

Fortalecimiento de la potencia aérea brasileña al mitigar la congestión de tráfico fantasma en los flujos de tráfico aéreo

PRIMER TENIENTE BRUNO GARCÍA FRANCISCONE

FUERZA AÉREA BRASILEÑA

BRIGADIER DE RESERVA PEDRO ARTHUR LINHARES LIMA

FUERZA AÉREA BRASILEÑA

Introducción

El desarrollo completo de la aviación civil es la piedra angular para fortalecer el poder aéreo de una nación a fin de asegurar la soberanía de su espacio aéreo.¹ Esto constituye una fuerza de reserva fácil de movilizar en un entorno de guerra.²

En 1990, Brasil creó el Sistema de Control de Espacio Aéreo (SISCEAB) para proporcionar comunicaciones e infraestructura de radar para el control de espacio aéreo. El modelo brasileño de defensa aérea y control de tráfico aéreo abarca la integración entre dos sistemas, el Sistema Brasileño de Defensa Aérea (SISDA-BRA) y el SISCEAB.³

Este modelo integrado contribuye a lograr el objetivo estratégico de la Fuerza Aérea Brasileña de “prioridad de vigilancia aérea”, presente en la Estrategia de Defensa Nacional, ya que, en las acciones militares, los aviones utilizan una infraestructura sólida de comunicaciones y radares para asegurar la eficiencia de las operaciones. Además, permite interacciones rápidas entre las agencias de defensa aérea y de control de tráfico aéreo para identificar a los aviones que comprometen la seguridad del espacio aéreo o que actúan ilegalmente. Todo esto favorece el Poder Aéreo Brasileño.⁴

Este tipo de desarrollo, de acuerdo con Zhang y Graham⁵ además de fortalecer el poder aéreo que fomenta el comercio, impulsa el turismo, mejora la eficacia de la cadena de suministros y genera los tan conocidos efectos indirectos de ventajas locales en las regiones metropolitanas, donde están disponibles los servicios de aire eficiente. Aumentar el nivel de empleabilidad regional es una de esas ventajas.

Brasil tiene una Política Nacional de Aviación Civil (PNAC)⁶ que guía su desarrollo. Consiste en una política pública que resulta de la demanda de servicios de transporte que presentan numerosos objetivos y que requieren acciones estratégi-

cas. En cuanto al objetivo de “Desarrollo de Aviación Civil”, la acción estratégica incluye la capacitación adecuada de los recursos humanos necesarios para el sistema de control de espacio aéreo.

Las acciones estratégicas del plan antes mencionado para el objetivo de “eficiencia de las operaciones de aviación civil” consisten en introducir las nuevas tecnologías, métodos y procesos de gestión de tráfico aéreo que producen ganancias de eficiencia sin comprometer la seguridad.

La eficacia de la operación de la aviación civil depende de la continuidad de los flujos de tráfico aéreo. Si hay interrupciones, se generan ineficacias indeseables. Estas ineficacias pueden tener diferentes causas, no siempre evidentes. Algunas implicaciones obvias, podrían incluir condiciones meteorológicas adversas, pistas de aterrizaje o despegue inviables, espacio aéreo limitado o capacidad de aeropuertos, entre otras.

La detección de congestión debido a causas poco claras se observó inicialmente en los estudios de tráfico de ruta. De acuerdo con Treiber y Kesting⁷ estos embotellamientos de tráfico se llaman congestión de tráfico fantasma y consisten en la interrupción del flujo de automóviles debido a los factores que pasan inadvertidos por los conductores relacionados con la gestión de las velocidades de vehículos motorizados. Sin embargo, un piloto de helicóptero que sobrevuela una autopista, observando el flujo de estos vehículos, puede notar este efecto.

En una analogía, después de algunos ajustes, es posible verificar la ocurrencia de este tipo de congestión también en el tráfico aéreo. Dependiendo del número de aviones que vuelan en una vía aérea, hay una velocidad óptima que maximiza el flujo. Supongamos que los aviones emplean velocidades que son muy diferentes a la ideal. En ese caso, las interrupciones en el flujo pueden ocurrir cambiando su trayectoria, cuando sea posible, o colocando los aviones en un patrón de espera.

Cuando hay patrones de espera en su sitio, los aviones vuelan en circuitos cerrados, marcados por el posicionamiento geográfico mientras esperan continuar su vuelo, ya que no pueden parar en el aire de la misma manera que los vehículos motorizados.

El fenómeno de embotellamiento de tráfico fantasma se observó en simulaciones de tiempo acelerado utilizando los datos reales de los planes de vuelo de aviones que se aproximan al Aeropuerto Internacional de Guarulhos (GRU) en un día típico de operaciones. El aeropuerto de GRU está ubicado en las proyecciones laterales de la Terminal Aérea de San Pablo.

