



## 7° Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

### Título: Modelos del fenómeno de espera. Análisis de procesos en el transporte aéreo: el caso de la zona de check-in.

J. Piechocki, V. Nadal Mora, S. Pezzotti, A. Di Bernardi (1)

(1) Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Aeroespacial, UIDET GTA-GIAI, Argentina.

Autor principal: joaquin.piechocki@ing.unlp.edu.ar

**Palabras claves:** TRANSPORTE AÉREO, DEMORA, SIMULACIÓN POR EVENTOS DISCRETOS, TERMINAL, CHECK-IN.

#### Resumen

Los procesos asociados al transporte aéreo pueden modelarse como un encadenamiento de servicios. Tanto la demanda como el tiempo de servicio al que se puede reducirse cada proceso del sistema productivo tiene un comportamiento estructuralmente estocástico. Este hecho produce efectos sobre los modelos que se aplican a su diseño y gestión.

El caso de la zona de check-in en las terminales aeroportuarias resulta indicativa de los distintos abordajes posibles para el modelado de un servicio, que se diferencian por su capacidad de captura de su comportamiento. En el presente trabajo se presenta el caso de un escenario de demanda en un período de tiempo sobre una zona de check-in compuesta por una zona de espera y una de servicio, sobre la cual se compara el efecto de la aplicación de diferentes modelos para su dimensionamiento, en función de una demora límite por unidad de demanda. Estos modelos son los propuestos por los manuales IATA ADRM 9 (2004), el IATA ADRM 11 (2022), la teoría de colas, y la simulación numérica por eventos discretos (DES). Se puede observar que existen características diferenciales en los resultados, en las implicancias de diseño y en el manejo táctico de la demanda que está implícito. En la dimensión del transporte aéreo como sistema las orientaciones en el diseño y manejo tienen efectos mayores en los aeropuertos periféricos. Por lo tanto, es posible concluir que los modelos no son neutrales al respecto de la gestión de la infraestructura, y que suponen condiciones generalizadas que producen efectos sobre su operación.

El presente trabajo verifica a través de un caso, que las simulaciones por eventos discretos aplicadas a los procesos del transporte aéreo permiten discernir entre distintas alternativas de diseño y gestión a través de la consideración de escenarios específicos: se presenta como una herramienta complementaria para la generación de valor a través del análisis de procesos.



## 7º Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

### Introducción

En términos generales, el diseño de los procesos en terminales aeroportuarias responde a tres dimensiones: la topológica (que se expresa en el desarrollo arquitectónico), la operacional (los procesos), y la de desempeño (que se expresa en los costos derivados de su operación y los niveles de servicio percibidos por el pasajero). La respuesta dinámica sobre el espacio aeroportuario que se observa en las operaciones en las terminales involucra múltiples procesos encadenados, relaciones entre los individuos que las habitan, equilibrios entre recursos puestos a su servicio y la experiencia de los usuarios, y finalmente, la variable aleatoria.

El procesamiento de facturación (Check-in) es un componente específico dentro del sistema aeroportuario, que compone a su vez la red de transporte aéreo, que representa un sistema de nivel superior. Cada proceso componente podría reducirse a la interacción de una unidad de demanda con un servicio, generando efectos materiales, espaciales y temporales. En el caso de la facturación los pasajeros en partidas se presentan en el aeropuerto e inician el primer paso de proceso para la concreción de un viaje aéreo. El proceso de facturación supone la disposición de mostradores y puntos de despacho de equipaje. Una infraestructura de espera se deriva de este proceso, que producirá, en alguna medida, un tiempo de espera sobre la demanda que se presenta (Stolletz, 2011). A su vez, será necesario prever la integración de este sector con el resto del aeropuerto, con las superficies de circulación y de servicios anexos al pasajero.

Por otro lado, la demanda, caracterizada por un ritmo de aparición de pasajeros en el sector de facturación, no se comportará de manera independiente ni de la arquitectura del aeropuerto, ni de las operaciones de las aeronaves, ni de su posición dentro de la red de transporte aéreo que integra.

