

Las demoras llevan asociada un coste, generalmente para la aerolínea, no favorable. Por tanto, el estudio de la demora es esencial para optimizar la operación aeroportuaria desde la fase de planificación. En el estudio realizado objeto de este informe se analizan los parámetros de diseño en relación con la demora registrada en el Aeropuerto de Málaga. Por ello, antes de presentar los resultados, es necesario contextualizarnos conociendo la situación del aeropuerto.

## 2.4 Aeropuerto de Málaga

El Aeropuerto de Málaga, denominado oficialmente Aeropuerto Internacional de Málaga-Costa del Sol, es un aeropuerto público propiedad de la sociedad AENA S.M.E. S.A, situado a 8 km al sudoeste de la ciudad de Málaga. Pertenece al Grupo II de acuerdo con la clasificación DORA 2022-26 [8], ocupando el cuarto puesto a nivel nacional en cuanto a volumen de pasajeros. La Figura 2.6 es una imagen del Aeropuerto de Málaga tomada con *Google Earth*.



**Figura 2.6.** Aeropuerto de Málaga-Costa del Sol

La clasificación de este es la siguiente:

- Tipo: Aeropuerto civil.
- Clase: Internacional.
- Categoría OACI: 4-E.
- Categoría administrativa: 1<sup>a</sup>.

El aeropuerto está declarado como de utilización conjunta civil-militar, según el Real Decreto 1167/1995, de 7 de julio, sobre régimen de uso de los aeródromos utilizados conjuntamente por una base aérea y un aeropuerto, así como de las bases aéreas abiertas al tráfico civil.

El indicativo del aeropuerto es LEMG según OACI y AGP según IATA, y su horario de servicio es H-24. Sus aeropuertos alternativos son Sevilla, Granada y Madrid, de los que él también es alternativo, además de los aeropuertos de Almería, Córdoba y Jerez [9].



Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduardo Bengoa Bernal

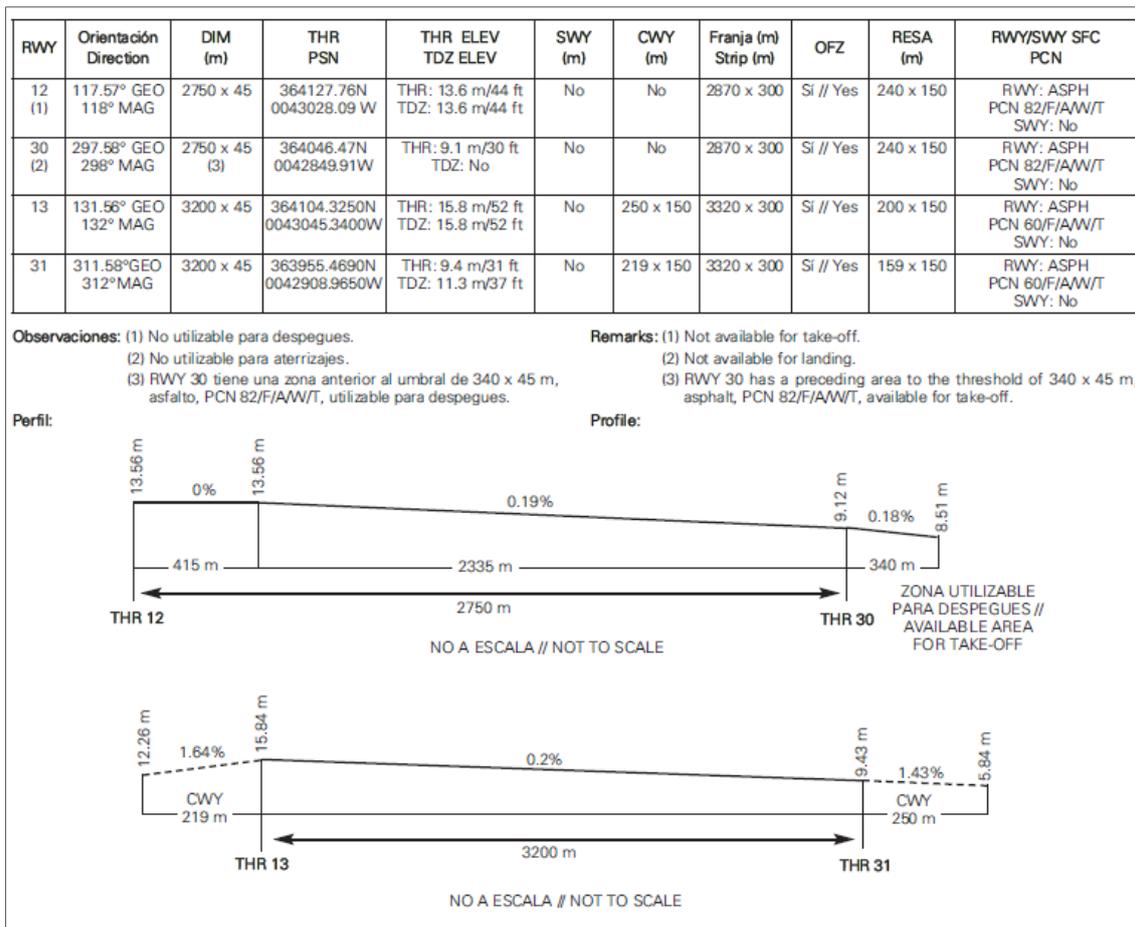


Figura 2.8. Características físicas de las pistas del Aeropuerto de Málaga-Costa del Sol [10]

### 3. Metodología

La muestra de datos disponible para este estudio comprende todos los aeropuertos españoles de la red de Aena. Sin embargo, no se analizan todos, bien porque su volumen de pasajeros u operaciones es pequeño y no representativo, o porque su operativa se basa principalmente en transporte de carga.

Por tanto, se han considerado aquellos cuyo volumen de pasajeros anuales para 2022 se estima superior a 600.000, de acuerdo con el DORA 2022-26 [8].

En la *Tabla 3.1* se muestran los aeropuertos analizados y el volumen de pasajeros y operaciones registrados en 2021. Los aeropuertos se muestran organizados en grupos de acuerdo con la clasificación indicada en el documento DORA 2022-26 [8].

Grupo	Aeropuerto	Pasajeros 2021	Operaciones 2021
<b>GRUPO I</b>	Adolfo Suárez Madrid-Barajas	24.135.039	217.539
	Josep Tarradellas Barcelona-El Prat	18.875.461	163.682
<b>GRUPO II</b>	Palma de Mallorca	14.497.159	141.197
	Málaga-Costa del Sol	8.874.635	92.248
	Alicante-Elche Miguel Hernández	5.841.144	51.505
	Gran Canaria	6.899.523	83.983
	Tenerife Sur	4.606.911	41.770
	Ibiza	4.851.941	61.612
	César Manrique Lanzarote	3.438.219	38.740
<b>GRUPO III</b>	Valencia	4.078.485	49.631
	Sevilla	3.444.465	43.841
	Fuerteventura	3.114.105	33.598
	Bilbao	2.581.064	26.429
	Tenerife Norte-Ciudad de La Laguna	3.840.160	54.581
	Menorca	2.325.323	26.134
	Santiago-Rosalía de Castro	1.653.663	15.376
<b>GRUPO IV</b>	Girona	312.230	13.501
	La Palma	761.111	13.965
	Asturias	831.791	8.064
	Federico García Lorca Granada-Jaén	549.094	10.063
	Seve Ballesteros-Santander	503.466	8.032
	Jerez	438.766	41.260
	Reus	158.887	14.606
	Almería	317.509	7.889
	A Coruña	594.584	12.084
Vigo	547.400	9.191	

**Tabla 3.1.** Listado de aeropuertos seleccionados para el estudio, pasajeros y operaciones anuales, año 2021.

### **3.1 Tráfico en la hora de diseño y tráfico total anual**

Una vez definida la hora de diseño para cada aeropuerto, de acuerdo con el criterio elegido por Aena, explicado en el *Capítulo 2*, se estudia el parámetro “% del tráfico total que se acumula en la hora de diseño”. Este parámetro permite ver la correlación existente entre el tráfico en la hora de diseño y el tráfico total anual.

Por otro lado, se analiza la relación entre el tráfico en la hora de diseño y el tráfico anual, diferenciando entre volumen de pasajeros y volumen de aeronaves. Para ello, se buscan relaciones entre los parámetros disponibles con el fin de encontrar una tendencia o conexión.

Se analiza el periodo 2004-2021, aunque se centra en 2021, diferenciando entre el tráfico de pasajeros y aeronaves, para los aeropuertos listados en la *Tabla 3.1*. Como se explica con mayor detalle en el *Capítulo 4* y *Capítulo 5*, se observa un comportamiento similar entre los aeropuertos de un mismo grupo y, a su vez, entre aeropuertos que, aunque no pertenecen al mismo grupo, comparten alguna característica: ubicación en islas, actividad turística, operativa de hub, número de pistas, etc.

Por último, se hace una estimación para el año 2022 y 2026 a partir de las previsiones de tráfico del DORA 2022-2026 [8] y tomando como referencia la observación de la tendencia del periodo estudiado.

### **3.2 Peak Service Rate**

El concepto *Peak Service Rate* se define como el percentil 99% de las operaciones de aeronaves del año, por hora flotante cada cinco minutos, en el periodo de mayor actividad, de 7:00 a 23:00 LT. En los aeropuertos españoles de la red de Aena, este valor está disponible únicamente para los aeropuertos coordinados.

Aeropuertos coordinados son aquellos aeropuertos cuya demanda de transporte de las compañías aéreas excede su capacidad aeroportuaria durante periodos de tiempo significativos y resulta imposible resolver esta situación a corto plazo. En estos aeropuertos existe la figura del Coordinador de Franjas Horarias y resulta obligatorio para cualquier operador aéreo, al objeto de aterrizar o despegar en el aeropuerto, disponer de una franja horaria autorizada por parte de dicho Coordinador (a excepción de vuelos de Estado, aterrizajes de emergencia y vuelos de carácter humanitario) [11].

En la *Tabla 3.2* se muestran los aeropuertos coordinados de España:

Grupo	Aeropuerto
<b>GRUPO I</b>	Adolfo Suárez Madrid-Barajas
	Josep Tarradellas Barcelona-El Prat
<b>GRUPO II</b>	Palma de Mallorca
	Málaga-Costa del Sol
	Alicante-Elche Miguel Hernández
	Gran Canaria
	Tenerife Sur
	Ibiza
	César Manrique Lanzarote
<b>GRUPO III</b>	Valencia
	Fuerteventura
	Bilbao
	Menorca

**Tabla 3.2.** Aeropuertos coordinados de España

Para estos aeropuertos, se estudia la relación entre el total de operaciones anuales y el ratio PSR-AHd, y la relación entre el total de operaciones anuales y el ratio PSR-ATc.

### 3.3 Demora

Tras analizar los parámetros de diseño y haciendo uso del desglose detallado de las operaciones registradas en el Aeropuerto de Málaga en el periodo 2004-2021, se estudia la relación entre los parámetros de diseño y la demora asociada. A priori, una correcta planificación evitará demoras.

En particular, se presentan dos parámetros en una misma gráfica con el fin de relacionar la tendencia y evolución entre los mismos. Por un lado, las operaciones totales comerciales con las aeronaves en la hora pico, las aeronaves de la hora de diseño con las aeronaves en la hora pico, las aeronaves en la hora pico con la demora media por vuelo y, por último, las operaciones totales comerciales con la demora media por vuelo. Los valores de las aeronaves en la hora pico son extraídos de los archivos de desglose de las operaciones en el Aeropuerto de Málaga para el periodo 2004-2021.

Como se explica con mayor detalle en el *Capítulo 2*, un correcto diseño no es garantía de reducción de la demora ya que esta se debe a múltiples razones, siendo la propia aerolínea una de las principales. A pesar de ello, es esencial optimizar cada fase del proceso hasta llegar a la propia operación de la aeronave con el fin de minimizar la demora, al menos, aquella que no se debe a factores imprevistos como puede ser la meteorología adversa.

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

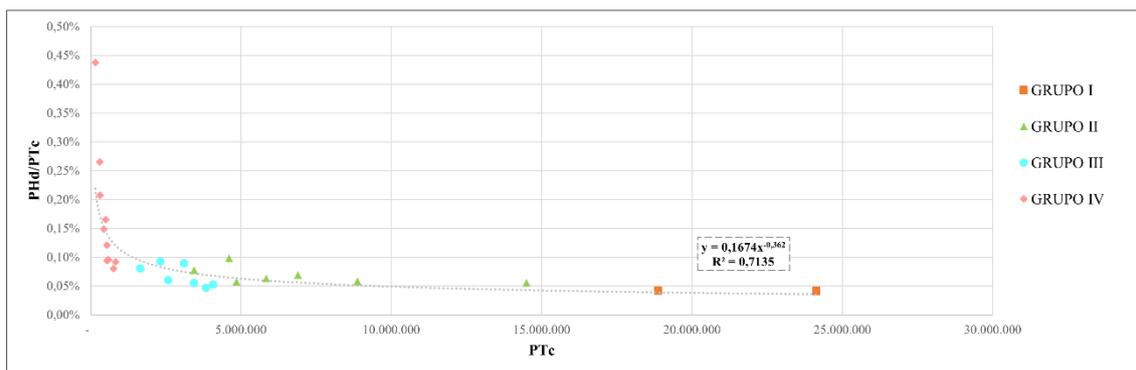
## 4. Resultados

### 4.1 Tráfico en la hora de diseño y tráfico total anual

#### Tráfico de pasajeros

La *Figura 4.1* muestra la relación entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales anuales, para el año 2021. Se identifica una tendencia potencial negativa, a mayor volumen de pasajeros anuales, menor concentración de éstos en la hora de diseño. Este comportamiento demuestra una correcta distribución del tráfico en varias horas del día, evitando la concentración en una posible hora punta.

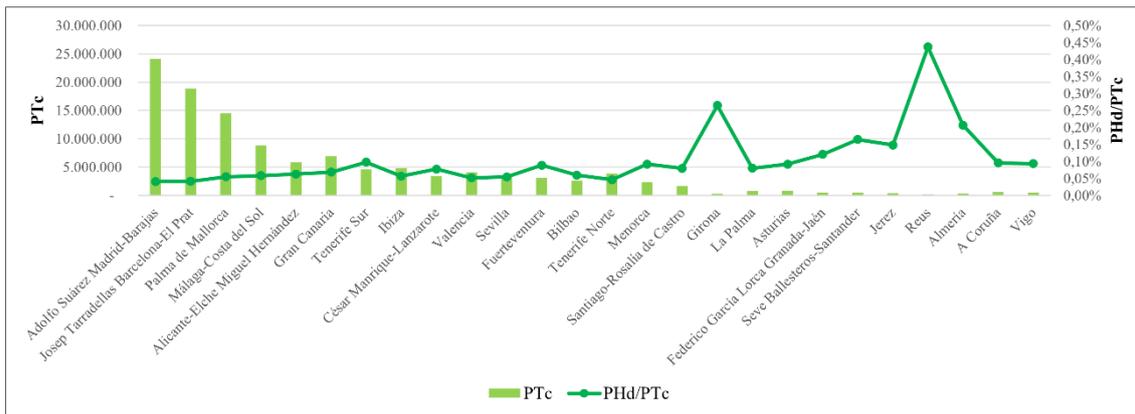
Los aeropuertos se han representado agrupándolos según los conjuntos indicados en la *Tabla 3.1*. Como se puede apreciar, los aeropuertos pertenecientes a un mismo grupo presentan un comportamiento similar. El Grupo I, los aeropuertos con mayor volumen de pasajeros, acumula menos pasajeros en la hora de diseño, señal de, como se indica en el párrafo anterior, un reparto adecuado de los pasajeros en horas menos ocupadas del día. En el polo opuesto, los aeropuertos del Grupo IV. Estos aeropuertos presentan un tráfico más estacional y concentrado en determinadas horas del día. Por ejemplo, la mayoría de pasajeros del Aeropuerto de Reus, con el mayor ratio de concentración de pasajeros en su hora de diseño, son turistas que tienen como destino los resorts de playa de Cambrils y Salou, ya que la temporada de máxima afluencia de pasajeros es de mayo a octubre.



**Figura 4.1.** Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2021

En el *Apéndice A* se incluyen las representaciones de esta relación desde 2004 a 2020.

La *Figura 4.2* es una representación de los mismos parámetros mostrados en la *Figura 4.1* desde otro enfoque.



**Figura 4.2.** Pasajeros totales anuales frente al ratio PHd/PTc, año 2021

A simple vista, se distinguen dos puntos significativos, correspondientes al Aeropuerto de Girona y de Reus. Los pasajeros en la hora de diseño de ambos aeropuertos son elevados en relación con el volumen de pasajeros total. Los dos están situados en Cataluña, a una distancia de 187 km, en la Costa Brava.