Este aeropuerto fue elegido para las simulaciones mencionadas anteriormente porque es el aeropuerto más utilizado de Brasil, como se ve en la Figura 1, y es el centro de la aviación internacional con un movimiento de aviación civil nacional importante. Como resultado, las ineficacias en el flujo de aviones que salen y lle-

gan a y desde este aeropuerto impactan toda la red aérea nacional y el tráfico aéreo internacional. Además, el aumento de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, los niveles de ruido causados por los aviones en los patrones de espera y los cambios constantes en las trayectorias de los aviones que vuelan a bajas altitudes generan un impacto ambiental adicional.

Ranking de aeropuertos — 2018

(Aterrizajes + Partidas + Cruces + TGL)

			Variación Anual 2017/2018
1º	Guarulhos, SP	299.961	▲ 10.59%
2º	Congonhas, SP	228.866	▲ 2.18%
3º	Brasília, DF	164.485	▲ 3.77%
4º	Santos Dumont, RJ	114.740	▼ -0.35%
5º	Galeao, RJ	116.717	▼ -8.16%
6º	Campinas, SP	111.472	▼ -1.15%
7º	Confins, BH	102.134	▲ 1.53%
8º	Campo de Marte, SP	87.044	▲ 5.37%
9º	Porto Alegre, RS	85.963	▲ 3.10%
10º	Salvador, BA	83.558	▲ 2.27%

Figura 1. Ranking de aeropuertos — 2018

Fuente: Anuario estadístico del año 2018 del Centro de Gestión de Navegación Aérea

Los aviones en patrones de aproximación hacia el aeropuerto de GRU, inician el descenso después de un vuelo en crucero, y continúan en diferentes flujos provenientes de diferentes partes del país y del mundo. Entonces se fusionan en un flujo único, el cual define la secuencia de aterrizaje.

De acuerdo con Nagaoka y Gwiggner,⁸ cuando la demanda promedio de aviones supera la capacidad de espacio aéreo o aeroportuaria debido a las horas pico o por condiciones meteorológicas, puede haber congestiones. Además, los retrasos en la ruta son innecesarios si los retrasos en tierra se administran correctamente.

Incluso si no se han superado las capacidades de espacio aéreo y aeroportuario, puede haber embotellamientos de tráfico fantasma generados sin un motivo aparente para los controladores y pilotos, de los cuales la causa raíz es la ineficacia en la gestión de la velocidad del avión como ya se informó.

Factores humanos y sistemas de respaldo a la toma de decisiones en el control y gestión del tráfico aéreo

Los controladores en el centro de control de aproximación trabajan en un entorno muy dinámico. Se ocupan de un gran número de aviones que llegan o salen hacia y desde los aeropuertos en un espacio aéreo reducido y son responsables de mantener un flujo de aviones rápido, seguro y ordenado. Estos profesionales orga-

nizan los aviones en filas, tanto en los flujos entrantes como de salida, y se aseguran que los aviones estén espaciados con seguridad.

En vista del aumento del volumen de tráfico aéreo en todo el mundo que comenzó en los 50, el espacio aéreo ha sido fragmentado en varias partes adicionales con diferentes dimensiones que van de acuerdo con la carga de trabajo generada para ser distribuida a los controladores de tráfico aéreo. Esto aumentó la complejidad de la actividad e implicó la necesidad de coordinar las acciones entre los controladores de las partes adyacentes del espacio aéreo.⁹

Como no había herramientas automatizadas de toma de decisiones, ni un organismo central que administre el flujo de los aviones y la estructura del espacio aéreo, los controladores se basaron en las técnicas empíricas para determinar las secuencias de los aviones y el patrón de separación entre ellos sin conciencia de situación global. A veces esta situación ha llevado a ineficacias en los flujos de tráfico aéreo.¹⁰

La gestión de la velocidad de los aviones debe ser tomada para sincronizar los flujos de tráfico aéreo y evitar tanto como sea posible el cambio de sus trayectorias y situar a los aviones en patrones de espera. Es esencial que los controladores de tráfico aéreo instruyan a los aviones para que mantengan las velocidades óptimas para cada régimen de flujo y que los pilotos cumplan con las velocidades determinadas por estos controladores para asegurar que la gestión se produzca correctamente.