El diseño y operación del aeropuerto estará condicionado estructuralmente por la resolución de una tensión entre el abastecimiento de las demandas de servicio y la penalización económica que de él derivan, incluyendo los de la construcción de infraestructura. El servicio ofrecido a los pasajeros se mide por la longitud media de la cola, el tiempo medio de espera o los niveles de servicio que un determinado porcentaje de pasajeros espera por debajo de un determinado umbral (Graham, 2023). Los costos estarán asociados a la magnitud del dimensionamiento.

Este trabajo analiza el proceso de check-in desde su dimensionamiento, planteando un escenario de demanda que se asocia a la condición de diseño de aeropuertos pequeños, del tipo periféricos, particularmente afectados por la falta de economías de escala. Las observaciones que se realizaron son aplicables, en general, al conjunto de procesos de la terminal de pasajeros de los aeropuertos de este tipo.

Los procesos de desarrollo arquitectónico de terminales se encuentran condicionados por los dimensionamientos que surgen de los análisis de proceso, en este caso sobre el check-in. En particular se consideran las recomendaciones emanadas por IATA (a través de ADRM 9, 2009, y ADRM 11, 2019 por ejemplo), la aplicación de la teoría de colas, y la simulación numérica del proceso.

### Desarrollo

Consideraremos al proceso de check-in manual, que se lleva adelante frente a un mostrador, después de esperar un determinado tiempo en una zona de formación de colas de espera. El acceso a este sector se produce a través de un hall para vuelos en partidas que conecta la terminal con los medios de transporte terrestre. La aparición de individuos frente al sector produce la demanda de check-in. Esta tiene una distribución que tiene características singulares que dependen de factores ajenos al servicio e incluye a la variable aleatoria. Como generalidad se presenta una distribución de Gauss que se extiende por un período de tiempo del orden de tres horas previo al vuelo (Joustra, 2001).

La oferta de check-in está dada por unidades de servicio que incluyen un agente que, por pasajero, tramita su documentación de embarque y despacha el equipaje que volará en la bodega de la aeronave que embarcará. Su tiempo de servicio típicamente está representada por una distribución exponencial con media en la inversa del tiempo de servicio de referencia.



## 7º Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

El comportamiento que se observa es el propio de un fenómeno de formación de cola de espera, con eventuales períodos de saturación en donde se acumula la demanda en dicha cola, para reducirse en posteriores momentos de baja demanda.

Como modelo para el dimensionamiento de terminales, la entidad International Air Transport Association, IATA, a través de su publicación Airport Development Reference Manual, ADRM, propone un enfoque de evaluación de la capacidad y nivel de servicio de los procesos de la terminal de pasajeros de manera desagregada en subsistemas. En particular, intenta relacionar un escenario de demanda y un nivel de servicio con cantidades de oferta para satisfacer las condiciones de servicio.

El proceso de check-in se tomará como referencia general y como medio para la comparar distintos enfoques metodológicos destinados al dimensionamiento del servicio.

### Escenario de análisis

El comportamiento de un proceso puede observarse a través de sus efectos, que son una función dependiente de las características de la demanda. Por esta razón se adopta para el presente estudio un escenario tipo dado por la una aeronave B737-800 en partidas, con un 100% de ocupación, configurado con 160 asientos de clase económica. Estos pasajeros arriban de acuerdo al patrón de referencia mencionado (Joustra, 2001; Brause, 2020) que supone una desviación estándar de 42 minutos asociada a una distribución de Gauss cuya media se produce 90 minutos antes del vuelo.

Este hecho permite realizar la definición de una hora pico de diseño,  $dp_{60}$ , de 84 pasajeros (52% de los pasajeros tratados), y de una demanda en 30 minutos pico de diseño,  $dp_{30}$ , de 45 pasajeros. Esta condición puede reflejar el caso de aeropuertos periféricos que reciben vuelos regulares desde aeropuertos centrales como parte de esquemas de conexión de base diaria al respecto de la red de transporte aéreo.