El Aeropuerto de Girona presenta una casuística similar al aeropuerto de Reus, comentada anteriormente. Por la proximidad por su proximidad al Aeropuerto de Barcelona-El Prat, a una distancia de 102 km, es una buena alternativa para viajeros que quieran visitar la ciudad condal. Al igual que ocurría con el Aeropuerto de Reus, el Aeropuerto de Girona es una de las principales puertas de entrada aérea a la Costa Brava. Además, una de las principales bases de la compañía Ryanair en Europa. En 2019 alcanzó los 1.933.049 pasajeros. En cambio, en 2020, marcado por la pandemia mundial del COVID-19, se registraron únicamente 172.171 pasajeros. Desde 2021 se aprecia un repunte, alcanzando 312.230 pasajeros. Aunque este 2022 supone respecto del anterior un importante aumento de pasajeros, aún no logran cifras de 2019 [12].

En la *Figura 4.3* se presentan de forma simultánea los pasajeros totales comerciales y los pasajeros en la hora de diseño, en el año 2021. Esta figura permite tener una visión global del conjunto de aeropuertos considerado. La tendencia de la serie de pasajeros en la hora de diseño es directa respecto a la tendencia de la serie de pasajeros totales comerciales. A mayor volumen de PTc, mayor es el parámetro PHd. Destacan los aeropuertos de Fuerteventura y Menorca, ambos situados en islas. A pesar de presentar un volumen de pasajeros del orden al de aeropuertos como Sevilla o Bilbao, respectivamente, los pasajeros en la hora de diseño son superiores. La razón es, una vez más, la marcada estacionalidad en el tráfico que registran.

Estos aeropuertos concentran el grueso de los pasajeros anuales en los meses estivales, en cambio, durante el resto del año, el tráfico es muy inferior. Aun así, los pasajeros en la hora de diseño son superiores a lo que se esperaría según la tendencia para poder procesar el volumen de pasajeros alcanzado en sus meses pico.

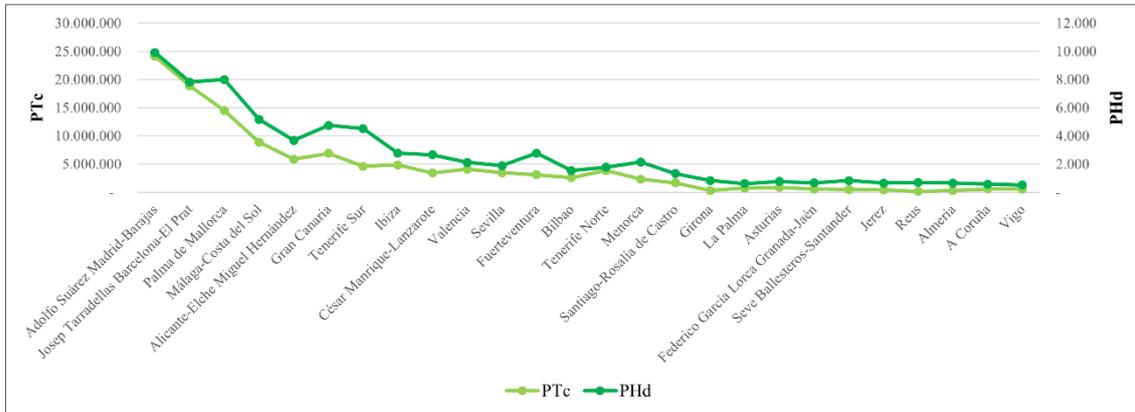


Figura 4.3. Pasajeros totales comerciales frente a pasajeros en la hora de diseño, año 2021

La Figura 4.4 es la representación de la relación potencial entre los parámetros anteriores, PHd y PTc. El valor de  $R^2$ , que evalúa la fuerza de la relación lineal entre dos variables, es 0,9627. Este resultado ratifica el nexo entre ambos parámetros, a mayor volumen de pasajeros totales, mayor volumen de pasajeros en la hora de diseño. Sin olvidar que esta afirmación tiene matices: una correcta planificación llevará a una distribución de los pasajeros en las horas menos ocupadas, reduciendo así el número de pasajeros en la hora de diseño. Esto es posible, especialmente, en aeropuertos con gran volumen de pasajeros, pues no presentan picos tan marcados como otros.

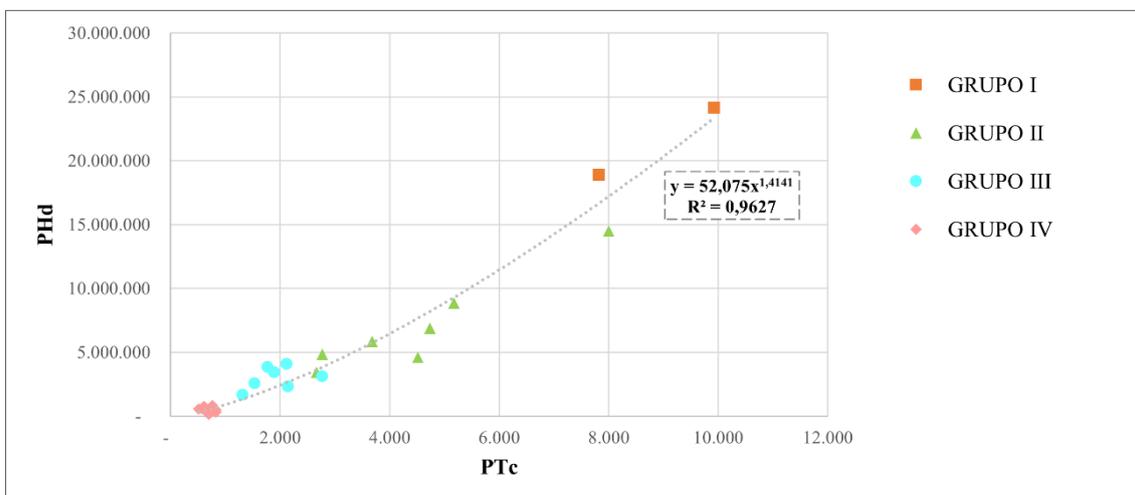


Figura 4.4. Relación potencial entre pasajeros totales comerciales y pasajeros en la hora de diseño, año 2021.

Una vez expuesto el análisis de años anteriores, se propone una estimación a futuro para el año 2022 y 2026 de los pasajeros en la hora de diseño, a partir de las previsiones de tráfico del DORA 2022-2026 [8] y tomando como referencia la observación de la tendencia del periodo estudiado.

La *Tabla 4.1* contiene una columna, PTc 2022, con los datos estimados en el DORA 2022-26 [8] para 2022. A partir de este dato, y en base a la tendencia observada de los datos de 2004-2021, se estima un valor de pasajeros en horas de diseño para 2022. Finalmente, las dos últimas columnas muestran el incremento porcentual del parámetro PHd y de la relación PHd/PTc respecto a 2021.

Grupo	Aeropuerto	PTc 2022	PHd 2022	% inc. PHd 2022 s/2021	% inc. PHd/PTc 2022 s/2021
<b>GRUPO I</b>	Adolfo Suárez Madrid-Barajas	40.692.767	15.672	57,97%	-6,31%
	Josep Tarradellas Barcelona-El Prat	35.299.654	13.944	78,32%	-4,65%
<b>GRUPO II</b>	Palma de Mallorca	18.890.656	9.216	15,20%	-11,59%
	Málaga-Costa del Sol	13.415.122	7.144	38,19%	-8,58%
	Alicante-Elche Miguel Hernández	10.234.340	6.007	63,42%	-6,73%
	Gran Canaria	9.021.914	5.944	25,46%	-4,06%
	Tenerife Sur	7.203.564	5.392	19,50%	-23,57%
	Ibiza	6.364.667	3.319	20,00%	-8,52%
	César Manrique Lanzarote	5.235.220	3.422	28,59%	-15,55%
<b>GRUPO III</b>	Valencia	6.060.662	2.912	37,22%	-7,66%
	Sevilla	5.568.649	3.043	61,11%	-0,35%
	Fuerteventura	3.999.035	3.345	20,66%	-6,04%
	Bilbao	4.453.784	2.280	48,26%	-14,08%
	Tenerife Norte-Ciudad de La Laguna	4.798.584	2.076	17,13%	-6,27%
	Menorca	2.705.668	2.721	26,89%	9,05%
	Santiago-Rosalía de Castro	2.044.512	1.422	7,91%	-12,72%
<b>GRUPO IV</b>	Girona	1.353.929	2.326	181,25%	-35,14%
	La Palma	1.160.467	945	54,92%	1,60%
	Asturias	1.172.213	922	20,46%	-14,52%
	Federico García Lorca Granada-Jaén	948.659	1.013	52,81%	-11,55%
	Seve Ballesteros-Santander	869.145	983	18,41%	-31,41%
	Jerez	859.281	1.198	83,99%	-6,05%
	Reus	745.322	2.641	279,93%	-19,01%
	Almería	694.811	1.155	75,54%	-19,78%
	A Coruña	824.727	650	14,17%	-17,69%
	Vigo	631.715	576	12,37%	-2,63%

**Tabla 4.1.** Estimación de pasajeros en la hora de diseño para 2022

Aumenta el volumen de pasajeros anuales y también los pasajeros en la hora de diseño, fruto de la recuperación tras la crisis del COVID-19. Sin embargo, este crecimiento, ya previsible, no aporta valor más allá de un mero dato. Lo realmente interesante es observar el porcentaje de crecimiento del parámetro PHd y el ratio PHd/PTc. Ante el aumento de pasajeros totales comerciales, también se incrementan los pasajeros en hora de diseño. En cambio, el ratio PHd/PTc decrece.

Esta tendencia es muy positiva pues indica que, a pesar de que los pasajeros anuales aumentan y también los pasajeros en la hora de diseño, la distribución a lo largo de las horas que componen el año es más óptima, no se concentran en horas pico.

Son llamativos los porcentajes que presentan el Aeropuerto de Girona y el Aeropuerto de Reus, también señalado anteriormente. Estos aeropuertos, que han sufrido especialmente el impacto de la pandemia del COVID-19 al ser claramente turísticos, hace que las cifras esperadas de crecimiento sean muy optimistas.

Análogamente a la *Tabla 4.1*, la *Tabla 4.2* contiene una estimación equivalente al año 2026. A su vez, las dos últimas columnas muestran el incremento porcentual del parámetro PHd y de la relación PHd/PTc respecto a 2021.

Grupo	Aeropuerto	PTc 2026	PHd 2026	% inc. PHd 2026 s/2021	% inc. PHd/PTc 2026 s/2021
<b>GRUPO I</b>	Adolfo Suárez Madrid-Barajas	67.137.051	28.546	187,73%	3,44%
	Josep Tarradellas Barcelona-El Prat	56.063.000	15.429	97,30%	-33,57%
<b>GRUPO II</b>	Palma de Mallorca	29.366.427	9.566	19,57%	-40,97%
	Málaga-Costa del Sol	20.778.145	7.650	47,96%	-36,80%
	Alicante-Elche Miguel Hernández	15.647.021	6.594	79,38%	-33,03%
	Gran Canaria	13.140.190	6.420	35,50%	-28,85%
	Tenerife Sur	10.612.728	5.780	28,10%	-44,39%
	Ibiza	7.999.754	3.167	14,50%	-30,55%
	César Manrique Lanzarote	7.259.626	3.521	32,30%	-37,34%
<b>GRUPO III</b>	Valencia	8.448.437	3.123	47,18%	-28,95%
	Sevilla	7.213.855	3.282	73,76%	-17,03%
	Fuerteventura	6.068.449	3.619	30,54%	-33,01%
	Bilbao	5.949.782	2.450	59,32%	-30,89%
	Tenerife Norte-Ciudad de La Laguna	5.936.186	2.130	20,22%	-22,23%
	Menorca	3.385.808	2.821	31,58%	-9,63%
	Santiago-Rosalía de Castro	2.636.008	1.542	17,02%	-26,59%
<b>GRUPO IV</b>	Girona	2.107.632	2.839	243,32%	-49,14%
	La Palma	1.499.778	992	62,55%	-17,51%
	Asturias	1.428.816	1.009	31,92%	-23,20%
	Federico García Lorca Granada-Jaén	1.244.046	1.136	71,39%	-24,35%
	Seve Ballesteros-Santander	1.178.324	1.067	28,60%	-45,05%
	Jerez	1.144.044	1.340	105,87%	-21,04%
	Reus	1.066.752	3.190	358,98%	-31,64%
	Almería	999.493	1.300	97,59%	-37,23%
	A Coruña	910.863	707	24,17%	-18,94%
Vigo	641.615	644	25,52%	7,09%	

**Tabla 4.2.** Estimación de pasajeros en la hora de diseño para 2026

Se aprecia un comportamiento similar al de la estimación para 2022. Se mantiene la tendencia de crecimiento en el volumen de pasajeros anuales y también en los pasajeros en la hora de diseño, y de decrecimiento en el ratio PHd/PTc. Al comparar 2026 con 2021, las cifras de crecimiento o decrecimiento son mayores. Sin duda, se trata de una línea de trabajo muy eficiente.

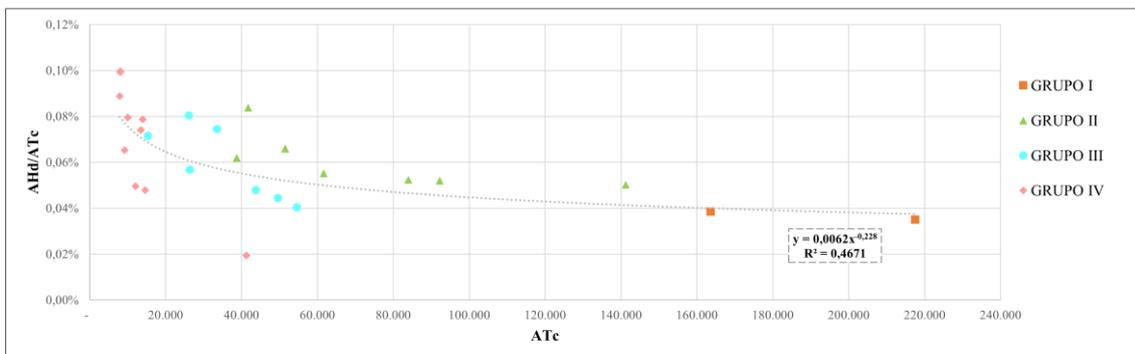
### Tráfico de aeronaves

En este punto, se procede siguiendo el mismo planteamiento que para el tráfico de pasajeros. Como es lógico, varían los resultados obtenidos ya que los criterios de diseño son diferentes entre el tráfico de pasajeros y el tráfico de aeronaves.

La *Figura 4.5* muestra la relación entre las operaciones de la hora de diseño y las operaciones totales anuales, para el año 2021. En este caso, no se identifica una tendencia tan marcada como el caso de los pasajeros mostrado anteriormente. A su vez, incluso los aeropuertos de un mismo grupo presentan comportamientos diferentes.

Para el Grupo I sí se cumple una conducta similar expuesta para el tráfico de pasajeros, a mayor volumen de operaciones anuales, menor concentración de aeronaves en la hora de diseño.

Este particular comportamiento se debe al criterio para definir las aeronaves en la hora de diseño. A diferencia del parámetro de pasajeros en la hora de diseño, las aeronaves en la hora de diseño corresponden al número de aeronaves registradas en la hora pico del año. Esto hace que, por ejemplo, aeropuertos turísticos, con un volumen de operaciones anuales pequeños presenten un valor de operaciones en la hora de diseño elevado en proporción pues, durante el periodo en el que concentran su mayor tráfico, la infraestructura aeroportuaria debe ser capaz de absorber los picos de operaciones.

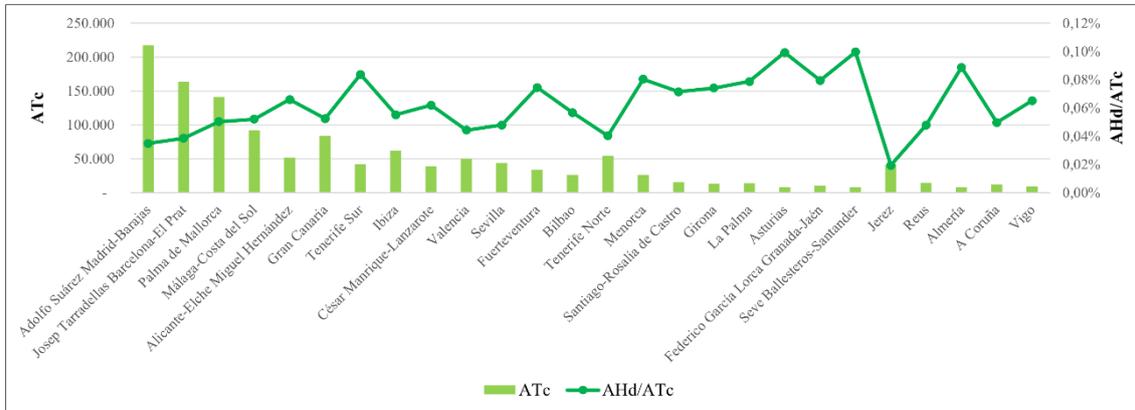


**Figura 4.5.** Relación porcentual entre las aeronaves de la hora de diseño y las operaciones totales anuales, año 2021

Estos aeropuertos concentran el grueso de los pasajeros anuales en los meses estivales, en cambio, durante el resto del año, el tráfico es muy inferior. Aun así, los pasajeros en la hora de diseño son superiores a lo que se esperaría según la tendencia para poder procesar el volumen de pasajeros alcanzado en sus meses pico.