A medida que la densidad de los aviones crece en ciertas áreas del espacio aéreo, explota la demanda de controladores de tráfico aéreo y aumenta la complejidad. Buscar un rendimiento adecuado sin desperdicio excesivo de energía o cambiar de interacciones con los pilotos se convierte en una búsqueda seria.¹¹

Esta adaptabilidad es altamente relevante en entornos más complejos además de ser apenas enseñable y exige experiencia. También es notable que los controladores de tráfico aéreo seleccionan los procedimientos adecuados para situaciones correctamente identificadas. Sin embargo, los sistemas de respaldo a la toma de decisiones son esenciales para el éxito de los procedimientos seleccionados en términos de eficacia de los flujos de aviones.¹²

El Sistema de Gestión de Llegada (AMAN) es un sistema de respaldo para la toma de decisiones ya ampliamente utilizado en varios proveedores de navegación aérea en todo el mundo. Este sistema no fue diseñado para la toma de decisiones de los controladores de tráfico aéreo y no es una herramienta para alertar y resolver los conflictos de tráfico aéreo. “*Gestión de Llegada*” es el término establecido para organizar los aviones que se aproximan a un aeropuerto dado en flujos continuos y eficaces para el aterrizaje.¹³

Este sistema establece el orden de los aviones en una secuencia de aproximación a un aeropuerto dado, de acuerdo con los criterios de secuencia definidos y los horarios de llegada preferidos, como se ve en la Figura 2. Esto permite que los

controladores de tráfico aéreo actúen en la organización de los aviones en un orden sugerido.¹⁴

AMAN se ha implementado gradualmente en Brasil. Hubo una mejora considerable en la eficacia de los flujos de aproximación de aviones debido a la reducción de retrasos derivados de los cambios y patrones de espera de vuelos en las agencias de control de tráfico aéreo donde se ha implementado AMAN.

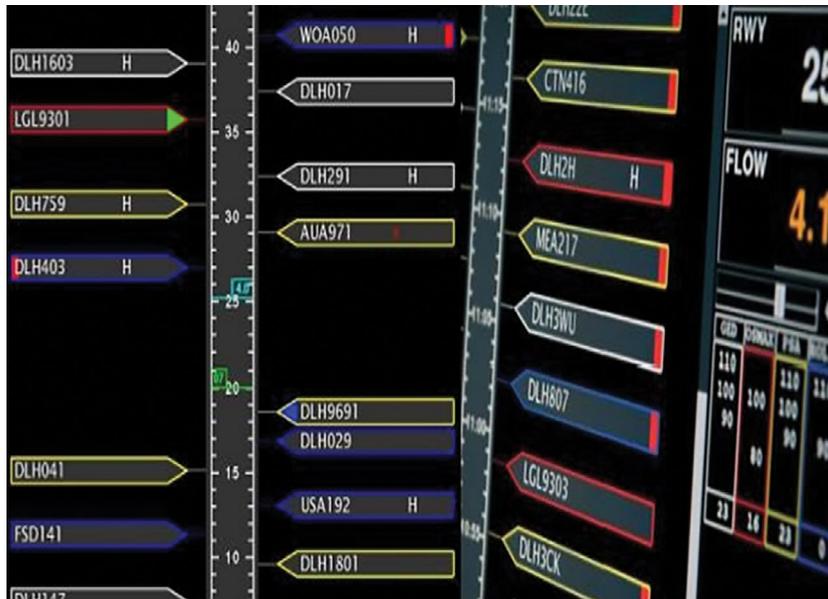


Figura 2. Gestor de arribos (AMAN)

Fuente: Autor: Departamento de Control del Espacio Aéreo -DECEA, por sus siglas en inglés, el 1 de agosto, 2019

Sin embargo, a pesar de los beneficios otorgados, hay un margen para la mejora. El sistema no reconoce las rutas fuera de las rutas establecidas estándar lo cual no le permite definir correctamente la secuencia de los aviones en condiciones meteorológicas adversas, donde los aviones no pueden seguir las rutas estandarizadas.¹⁵

El sistema presenta el mismo problema cuando se permite que los aviones acorten las trayectorias de vuelo y abandonen las rutas estandarizadas. Además, es importante destacar que AMAN realiza cálculos basados en valores prefijados para las velocidades de los aviones y no considera factores como las preferencias de operación de las aerolíneas y los vientos de altitud.¹⁶

La terminal aérea de San Pablo no tiene implementado AMAN para ayudar a administrar los flujos de tráfico en los aviones que se aproximan en los aeropuertos líderes, incluido el aeropuerto de GRU. Sin embargo, hay perspectivas para su implementación en los próximos años.