Si se considera el perfil del servicio de check-in convencional (sin procesamiento previo a través de medios electrónicos), se adopta un tiempo medio de referencia de servicio de 150 segundos, observando una distribución de Poisson, en acuerdo a las referencias bibliográficas (Nagui 2017, entre otras). De estos 150 segundos, el despacho de equipaje propiamente dicho tiene tiempos medios que no superan los 30 segundos, de acuerdo a la experiencia en aeropuertos que desagregaron esta tarea (bag-drop).

El tiempo de espera califica al nivel de servicio,  $LoS$ , y por tanto es necesaria la definición de un límite que como objetivo se espera no superar para la clase de pasajero servida, en este caso económica. Se adopta una espera máxima objetivo por individuo menor a 20 minutos de acuerdo a IATA ADRM 11. El nivel de servicio incorpora otras dimensiones que incluye a la disponibilidad de espacio por individuo, como cuantificación de la relación de éstos con el espacio, que no se limita a ella.

### Análisis de proceso

El nivel de utilización de los mostradores de check-in, que supone la producción de un número específico de tareas, es siempre menor a la unidad, porque esta sintetiza una condición de posibilidad o imposibilidad material como consecuencia de un fenómeno estacionario. Si a los mostradores les asociamos la zona de espera, donde se forman las filas ordenadas de manera que los primeros que llegan son los que tienen prioridad para ser atendidos, el conjunto puede acumular demanda a un ritmo que puede superar la capacidad de procesamiento de los mostradores por períodos no estacionarios. Definimos sobre este conjunto, siguiendo los usos de la industria, a través de dos parámetros de dimensionamiento de la oferta: número de mostradores,  $N$ , y cola máxima esperada,  $E$ , que cuantifica el espacio de espera en unidades por individuo. Este proceso se desarrolla en general de forma no estacionaria, vale decir que el nivel de utilización de los mostradores fluctúa en el tiempo en función del ritmo en el que se presentan los pasajeros en partidas, provenientes de hall del aeropuerto dispuesto a este fin. Si el tiempo de demora en el proceso depende del nivel de utilización, entonces este será dependiente de la distribución de la demanda. Cuando el nivel de



## 7º Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



demanda sobrepasa la capacidad de servicio, se acumulan individuos en la cola, y establece una postergación del servicio que se suma a la demora, efecto que se conoce como saturación.

El modelo propuesto por ADRM 9 utiliza como entrada la demanda en hora punta de diseño, para establecer una condición de demanda en 30 minutos pico,  $dp_{30}$ , a partir del cual determina un número de mostradores recomendados de clase económica tal que se cumple con la condición de nivel de servicio impuesta. El resultado que arroja es de 4 mostradores.

El modelo propuesto por ADRM 11 propone que el número de mostradores de clase económica que cumpla con la condición de nivel de servicio impuesta puede determinarse multiplicando la demanda sobre una porción de tiempo,  $dp_{30}$ , por el tiempo de servicio, por un factor que es la inversa de la suma entre el nivel de servicio y el tiempo de demanda, 30 min en nuestro caso. El resultado de este modelo aplicado a nuestro caso de demanda es de 3 mostradores. Por otro lado, esta metodología agrega la determinación del número máximo de individuos en la cola que surge del producto entre la cantidad de mostradores, y la relación entre el nivel de servicio y el tiempo de servicio. Para nuestro caso estima 12 individuos.

Por otro lado, si tomamos la Teoría de Colas podemos analizar la misma condición de demanda para distinta cantidad de mostradores. El modelo se aplica a condiciones estacionarias de demanda. En nuestro caso se considera una demanda con distribución exponencial, y un tiempo de servicio de check-in con distribución de Poisson. Corresponde a la notación de Kendall M/M/1, para una condición de tasa de servicios menor a 1.

Si tomamos 4 mostradores, el factor de utilización para esta condición es de 93%, lo cual implica un número promedio de clientes en cola (espera de servicio) de 13, y una demora promedio de 8 minutos.

