# Introducción

Ideas generales sobre la industria aérea en el mundo, lo complejo del proceso de planificación y operación.

Referirse a la necesidad de mejorar la planificación haciendo uso de la información histórica de manera adecuada. La información tiene valor, que hay que saber explotar.

Referiste al proceso general de planificación-operación de una aerolínea. Para que quede claro la diferencia entre Planning y DM.

## Planificación de itinerarios de transporte aéreo

Referirse de manera general a las 4 fases de planificación de transporte aéreo, mencionando que es posible abarcar algunas de manera simultánea, pero a alto costo. Indicar referencias claves. Idealmente, las últimas.

## Disruption management

Referirse a los atrasos y a la operación. Principales recursos en conflicto: aviones, tripulantes y pasajeros. Referirse a las principales acciones disponibles: swaps, cancelación, backups, etc.

Objetivo: disminuir los costos de operación de las aerolíneas.

Dos líneas de acción:

* Recovery: Generación de nuevos planes cuando ocurren las disrupciones. Acción de corto plazo, y generalmente bajo presión. Es posible tomar decisiones que no son las óptimas.
* Planificación robusta: Generación de planes menos sensibles a disrupciones. Hablar sobre el slack, poco deseado en pla planificación, pero muy necesario en la operación, y mostrar el tradeoff que se produce entre income-costo vs slack. Definicion de robustez.

## Contribución del trabajo

Definir de manera concisa que se busca hacer en esta investigación. Luego, los principales aportes:

* Modelo de simulación para la planificación
* Metodología de optimización basada en retiming, que es robusta.
* Alternativa hace énfasis en el uso de la información

## Esquema de la tesis

Esbozo de cada capítulo.

Revisión bibliográfica.

Modelo de simulación

Optimización

Pruebas

Conclusiones

# RevisiÓn Bibliográfica

La planificación robusta de itinerarios de transporte aéreo ha sido un área de investigación de alto dinamismo dentro de la última década. Los crecientes costos de operación han generado la necesidad de crear planes que consideren las altas posibilidades de los distintos tipos de disrupciones.

Gran parte de los trabajos se ha centrado en la tercera etapa de planificación, en torno a dos posibles acciones factibles de realizar sobre un itinerario dado: reasignación de rutas y reprogramación de vuelos. La tabla XXX resume las principales características de cada trabajo.

## Planificación robusta

Ageeva (2000) define la robustez como el total de rutas que se cruzan en un mismo aeropuerto. Tal métrica maximizada al resolver el ARP. Con esto aumentan las posibilidades de hacer swaps cuando se presente alguna disrupción. Su medida de robustez es mejorada un 35%. No obstante, no muestra métricas operacionales de su solución, como disminución del atraso o mejoras en OTP.

Sarmadi (2004) propone un modelo de programación entera mixta que combina reasignación de rutas y reprogramación de tiempos de despegue, con el objetivo de redistribuir holguras y minimizar atrasos propagados. Usa el valor esperado del atraso entre dos vuelos para incorporar disrupciones al modelo. El atraso es propagado dentro del lineal de vuelos del avión, sin considerar otros tipos de conexiones. Cada vuelo es copiado tantas veces como las posibles opciones de reprogramación. Como resultado, se reduce un 3.15% el atraso propagado con respecto a un itinerario base sin copias.

Rosenberger et al. (2002) presentan las bases de un modelo de simulación llamado por ellos Simair. El objetivo del modelo es proporcionar una herramienta para evaluar un itinerario desde el punto de vista operacional, y probar distintas políticas de recovery, es decir, distintos esquemas de toma de decisiones operacionales. El modelo representa de manera explícita aviones, vuelos y conexiones tanto de tripulantes como de pasajeros. Este simulador permite comparar dos itinerarios para evaluar diversas métricas de robustez. No obstante, el nivel de detalle requerido hace necesaria mucha información en tiempo real, lo que acota su utilidad como máximo a un mes antes de la operación.

Rosenberger, Johnson, y Nemhauser (2004) proponen un modelo robusto de asignación de flotas, mediante el cual demuestran que itinerarios con ciclos cortos y bajo nivel de conectividad entre hubs reducen significativamente las posibilidades de atraso propagado. Para evaluar las soluciones utilizan el simulador SimAir.

Lee, et al (2007) proponen un algoritmo genético para la reprogramación de vuelos. La holgura total es factible de aumentar, ya que los vuelos extremos en un día están irrestrictos. La optimización es multiobjetivo, usando (1) el porcentaje de vuelos con atraso de llegada mayor que cero, y (2) el porcentaje de tiempo extra de los tripulantes. Su algoritmo se basa en iteraciones para producir soluciones factibles y luego evaluarlas con un simulador (Simair). Dada la naturaleza del algoritmo genético, los tiempos de resolución son altísimos. Para una instancia de prueba de 9 estaciones, 441 vuelos semanales, 9 aviones y 63 pairings, en total tardó 90 horas, mejorando un 8% la puntualidad de llegada.