Relación entre los factores humanos y la eficacia en los flujos de aproximación en un estudio de caso en la Terminal de Guangzhou

Un estudio de caso se utilizó para destacar el impacto de los factores humanos en la eficacia de los flujos de aproximación de los aviones en una terminal concurrida en China en la que se observó la aparición del caos en la dinámica y las actividades inherentes a los controladores de tráfico aéreo. Surge en las etapas de flujo semiestables y congestionadas. Por esta causa, las herramientas de automatización del futuro deben ser personalizadas e inteligentes para tener en cuenta los factores humanos y las etapas de flujo en las que se encuentran los aviones.¹⁷

El Centro de Control de Aproximación de Guangzhou es responsable de controlar los aviones que salen y llegan al Aeropuerto Internacional Baiyun, uno de los más concurridos de China. Se llevó a cabo un estudio empírico basado en el diagrama fundamental, el cual relaciona las variables de flujo de tráfico (flujo, densidad, entre otros) y muestra las transiciones de estado de flujo correspondientes a los cambios de estado de tráfico.¹⁸

Este estudio consideró el tráfico que se aproxima al aeropuerto mencionado anteriormente, indicado en la figura 3, para entender la dinámica del espacio aéreo basado en una red de varios niveles. Tuvo la ayuda de las métricas analíticas de los datos de las trayectorias sincronizadas y los datos de las comunicaciones de tres días específicos de operación.¹⁹

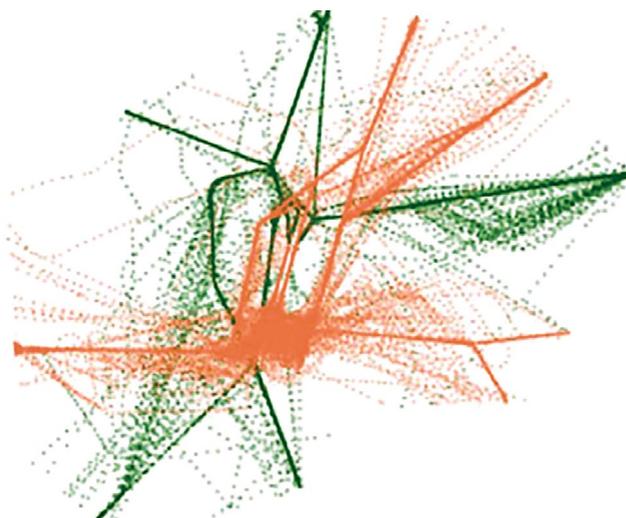


Figura 3. Datos de trayectorias de arribos (naranja) y salidas (verde) en la terminal de Guangzhou

Fuente: Autor, adaptado de YANG

Observar las fases completas en una sola ruta es un desafío debido a las distribuciones escasas y aleatorias de los flujos de aviones. Por esta razón, los datos fueron analizados conjuntamente, incluyendo las rutas de aproximación con el mayor volumen de tráfico.²⁰

Como esperábamos, de acuerdo con los datos analizados en este estudio de caso cuando la densidad de los aviones en las rutas aumentaba, las restricciones de operaciones llevaron a un flujo más bajo debido a una velocidad promedio más baja, como se ve en la Figura 4.²¹

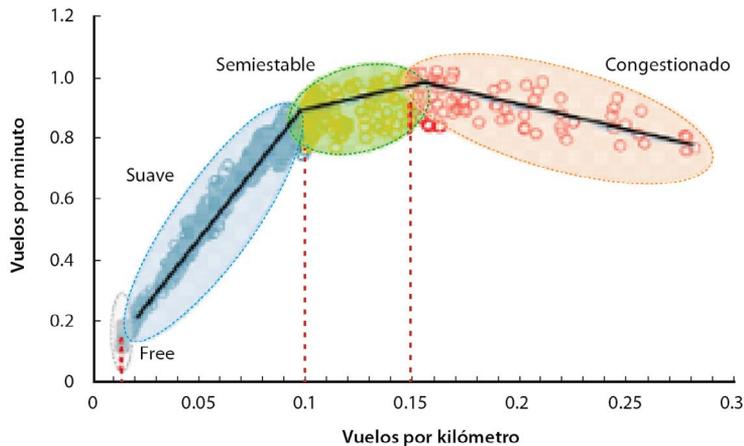


Figura 4. Etapas de flujo

Fuente: Autor, adaptado de YANG Etapas de flujo

Las trayectorias de los aviones se observaron en los tres días de interés utilizando el diagrama fundamental y la visualización de las grabaciones de las imágenes de las pantallas de vigilancia de los controladores de tráfico aéreo. Con esto, se definieron cuatro fases, las cuales fueron analizadas con respecto a la dinámica de los flujos en las rutas seleccionadas. Estas fases se definieron como: fase libre, fase liviana, fase semiestable y fase congestionada. Después de eso, comenzamos a considerar la interacción humana en cada una de ellas.²²

Intuitivamente, se cree que un aumento en el volumen de tráfico conduce a una mayor probabilidad de que los aviones estén en las trayectorias conflictivas, lo cual generaría una carga de trabajo más significativa para los controladores de tráfico aéreo para asegurar la eficacia de los flujos de tráfico aéreo. Sin embargo, se demostró que la eficacia de flujo se mantiene en la fase fluida, a pesar del aumento de los conflictos entre las trayectorias de los aviones en relación con la fase libre. Además, la carga de trabajo de los controladores de tráfico aéreo prácticamente no cambia ya que simplifican las estrategias de control para mantener la eficacia.²³