Si tomamos 3 mostradores, el factor de utilización que surge es de 113%, lo cual lo hace inaplicable.

Como modelo de contrastación se desarrollaron simulaciones por eventos discretos (DES) a través de su programación computacional, considerando la introducción de unidades de demanda (pasajeros) de acuerdo a la distribución de referencia, y tiempos de servicio de los mostradores con distribución de Poisson. Este modelo nos permitió obtener manifestaciones del comportamiento del sistema sobre la misma base temporal de la demanda, de 180 minutos (donde se presentan más del 95% de los pasajeros).

Los resultados muestran que para 4 mostradores, el tiempo de demora promedio es despreciable y el máximo que puede registrarse no supera los 2 minutos. Por otro lado, el número de individuos en cola no supera los 2 pasajeros, con una distribución de nivel de utilización de los mostradores que tiene un máximo de 65%.

Los resultados para 3 mostradores muestran un tiempo de demora promedio de 1,5 minutos con un máximo por pasajero de 8 minutos. Por otro lado, se alcanza una magnitud de cola máxima de 8 individuos, con factor de utilización de máxima de 85% desplazada 50 minutos del pico de demanda.

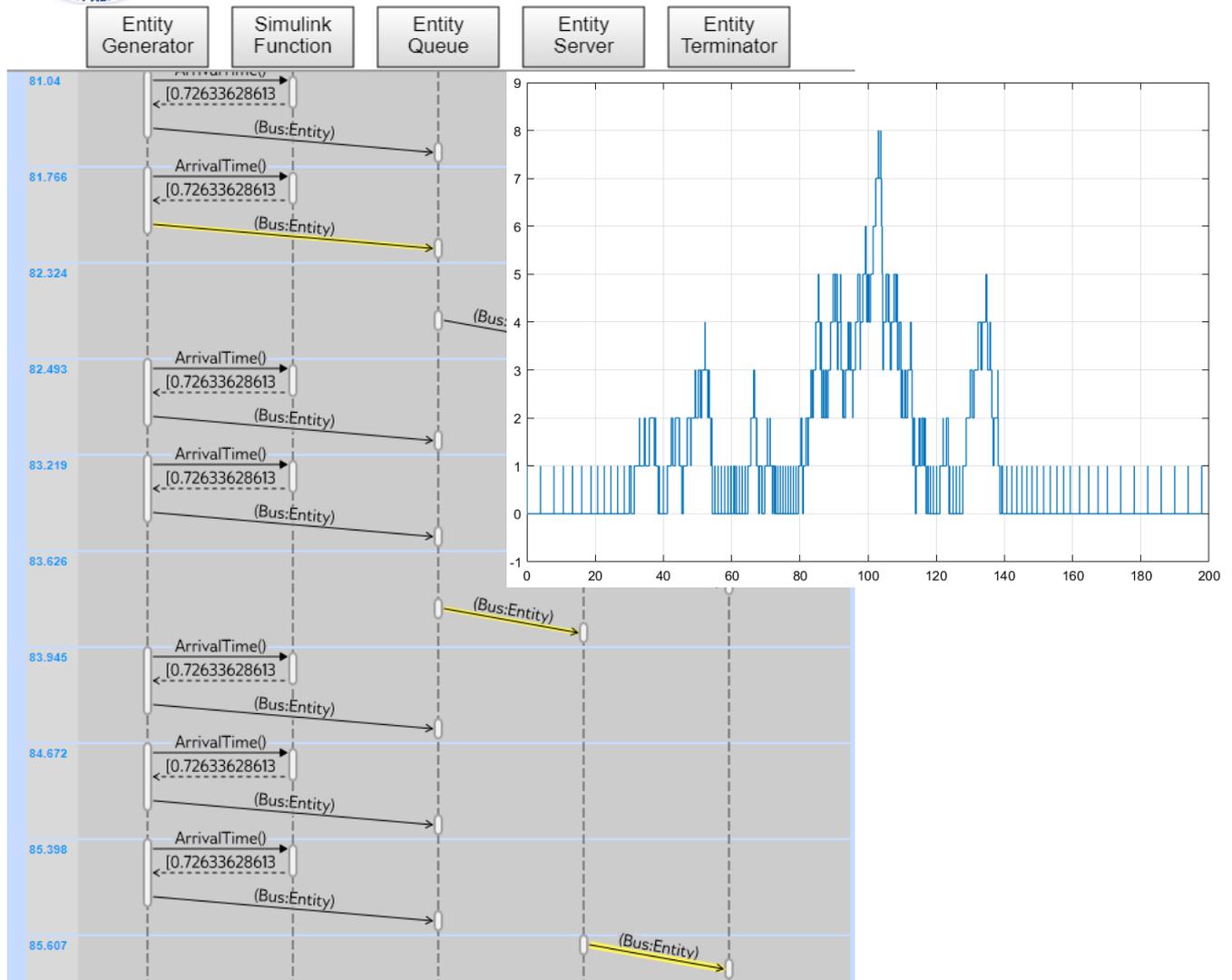
En la siguiente figura se muestran el esquema de inyección de eventos sobre el desarrollo temporal continuo del proceso (eje vertical) de este caso. En amarillo se puede ver el seguimiento de un individuo particular, en este caso el inyectado en el minuto 81,7 desde el inicio de la simulación. La curva a la derecha muestra la acumulación de los individuos entrantes en la cola previo al mostrador, en función del tiempo.