En el *Apéndice B* se incluyen las representaciones de esta relación desde 2004 a 2020.

La *Figura 4.6* es una representación de los mismos parámetros mostrados en la *Figura 4.5* desde otro enfoque.



**Figura 4.6.** Operaciones totales anuales frente al ratio AHd/ATc, año 2021

A simple vista, se distingue un punto muy marcado, correspondiente el Aeropuerto de Jerez. El valor de aeronaves en la hora de diseño es muy pequeño en comparación con aeropuertos que manejan el mismo volumen de operaciones anuales, como, por ejemplo, el Aeropuerto César Manrique-Lanzarote. El Aeropuerto César Manrique-Lanzarote está situado en el archipiélago canario, en la isla de Lanzarote, y presenta un tráfico claramente estacional, concentrado en épocas vacacionales, especialmente verano. La naturaleza de este hace que las operaciones en su hora pico sean elevadas, registrándose en esos meses de verano.

Por el contrario, el Aeropuerto de Jerez presenta un tráfico distribuido a lo largo de todo el año. Está situado a 35 km de la ciudad de Cádiz, siendo el único aeropuerto de la provincia de Cádiz, y a 100 km de la ciudad de Sevilla [13]. Sirve, por tanto, como aeropuerto de llegada para pasajeros cuyo destino sea cualquiera de las dos ciudades.

En la *Figura 4.7* se presentan de forma simultánea las aeronaves totales comerciales y las aeronaves en la hora de diseño, en el año 2021. Al igual que en para el tráfico de pasajeros, esta figura permite tener una visión global del conjunto de aeropuertos considerado.

De hecho, una de las características observadas es que, a nivel global, el tráfico de pasajeros y el tráfico de aeronaves comparten tendencia de comportamiento. A mayor volumen de ATc, mayor es el parámetro AHd. En este caso, destaca, de nuevo, el Aeropuerto de Jerez, con un volumen de aeronaves en la hora de diseño inferior al de aeropuertos similares.

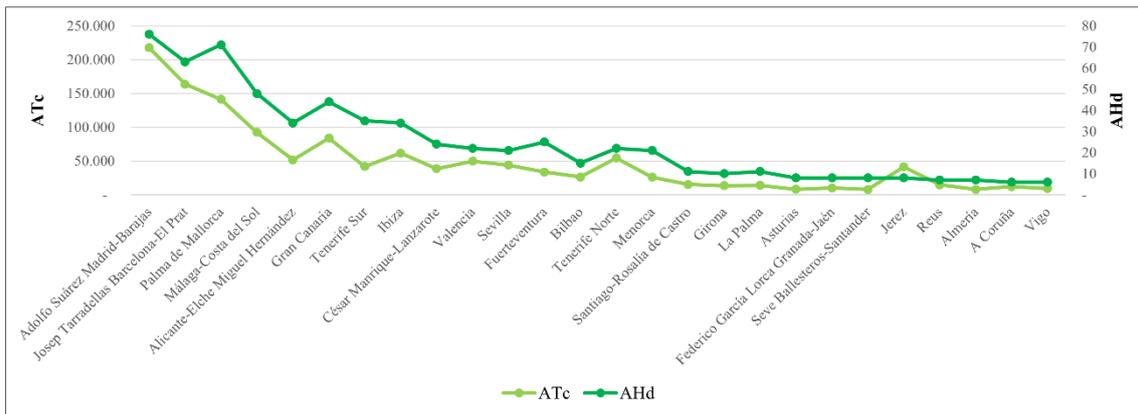


Figura 4.7. Operaciones totales comerciales frente a aeronaves en la hora de diseño, año 2021

Destaca también el Aeropuerto de Palma de Mallorca, con un valor elevado de aeronaves en la hora de diseño. El Aeropuerto de Palma de Mallorca, situado en el archipiélago balear, en la isla de Palma, es el destino turístico por excelencia del verano, tanto para españoles como extranjeros de toda Europa y del mundo. En verano, alcanza un tráfico muy elevado y continuo, desde abril hasta octubre, y en esos meses es cuando registra su hora punta, con un alto número de operaciones.

La Figura 4.8 es la representación de la relación potencial entre los parámetros anteriores, AHd y ATc. El valor de  $R^2$  es ligeramente inferior que para el tráfico de pasajeros, es 0,9162. Este resultado ratifica el nexo entre ambos parámetros, a mayor volumen de operaciones totales, mayor volumen de aeronaves en la hora de diseño. Como ya se menciona en el caso del tráfico de pasajeros, el objetivo de la planificación es distribuir el tráfico a lo largo de todas las horas, días y meses, evitando la concentración y así optimizar la infraestructura aeroportuaria.

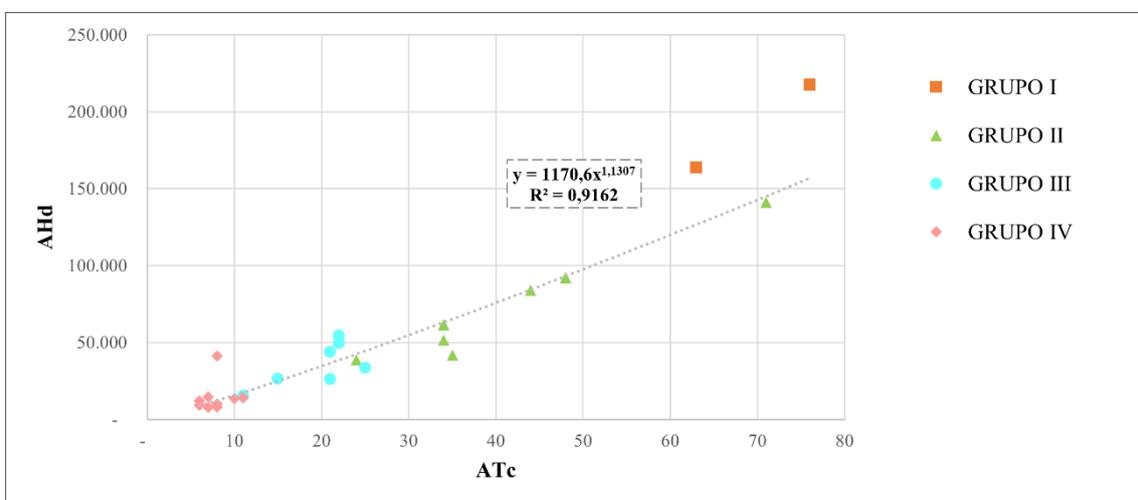


Figura 4.8. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las operaciones totales comerciales, año 2021

Una vez expuesto el análisis de años anteriores, se propone una estimación a futuro para el año 2022 y 2026 de las aeronaves en la hora de diseño, a partir de las previsiones de tráfico del DORA 2022-2026 [8] y tomando como referencia la observación de la tendencia del periodo estudiado.

La *Tabla 4.3* contiene una columna, ATc 2022, con los datos estimados en el DORA 2022-26 [8] para 2022. A partir de este dato, y en base a la tendencia observada de los datos de 2004-2021, se estima un valor de pasajeros en horas de diseño para 2022. Finalmente, las dos últimas columnas muestran el incremento porcentual del parámetro AHd y de la relación AHd/ATc respecto a 2021.

Grupo	Aeropuerto	ATc 2022	AHd 2022	% inc. AHd 2022 s/2021	% inc. AHd/ATc 2022 s/2021
<b>GRUPO I</b>	Adolfo Suárez Madrid-Barajas	280.428	96	26,66%	-1,75%
	Josep Tarradellas Barcelona-El Prat	262.745	91	44,49%	-9,98%
<b>GRUPO II</b>	Palma de Mallorca	151.860	71	-0,51%	-7,50%
	Málaga-Costa del Sol	112.490	55	13,82%	-6,66%
	Alicante-Elche Miguel Hernández	76.740	43	27,29%	-14,57%
	Gran Canaria	90.000	43	-1,28%	-7,88%
	Tenerife Sur	40.700	28	-18,93%	-16,80%
	Ibiza	58.930	32	-6,70%	-2,46%
	César Manrique Lanzarote	41.530	23	-4,84%	-11,23%
<b>GRUPO III</b>	Valencia	56.850	24	9,49%	-4,42%
	Sevilla	50.246	25	17,47%	2,50%
	Fuerteventura	31.520	23	-8,53%	-2,50%
	Bilbao	38.887	20	32,06%	-10,24%
	Tenerife Norte-Ciudad de La Laguna	65.000	27	21,89%	2,36%
	Menorca	24.530	22	6,16%	13,10%
	Santiago-Rosalía de Castro	16.100	11	1,66%	-2,91%
<b>GRUPO IV</b>	Girona	14.702	11	13,45%	4,18%
	La Palma	18.100	13	21,10%	-6,56%
	Asturias	10.996	10	21,07%	-11,21%
	Federico García Lorca Granada-Jaén	11.940	10	18,76%	0,09%
	Seve Ballesteros-Santander	9.695	9	9,82%	-9,02%
	Jerez	45.680	8	0,00%	-9,68%
	Reus	16.124	11	50,03%	35,91%
	Almería	8.660	8	16,40%	6,04%
	A Coruña	12.510	6	0,00%	-3,41%
	Vigo	8.520	7	11,12%	19,87%

**Tabla 4.3.** Estimación de aeronaves en la hora de diseño para 2022

Aumenta el volumen de operaciones anuales y también las aeronaves en la hora de diseño, consecuencia del aumento de la demanda expuesta antes, o viceversa. Como ocurría para el tráfico de pasajeros, la relación interesante a considerar es la evolución del ratio AHd/ATc. De nuevo, el ratio AHd/ATc disminuye, excepto en una minoría de aeropuertos.

Fruto de una correcta planificación aeroportuaria, se trabaja para distribuir la concentración de operaciones en una hora pico hacia el resto de horas.

Sobresalen, nuevamente, los porcentajes que presenta el Aeropuerto de Reus. El crecimiento esperado en este, tras la crisis reciente, aún vigente, debido al COVID-19, hace que las cifras despenen.

Análogamente a la *Tabla 4.3*, la *Tabla 4.4* contiene una estimación equivalente al año 2026. A su vez, las dos últimas columnas muestran el incremento porcentual del parámetro AHd y de la relación AHd/ATc respecto a 2021.

Los porcentajes de variación respecto a 2021 son más pronunciados ya la diferencia temporal es mayor. En este caso, no es tan evidente la optimización del ratio AHd/ATc. En el *Capítulo 5* se analizan posibles causas a esta tendencia.

Grupo	Aeropuerto	ATc 2022	AHd 2022	% inc. AHd 2022 s/2021	% inc. AHd/ATc 2022 s/2021
<b>GRUPO I</b>	Adolfo Suárez Madrid-Barajas	472.857	178	134,74%	7,99%
	Josep Tarradellas Barcelona-El Prat	372.128	140	122,57%	-2,10%
<b>GRUPO II</b>	Palma de Mallorca	216.620	107	50,26%	-2,06%
	Málaga-Costa del Sol	150.810	79	64,27%	0,48%
	Alicante-Elche Miguel Hernández	104.820	65	91,41%	-5,95%
	Gran Canaria	122.240	63	44,01%	-1,06%
	Tenerife Sur	68.050	51	45,70%	-10,57%
	Ibiza	71.850	40	16,73%	0,10%
	César Manrique Lanzarote	57.560	33	36,07%	-8,42%
<b>GRUPO III</b>	Valencia	73.960	34	55,16%	4,12%
	Sevilla	60.543	32	53,42%	11,10%
	Fuerteventura	47.530	38	50,17%	6,15%
	Bilbao	50.508	28	87,07%	-2,11%
	Tenerife Norte-Ciudad de La Laguna	74.500	32	46,22%	7,12%
	Menorca	29.400	29	37,20%	21,95%
	Santiago-Rosalía de Castro	20.200	15	37,87%	4,94%
<b>GRUPO IV</b>	Girona	21.445	19	86,80%	17,60%
	La Palma	21.500	17	51,08%	-1,87%
	Asturias	12.635	12	53,98%	-1,73%
	Federico García Lorca Granada-Jaén	14.060	12	55,23%	11,10%
	Seve Ballesteros-Santander	11.742	12	47,32%	0,77%
	Jerez	50.770	10	25,00%	1,59%
	Reus	21.781	15	121,08%	48,26%
	Almería	11.100	11	63,73%	16,37%
	A Coruña	15.910	7	16,67%	-11,39%
	Vigo	9.840	8	38,86%	29,70%

**Tabla 4.4.** Estimación de aeronaves en la hora de diseño para 2026

## 4.2 Peak Service Rate

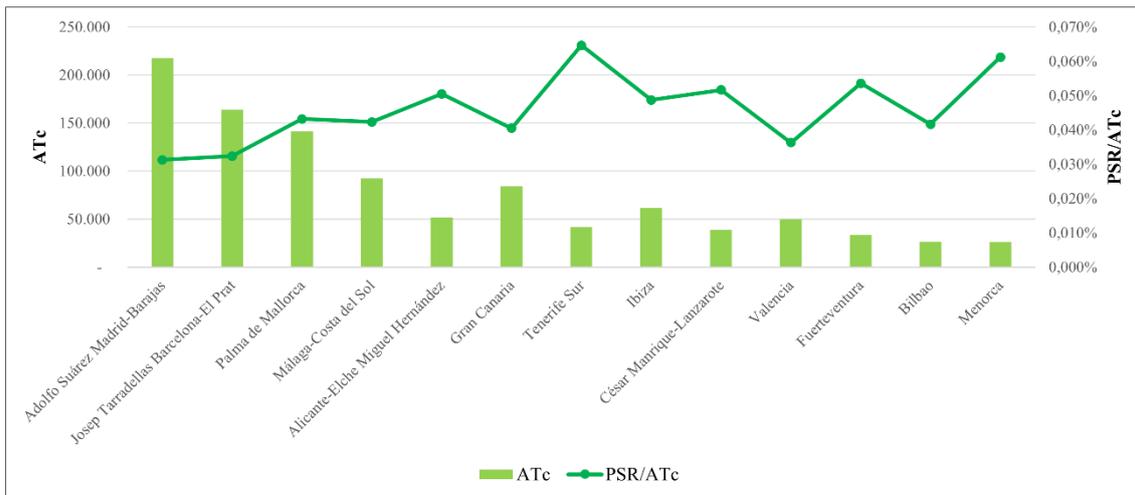
La *Figura 4.9* muestra la relación entre las operaciones totales anuales y el ratio PSR-AHd, para el año 2021, en los aeropuertos coordinados de Aena, mostrados en la *Tabla 3.2*. Los valores del ratio PSR-AHd para los aeropuertos mencionados, están comprendidos entre el 89%, en el caso del aeropuerto Adolfo Suárez-Madrid Barajas, y el 72%, correspondiente al Aeropuerto de Fuerteventura.



**Figura 4.9.** Relación entre las operaciones totales anuales y el ratio PSR-AHd, año 2021

Se aprecia que el ratio mejora para un mayor volumen de operaciones. Esta relación es coherente pues, conforme aumenta el total de operaciones anuales, aumenta el valor de operaciones de la hora de diseño y, por tanto, se acerca más al valor del *Peak Service Rate*, cuya definición se encuentra en el *subcapítulo 3.2*.

Sin embargo, esta afirmación tiene sus matices. Anteriormente, en este documento se ha justificado que, a mayor volumen de operaciones totales anuales, menor es el valor de operaciones en la hora punta ya que se distribuye mejor el tráfico en las horas de funcionamiento sin restricciones. Este fenómeno se refleja en la *Figura 4.10*. En ella, se muestra la relación entre las operaciones totales anuales y el ratio PSR-ATc, para el año 2021, en los aeropuertos coordinados de Aena, mostrados en la *Tabla 3.2*. Se aprecia un ratio PSR-ATc menor conforme mayor es el volumen de operaciones totales anuales.