Este cambio en la estrategia de control mencionada anteriormente puede ser aún mejor observado en las fases de tráfico más congestionadas, en las cuales los controladores definen los puntos específicos en los caminos que se aproximan para cambiar la trayectoria de los aviones o para pedirles que esperen en el vuelo, además de comunicarse de una manera más dinámica con los pilotos y priorizar las interacciones de acuerdo con los conflictos de tráfico que surgen. Esto crea la estandarización que reduce la carga de trabajo considerablemente.²⁴

Sin embargo, cuando el volumen de tráfico crece y llega a la fase de congestión los controladores están influenciados más significativamente por sus emociones. Sin herramientas para manejar mejor este escenario, se prioriza la seguridad sobre la eficacia. Como resultado, los controladores de tráfico aéreo aplican las reducciones de velocidad excesivas para asegurar las separaciones mayores de lo necesario, además de pedir a los pilotos que cambien las trayectorias y mantengan los patrones de espera en el vuelo.²⁵

Este patrón destaca la influencia de los factores humanos en el surgimiento de la congestión de tráfico en los momentos de demanda máxima. Esto podría ser mitigado a través de los sistemas de respaldo a la toma de decisiones, como AMAN.

Análisis de datos de un estudio de caso del aeropuerto de Guarulhos (GRU)

Utilizando un simulador de tiempo acelerado llamado Modelador total de espacio aéreo y de aeropuertos (TAAM), fue posible investigar la relación entre la gestión de la velocidad de los aviones en la aproximación del aeropuerto de GRU y la eficacia de los flujos de tráfico aéreo.

Utilizando los planes de vuelo reales para un día de alta demanda, con 309 vuelos destinados a este aeropuerto, hubo 3 escenarios de simulación generados, con condiciones meteorológicas favorables, teniendo en cuenta solo los patrones de espera en el vuelo sin cambiar la trayectoria de los aviones.

El consumo de combustible en toneladas y el tiempo de espera en el vuelo se obtuvo como resultado. La restricción de no permitir el cambio de las trayectorias de los aviones se utilizó porque la terminal de San Pablo tiene numerosas rutas de llegada y salida de varios aeropuertos. Los desvíos de trayectoria, en general, implican impactos importantes en los flujos de llegada y salida hacia y desde estos varios aeropuertos.

La primera simulación utilizó la base de datos estándar de aviones (BADA). Esta base asignó una velocidad ideal para cada avión de acuerdo con su rendimiento y la etapa de vuelo. Además, el simulador se ha configurado para mantener la separación mínima requerida de 5 millas náuticas entre los aviones.

En la segunda simulación, se asignaron altas velocidades al avión, durante el mayor tiempo posible, siempre que se mantuviera la separación mínima de 5 millas náuticas entre ellos, así como considerar la restricción prevista en los estándares internacionales de reducción de velocidad a 250 kilómetros por hora por debajo de 10.000 pies de altitud.

Finalmente, la tercera simulación utilizó parámetros más restrictivos para reproducir el comportamiento de los controladores de tráfico aéreo en momentos de mayor demanda, sin la ayuda de las herramientas de respaldo para la toma de decisiones, al establecer las separaciones un poco más extensas entre los aviones en la aproximación final, lo cual varía aleatoriamente entre 6 y 8 millas náuticas. Como resultado, se asignaron separaciones más amplias de lo ideal entre los aviones, simulando el comportamiento restrictivo en los escenarios de alta demanda. Los datos se pueden ver en la Figura 5.

	Parámetros 1 (velocidad óptima)	Parámetros 2 (alta velocidad)	Parámetros 3 (baja velocidad)
Tiempo de espera	5 horas y 43 minutos	10 horas y 47 minutos	33 horas
Consumo	137 toneladas	123 toneladas	174 toneladas

Figura 5. Resultados obtenidos en las simulaciones de tiempo acelerado en TAAM

Fuente: Autor

Analizando los resultados generados por la simulación de tiempo acelerada en tres escenarios construidos, se encontró que mantener las velocidades por debajo de la velocidad ideal implica tiempos de vuelo más largos y más patrones de espera en vuelo, como se esperaba. Sin embargo, mantener las altas velocidades durante el mayor tiempo posible no implica tiempos de vuelo más cortos, como la intuición podría sugerir.

Contrariamente a la intuición, los resultados indican que en los escenarios de alta demanda, los aviones que emplean la alta velocidad en los flujos de aproximación deben acelerar más rápidamente cuando se aproximan al aterrizaje, para que su velocidad pueda disminuir a una tasa más alta y asegurar la separación mínima de 5 millas náuticas para el aterrizaje.