## 7° Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



Los resultados para 2 mostradores registran una demora máxima de 50 minutos y 44 individuos en cola como máximo, con factor de utilización que llega al 95% desplazando el servicio de pasajeros hacia la frontera de cierre de la facturación del vuelo. Se observa entonces una disfuncionalidad operativa a través de este dimensionamiento.

## Conclusiones

Con los resultados de la simulación a la vista podemos observar que el ADRM 9 considera una condición de funcionamiento aproximadamente estacionaria, y por lo tanto asociada a aeropuertos con una escala y demanda que habilitan una distribución diaria con relativa continuidad. Si utilizamos como dato de entrada la demanda prevista en nuestro escenario, el ADRM 9 muestra un sobredimensionamiento sistemático de la cantidad de mostradores, que para la demanda de referencia resulta de 4 unidades. La magnitud en cuestión es consistente con la teoría de colas aplicada a la misma condición, como se ve en la sección anterior. Vale decir que ambas reflejan una condición estacionaria de respuesta a la demanda. Como consecuencia, este abordaje obtura la capacidad de concebir áreas de espera, porque arriba a la conclusión que para la cantidad de mostradores propuestos estas son despreciables. De hecho, no está prevista su estimación en el manual



## 7º Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



de referencia. Por lo tanto, el enfoque, que resulta conservativo en el dimensionamiento de mostradores, determina un número de ellos que si bien garantiza el nivel de servicio lo hace al precio de mayores costos operativos y de infraestructura al aeropuerto, sin producir información sobre la relación con los procesos previos.

Si consideramos el ADRM 11 se puede observar que el modelo que propone es distinto al correspondiente al ADRM 9, y que corrige el sobredimensionamiento. En el caso que nos ocupa entrega la recomendación de disponer 3 unidades para la demanda prevista, considerando períodos de tiempo en donde la tasa de llegadas es mayor a la capacidad de servicio de los mostradores, en el contexto de una demanda pico dentro de un patrón temporal implícito. Para el caso de 3 mostradores, la cantidad de individuos en cola que prevé son del orden de la que estiman las simulaciones.

Las simulaciones por eventos discretos permiten analizar el caso en el que se atienda la demanda de referencia con 2 mostradores. Esta condición muestra un fenómeno de producción de demora por encima del límite de 20 minutos establecido (LoS) por períodos prolongados de tiempo, al mismo tiempo que muestra un desplazamiento de la demanda máxima y la cola máxima, proporcional al nivel de utilización, de gran magnitud. Esto desplaza el período de servicio que se extiende hacia la frontera establecida por el cierre del vuelo, produciendo eventualmente demora en su salida, y por lo tanto resulta disfuncional a la operación del aeropuerto. No obstante, este hecho no quiere decir que no existan medios de gestión del proceso que permita la atenuación de estos efectos hasta niveles aceptables.