**Figura 4.10.** Relación entre las operaciones totales anuales y el ratio PSR-ATc, año 2021

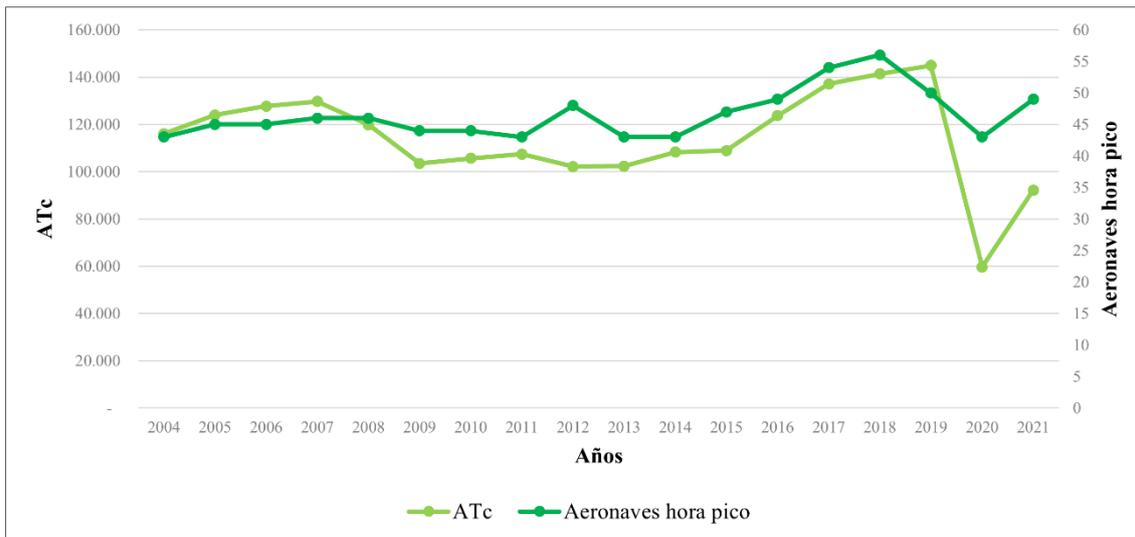
Destaca el elevado valor del ratio en el Aeropuerto de Tenerife-Sur, primer aeropuerto turístico español de la red de Aena, con un 92% de pasajeros que viaja por este motivo [14]. Dada la naturaleza de su operativa, el tráfico se concentra en periodos vacacionales, estivales, presentando valores de hora punta elevados, y, como consecuencia, también el parámetro PSR.

### 4.3 Demora

Antes de pasar a estudiar la demora, es necesario estudiar las aeronaves en la hora pico ya que la demora está íntimamente relacionada con éstas. A priori, se puede pensar que, a mayor volumen de tráfico, mayor será el número de aeronaves en la hora pico. Esta afirmación es verdadera si se analiza un aeropuerto individualmente. Sin embargo, al comparar aeropuertos de diferente volumen, se demuestra que esto no es necesariamente así. Como se explica en apartados anteriores, una correcta planificación evitará la concentración de aeronaves en sus horas pico para distribuir el tráfico en el resto de horas del día.

La *Figura 4.11* representa simultáneamente las operaciones totales anuales y las aeronaves en la hora pico, desde 2004 a 2021, en el Aeropuerto de Málaga. Se observa que ambos parámetros comparten tendencia evolutiva, a excepción de los años 2012 y 2019.

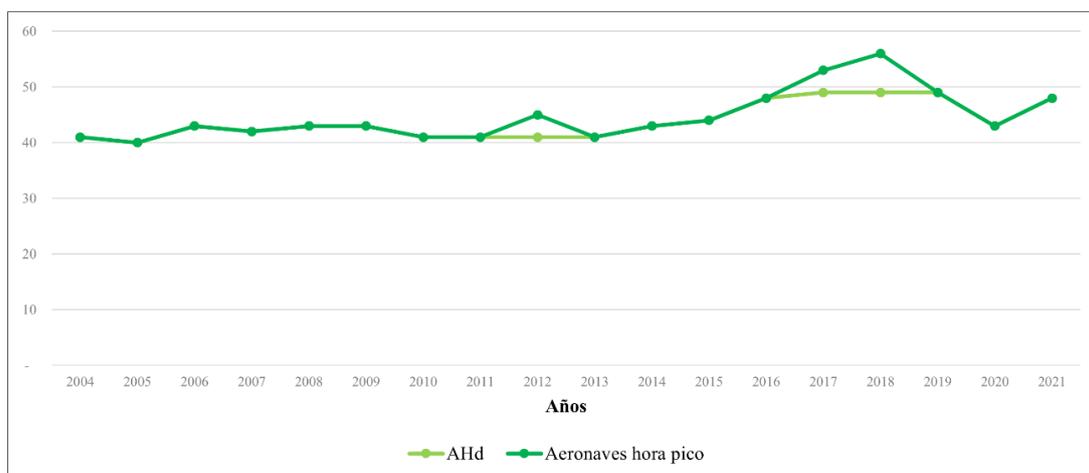
En 2012, el volumen de operaciones anual disminuye respecto a 2011, en cambio, las aeronaves en la hora pico aumentan. El caso contrario se observa en 2019, a pesar de que el tráfico aumenta respecto al año anterior, disminuye las aeronaves en la hora pico. Al ser casos puntuales, no sería adecuado asignar una mala o correcta, respectivamente, distribución del tráfico a la causa de estas desviaciones.



**Figura 4.11.** Operaciones totales anuales y aeronaves en la hora pico, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021

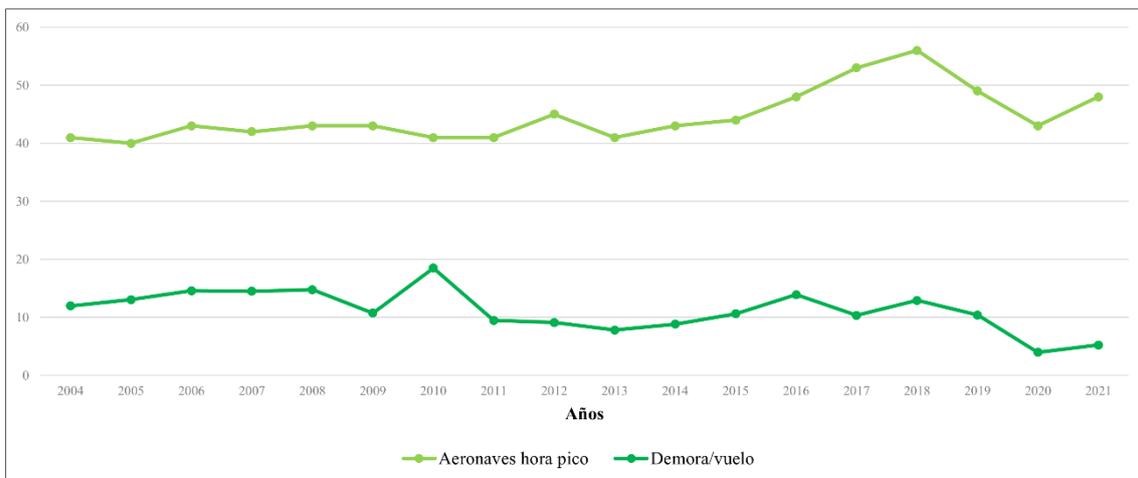
Cuánto mayor es la exactitud del diseño respecto a la realidad, más optimizada estará la infraestructura aeroportuaria y se reducirá la demora pues todas las partes implicadas en el tráfico aéreo conocerán la situación del aeropuerto.

La Figura 4.12 muestra las aeronaves de la hora de diseño y las aeronaves en la hora pico. Las aeronaves en la hora pico coinciden con las aeronaves de la hora de diseño, como así lo ratifica la definición de AHd, excepto en los años 2012, 2017 y 2018. Las aeronaves en la hora de diseño corresponden al número de aeronaves registradas en la hora pico del año [6], entonces, la diferencia entre los parámetros de los años mencionados puede deberse a un error menor de la descarga de datos ya que los datos de aeronaves de la hora punta son extraídos de los archivos de desglose del tráfico en el Aeropuerto de Málaga.



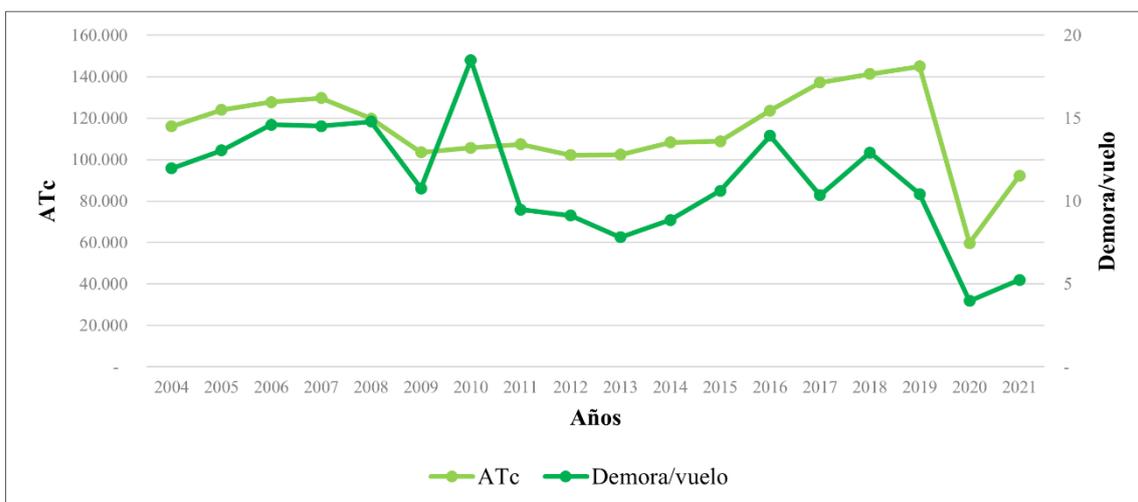
**Figura 4.12.** Aeronaves en la hora de diseño y aeronaves en la hora pico, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021

De acuerdo con la *Figura 2.4*, a medida que aumentan las operaciones, aumenta la demora media por vuelo. Particularizando para la hora pico, la *Figura 4.13* muestra este crecimiento similar entre ambos parámetros. A simple vista, ambos evolucionan de la misma manera, aunque lo cierto es que, a partir de 2016, se aprecia un crecimiento sostenido de la demora, no tan pronunciado como el del tráfico, lo cual es positivo, pues significa una mayor eficiencia del sistema. En el *Capítulo 5* se comentan las razones de este hecho particular. 2010, sin embargo, presenta un aumento no justificado de la demora media por vuelo.



**Figura 4.13.** Aeronaves en la hora pico y demora media por vuelo, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021

La *Figura 4.14* proporciona una visión global al presentar las operaciones totales anuales con la demora media por vuelo.



**Figura 4.14.** Operaciones totales anuales y demora media por vuelo, Aeropuerto de Málaga, 2004-2021

Dado que el parámetro ATc y las aeronaves en hora pico evolucionan de forma similar, se mantiene la tendencia comentada anteriormente: a medida que aumentan las operaciones, aumenta la demora media por vuelo. En este caso, debido a la escala de los ejes, es más evidente el aumento puntual de la demora media por vuelo en 2010, así como el descenso en 2017. En el *Capítulo 5* se comenta en detalle la situación del Aeropuerto de Málaga en aquellos años y así explicar las posibles causas de estos puntos significativos.

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

## 5. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos del estudio de los diferentes datos tratados deben ser considerados, presentados en el *Capítulo 4* no deben interpretarse de forma aislada, sino que es necesario conocer la situación de los aeropuertos analizados, así como del tráfico a nivel nacional, europeo y mundial para comprender los resultados alcanzados.

Como se indica en el *Capítulo 1*, el sector aeronáutico y, en especial, el de aeropuertos y operación aeroportuaria es muy sensible a factores externos y así se refleja en los resultados fruto de este proyecto.

Todas las figuras que componen el *Capítulo 4* datan en 2021, último año del que se dispone datos anuales completos, pues este proyecto se desarrolla a lo largo del último trimestre de 2022.

2021 es el primer año de tráfico aéreo sin restricciones de movilidad tras la pandemia del COVID-19. En España, el volumen de pasajeros anuales en 2021 fue un 59,7% inferior a los registros de 2019, en cambio, respecto a 2020, supuso un crecimiento del 54% [15]. Se trata, pues, de un año de recuperación post pandemia, pero aún en niveles muy inferiores a los años prepandémicos.

El estudio del tráfico en la hora de diseño, tráfico total anual y el parámetro *Peak Service Rate* en los aeropuertos españoles de la red de Aena evidencia la problemática existente en la definición de la capacidad horaria a partir de la demanda anual. Los resultados obtenidos manifiestan una característica común en los aeropuertos cuya operativa se basa en el turismo vacacional, estacional. Ratifican, una vez más, la importante influencia de las condiciones de contorno en planificación aeroportuaria para definir la infraestructura necesaria y planificar las inversiones.

Estos aeropuertos, especialmente los situados en los archipiélagos canario y balear, y en la Costa Brava, concentran un alto porcentaje de su tráfico anual en los meses estivales, aproximadamente desde mayo a octubre.

En el estudio del tráfico de pasajeros, en 2021, son llamativos los valores del ratio PHd/PTc en los aeropuertos de Girona y Reus, con valores muy elevados en comparación con el resto de aeropuertos analizados. El bajo volumen de pasajeros totales y el alto valor de pasajeros en la hora de diseño hacen que se maximice el ratio PHd/PTc. El sentido común puede llevar a pensar

que el valor de PHd en ambos aeropuertos es desmesurado dado el tráfico anual registrado, pero existe una razón que explica este hecho.

Tanto el Aeropuerto de Girona como el Aeropuerto de Reus sufrieron gravemente las consecuencias del cierre del espacio aéreo y posteriores restricciones de movilidad. Más allá de la reducción en el volumen de pasajeros general, que afectó en mayor o menor medida a todos los aeropuertos a nivel global, en estos aeropuertos, al ser turísticos, la disminución se acentuó ya que el turismo fue uno de los últimos sectores en comenzar con la recuperación.

Si se extrapola al tráfico de aeronaves, se observa una tendencia similar. Un claro ejemplo de esta casuística es el Aeropuerto de Tenerife Sur, sexto aeropuerto español más importante. Durante el verano, el Aeropuerto de Tenerife Sur recibe a muchos turistas que viajan a la isla de Tenerife, lo que aumenta significativamente la demanda de vuelos y el tráfico de pasajeros. Además, el clima cálido y soleado de Tenerife atrae a muchos visitantes durante esta época del año, lo que también contribuye a la mayor concentración de pasajeros en el aeropuerto durante el verano. Al estar situado en una isla, el transporte aéreo se convierte en el medio de transporte principal para llegar a ella, tanto para pasajeros como carga.

En las horas pico de tráfico, registran un alto volumen de pasajeros y aeronaves y, por tanto, sus instalaciones deben estar preparadas para ello. Este es el motivo por el que los valores de PHd y AHd son elevados en relación con PTc y ATc.

En cambio, los resultados obtenidos para aeropuertos con un tráfico sostenido en el año presentan valores que indican una correcta distribución del tráfico durante todo el año. Minimizar el parámetro PHd y AHd al mismo tiempo que continua el crecimiento anual del tráfico debería ser el objetivo del operador aeroportuario Aena, manteniendo siempre el nivel de calidad.

Las estimaciones de PHd y AHd para 2022 y 2026 muestran una tendencia de optimización de la infraestructura aeroportuaria, reduciendo la concentración de pasajeros y aeronaves en horas picos. En el caso del parámetro AHd esta optimización no es tan marcada, dándose en algunos aeropuertos el efecto contrario, un aumento del ratio AHd/ATc.

La razón radica en el hecho de que los pasajeros sí pueden ser sometidos a una cierta congestión mientras que las aeronaves no, es decir, el campo de vuelos puede aceptar únicamente las aeronaves máximas para las que esté diseñado. En efecto, el porcentaje de crecimiento de los pasajeros es mucho más acentuado que el de las aeronaves debido a esta circunstancia.

Como el volumen de pasajeros anuales crece a un ritmo mayor que el de parámetros de diseño, en busca de dicha optimización de la infraestructura, el ratio PHd/PTc presenta una tendencia de crecimiento negativa. Sin embargo, el volumen de operaciones anuales crece a un ritmo más sostenido que los pasajeros, al igual que las aeronaves en la hora de diseño, comparado con los pasajeros en la hora de diseño. Esto hace que la tendencia de crecimiento negativa de AHd/ATc no sea tan favorable como en el caso de los pasajeros.

En algunos aeropuertos pequeños, como el Aeropuerto de A Coruña, con un volumen de operaciones reducido, el valor de AHd se mantiene constante ya que no es necesario incrementarlo y tampoco reducirlo, pues el campo de vuelos debe estar diseñado para que las aeronaves en la hora pico operen con normalidad, de acuerdo con la definición de aeronaves en la hora de diseño [6].

Del análisis del parámetro *Peak Service Rate* en los aeropuertos españoles coordinados de la red de Aena, se aprecia mayor semejanza entre el valor de PSR y AHd en los aeropuertos con mayor volumen, como el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas y el Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat. Aunque pueda parecer contradictorio, el ratio PSR/ATc es menor para aeropuertos con gran volumen de tráfico, consecuencia de una mejor distribución del tráfico en todas las horas posibles.

En resumen, se puede afirmar que, a mayor volumen de tráfico, mayor será el valor de los parámetros de diseño ya que la infraestructura debe procesar más pasajeros y más aeronaves. Al mismo tiempo, en los aeropuertos con mayor volumen de tráfico se aprecia una distribución más acentuada del tráfico hacia horas menos ocupadas, evitando la concentración en horas punta. Esto es posible en aeropuertos con tráfico sostenido durante todo el año, en cambio, aeropuertos turísticos como los mencionados anteriormente concentran la mayor parte de su actividad en periodos vacacionales.

En el análisis realizado, esta circunstancia se acentúa ya que el objeto de estudio son los aeropuertos españoles de la red de Aena. En España, en 2021, el sector servicios, al que pertenece el turismo, representó más del 70% del producto interior bruto (PIB) [16]. Así, el turismo es una actividad esencial para el país, lo cual se manifiesta también en la operativa de los aeropuertos del territorio nacional.