Debido a esta separación mínima de 5 millas náuticas, los aviones asignados para el aterrizaje detrás de este avión deben reducir la velocidad con claridad y también mantener la necesaria alta velocidad para reducir la velocidad aún más bruscamente, a veces incluso más intensamente. Dado que los aviones no pueden parar completamente en el aire, se inician los patrones de espera en vuelo. Por lo tanto, se genera la congestión de tráfico fantasma, similar al tráfico de ruta, sin

motivo aparente para los pilotos y controladores de tráfico aéreo, como se muestra en la Figura 6.

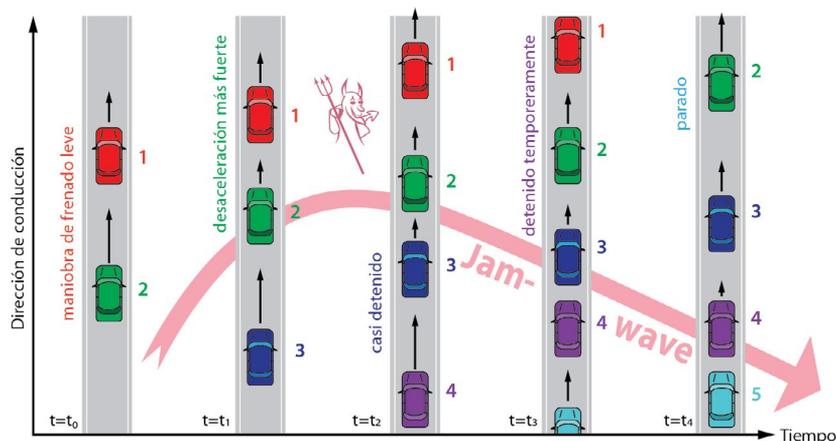


Figura 6. Dinámicas para generar un embotellamiento de tráfico fantasma

Fuente: Autor, adaptado de TREIBER e KESTING

TAAM considera solo el tiempo de vuelo de los aviones en el cálculo del consumo de combustible sin considerar sus velocidades, de ahí el menor consumo de combustible en los datos obtenidos para el escenario en el cual el avión mantuvo altas velocidades.

Además de las simulaciones de tiempo acelerado, los cuestionarios se enviaron por formulario electrónico a los controladores de tráfico aéreo que trabajan en la terminal de San Pablo. Las preguntas se diseñaron para comprender, en base a las respuestas proporcionadas, cómo los controladores de tráfico aéreo administran la velocidad de los aviones bajo su control y qué técnicas utilizaron para mantener las separaciones de seguridad mínimas entre los aviones.

Además, se enviaron cuestionarios a los pilotos de las aerolíneas que operan con frecuencia en el aeropuerto de GRU para comprender, basado en sus respuestas, cómo manejan las velocidades en sus aviones y cómo perciben la eficacia de las intervenciones llevadas a cabo por los controladores de tráfico aéreo.

En base a las respuestas a los cuestionarios aplicados, se observó que la mayoría de los pilotos y controladores de tráfico aéreo consideraron que el uso de altas velocidades en los aviones implica tiempos de vuelo más cortos. Además, la mayoría de los controladores de tráfico aéreo, como la mayoría de los pilotos, consideraron cambiar la trayectoria de los aviones es la mejor técnica para conseguir que se alineen para el aterrizaje.

Sin embargo, se debe observar que la estructura de la terminal de San Pablo no favorece el uso de los cambios de ruta, debido al gran número de aeropuertos

cercanos unos a otros, con un gran volumen de tráfico de llegada y salida y caminos que no están muy separados lateralmente.

Algunos pilotos han demostrado que a menudo cambian la velocidad establecida por el controlador de tráfico aéreo sin autorización. De acuerdo con los pilotos, esto sucede cuando uno se da cuenta, con la ayuda del equipo del Sistema de Prevención de Choque de Tráfico (TCAS) cuyo propósito es generar las alertas de tráfico y evitar el choque y no establecer la secuencia de aterrizaje, que el avión por delante está a una distancia considerada excesiva y está destinado a reducirlo, o está tratando de superar a otros aviones en una secuencia conducida por un controlador de tráfico aéreo.

La minoría de controladores de tráfico aéreo y pilotos consideró la gestión de la velocidad como la mejor técnica para secuenciar los aviones para el aterrizaje, y esto puede estar relacionado con la ausencia de un sistema de respaldo a la toma de decisiones, como AMAN, a pesar de que algunos señalaron la necesidad de implementar las herramientas de respaldo a la toma de decisiones como un factor esencial para reducir la congestión. En cuanto a los pilotos, esta visión puede estar relacionada con la falta de confianza en que los controladores pueden administrar de manera eficiente la velocidad de los aviones.