Lan, Clarke y Barnhart (2006) proponen dos tipos de modelos de programación entera mixta para generar itinerarios robustos. El primer modelo es de reprogramación de rutas, manteniendo fijos los tiempos programados de cada vuelo. De manera similar a Sarmadi (2004), usa el valor esperado del atraso entre dos vuelos para incorporar disrupciones al modelo. Prueba dos objetivos por separado, minimización de atraso propagado y minimización de pasajeros que pierden conexión. Como resultados muestra una reducción del 44% en el primero y 10% en el segundo. El segundo modelo es de reprogramación de tiempos de despegue, manteniendo fijas las rutas por avión. Usa distintas copias de cada vuelo para representar las posibilidades de variación en el tiempo de despegue. En este caso, prueba sólo como función objetivo minimizar la cantidad de pasajeros que pierden conexión, obteniendo mejoras entre el 20% y 40%. Para ambos modelos utiliza técnicas de Branch & Price para la resolución, debido a que el problema es muy grande para instancias reales (300 vuelos diarios). No se hace uso de herramientas de simulación para la evaluación de los itinerarios propuestos.

Fuhr (2008) desarrolla un modelo estocástico para planificación robusta basado en la convolución de funciones de atraso del tipo k-Erlang. Sus resultados permiten determinar la duración de tiempos de vuelo y tierra por avión. Toda la formulación es independiente de pasajeros y tripulantes. No hay pruebas ni resultados del método.

Lapp et al. (2008) presenta un algoritmo recursivo para obtener el atraso propagado en el resto de un itinerario, considerando conexiones de tripulantes y aviones. La recursión se da respecto al atraso propagado, finalizando el proceso cuando todo el atraso es absorbido. El algoritmo es usado para validar los resultados del modelo propuesto por Abdelgayni (2010), considerando atrasos máximos de 1 hora. Dado que emula sólo la propagación de los atrasos, sin considerar decisiones de recovery, el desempeño es muy bueno, simulando 1000 réplicas de un itinerario de 500 vuelos en 5 segundos.

Eggenberg y Salani (2009) proponen un modelo robusto de reprogramación de rutas y una extensión del mismo para reprogramación de vuelos. En ambos se incorpora la robustez en la función objetivo mediante la maximización de la holgura total, y alternativamente, la maximización de la suma de las holguras mínimas por avión. Para la reprogramación de vuelos, se penaliza la variación de minutos respecto al itinerario original. Sus resultados muestran como, independientemente de datos históricos, se mejoran las métricas objetivo propuestas. Los problemas son resueltos por generación de columnas, con tiempos de procesamiento de hasta 20 minutos.

Burke et al. (2010) presentan un algoritmo genético de optimización multiobjetivo, que permite tanto reprogramación de rutas como de vuelos. La robustez va incorporada en la función objetivo a través de dos conceptos: seguridad y flexibilidad. El primero se relaciona con la capacidad de absorber mediante holguras los efectos de las disrupciones. El segundo tiene que ver con las opciones posibles para mitigar los efectos de una disrupción. Para probar las soluciones utiliza un modelo de simulación que emula varias opciones de recovery (como swaps, cancelaciones y retrasos), pero que no considera ningún tipo de conexión. Obtiene mejoras en torno al 1% en puntualidad sobre itinerarios de entre 172 y 504 vuelos, permitiendo variaciones de ±10 minutos por vuelo, con tiempos de resolución entre 7 y 98 minutos.

Weide (2009) propone un modelo integrado de planificación robusta para Aircraft Routing y Crew Pairing Problem, considerando ventanas de tiempo en los tiempos de despegue de cada vuelo. Incorpora dos métricas nuevas relacionadas con la robustez: cantidad de vuelos seguidos con T/A mínimo y cantidad de cambios de avión que debe hacer una misma tripulación. Según el autor, minimizando estas dos métricas se mejora la robustez del itinerario. También, para que el proceso sea representativo debe optimizarse una semana completa, considerando restricciones de sincronización de vuelos, es decir, que para cada día los mismos vuelos sean programados a la misma hora. Las soluciones obtenidas son simuladas para validar la robustez obtenida. El modelo de simulación genera atrasos por estación y hora del día, propagando el atraso en base a las conexiones de tripulantes y aviones, pero sin emular procesos de recovery. Las instancias más complejas consideran sólo 139 por día, y tardan alrededor de 20 minutos en resolverse, obteniéndose reducciones del atraso cercanas al 14%.

## Modelos de ruteo

## Modelos de retiming