Reducir la concentración de aeronaves en la hora pico hará que también se reduzca la demora media por vuelo, pues, a medida que el tráfico se aproxima a la capacidad, los retrasos de los movimientos de aeronaves aumentan.

Este informe recoge los resultados obtenidos del estudio del desglose detallado del tráfico en el Aeropuerto de Málaga para el periodo de 2004 a 2021, permitiendo analizar la demora registrada en relación con los parámetros de diseño y la evolución de ésta.

En primer lugar, antes de introducir el parámetro de demora, se estudia la tendencia del valor de aeronaves en hora pico en relación con el volumen total de aeronaves. Excepto en 2012 y 2019, el número de aeronaves en hora pico crece si también lo hace el tráfico total y viceversa. Como se menciona en el *Capítulo 4*, al ser casos puntuales, no sería adecuado asignar una mala o correcta, respectivamente, distribución del tráfico a la causa de estas desviaciones. En 2012, probablemente se debe a un aumento no previsto del tráfico en la hora punta, de hecho, el valor de las aeronaves en la hora pico también es superior al de AHd.

En 2017 y 2018 también es superior el valor de las aeronaves en la hora pico al de las aeronaves en la hora de diseño. Los dos años presentan un tráfico superior al año previo, por lo que, esta diferencia puede que esté debida a una previsión más conservadora del volumen de tráfico esperado.

La demora presenta una relación directa con las aeronaves en la hora pico así como con las operaciones totales anuales. En 2010, sin embargo, a pesar de decrecer ligeramente las aeronaves en la hora pico, el tráfico total sí que crece respecto a 2009 y aumenta notablemente la demora. Este caso puntual puede deberse a múltiples causas. Sin embargo, ese mismo año, entró en erupción el volcán islandés *Eyjafjalla* que provocó la cancelación de más de 900.000 vuelos e infinitos reajustes de operaciones y búsquedas de alternativas a las rutas establecidas. Aunque el espacio aéreo español no se cerró, el colapso del espacio aéreo europeo alteró la normalidad en los aeropuertos españoles.

En 2017, a pesar del crecimiento continuado tanto de las aeronaves en la hora pico y de las aeronaves totales anuales, la demora media por vuelo descendió. En 2019, las aeronaves en la hora pico disminuyen respecto al año anterior mientras que el tráfico total aumenta, y la demora media por vuelo también se reduce respecto a 2018. Como se explica en el *Capítulo 2*, existen diversas causas de demora. En 2017, de acuerdo con el informe proporcionado por Eurocontrol [17], la principal causa de demora fue debida a otros vuelos (reaccionario), seguido de la propia aerolínea. En 2019, de acuerdo con el informe proporcionado por Eurocontrol, la principal causa de demora fueron las aerolíneas, seguido de la propia gestión del flujo de tráfico aéreo. En ningún caso se debió a falta de capacidad. Desafortunadamente, un correcto diseño no es garantía de reducción de la demora, ya que intervienen diversos agentes ajenos a la planificación aeroportuaria. Aun así, es importante dedicar los recursos necesarios en la fase de

planificación para optimizar la infraestructura desde el primer momento, al menos, en aquellos aspectos previsibles. Otros factores que se producen en tiempo real de la propia operación de la aeronave no podrán ser planificados, pero sí que pueden estudiarse planes de actuación en caso de que ocurran determinadas situaciones, como se expone en el *Capítulo 6*.

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

## 6. Conclusiones

Este capítulo cierra el presente informe, que recoge los resultados que se han ido presentando a lo largo de éste, fruto del estudio realizado para la elaboración del trabajo de fin de máster.

Los parámetros estudiados intervienen en el establecimiento de la capacidad estructural, macroestratégica, a largo plazo, y también estratégica, en función del principio de IATA de estaciones (anual) cuyo objetivo es comparar la demanda en procesos colaborativos y mitigar riesgos. Adicionalmente aporta input a la capacidad operacional.

La planificación estratégica reconoce la realidad aeroportuaria y de la industria de la aviación sobre la volatilidad y la incertidumbre de futuro, permitiendo pensar soluciones y posibilidades ante contingencias, desarrollar estrategias que minimicen los riesgos del sector, aprovechar las oportunidades y maximizar la propuesta de valor esperado.

A su vez, la planificación estratégica permite lidiar con el mercado cambiante actual:

- Nuevas aerolíneas y cese de otras. Creación o eliminación de alianzas, fusiones.
- Mercado altamente competitivo con aerolíneas de bajo coste.
- Patrones no definidos para rutas variables.
- Incertidumbre sobre la demanda.
- Incertidumbre en el mercado actual de aeronaves.
- COVID-19.

Los resultados obtenidos para los aeropuertos analizados desde 2004 hasta 2021 muestran una tendencia de evolución de los parámetros de diseño en busca de la optimización de la infraestructura aeroportuaria.

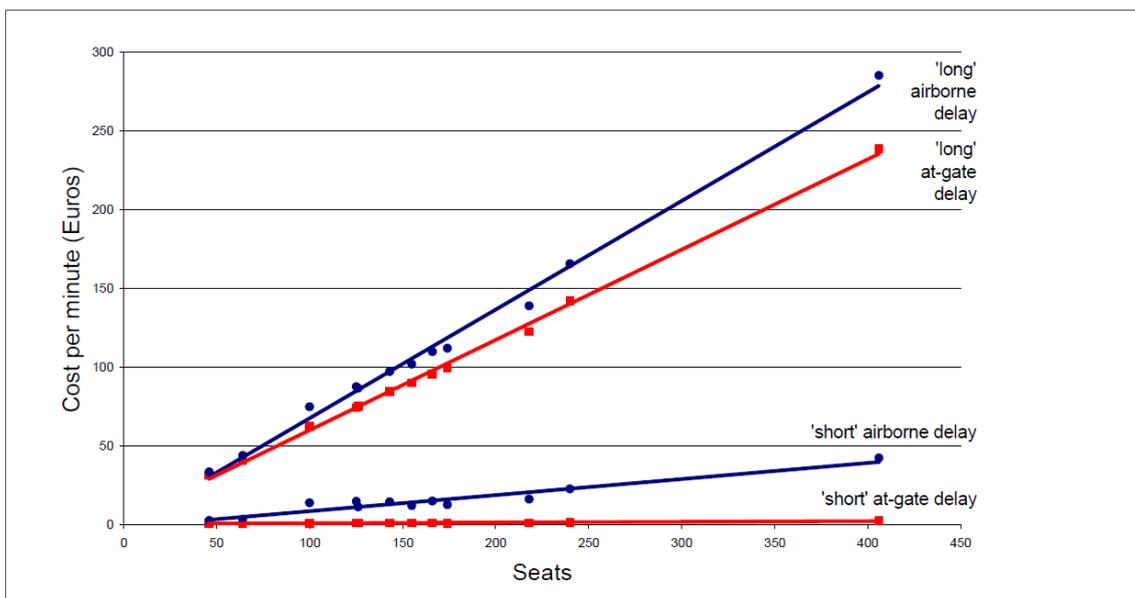
Dicha optimización objetivo busca reducir la demora media por vuelo, aceptable en niveles entre tres y cinco minutos para valores de capacidad práctica. Más de cinco minutos evidencian congestión.

Una planificación precisa es el primer paso en el proceso de conseguir un sistema aeroportuario eficiente, sin embargo, no garantiza los resultados en la práctica real. Dada la vulnerabilidad de la operativa aeroportuaria a los eventos externos, es necesario ejecutar acciones días cercanos a la fecha programada del vuelo, e incluso el mismo día, que integren información detallada que modifique la capacidad. Estas acciones se engloban en la denominada fase pre táctica.

Las demoras llevan asociadas un coste, variable en función de tres aspectos principales: el número de pasajeros del avión, si está en tierra/volando y de la duración de la demora.

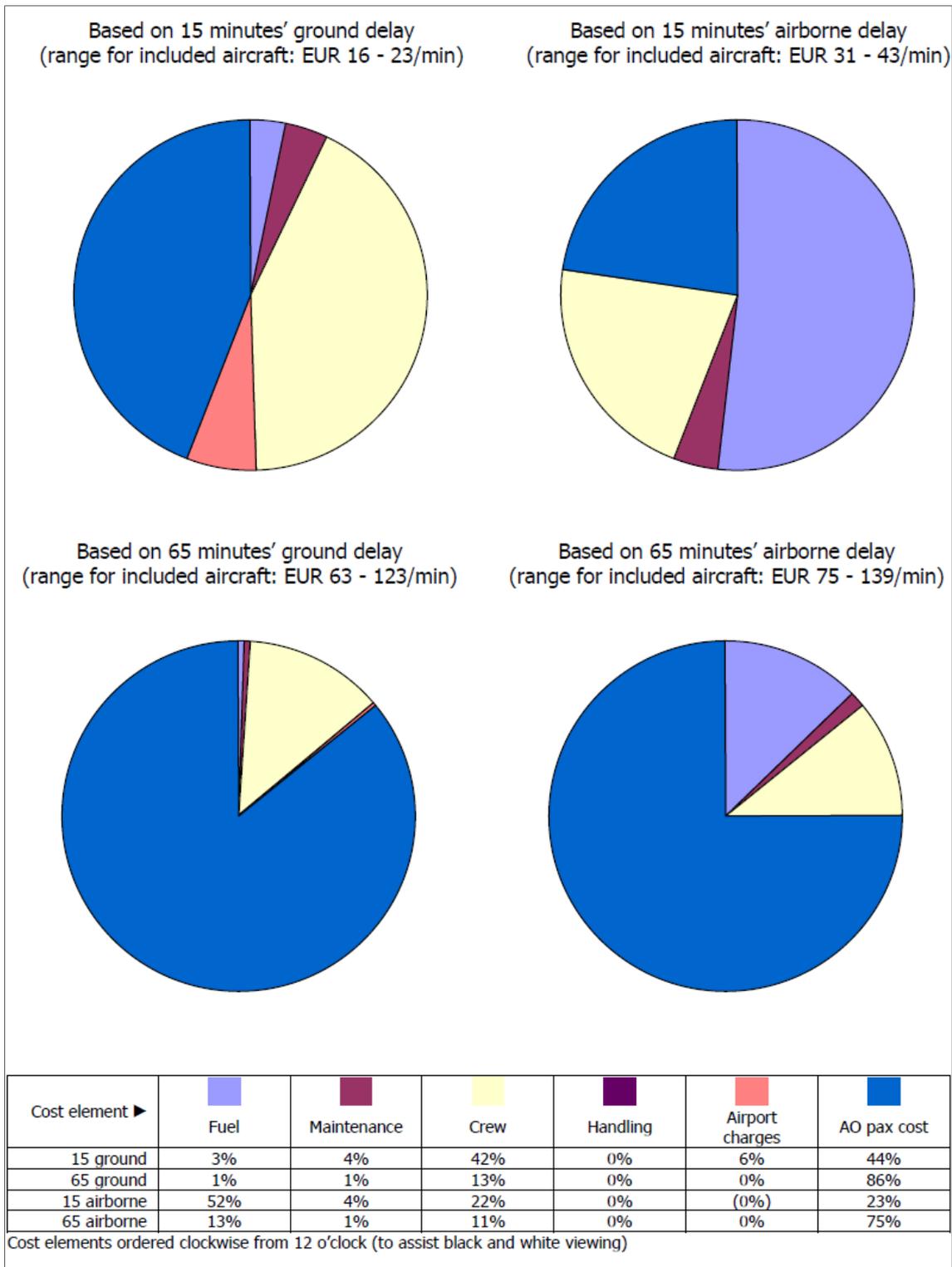
De forma habitual, el número de pasajeros y el coste de la demora por minuto se relacionan de forma directamente proporcional, a menor número de pasajeros esperando en tierra, menor sería el coste de la demora siempre y cuando sea inferior a las tres horas ya que si fuera superior implicaría compensaciones económicas a los pasajeros.

La *Figura 6.1* muestra la regresión lineal de los costes de demora, en la puerta de embarque y en el aire en función de los asientos disponibles. El coste de la demora siempre será mayor si esta se produce una vez la aeronave ya esté volando. Además, un avión esperando en tierra es infinitamente más seguro y sostenible con el medioambiente que esperar en el aire, consumiendo combustible, hasta que se solucione el evento que causa la demora.

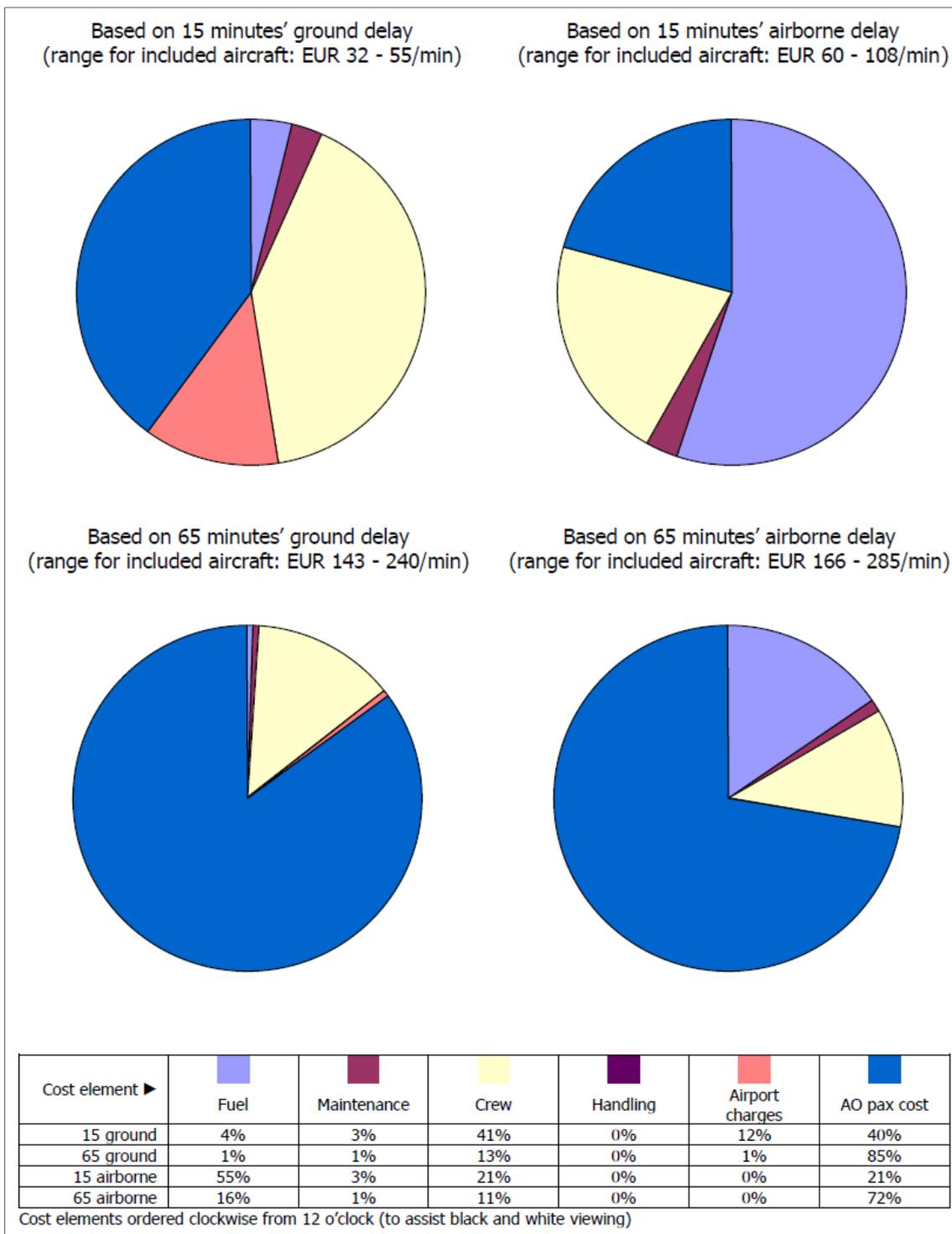


**Figura 6.1.** Regresión lineal de los costes de demora, en la puerta de embarque y en el aire en función de los asientos disponibles [19]

Por otro lado, la *Figura 6.2* y *Figura 6.3* muestran los costes asociados a la demora en función del fuselaje. Por ejemplo, una aeronave B747 que sufra demora en vuelo podría suponer un coste de más de 250 euros por minuto.



**Figura 6.2.** Distribución de los costes marginales medios de las aeronaves de fuselaje estrecho asociados a la demora [19]



**Figura 6.3.** Distribución de los costes marginales medios de las aeronaves de fuselaje asociados a la demora [19]

Las líneas de investigación actuales para mejorar los valores de demora son relativas a gestión de espacio aéreo, gestión del flujo del tráfico aéreo e implementación de los equipos meteorológicos actuales para conseguir mayor predictibilidad y fiabilidad.