Tanto los controladores de tráfico aéreo como los pilotos señalaron que la falta de coordinación entre los centros de control de espacio aéreo adyacentes al espacio aéreo de la terminal de San Pablo y al control de aproximación de San Pablo puede causar ineficacias de flujo y generar congestión fantasma. El centro de control puede mantener la velocidad de los aviones por encima o por debajo de la velocidad óptima porque no están conscientes del escenario actual dentro de la terminal.

En cuanto al método de separación más utilizado para secuenciar los aviones para el aterrizaje, la mayoría de los controladores de tráfico aéreo señalaron la separación por distancia, y otros, la separación por tiempo.

Sin embargo, se debe observar que la separación usando las distancias no tiene en cuenta los cambios de viento en altitud, y que la velocidad de los aviones disminuye a medida que descienden dependiendo de las reducciones estandarizadas y el aumento en la resistencia al aire que se vuelve cada vez más denso. Los aviones adelantados en la secuencia eventualmente inician las reducciones de velocidad antes que los que los siguen.

Debido a esto, la distancia asignada a menudo se reduce a medida que los aviones evolucionan, lo cual causa las reducciones de velocidad repentinas que pueden desencadenar la congestión de tráfico fantasma.

Aunque hay reglas que establecen la separación de los aviones por las distancias en entornos donde se emplean sistemas de vigilancia, como los utilizados por los controladores de Terminal Aérea de San Pablo, no es posible usar las separaciones

por tiempo. Además, no hay manuales disponibles con las técnicas de separación para ser aplicados por los controladores, que aseguren estas separaciones de las experiencias adquiridas a lo largo de sus carreras.

En Inglaterra, por ejemplo, el parámetro de tiempo se utiliza para definir la separación entre los aviones, basándonos en el concepto de *Separación Por Tiempo*, por ejemplo: la separación por tiempo en el aeropuerto de Heathrow, el más concurrido de Inglaterra.²⁶

Utilizando la separación por tiempo determinado, se redujeron las distancias entre los aviones en el acercamiento final, manteniendo el tiempo de vuelo entre ellos en días de fuertes vientos en contra, es decir, vientos contrarios a la dirección de los vuelos. Como resultado, la eficacia de la gestión de flujo ha aumentado considerablemente.²⁷

En 2018, se implementó una versión de separación por tiempo mejorada, la cual ahora utiliza herramientas de separación adicionales. Poco después, hubo una ganancia en la implementación inicial de 2.6 movimientos en una hora para los vientos en contra mayores de 20 nudos.²⁸

Conclusiones

Este estudio demostró que la gestión inadecuada de las velocidades emprendidas por los pilotos y controladores de tráfico aéreo debido a las percepciones erróneas de sentido común, la falta de herramientas para la toma de decisiones y la ausencia de técnicas de separación bien establecidas entre los aviones podría causar embotellamientos de tráfico fantasma, que son congestiones que parecen no tener una causa aparente. Este tipo de congestión identificado inicialmente en los flujos de tráfico de ruta también está presente en el tráfico aéreo.

La falta de percepción de este tipo de congestión por los pilotos y controladores de tráfico aéreo puede generar ineficacias en el flujo de tráfico aéreo que se podría haber evitado al crear conciencia de su existencia, establecer las técnicas de separación en tierra, las acciones de entrenamiento e implementar las herramientas de respaldo a la toma de decisiones.

En base a las acciones mencionadas en el párrafo anterior, sería posible optimizar la eficacia de los flujos de aviones, especialmente en los aeropuertos con un gran volumen de tráfico, como es el caso de Guarulhos. Esta eficacia se reflejaría en toda la red aérea brasileña y en la mayoría de los vuelos internacionales. Por lo tanto, sería posible cumplir algunos objetivos estratégicos en la PNAC, fortaleciendo la aviación civil brasileña y, en consecuencia, la potencia aérea brasileña. □

Notas

1. Giulio Douhet, *The Domain of the Air*, Historical-Cultural Institute of Aeronautics, Itatiaia Publishing House, Belo Horizonte, 1988.
2. André Luiz Almeida, *The Evolution of Brazilian Aerospace Power*, Dissertation (Master's Degree in Political Geography) – Graduate Program in Geography, (São Paulo: University of São Paulo, 2006).
3. Maria Filomena Fontes Ricco, *Culture and Defense in Brazil: An Inside Look at Brazil's Aerospace Strategies*, (New York: Routledge, 2017).
4. Air Command, Defense Ministry of Brazil, “National Defense Policy/National Defense Strategy,” (Brasília, DFL: 2012), https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e%20defesa/pnd_end_congresso_1.pdf.
5. Fangni Zhang and Daniel Graham, *Air Transport and Economic Growth: a review of the impact mechanism and causal relationships*, *Transport Reviews*, (United Kingdom: No. 40, Mar 2020), P. 506-528.
6. Brazil, “Decree No. 6,780, 18 February 2009. Approves the National Civil Aviation Policy (PNAC) and other measures,” (Brasilia: Official Gazette of the Union, 19 February 2009), Section 1, p. 2.
7. Martin Treiber and Arne Kesting, *Traffic Flow Dynamics – Data, Models and Simulation*, (Berlin: Springer, 2013), P. 5.
8. Claus Gwiggner and Sakae Nagaoka, “Data and queueing analysis of a Japanese air-traffic flow,” *European Journal of Operational Research on ScienceDirect*, Amsterdam, v.235, n.1, (2014), P. 265-275, <https://www.sciencedirect.com/journal/european-journal-of-operational-research/vol/235/issue/1>.
9. Christopher D. Wickens, Anne S. Mavor, and James P. McGee, *Flight to the future: human factors in air traffic control*, (Washington D.C: National Academy Press, 1997).
10. Ibid.
11. Ibid.
12. Sylvie Athènes, Stephane Puechmorel, Daniel Delahaye, and Christian Collet, “ATC Complexity and Controller workload: Trying to Bridge the Gap,” *HCI-Aero*, (2002), <https://cite.seerx.ist.psu.edu/doc/10.1.1.five82.2171>.
13. European Organization for the Safety of Air Navigation, “Arrival manager: implementation guidelines and lessons learned,” (Brussels: Eurocontrol, 2010), <https://skybrary.aero/bookshelf/books/2416.pdf>.
14. Ibid.
15. Ibid.
16. Bimal Subedi, “Arrival Manager (AMAN) and its implementation study in Vilnius International Airport,” Final work (Bachelor's degree in Air Traffic Controller), Castelldefels School of Telecommunication and Aerospace Engineering, Polytechnic University of Catalonia, Vilnius, 2015.
17. Ibid.
18. Ibid.
19. Lei Yang et al, “Empirical Exploration of Air Traffic and Human Dynamics in Terminal Airspaces,” *Transportation Research, Part C: Emerging Technologies*, No. 84, (Nov 2017), P. 219-244.
20. Ibid.
21. Ibid.

22. Ibid.

23. Ibid.

24. Ibid.

25. Sylvie Athènes, Stephane Puechmorel, Daniel Delahaye, and Christian Collet, "ATC Complexity and Controller workload: Trying to Bridge the Gap."

26. National Air Transport Services, "Time based separation at Heathrow a world first," (28 February 2014), <https://www.nats.aero/news/time-based-separation-heathrow-world-first/>.

27. Ibid.

28. National Air Transport Services, "Enhanced Time Based Separation Scheduled for Arrival Early 2018," (10 March 2017), <https://www.nats.aero/news/enhanced-time-based-separation-scheduled-arrival-early-2018/>.



**Primer Teniente Bruno García Franciscone
Fuerza Aérea Brasileña**

Especialista en Control de Tráfico Aéreo, graduado del Centro para la Instrucción y Adaptación Aeronáutica. Máster en Ciencias Aeroespaciales de la Universidad de la Fuerza Aérea. Controlador de tráfico aéreo, instructor y supervisor del control de aproximación de San Pablo. Actualmente, Asesor de Servicios de Tráfico Aéreo y Aeroespacial de la División de Coordinación y Control del Departamento de Operaciones del Departamento de Control de Espacio Aéreo (DECEA).



**Brigadier de Reserva Pedro Arthur Linhares Lima
Fuerza Aérea Brasileña**

Graduado de la Academia de la Fuerza Aérea Brasileña con especialización en Tecnologías de la Información en la Universidad Católica de Río de Janeiro Máster en Ciencias Informáticas en el Instituto de Tecnología de la Fuerza Aérea, Estados Unidos. Doctor en Ingeniería de Producción del Instituto Alberto Luiz Coimbra para los Estudios de Postgrado e Investigación en Ingeniería (COPPE) de la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ). MBA en Política y Estrategia por el Instituto de Administración de COPPEAD, Universidad Federal de Río de Janeiro. Fue Jefe del Centro de Informática Aeronáutica en San José dos Campos; Director Adjunto de Sistemas de Tecnología Informática e Infraestructura, Director Adjunto de Proyectos de Tecnología Informática, Asesor Jefe de Gobernanza de Tecnología Informática y Director de Tecnología Informática de la Fuerza Aérea. Actualmente, investigador y Profesor en el Programa de Posgrado en Ciencias Aeroespaciales, Universidad Brasileña de la Fuerza Aérea - UNIFA.