Las simulaciones por eventos discretos (DES), que se produjeron en base a una herramienta de programación propia, muestran el comportamiento específico de los procesos dentro de la terminal, de manera desagregada como el caso que nos ocupa en este trabajo, pero también en su relación articulada con las operaciones del lado aire del aeropuerto. El impacto de este tipo de estudio se verifica, puesto que permite establecer límites más precisos de diseño bajo las condiciones singulares de demanda del aeropuerto.

El sobredimensionamiento de los parámetros de referencia de los procesos de servicio impacta en el desarrollo del ensamblaje productivo aeroportuario generando costos fijos y variables, no asociados a la generación de valor. Esta situación elegida para el análisis, la que caracteriza a un aeropuerto periférico, es la más sensible del sistema aeroportuario de una red de transporte aéreo, y por lo tanto es menester regirlas por enfoques holísticos orientados hacia la generación de valor y al manejo táctico de la demanda. Por ejemplo, la relación arquitectónica con el Hall de Partidas es una vía posible para la transferencia de demanda en casos de congestión.

Se puede decir que para el caso que no se despliegan medidas complementarias de manejo de la demanda en el check-in, la configuración típica de aeropuertos periféricos, que necesiten atender aeronaves con capacidad de 160 pasajeros como la de referencia, supone la disponibilidad de 3 puestos de check-in y la adición de un espacio de espera en cola que permita la formación de una línea de al menos 8 individuos con sus equipajes. La relación con el Hall de Partidas resulta a priori desvinculada con este proceso, como también la zona posterior al check-in, lo cual tiene efectos sobre el diseño.

Sin embargo, este dimensionamiento no puede prescindir del análisis de circulación desde el hall de partidas del aeropuerto, que será una fuente de mitigación de la demanda en condiciones no previstas y estará integrada en el abordaje arquitectónico. Existen medios de atenuación de los picos de demanda, que incluyen los medios remotos de check-in, áreas comerciales y de entretenimiento, entre otras. Esta relación es una directriz de diseño que permite soluciones orientadas a la producción de valor, y que necesita contar con medios técnicos para simular su comportamiento específico. Es en este sentido que el modelado de la terminal no resulta neutral al respecto de su operación y es necesario considerar las hipótesis que subyacen en su aplicación, como las que se explicitan en el presente trabajo. En particular, este abordaje es particularmente propicio como medio para buscar soluciones para la sostenibilidad funcional de pequeños aeropuertos (Adler, 2013), tan importantes en la conformación de redes de transporte aéreo.



## 7º Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

### Bibliografía

- Brause, L. M. (2020). Optimization of resource demand for passenger services at airports during system failures such as blackouts. *European Transport Research Review*.
- Graham, A. (2023). *Managing airports: An international perspective*. Taylor & Francis.
- Guizzi, G. M. (2009). A discrete event simulation to model passenger flow in the airport terminal. *Mathematical methods and applied computing*.
- IATA. (2004). *AIRPORT DEVELOPMENT REFERENCE MANUAL 9th Edition*.
- IATA. (2019). *AIRPORT DEVELOPMENT REFERENCE MANUAL 11th Edition*.
- Joustra, P. E. (2001). Simulation of check-in at airports. *Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference IEEE*, Vol. 2.
- Manataki, I. E., & G., Z. K. (2009). A generic system dynamics based tool for airport terminal performance analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*.
- Nagy, E. &. (2017). Revealing Influencing Factors of Check-in Time. *Acta Polytechnica Hungarica*.
- Stolletz, R. (2011). Analysis of passenger queues at airport terminals. *Research in Transportation Business & Management*, p. 144-149.