En Europa, actualmente existe el *Network Manager Operations Centre* (NMOC), creado por Eurocontrol, que optimiza los flujos de tráfico equilibrando constantemente la oferta y la demanda de capacidad, al tiempo que garantiza el funcionamiento seguro y eficaz de los vuelos con destino a Europa o que sobrevuelan este continente.

Todas estas medidas comparten como factor común la seguridad (*safety* y *security*), siendo prioridad en todo momento. De hecho, en el plan de inversiones 2022-2026, incluido en el DORA 2022-2026 [8], para el Aeropuerto de Málaga, la partida principal es la mejora de la seguridad de personas e instalaciones, seguido del incremento de la seguridad operacional.

Con un presupuesto menor, actuaciones en campo de vuelos y plataforma, y puesta en operación de la RWY 30, lo cual permitirá operaciones más eficientes e incremento de la capacidad actual.

En definitiva, tanto el Aeropuerto de Málaga en particular, como el resto de aeropuertos españoles de la red de Aena prevén un aumento del volumen de tráfico en sus instalaciones para lo cual trabajan continuamente a través de mejoras y desarrollo de nuevos sistemas.

Del análisis de los patrones de tráfico en los aeropuertos estudiados, se concluye que la variación del tráfico suele ser grande, dentro de un mismo año, entre periodos vacacionales y el resto de épocas del año, disminuyendo dicha variación con la importancia del tráfico del aeropuerto. Estas fluctuaciones hacen que los parámetros de diseño no siempre reflejen la realidad objetiva del aeropuerto, especialmente en los aeropuertos cuyo volumen de tráfico es debido principalmente al turismo.

Se distinguen, pues, dos líneas de trabajo futuras. Por un lado, conseguir mayor exactitud en las pronosis de la demanda futura y, por otro, elaborar medidas que permitan la distribución del tráfico en los periodos mencionados en los que el tráfico es menor.

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**

## 7. Referencias

- [1] Airbus, “Global Market Forecast 2022”, Toulouse, Francia, 2022.
- [2] Dieter Wilken, Peter Berster, Marc C. Gelhausen, “New empirical evidence on airport capacity utilisation: Relationships between hourly and annual air traffic volumes”, Cologne, Germany, 2011.
- [3] Aena, “Informe de responsabilidad corporativa 2017”, 2017.
- [4] Urbatzka, E., & Wilken, D., Estimating runway capacities of German airports. *Journal of Transportation Planning and Technology*, 1997.
- [5] Aena, “Aeropuerto de Málaga”, 2022.
- [6] Aena, “Análisis del tráfico punta en la red de aena y determinación de los valores de diseño”, 2020.
- [7] Eurocontrol, “CODA Digest, All-Causes Delays to Air Transport in Europe Quarter 2 2022”, 2022.
- [8] Dirección General de Aviación Civil, “Documento de Regulación Aeroportuaria 2022-2026”, 2021.
- [9] Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, “Plan Director del Aeropuerto de Málaga-Costa del Sol”.
- [10] Enaire, “AIP del Aeropuerto de Málaga-Costa del Sol”.
- [11] AESA, “Clasificación de los aeropuertos españoles”.
- [12] Aena, “Aeropuerto de Girona”, 2022.
- [13] Aena, “Aeropuerto de Jerez”, 2022.

[14] Aena, “*Aeropuerto de Tenerife Sur*”, 2022.

[15] Dirección General de Aviación Civil, “*Análisis de la evolución del tráfico aéreo comercial en España Enero-Diciembre 2021*”, 2021.

[16] ICEX, “*Guía de negocios en España*”, 2022.

[17] Eurocontrol, “*CODA Digest, All-Causes Delays to Air Transport in Europe 2017*”, 2017.

[18] Eurocontrol, “*CODA Digest, All-Causes Delays to Air Transport in Europe 2019*”, 2019.

[19] A. Cook, G. Tanner, Stephen Andersonl, “*Evaluating the true cost to airlines of one minute of airborne or ground delay: final report*”, 2004.

## 8. Apéndices

### Apéndice A. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, 2004-2020

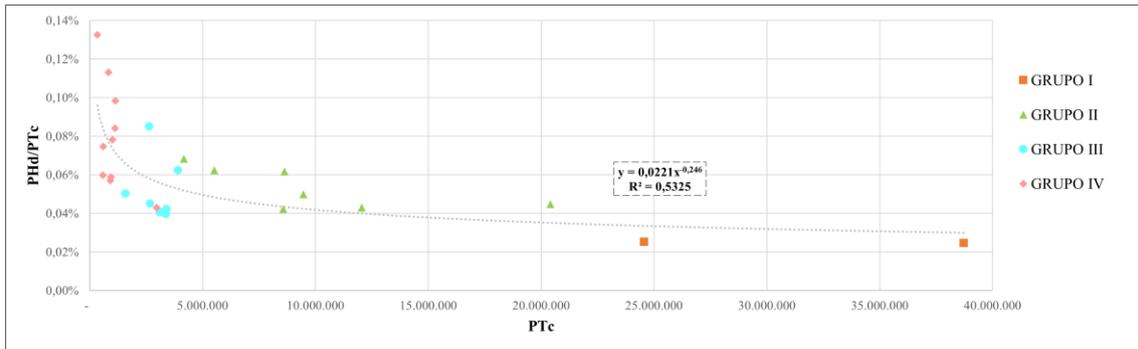


Figura 8.1. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2004

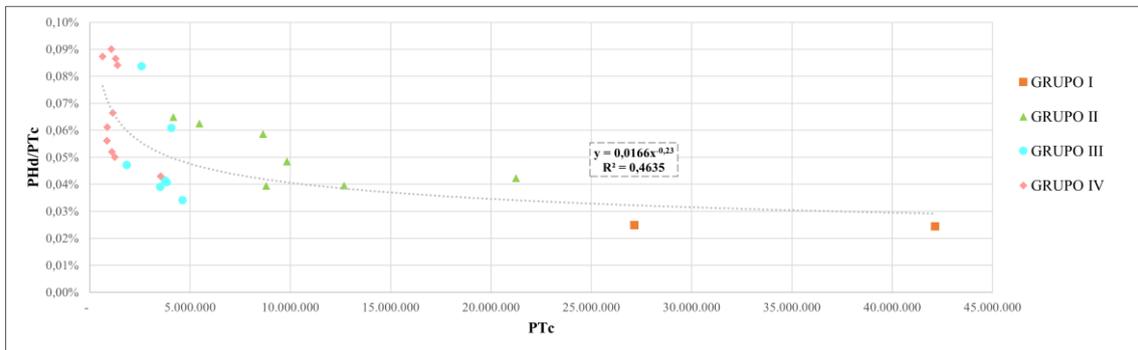


Figura 8.2. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2005

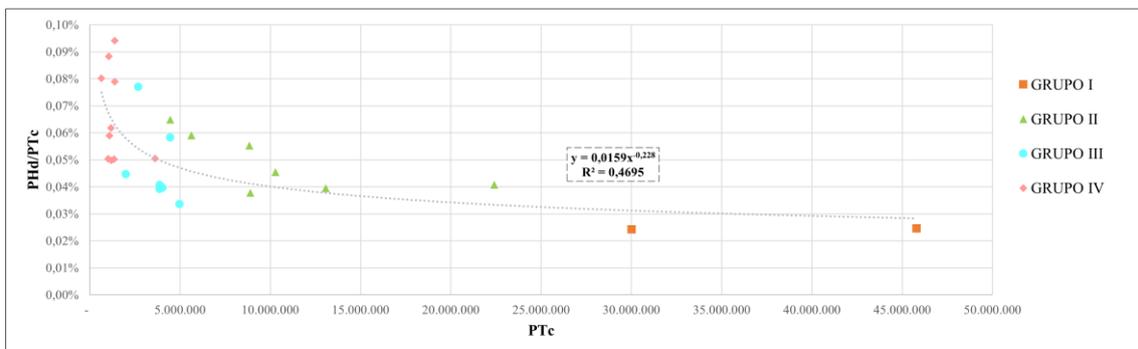


Figura 8.3. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2006

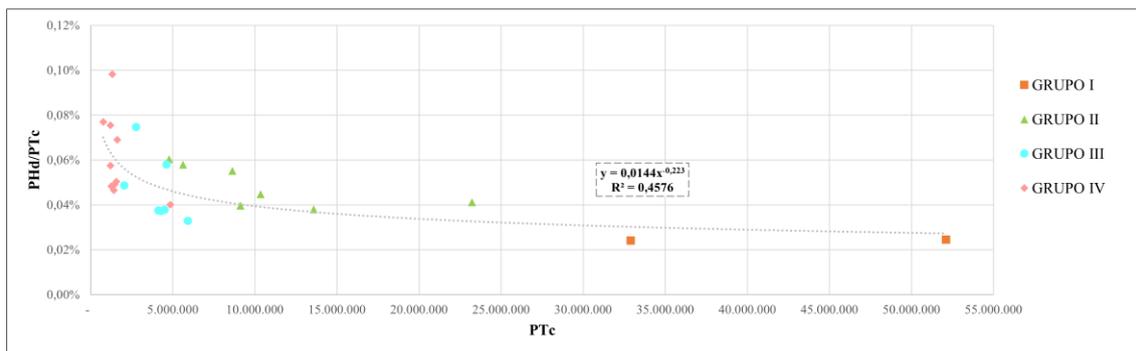


Figura 8.4. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2007

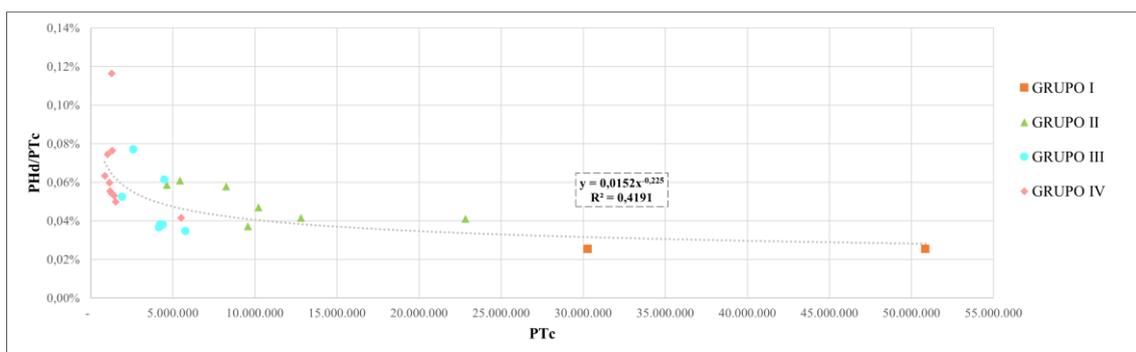


Figura 8.5. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2008

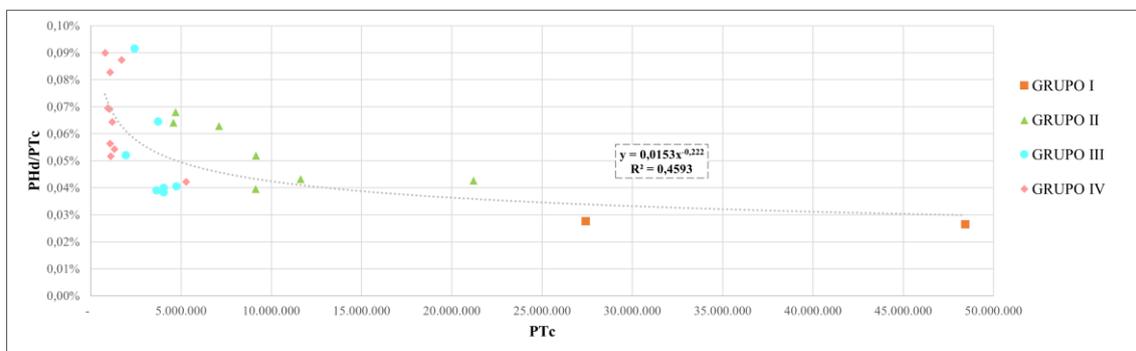
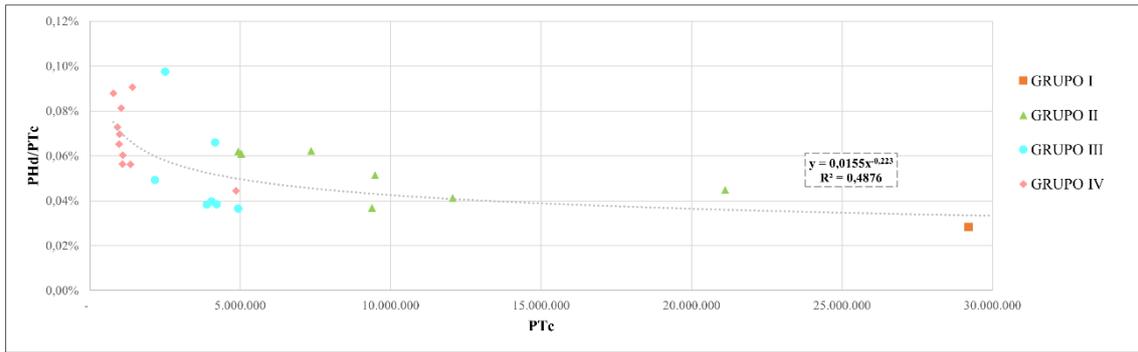


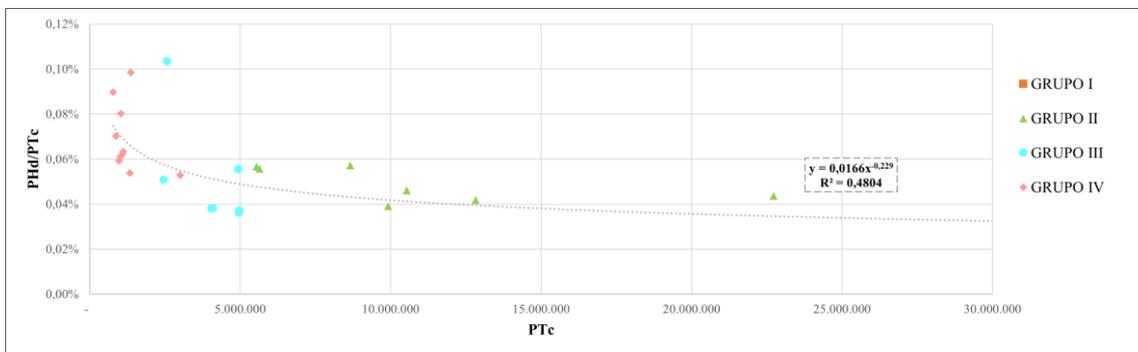
Figura 8.6. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2009

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

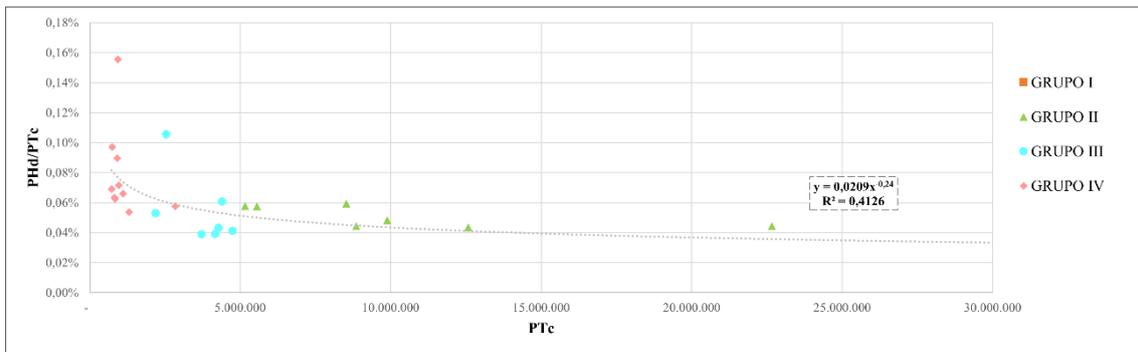
Eduardo Bengoa Bernal



**Figura 8.7.** Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2010



**Figura 8.8.** Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2011



**Figura 8.9.** Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2012

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduardo Bengoa Bernal

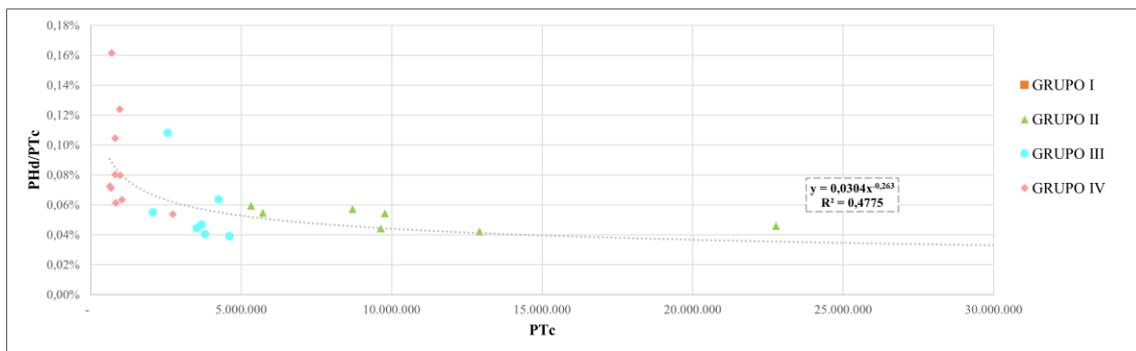


Figura 8.10. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2013

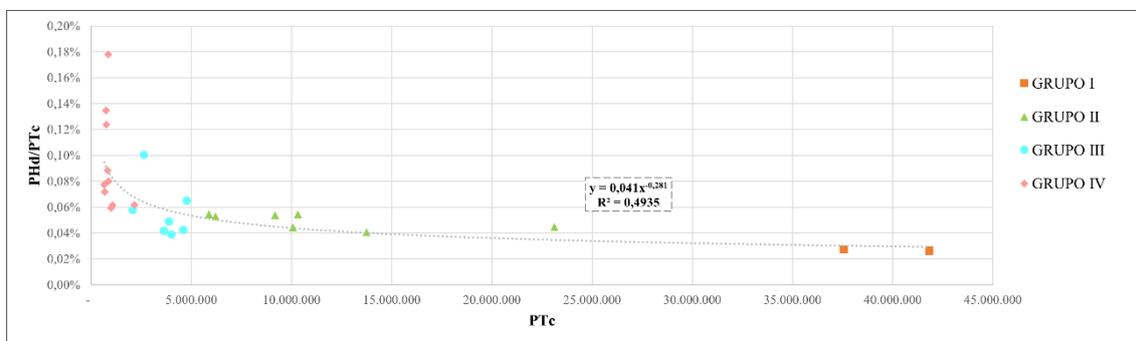


Figura 8.11. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2014

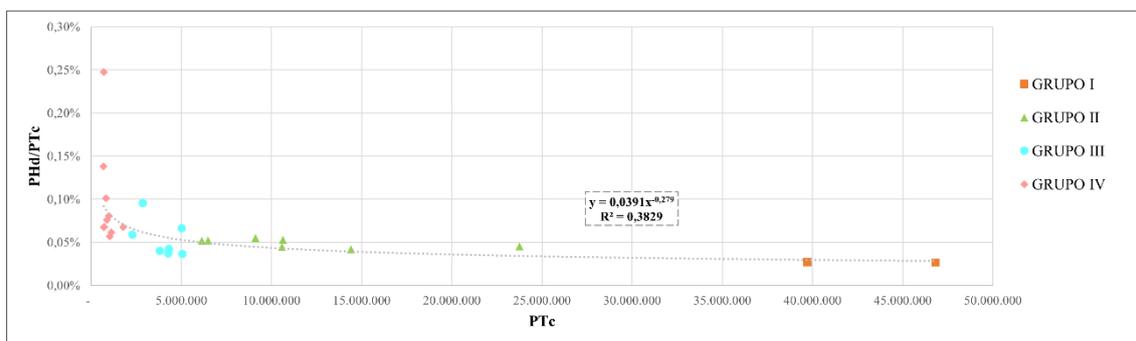


Figura 8.12. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2015

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduardo Bengoa Bernal

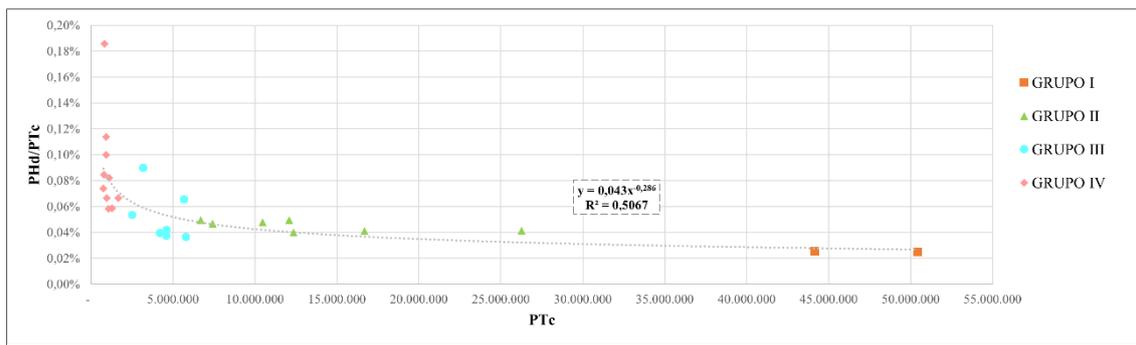


Figura 8.13. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2016

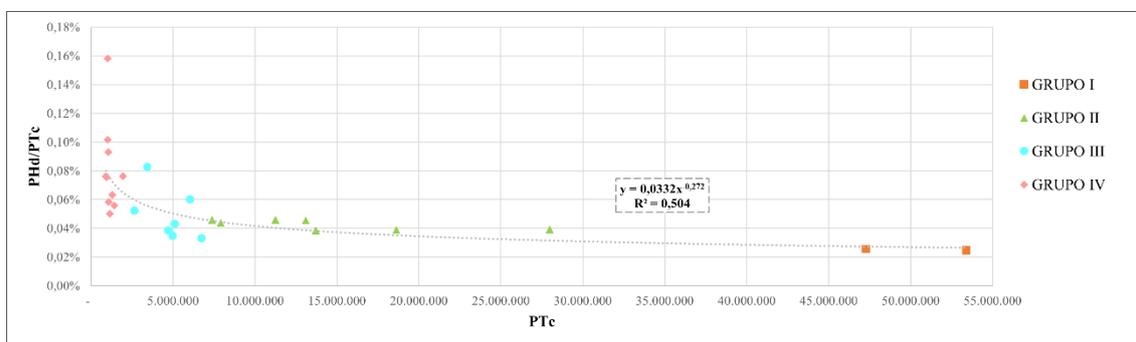


Figura 8.14. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2017

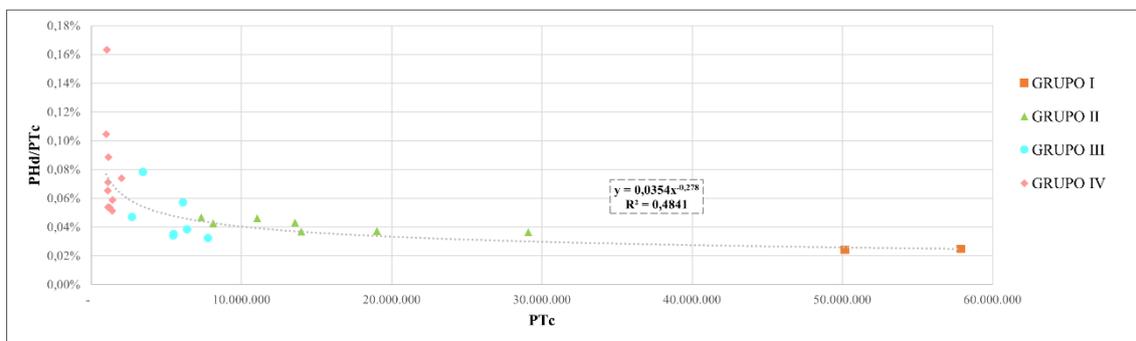


Figura 8.15. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2018

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduardo Bengoa Bernal

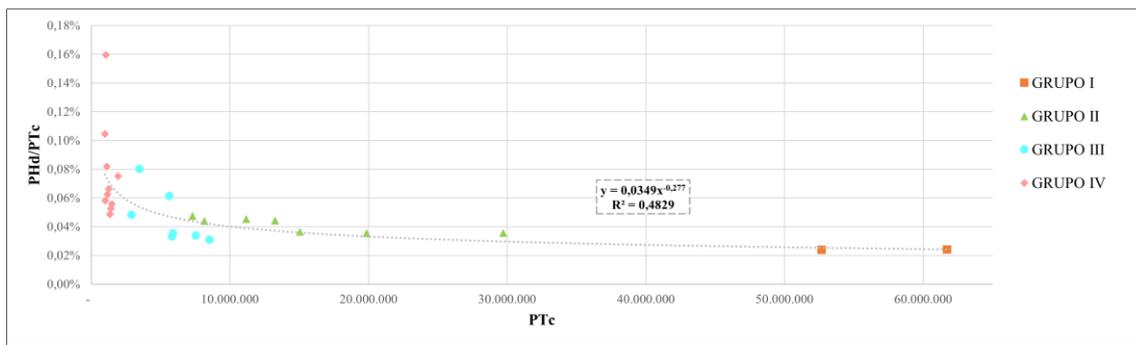


Figura 8.16. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2019

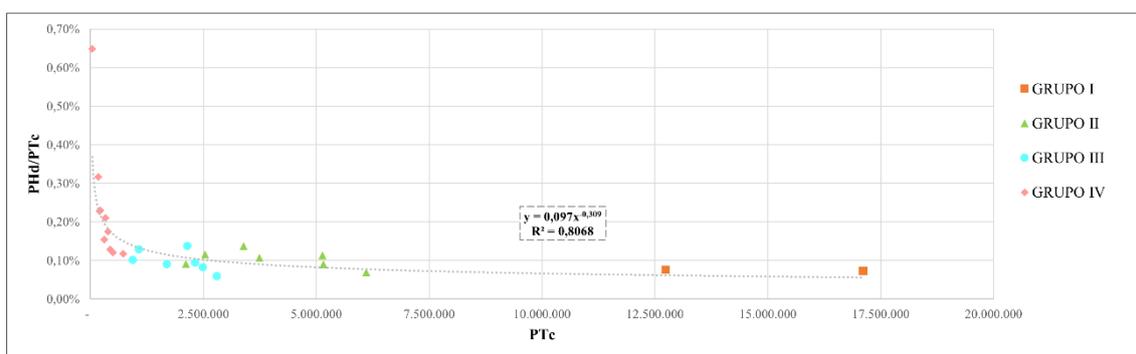


Figura 8.17. Relación porcentual entre los pasajeros en la hora de diseño y los pasajeros totales comerciales, año 2020

## Apéndice B. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, 2004-2020

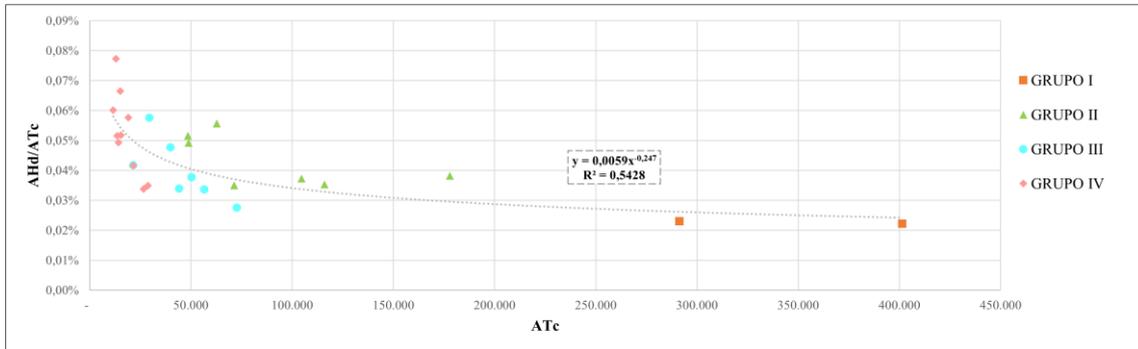


Figura 8.18. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2004

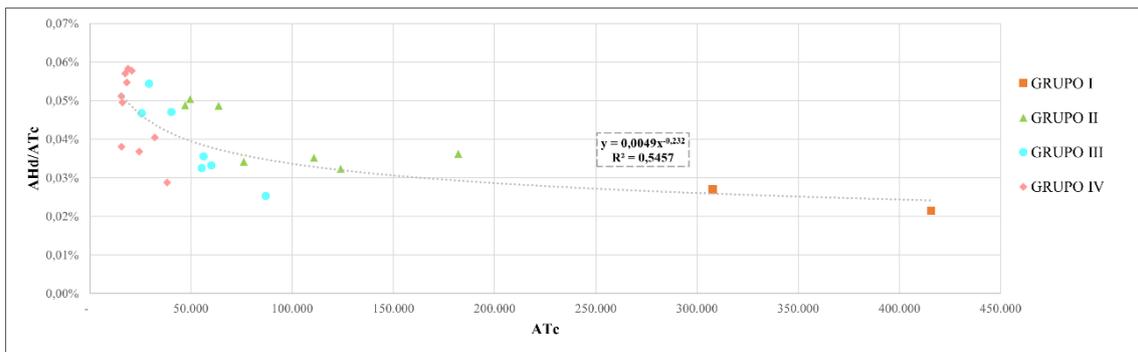


Figura 8.19. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2005

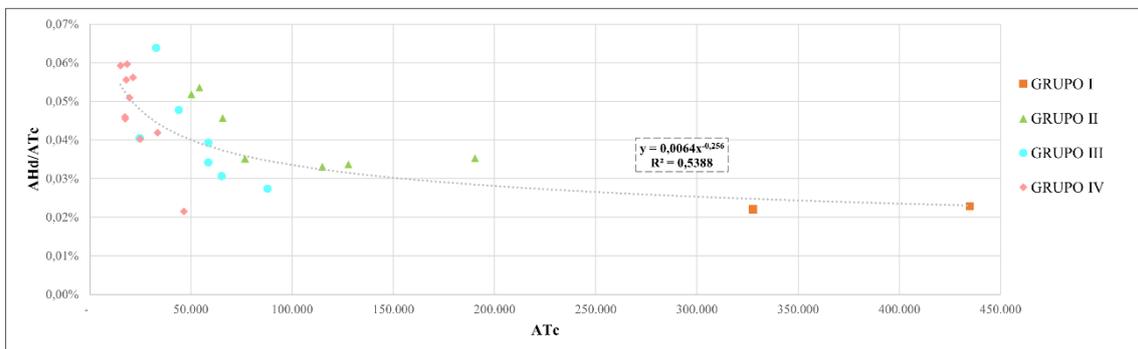
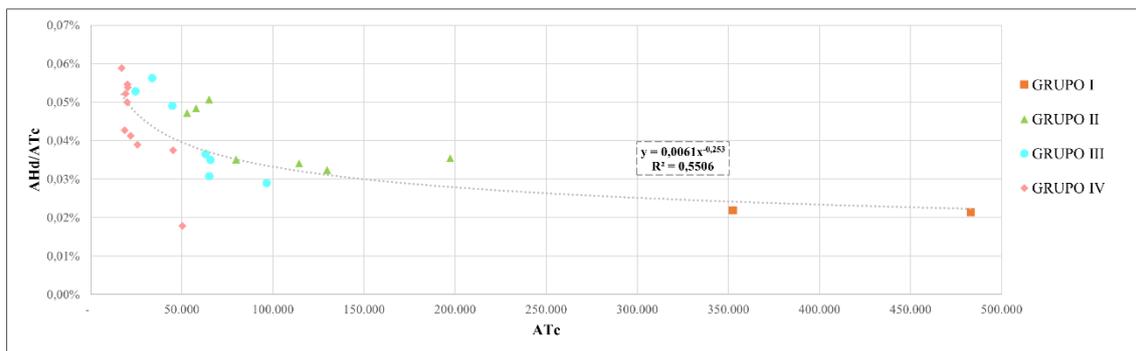


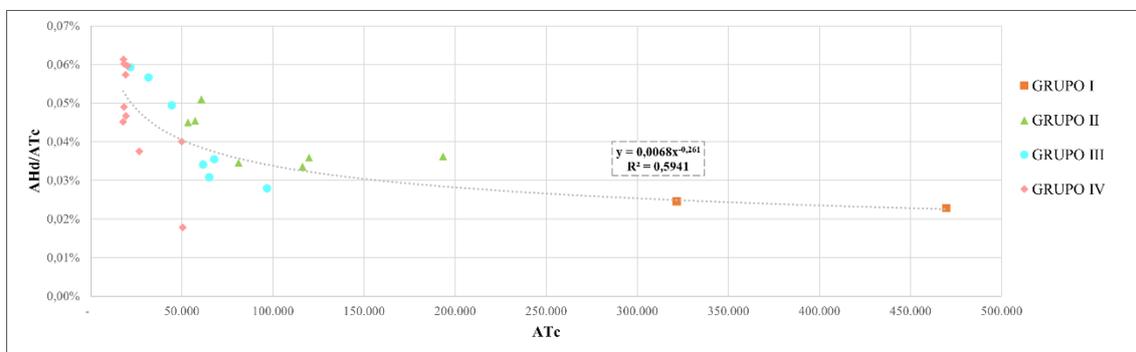
Figura 8.20. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2006

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

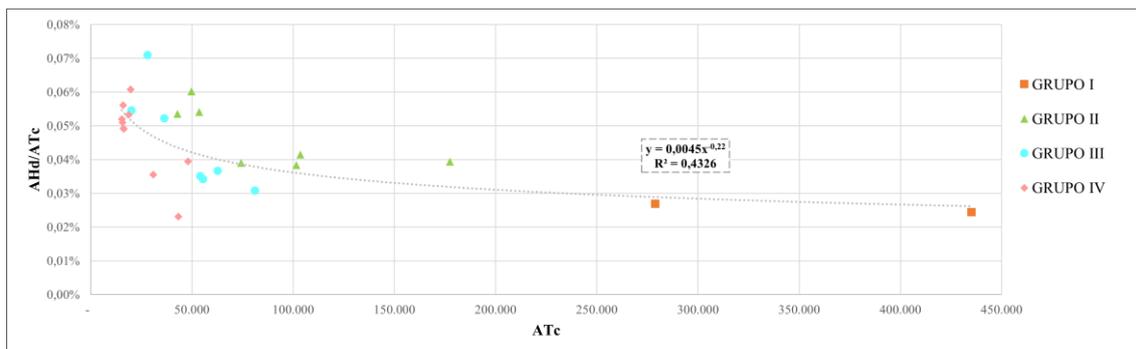
Edurne Bengoa Bernal



**Figura 8.21.** Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2007



**Figura 8.22.** Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2008



**Figura 8.23.** Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2009

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduardo Bengoa Bernal

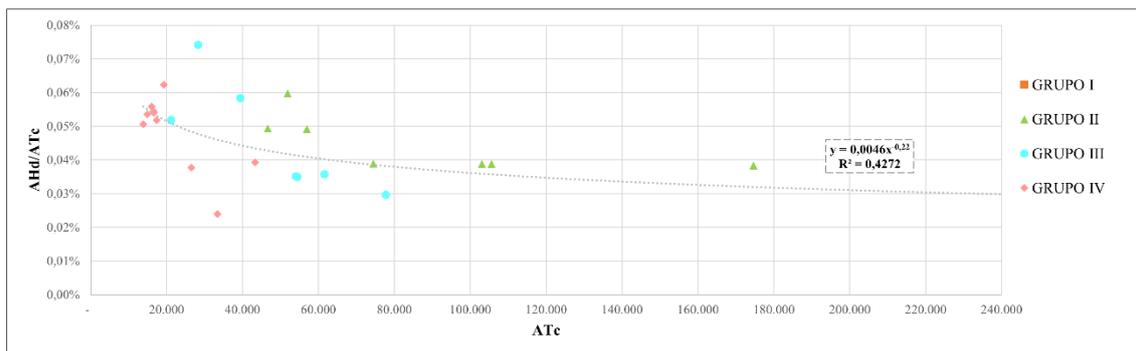


Figura 8.24. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2010

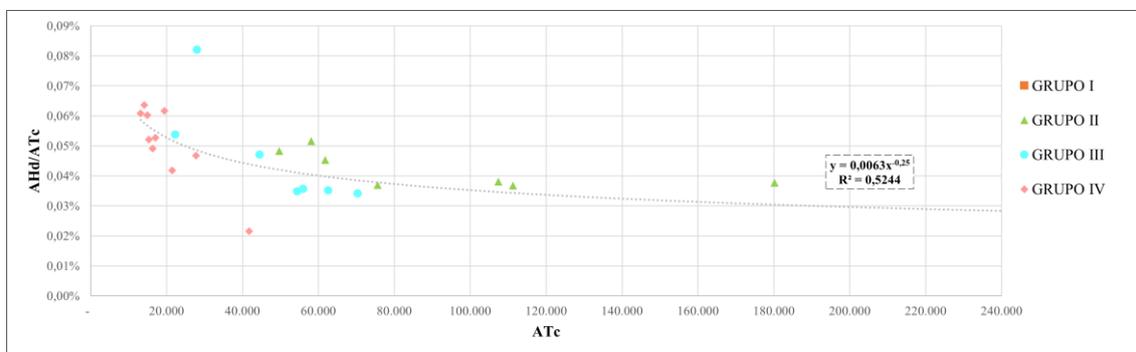


Figura 8.25. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2011

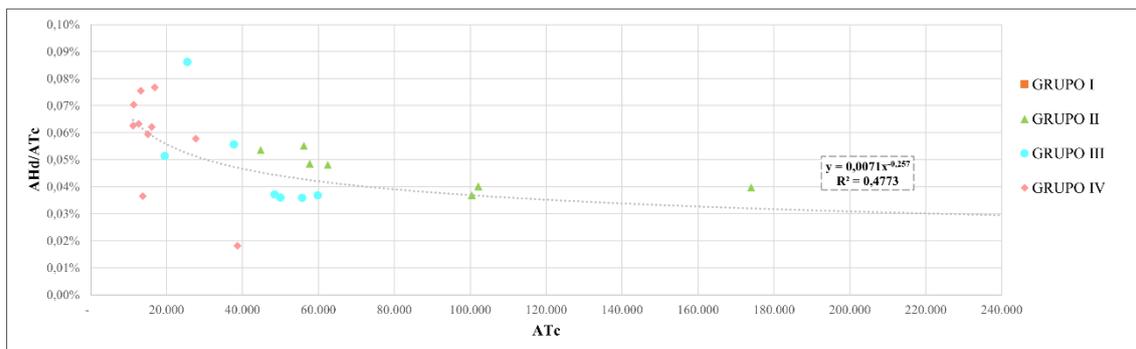
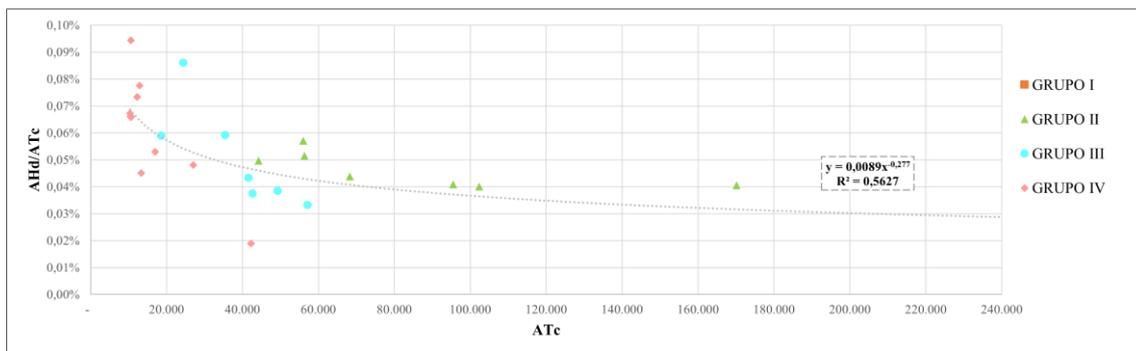


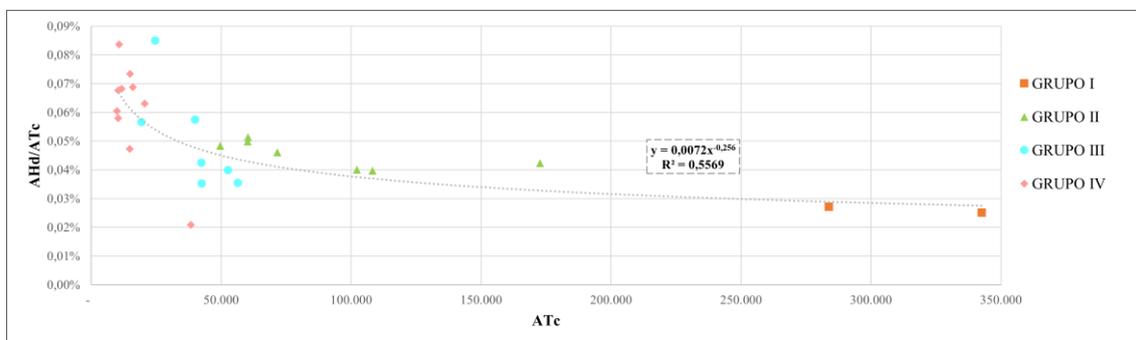
Figura 8.26. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2012

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

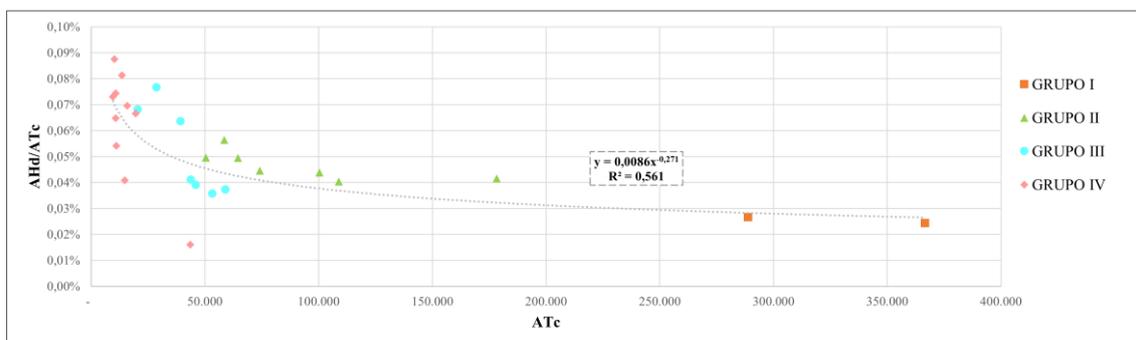
Eduardo Bengoa Bernal



**Figura 8.27.** Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2013



**Figura 8.28.** Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2014



**Figura 8.29.** Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2015

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduardo Bengoa Bernal

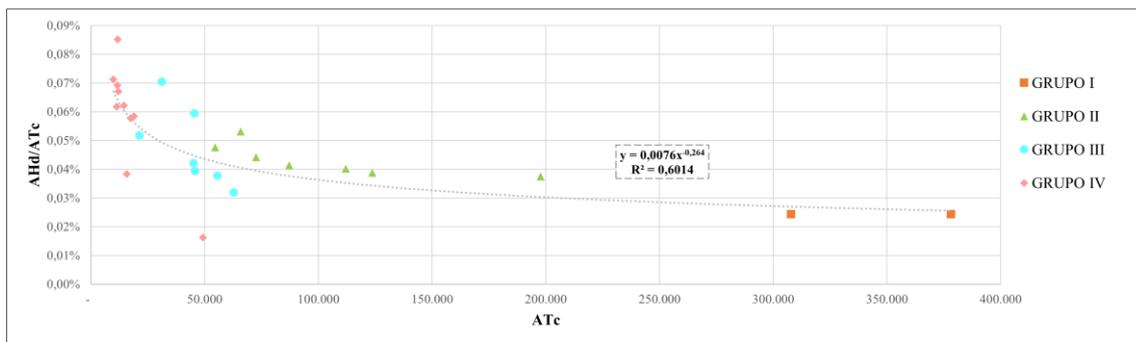


Figura 8.30. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2016

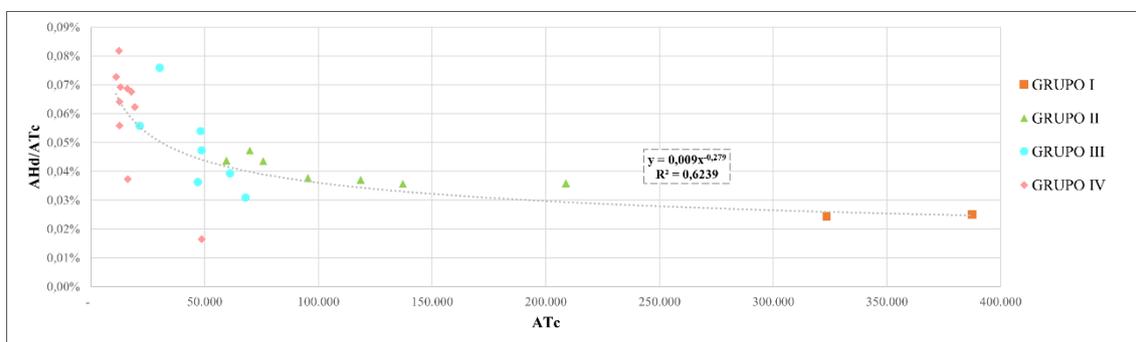


Figura 8.31. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2017

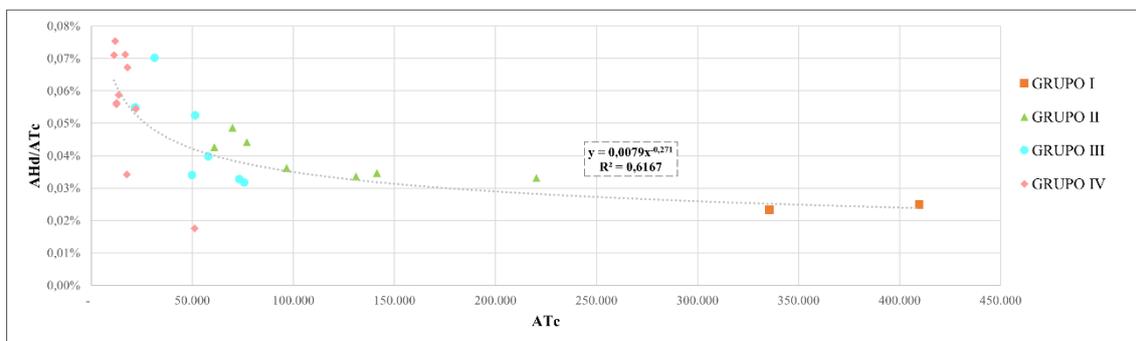


Figura 8.32. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2018

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduardo Bengoa Bernal

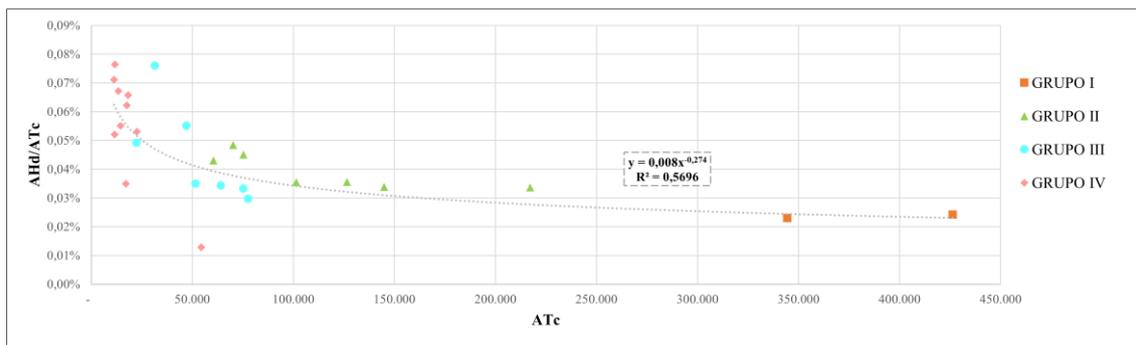


Figura 8.33. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2019

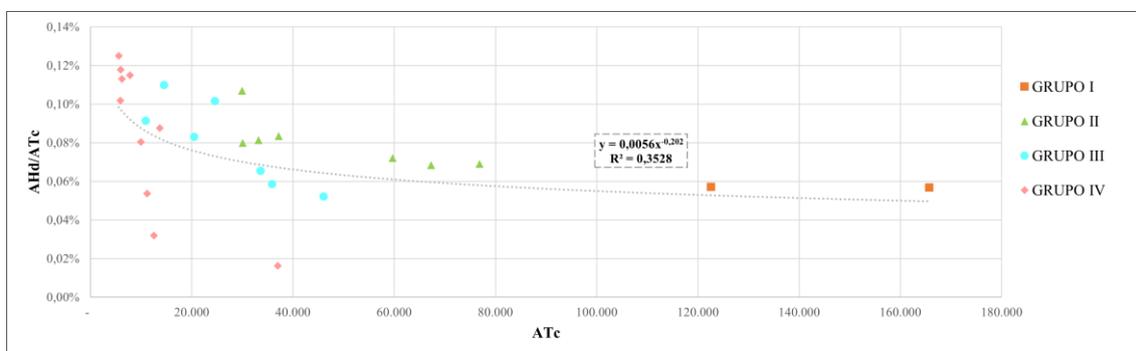


Figura 8.34. Relación porcentual entre las aeronaves en la hora de diseño y las aeronaves totales comerciales, año 2020

## Apéndice C. Acrónimos

<b>AHd</b>	Aeronaves en la hora de diseño
<b>AHd_LL</b>	Aeronaves en la hora de diseño en llegadas
<b>AHd_SS</b>	Aeronaves en la hora de diseño en salidas
<b>ATc</b>	Aeronaves totales comerciales
<b>ATC</b>	Air Traffic Control / Control de Tránsito Aéreo
<b>ATFM</b>	Air Traffic Flow Management / Gestión del flujo de tráfico aéreo
<b>DORA</b>	Documento de Regulación Aeroportuaria
<b>NCD</b>	Nivel de Calidad de Diseño
<b>PIB</b>	Producto Interior Bruto
<b>PHd</b>	Pasajeros en la hora de diseño
<b>PHd_LL</b>	Pasajeros en la hora de diseño en llegadas
<b>PHd_SS</b>	Pasajeros en la hora de diseño en salidas
<b>PSR</b>	<i>Peak Service Rate</i>
<b>PTc</b>	Pasajeros totales comerciales
<b>NMOC</b>	Network Manager Operations Centre

Análisis de la problemática para expresar la capacidad aeroportuaria: relación entre el volumen de tráfico aéreo por hora, el volumen de tráfico aéreo anual y la demora asociada en los principales aeropuertos españoles de la red de Aena

Eduarne Bengoa Bernal

---

**PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO**