

ISSN 0188-7297



Certificado en ISO 9001:2000
Laboratorios acreditados por EMA

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



"IMT, 20 años generando conocimientos y tecnologías para el desarrollo del transporte en México"

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA PROBLEMAS DE CAPACIDAD AEROPORTUARIA

Alfonso Herrera García

Publicación Técnica No 284
Sanfandila, Qro 2006

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Alternativas de solución para problemas de
capacidad aeroportuaria**

**Publicación Técnica No 284
Sanfandila, Qro 2006**

Este trabajo fue realizado en el Instituto Mexicano del Transporte por el investigador Alfonso Herrera García. Se agradece la revisión y valiosos comentarios y sugerencias del Coordinador de Integración del Transporte, Roberto Aguerrebere Salido.

Índice

Índice de figuras.....	V
Índice de tablas.....	VII
Resumen.....	IX
Abstract.....	XI
Resumen ejecutivo.....	XIII
1 Introducción.....	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Alcances.....	1
1.4 Metodología.....	1
2 Alternativas de solución para problemas de capacidad aeroportuaria.....	3
2.1 Introducción.....	3
2.2 Opciones de solución.....	6
2.2.1 Opción A. Incremento de la capacidad.....	8
2.2.1.A.1 Construcción de nuevos aeropuertos.....	8
2.2.1.A.2 Ampliación de las instalaciones aeroportuarias existentes.....	9
2.2.2 Opción B. Reducción de la demanda.....	11
2.2.2.B.1 Procesamiento remoto.....	11
2.2.2.B.1.1 Estacionamiento de vehículos fuera del aeropuerto.....	11
2.2.2.B.1.2 Procesamiento de pasajeros fuera del aeropuerto.....	12
2.2.2.B.1.3 Posiciones remotas para aeronaves.....	12
2.2.2.B.2 Desarrollo de mega centros de distribución (<i>super-hubs</i>).....	13
2.2.2.B.3 Preliberación de trámites para pasajeros de llegadas internacionales.....	14
2.2.2.B.4 Relocalización de ciertas operaciones de tránsito aéreo.....	15
2.2.2.B.4.1 Operaciones comerciales.....	15
2.2.2.B.4.2 Aviación general.....	16
2.2.2.B.5 Cambio del tránsito aéreo de corto itinerario a otros modos de transporte.....	17
2.2.3 Opción C. Redistribución de los picos de demanda.....	19
2.2.3.C.1 Tarifación en periodos pico.....	23
2.2.3.C.1.1 Sobretasas directas para los pasajeros.....	25
2.2.3.C.2 Subasta del servicio.....	27
2.2.3.C.3 Limitación del volumen de tránsito y distribución de <i>slots</i>	29
2.2.3.C.4 Control de flujo de tránsito.....	30
2.2.3.C.5 Restricción de las operaciones de la aviación general.....	31
2.2.4 Opción D. Aplicaciones tecnológicas e innovaciones operacionales.....	32
2.2.4.D.1.1 Tecnología de las aeronaves.....	33
2.2.4.D.1.1.1 Convertiplanos.....	33
2.2.4.D.1.1.2 Aeronaves de gran capacidad.....	39
2.2.4.D.1.2 Diseño de terminales.....	42

2.2.4.D.1.3 Automatización de la asignación de salas de abordaje.....	43
2.2.4.D.1.4 Incremento en la velocidad del procesamiento de pasajeros en la terminal.....	44
2.2.4.D.1.5 Modelación y simulación computacional.....	48
2.2.4.D.2 Prácticas operacionales.....	49
3 Conclusiones y recomendaciones.....	55
4 Bibliografía.....	57

Índice de figuras

Figura 1	Representación esquemática de los componentes de un aeropuerto.....	3
Figura 2	Tamaño promedio de las colas de espera en las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM), en función de la utilización promedio de las pistas.....	6
Figura 3	Opciones para el equilibrio de la capacidad aeroportuaria y su demanda.....	8
Figura 4	Flujo internacional de pasajeros del país A al país B.....	14
Figura 5	Operaciones aéreas en las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México durante junio de 2003.....	17
Figura 6	Operaciones aéreas en las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México durante junio de 2003.....	20
Figura 7	Operaciones aéreas en las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, durante un día típico (2000).....	21
Figura 8	Redistribución ideal de las operaciones aéreas en las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, presentadas en la Figura 7.....	23
Figura 9	Convertiplano BA609 en un vertipuerto.....	36
Figura 10	Dimensiones del convertiplano BA609.....	37
Figura 11	Convertiplano BA609 en modo “helicóptero”.....	38
Figura 12	Convertiplano BA609 en modo “avión”.....	38
Figura 13	Vistas del <i>Airbus</i> A380.....	40
Figura 14	El <i>Airbus</i> A380 en el festival aéreo 2005, en Dubai.....	40
Figura 15	Kioscos de autoservicio, compacto y modular.....	46
Figura 16	Etiqueta para equipaje con código de barras, e identificación por radiofrecuencia.....	48
Figura 17	Remolcador TPX-500-S, para el <i>Airbus</i> A380.....	52

Índice de tablas

Tabla 1	Tasa de crecimiento media anual (TCMA) en los principales veinte aeropuertos nacionales, con los mayores volúmenes de pasajeros (periodo 1989-2005).....	5
Tabla 2	Flujos aéreos con potencial de cambiar al tren de alta velocidad, entre los aeropuertos de México (MEX), Bajío (BJX), Guadalajara (GDL) y Querétaro (QET).....	19
Tabla 3	Características generales del Boeing 747 y del Airbus A380.....	41

Resumen

La falta de suficiente capacidad aeroportuaria para cumplir las demandas de servicio, y el problema resultante de la congestión y demoras son comunes en el sistema de aviación en los mayores y principales aeropuertos alrededor del mundo. Conforme el tránsito continúe creciendo, este problema empeorará.

Este documento explora algunas propuestas para enfrentar el problema del desequilibrio entre la capacidad disponible de los aeropuertos y la demanda de servicio. Al respecto, se consideraron cuatro propuestas básicas:

1. Incremento de la capacidad a través de la construcción de nuevos aeropuertos o de una ampliación de las instalaciones existentes
2. Reducción de la demanda mediante la transferencia de porciones de este tránsito a localizaciones alternas, o a otros modos transporte
3. Redistribución de los picos de demanda, aplicando medidas administrativas o económicas para que la demanda se ajuste a la capacidad disponible
4. Aplicación de nuevas tecnologías y prácticas operacionales innovadoras para optimizar la operación y utilización de las instalaciones aeroportuarias

También se incluyeron la efectividad de cada propuesta para disminuir la congestión, y las dificultades de implementación involucradas.

Abstract

Lack of sufficient airport capacity to meet traffic demands and the resulting problem of congestion and delays are very common in the aviation systems at many airports around the world. As traffic continues growing the problem will worsen.

This document explores some alternatives for coping with the imbalance between the available airport capacity and the traffic demands. Four basic proposals are discussed:

1. Increasing the capacity through building new airports or expanding the present facilities
2. Reducing the demand by transferring portions of these traffics to alternate locations or toward other transportation modes
3. Spreading the peaks of demand through administrative or economic measures in order to harmonize demand and capacity
4. Applying new technologies and innovative operational practices to optimize the operation and utilization of airport facilities

The effectiveness of each proposal to relieve congestion and the implementation difficulties involved are also pointed out.

Resumen ejecutivo

Introducción

La falta de suficiente capacidad aeroportuaria para cumplir con la demanda originada por el movimiento de pasajeros y aeronaves, así como el consecuente problema que se genera en la saturación de los aeropuertos y en la demora de las operaciones se ha vuelto un asunto común en los principales aeropuertos del mundo.

Inclusive en los aeropuertos de mayor importancia en México se observan ya problemas de saturación; por ello es importante explorar diferentes alternativas de solución al problema del desequilibrio entre la capacidad del aeropuerto y la demanda en el sistema. En este documento se exploran diversas alternativas de solución para resolver este problema.

Alternativas de solución para problemas de capacidad aeroportuaria

El lado terrestre de un aeropuerto se define como el conjunto formado por las plataformas, los edificios del área terminal, los accesos terrestres del sistema de circulación, y las instalaciones para el estacionamiento de vehículos. Por otra parte, el lado aéreo, se relaciona con las operaciones en las pistas y calles de rodaje.

La falta de una pronta acción correctiva que incremente la capacidad, o para controlar la demanda de los aeropuertos principales con gran actividad, podría conducir a un eventual colapso del sistema aeroportuario.

El primer paso lógico en la búsqueda de soluciones es la identificación de las causas del problema. La experiencia con los sistemas de transporte aéreo muestra que las demoras y los tamaños de las colas de aeronaves a la entrada de las pistas, empiezan a crecer sustancialmente cuando la demanda excede alrededor de 4/5 de la capacidad disponible del sistema

La solución al problema de la congestión aeroportuaria debería por lo tanto enfocarse en encontrar formas de reducir el cociente demanda/oferta de servicio. Esto se puede lograr mediante el incremento de la capacidad, reduciendo (limitando) la demanda, o combinando ambas opciones. Las opciones de solución identificadas en el presente documento se han estructurado conforme a este razonamiento.

Las alternativas de solución se han dividido en cuatro opciones. La opción A se relaciona con la incorporación de nueva infraestructura; mediante esta opción se incrementa la capacidad de todo el aeropuerto o de algunos de sus subsistemas (crecimiento de la oferta). La opción B establece mecanismos que reducen la demanda de los servicios del aeropuerto. La opción C, aunque no disminuye la demanda, redistribuye las operaciones, con lo que se obtiene una mayor eficiencia

operativa del aeropuerto. La opción D, mediante innovaciones tecnológicas y/o operacionales, incrementa también la eficiencia del aeropuerto.

Opción A. Incremento de la capacidad

Construcción de nuevos aeropuertos

El desarrollo de nuevos aeropuertos o la ampliación de los mismos, incrementa directamente la capacidad del sistema. Sin embargo, también es reconocido que debido a restricciones económicas, ambientales, y a la resistencia de algunas comunidades al desarrollo de nuevos aeropuertos, es necesario tener presentes otras alternativas de solución. También se debe tener presente que la construcción de nuevas terminales no es una solución factible para cubrir necesidades en el corto plazo, dado que generalmente se requieren tiempos de entre cinco y diez años para realizar todo el proceso de planeación, diseño, aprobación, y construcción.

Ampliación de las instalaciones aeroportuarias existentes

Esta ha sido una propuesta ampliamente adoptada por varias autoridades aeroportuarias como un medio para responder al crecimiento de la actividad aérea. Para incrementar la capacidad existente de un aeropuerto se tienen distintas alternativas; por ejemplo, la ampliación del área de las plataformas, o su incremento para acomodar más aeronaves; la ampliación de los subsistemas del edificio terminal para incrementar la capacidad en el procesamiento de pasajeros; o la incorporación de más espacio para el estacionamiento de vehículos.

El incremento de la capacidad de una instalación existente no siempre conlleva su ampliación física. La reconfiguración del espacio puede ser quizá lo único que se necesite. Sin embargo, en el otro extremo, la ampliación del aeropuerto puede tomar la forma de un edificio para una nueva terminal de pasajeros. También es común que la ampliación tome la forma de varias soluciones diseñadas para incrementar marginalmente la capacidad de las instalaciones existentes, en el corto y mediano plazos. Una consideración importante es que en algunos casos resultaría más barato y más efectivo construir en el largo plazo una instalación totalmente nueva, que realizar diversas modificaciones parciales en una terminal aérea existente.

Opción B. Reducción de la demanda

La reducción de la demanda en un aeropuerto puede lograrse al cambiar una porción de la demanda hacia alguna localización alterna, o hacia otros modos de transporte, teniéndose las siguientes opciones.

Procesamiento remoto

Esta propuesta ayuda a reducir la demanda en las instalaciones aeroportuarias dando servicio a parte de la demanda, en una localización alterna o complementaria fuera del aeropuerto. En términos de lado terrestre del aeropuerto, esto aplicaría principalmente al estacionamiento de vehículos, al procesamiento de pasajeros, y a la asignación de posiciones para las aeronaves.

Los retos más significativos a vencer son: el cumplimiento con los requerimientos de seguridad; y la justificación económica ante las aerolíneas de que los beneficios de proporcionar los servicios de registro de equipaje en las terminales satélite, son mayores que los costos asociados. La tecnología puede eventualmente ayudar a los operadores de los aeropuertos y de las terminales remotas a vencer estos.

Estacionamiento de vehículos fuera del aeropuerto. Cuando la capacidad de estacionamiento vehicular en una instalación aeroportuaria es insuficiente para cubrir la demanda, y no puede ser ampliado eficientemente dentro de los límites del aeropuerto, pueden ubicarse instalaciones de estacionamiento adicionales fuera del aeropuerto y conectadas a la terminal mediante un sistema de circulación, por ejemplo, autobuses. Aunque ésta es una solución innovadora al problema de la limitación de la capacidad de estacionamiento, el método ha tenido resultados mixtos.

Procesamiento de pasajeros fuera del aeropuerto. Esto involucra, principalmente la entrega de los pases de abordaje y las actividades relacionadas con la verificación del equipaje en un lugar remoto, o en localizaciones clave dentro de la ciudad, donde los orígenes y destinos de los pasajeros se concentran. También incluye el transporte de los pasajeros al aeropuerto para completar las actividades restantes relacionadas con el vuelo. De esta forma, los pasajeros al llegar al aeropuerto tendrán sus pases de abordaje, y su equipaje ya transportado directamente a su aeronave. El éxito de esta alternativa depende en buena medida de la concentración de los pasajeros en los lugares de procesamiento remoto.

Posiciones remotas para aeronaves. La falta de suficientes posiciones de embarque y desembarque de pasajeros puede compensarse mediante el uso de autobuses o salas móviles, para transportar a los pasajeros entre el edificio terminal y su aeronave estacionada en una posición remota. Tales vehículos especializados pueden ser autobuses acondicionados, o vehículos especiales de transporte, equipados con dispositivos de levantamiento hidráulico, capaces de embarcar y desembarcar a los pasajeros desde el nivel de piso de los edificios terminales, hasta el del piso de las puertas de las aeronaves. Su principal inconveniente es el elevado costo de operación y mantenimiento de esos vehículos.

Desarrollo de mega centros de distribución (*super-hubs*)

Las aerolíneas favorecen a los centros de distribución (*hubs*), ya que de esta forma pueden captar una mayor porción del mercado de pasajeros.

Una solución posible al problema de la congestión en los mayores aeropuertos que operan como centros de distribución, con una alta proporción de pasajeros en conexión, es el desarrollo de aeropuertos de transferencia remota (o mega centros de distribución) para manejar a estos flujos de pasajeros en transferencia, que de otra forma serían dirigidos hacia aeropuertos congestionados. Los mega centros de distribución deben ser desarrollados específicamente para ese propósito, y

podrían ubicarse en áreas remotas. Tales aeropuertos deben estar conectados a las áreas metropolitanas que dan servicio, mediante enlaces terrestres rápidos y eficientes (autopistas), o por transporte aéreo de corto itinerario (helicópteros).

Preliberación de trámites para pasajeros de llegadas internacionales

Existen algunos acuerdos bilaterales para el transporte aéreo entre ciertos países, mediante los cuales pasajeros con destino a un país B, podrían liberar las formalidades de aduana e inmigración en el aeropuerto de salida, en el país A, en lugar de hacerlo en el aeropuerto de llegada B. La preliberación de los usuarios internacionales que llegan a un país B, implica que estos sean tratados en el aeropuerto de destino como si fueran viajeros domésticos. La desventaja de esta opción se deriva de los costos involucrados en el establecimiento y operación de tales instalaciones de procesamiento de pasajeros en el país de origen de los usuarios.

Relocalización de ciertas operaciones de tránsito aéreo

Operaciones comerciales

Ésta propuesta se basa en decisiones administrativas de la autoridad para reubicar algunos segmentos de las operaciones del tráfico comercial (por ejemplo, vuelos internacionales y operaciones charter), o a ciertas aerolíneas a otros aeropuertos vecinos con menor utilización o congestión. Se pueden establecer incentivos para ello, o por el contrario las aerolíneas pueden ser forzadas, mediante políticas administrativas a reubicar sus operaciones, antes de que el crecimiento del tráfico genere congestión y demoras intolerables en la terminal aérea.

Mientras que el concepto de incrementar la utilización de los aeropuertos secundarios, cercanos a los principales (que operan como centros de distribución) parece lógico; sin embargo, los impedimentos para esta propuesta son numerosos. Las aerolíneas serán renuentes a reubicar algunas o todas sus operaciones hacia aeropuertos menos ocupados, por razones obvias.

Adicionalmente, la segregación de los pasajeros entre dos aeropuertos, no sólo afectaría a las aerolíneas debido al costo de la duplicación de servicios, sino porque también podría hacer que la programación de sus vuelos sea más difícil, y con ello causar además una ineficiente utilización de su flota aérea. Otra dificultad con esta propuesta es la necesidad de respetar acuerdos bilaterales, los cuales involucran a los derechos del transporte internacional.

Aviación general

Un método para maximizar la utilización de la capacidad disponible de un aeropuerto consiste en restringir su uso para vuelos de bajo valor, tales como las operaciones de la aviación general. Las aeronaves utilizadas por este tipo de aviación son comúnmente más pequeñas y menos equipadas que las de la aviación comercial. Por lo tanto, la segregación de este tipo de aeronaves es favorable no sólo por razones de seguridad, sino también por que se mejora la utilización de la capacidad de la parte aérea del aeropuerto. Mientras más

homogénea es la mezcla de aeronaves manejadas en las pistas de los aeropuertos, en términos de tamaño, velocidades y características operacionales, mayor será la uniformidad y precisión en las distancias de separación para los despegues y aterrizajes de aeronaves, teniéndose como resultado una utilización óptima de la capacidad en el lado aéreo.

Cambio del tránsito aéreo de corto itinerario a otros modos de transporte

La desviación del tránsito aéreo de corto itinerario (hasta 500 km de distancia) a otros modos de transporte, liberaría en algún grado la congestión en los aeropuertos caracterizados por una alta proporción de tal tránsito. Los modos alternos podrían ser transporte de superficie de alta velocidad, por ejemplo, ferrocarril o enlaces de transporte aéreo dedicado, mediante sistemas de despegue y aterrizaje cortos (STOL; *short take off and landing*).

Ciertos estudios del impacto de los trenes de alta velocidad en los aeropuertos europeos, indican que tienen un alto potencial para remplazar a los vuelos alimentadores y la capacidad para reducir el problema de congestión en los aeropuertos.

Por ejemplo, el proyecto para la construcción de un tren bala entre el Distrito Federal y los estados de México, Querétaro, Guanajuato, y Jalisco; tiene un gran potencial para captar flujos significativos de pasajeros del modo aéreo al ferroviario. Dado que hay volúmenes importantes de vuelos y pasajeros que podrían ser encauzados al tren de alta velocidad, alrededor de 33 mil operaciones y más de 1.7 millones de pasajeros anuales (durante 2005), esto implicaría una reducción para el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) de 11.2% y del 7.1% en términos de operaciones y de pasajeros respectivamente.

Opción C. Redistribución de los picos de demanda

Este concepto implica la adopción de ciertas medidas económicas y/o administrativas, dirigidas a modificar el perfil de la demanda, para ajustarlo dentro de los límites de la capacidad disponible. Por ello, esta propuesta se estima adecuada para situaciones en donde un posterior incremento de la capacidad del aeropuerto no es factible, o es muy costosa.

Aunque la ampliación de un aeropuerto puede ser inevitable, la solución mediante la redistribución de los picos de demanda puede implementarse en menos tiempo del requerido para construir una nueva instalación, con la ventaja de demorar su ampliación y las grandes inversiones de capital asociadas. Hay dos propuestas para lograr la redistribución de los picos de demanda: mediante medidas económicas, o a través de medidas administrativas.

Medidas económicas

Tarifificación en periodos pico

Esta es una propuesta económica que utiliza a los precios como un instrumento para regular la demanda del tránsito. Comúnmente toma la forma de una tarifa adicional (derecho extra) en el uso del aeropuerto durante las horas de mayor

demanda, con el objeto de alentar a las aerolíneas y otros usuarios a cambiar sus vuelos fuera de los periodos de mayor congestión hacia otros de menor utilización. El resultado esperado es una reducción de los volúmenes de tránsito pico, ya que esta propuesta operaría selectivamente sobre todos los que antes utilizaban al aeropuerto sin restricciones, por lo que se obtendría un perfil de demanda más uniforme a lo largo del día.

El principal atractivo de la propuesta de tarificación es su simplicidad; además, no compromete la seguridad; no es inherentemente discriminatoria en contra de cualquier grupo de usuarios; es compatible con otras propuestas para reducir los problemas de congestión y demoras; no entra en conflicto con otros objetivos del aeropuerto (por ejemplo, políticas de reducción de ruido); y es efectiva como una alternativa tanto en el corto como en el largo plazos.

Subasta del servicio

Otra medida económica que puede aplicarse para reducir el nivel de demanda durante los periodos pico en aeropuertos con gran actividad es la venta, al más alto postor, del derecho del uso del aeropuerto (por ejemplo, para un aterrizaje o un despegue) durante cierto intervalo del día (*slot*). De esta forma, las fuerzas del libre mercado determinarán el costo; el cual es simplemente el que los usuarios están dispuestos a pagar, con base en su percepción del valor del acceso al aeropuerto en un momento dado. La adopción de la alternativa se justifica con el hecho de que si el uso del aeropuerto está limitado, entonces deberá ser tratado como un *recurso escaso*. Un inconveniente con la venta de *slots* es la posibilidad de que estos sean acaparados por los compradores más fuertes, interrumpiendo así el acceso al aeropuerto a otros usuarios potenciales.

Medidas administrativas

Los mecanismos anteriores basados en el mercado pueden dificultar su implementación y encontrar fuerte oposición por parte de los usuarios del aeropuerto. Otra propuesta alternativa es adoptar ciertos procedimientos de regulación o administrativos, dirigidos a limitar el volumen o el tipo de tránsito aéreo; estos volúmenes serán atendidos en otro aeropuerto dentro de sus límites de capacidad o dentro de un nivel aceptable de demoras.

Limitación del volumen de tránsito y distribución de *slots*.

Bajo esta propuesta son impuestos límites al número de aeronaves que despegan y aterrizan, y/o en los volúmenes de pasajeros permisibles, dentro de los límites de alguna capacidad específica del sistema, por ejemplo, en las pistas, salas de abordaje y/o el edificio terminal. A diferencia de las medidas económicas descritas, esta propuesta se ha utilizado en varios de los principales aeropuertos de los Estados Unidos y en muchos de aquellos que registran gran demanda de Europa y el Lejano Oriente. Este método demostró ser efectivo para administrar la demanda en los periodos pico, cuando se aplicó en varios aeropuertos norteamericanos con gran actividad aérea; posteriormente esta alternativa evolucionó como un medio para administrar la capacidad limitada de los aeropuertos.

Control de flujo de tránsito

El control de flujo es un procedimiento de administración del tránsito aéreo asistido por computadora, el cual no restringe explícitamente el acceso al aeropuerto.

Esta técnica se enfoca al control dinámico de los volúmenes de tránsito desde y hacia un aeropuerto, como respuesta general a una demanda regional o nacional. Esto se logra mediante ajustes computarizados continuos en los tiempos de llegadas y salidas de aeronaves en todo el sistema de aeropuertos, de tal forma que las demoras generen el menor costo posible. Las demoras se presentarán comúnmente en tierra, en los aeropuertos de salida, o en ruta para los aeropuertos de destino; y menos frecuentemente en patrones de espera. Bajo el control de flujo de tránsito, para que una aeronave tenga derecho a despegar (desde el aeropuerto de origen), deberá tener asignado un *slot* de aterrizaje en el aeropuerto de destino.

Es importante remarcar que los beneficios de la administración del flujo de tránsito se relacionan principalmente con el lado aéreo, y que este método no incrementa la capacidad nominal del sistema; más bien, es un medio para maximizar la utilización del limitado espacio aéreo existente y de los recursos del aeropuerto.

Restricción de las operaciones de la aviación general

Un método para maximizar la utilización de la capacidad disponible de un aeropuerto consiste en restringir su uso para los tránsitos no comerciales. Las operaciones de la aviación general son generalmente el centro de tales restricciones. Esta restricción de acceso busca cambiar una parte de la actividad aérea de las horas pico, hacia intervalos con menos actividad; liberando de esta forma más capacidad del lado aéreo para las operaciones de las aerolíneas comerciales. La capacidad liberada mediante esta alternativa se asocia con el lado aéreo.

Opción D. Aplicaciones tecnológicas e innovaciones operacionales

Las propuestas descritas anteriormente podrían en teoría, reducir las demoras de tránsito y son dignas de consideración desde el punto de vista de la eficiencia en la utilización de los recursos existentes, y para evitar la inversión de grandes sumas de capital. Sin embargo, algunos de sus principios resultan controversiales, y requieren la solución de diversos problemas analíticos, legales y administrativos. Esto ha llevado a la búsqueda de nuevas tecnologías e innovaciones en la operación de los aeropuertos para maximizar el empleo de sus instalaciones.

Tecnología de las aeronaves

Esta opción se centra en dos nuevos tipos de aeronaves que permitirían liberar la demanda de servicio del aeropuerto, en el lado terrestre o en el aéreo, o en ambos. El primer tipo de aeronave es aquel que debido a sus características no requeriría el uso de un aeropuerto para su operación (convertiplanos), y el segundo es el que aunque requiere de un aeropuerto para operar, tendría una capacidad sustancialmente mayor en el transporte de pasajeros, por lo que se requeriría un menor número de operaciones en las pistas para transportar a un

mismo número de viajeros, o a más usuarios con el mismo número de operaciones (aeronaves de gran capacidad).

Diseño de terminales

Un ejemplo de una propuesta novedosa para el diseño de terminales que minimizan las distancias entre la entrada de la terminal y las salas de abordaje, es la que utiliza el concepto de *módulos de servicio de pasajeros*. Para este concepto, los módulos son edificios de dos niveles (salidas en la parte superior y llegadas en la inferior), con un puente colector para las aeronaves en cada una de sus esquinas; con capacidad de servicio para cuatro aeronaves al mismo tiempo. Los módulos se conectan entre sí por un sistema movilizador de pasajeros. Los diseños de este tipo pueden construirse y operarse con un monto menor que los tradicionales métodos de construcción de edificios tradicionales, y con menos inconvenientes para los pasajeros. El diseño modular también contribuye a la eficiencia en el procesamiento de pasajeros, y provee flexibilidad para futuras ampliaciones de la terminal.

Automatización de la asignación de salas de abordaje

La tecnología de inteligencia artificial y otros programas computacionales, recientemente se han utilizado para desarrollar sistemas potentes de asignación de salas de abordaje, incorporando el conocimiento, destreza y experiencia de los administradores de las salas de abordaje, mediante microcomputadoras rápidas y con pantallas de gráficos de alta resolución. El empleo de estas tecnologías adquiere mayor utilidad y valor conforme el tránsito aeroportuario se incrementa, y los límites de capacidad se alcancen.

Incremento en la velocidad del procesamiento de pasajeros en la terminal

También existen avances tecnológicos para acelerar el procesamiento de los pasajeros en los edificios terminales, y liberar presión en su capacidad. Actualmente, el programa "Simplificando el Negocio", de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo, busca mejorar y hacer más eficiente el servicio aéreo, y generar ahorros para las aerolíneas.

Para ello la IATA ha concentrado sus esfuerzos en la aplicación de varias iniciativas, cuatro de las cuales también benefician la capacidad operativa de los aeropuertos: el boleto electrónico; el pase de abordaje mediante código de barras; los kioscos de autoservicio de uso común; y la identificación por radiofrecuencia del equipaje.

Modelación y simulación computacional

Como una parte importante de la aplicación de innovaciones tecnológicas, ha tenido un gran reconocimiento el desarrollo y utilización de modelos computacionales, para evaluar los niveles prevalecientes de servicio y las posibles opciones para reducir la congestión. Tales modelos pueden emplearse para simular: los movimientos de las aeronaves en las pistas, calles de rodaje y plataformas; la asignación de las salas de abordaje para las aeronaves; los flujos

de los pasajeros en el edificio terminal; y los movimientos de vehículos en el sistema de transporte terrestre.

Prácticas operacionales

Finalmente, pueden ser consideradas algunas prácticas operacionales innovadoras para mejorar la utilización de la capacidad aeroportuaria.

1. Integración de los servicios aéreos y ferroviarios, con lo cual la llegada del equipaje de las aeronaves se reenvía directamente a las distintas estaciones ferroviarias. Esto contribuye a reducir la demanda en las bandas de reclamo de equipaje del aeropuerto.
2. Utilización de señalamiento temporal o removible de las aerolíneas en los mostradores de las salas de documentación de la terminal, para permitir el uso de instalaciones comunes entre las distintas aerolíneas.
3. Documentación en las salas de abordaje, para operaciones de corto itinerario de pasajeros que sólo llevan equipaje de mano.
4. Adopción de estrategias operacionales en la asignación de salas de abordaje comunes, para maximizar la utilización de la capacidad de las salas, en lugar de la utilización de salas exclusivas por aerolínea.
5. Empleo de las reversas de los motores de las aeronaves en sus posiciones de embarque, con objeto de eliminar el inconveniente de que las aeronaves esperen hasta que los remolcadores los saquen de sus plataformas, y además evitar la pérdida de tiempo durante la operación de acoplamiento y desacoplamiento del tren de aterrizaje de los remolcadores.
6. El conocimiento del comportamiento de las estelas de los torbellinos generadas por las aeronaves, puede incrementar la capacidad de aeropuertos con pistas paralelas muy cercanas. Mediante este conocimiento se han sugerido nuevos criterios para reducir los límites operacionales en los aeropuertos, con objeto de aumentar la capacidad de las pistas.

Conclusiones y recomendaciones

Se exploraron diversas alternativas para solucionar el problema de la falta de capacidad aeroportuaria, con objeto de reducir la congestión del tránsito y las demoras. La construcción de nuevos aeropuertos y la ampliación de las instalaciones existentes agregarán más capacidad, pero el desarrollo de nuevos aeropuertos está limitado por sus altos costos, y la escasez de sitios adecuados para su construcción. Sin embargo, la opción de incrementar la capacidad del sistema es la única solución viable a largo plazo, si la demanda del servicio aéreo continúa creciendo con las actuales tasas.

En general, la solución para reducir los problemas de congestión y demoras consiste en minimizar la relación de la demanda con la capacidad a valores

menores a 0.8, lo cual es deseable, debido a que los tamaños de las colas y de los tiempos de espera crecen en una proporción acelerada, más allá de este valor. Sin embargo, puede resultar controversial decidir a qué parte de la relación se le debe dar mayor prioridad.

Algunas propuestas de reducción de la demanda mediante, por ejemplo, el cambio de tránsito aéreo de corto itinerario a otros modos, aparentemente pueden generar beneficios significativos en la reducción de la congestión aeroportuaria; sin embargo, se requieren de grandes inversiones para ello.

También se reconoce que las opciones que introducen mejoras tecnológicas, y/o prácticas operacionales innovadoras, tienen potencial para incrementar la capacidad del manejo del tránsito en las instalaciones aeroportuarias en el corto y mediano plazos. Aunque su contribución para disminuir la congestión aeroportuaria y las demoras es limitada. Sin embargo, existen excepciones como es el caso de la utilización de los convertiplanos, y el incremento de la capacidad de las pistas al disminuir la separación operacional de las aeronaves con base en el nuevo conocimiento del comportamiento de los torbellinos generados por las aeronaves.

1 Introducción

1.1 Justificación

La falta de capacidad para cubrir los requerimientos de demanda en los principales aeropuertos, es un grave problema que enfrenta la aviación en el ámbito mundial.

La falta de suficiente capacidad aeroportuaria para cumplir con la demanda originada por el movimiento de pasajeros y aeronaves, y el consecuente problema que se refleja en la saturación de los aeropuertos, así como en la demora de las operaciones, se ha vuelto común en los principales aeropuertos del mundo. Conforme el tránsito se incrementa, este problema empeorará.

Dentro de los aeropuertos de mayor importancia en México, ya sean turísticos o metropolitanos, como Cancún, Puerto Vallarta, Acapulco, Tijuana, Guadalajara, Monterrey, y el de la Ciudad de México, se observan ya problemas de saturación en pistas y/o en salas de espera. Por ello es importante explorar diferentes alternativas de solución al problema del desequilibrio entre la capacidad del aeropuerto y la demanda en el sistema.

1.2 Objetivos

Detectar, documentar y cuantificar los posibles beneficios de distintas alternativas de solución para el problema de la falta de capacidad de los aeropuertos:

1.3 Alcances

El estudio explora las diversas alternativas de solución para resolver este problema, y las nuevas tendencias al respecto que pueden ser aplicadas en los aeropuertos mexicanos.

1.4 Metodología

Se realizó una investigación bibliográfica y búsquedas en internet. Se abordaron las soluciones considerando cuatro vertientes:

(A) Incremento de la capacidad (construcción de nuevos aeropuertos; ampliación de las instalaciones existentes)

(B) Reducción de la demanda mediante: procesamiento remoto; desarrollo de mega centros de distribución; preliberación de trámites; relocalización de ciertas operaciones de tránsito aéreo (por ejemplo, de la aviación general, aviación de carga, o de vuelos internacionales); cambiando la demanda de corto itinerario a otros modos de transporte

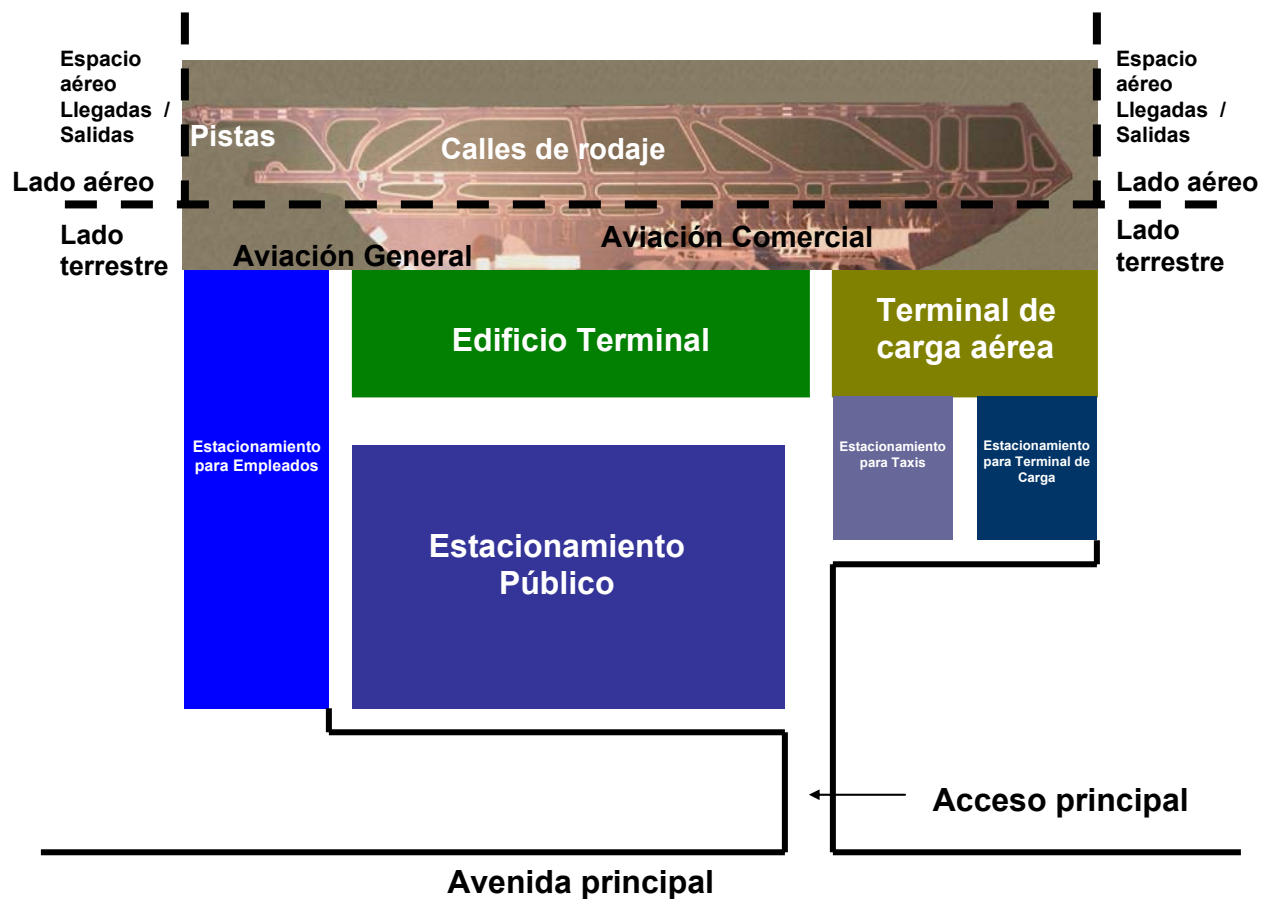
(C) Redistribución de los picos de demanda mediante medidas económicas (tarificación en horas pico; subasta del servicio), y/o medidas administrativas (limitación del volumen de tránsito; control del flujo de tránsito; y restricciones de operación para la aviación general)

(D) Innovaciones tecnológicas y operacionales, por ejemplo, nuevas tecnologías de aeronaves (convertiplanos y aeronaves de gran capacidad); nuevos diseños de terminales aéreas; incremento de la velocidad de procesamiento de los pasajeros (boleto electrónico, pase de abordaje mediante código de barras, kioscos de autoservicio, identificación por radiofrecuencia del equipaje); modelos de simulación; y prácticas operacionales innovadoras (por ejemplo, integración de servicios, y disminución de la separación en la operación de las aeronaves)

2 Alternativas de solución para problemas de capacidad aeroportuaria

2.1 Introducción

El lado terrestre de un aeropuerto se define como el conjunto formado por las plataformas; los edificios del área terminal; los accesos terrestres del sistema de circulación; y las instalaciones para el estacionamiento de vehículos. Tres elementos principales del tránsito se involucran cuando se trata de la parte terrestre de un aeropuerto: aeronaves; pasajeros (familiares y amistades); y vehículos de acceso terrestre (incluye vehículos particulares, de servicio público de pasajeros, y aquellos para la entrada y salida de la carga del aeropuerto). Por otro parte, el lado aéreo se relaciona con las operaciones en las pistas y calles de rodaje (Figura 1); en este segmento se tendrán flujos de aeronaves únicamente.



Fuente: Elaboración personal.

Figura 1
Representación esquemática de los componentes de un aeropuerto

El crecimiento del tránsito aéreo en las últimas cuatro décadas ha sido estable y con un crecimiento rápido en el ámbito mundial; y se pronostica que esta tendencia continúe para el futuro. En Norteamérica, el auge del tránsito de pasajeros aéreos desde hace dos décadas, se ha estimulado por la desregulación del transporte aéreo y otros factores. Siguiendo el patrón establecido por los Estados Unidos y Canadá, la desregulación se ha expandido a otras partes del mundo, incluyendo a México.

Durante 2005, el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México registró un movimiento de alrededor de 24 millones de pasajeros, lo cual ha creado problemas de congestión en esta terminal. Lo anterior también produce altos costos por las demoras. Los picos de este tránsito durante ciertos periodos del día se reflejan en las pistas, plataformas, y dentro del edificio terminal (áreas de aduana; instalaciones del control de seguridad; y en el área de manejo de equipaje).

En general, el incremento de los volúmenes de pasajeros en los principales aeropuertos conduce también a una saturación de los caminos de circulación alrededor de los mismos, y en sus instalaciones de estacionamiento público.

Conforme las demoras de los vuelos continúen incrementándose, este efecto de onda puede transmitirse a otros aeropuertos con los que tienen conexiones de vuelo los aeropuertos congestionados, por lo tanto, puede afectarse a toda una red de transporte aéreo.

Este problema es posteriormente empeorado por las prácticas operacionales de las aerolíneas. Los transportistas tienden a programar continuamente más vuelos durante los intervalos pico en respuesta a las oportunidades de negocio, y a la competencia entre ellos mismos. La generación de más operaciones en los centros de distribución (*hubs*) agrava la situación de los picos de demanda, y contribuye al incremento de la congestión y de las demoras.

Bajo la estrategia de operar en los aeropuertos que funcionan como centros de distribución, las aerolíneas buscan dominar los principales mercados, concentrando sus tránsitos alimentadores dentro de dichos lugares; para ello ofrecen convenientemente frecuencias de conexión de vuelo. Al coordinar los tránsitos alimentadores para concentrar las llegadas y salidas de vuelos en un periodo de tiempo relativamente corto, se genera una aguda congestión de tránsito, tanto en el lado terrestre como en el aéreo.

Por otro lado, el incremento de la utilización de aeronaves pequeñas en operaciones alimentadoras y regionales, incrementa la demanda en mayor medida en pistas, calles de rodaje y plataformas. Por ejemplo, en el aeropuerto internacional de Toronto, en Canadá, las operaciones regionales y alimentadoras crecieron un 27% entre 1981 y 1989; mientras que para el mismo intervalo, sólo hubo un pequeño crecimiento del 3%, en el tránsito de pasajeros totales.

Para el caso de México, en la Tabla 1 se presentan las tasas de crecimiento media anual (TCMA) en los principales veinte aeropuertos nacionales, con los mayores volúmenes de pasajeros durante el periodo 1989-2005.

Como se observa, en catorce de estos veinte aeropuertos se presentan TCMA mayores para las operaciones respecto a las de pasajeros; e incluso en el promedio nacional también la TCMA es mayor para las operaciones que para los pasajeros. Lo que implica que en general los incrementos de la demanda de viajeros, generan mayores incrementos de demanda en las operaciones aeroportuarias (despegues y aterrizajes).

Tabla 1
Tasa de crecimiento media anual (TCMA) en los principales veinte aeropuertos nacionales, con los mayores volúmenes de pasajeros (1989-2005)

Aeropuerto	TCMA (%) pasajeros	TCMA (%) operaciones
México	4.82	5.98
Cancún	9.64	7.42
Guadalajara	2.60	4.22
Monterrey	7.75	11.26
Tijuana	4.27	6.20
Pto. Vallarta	3.34	3.71
San José del Cabo	11.30	10.90
Hermosillo	5.49	5.90
Bajío	13.36	11.20
Mérida	2.69	2.69
Acapulco	-3.83	-0.94
Mazatlán	-2.14	0.65
Culiacán	4.91	3.58
Villahermosa	4.76	6.42
Morelia	16.78	9.20
Zihuatanejo	0.04	1.13
Cd. Juárez	6.45	9.08
Veracruz	5.94	7.81
Chihuahua	2.26	6.35
Oaxaca	1.39	2.85
Total nacional	4.59	5.66

Fuente: Elaboración personal con base en La aviación mexicana en cifras 1989-2005. DGAC. México 2006.

La falta de una pronta acción correctiva para incrementar la capacidad, o para controlar la demanda de los aeropuertos principales con gran actividad, podría conducir a un eventual colapso del sistema aeroportuario. Si no hay medios para incrementar la capacidad aeroportuaria, la capacidad disponible debe ser racionada entre los usuarios.

En el largo plazo este desequilibrio entre la demanda y la capacidad dañaría seriamente el número de operaciones aéreas, y el crecimiento de las actividades

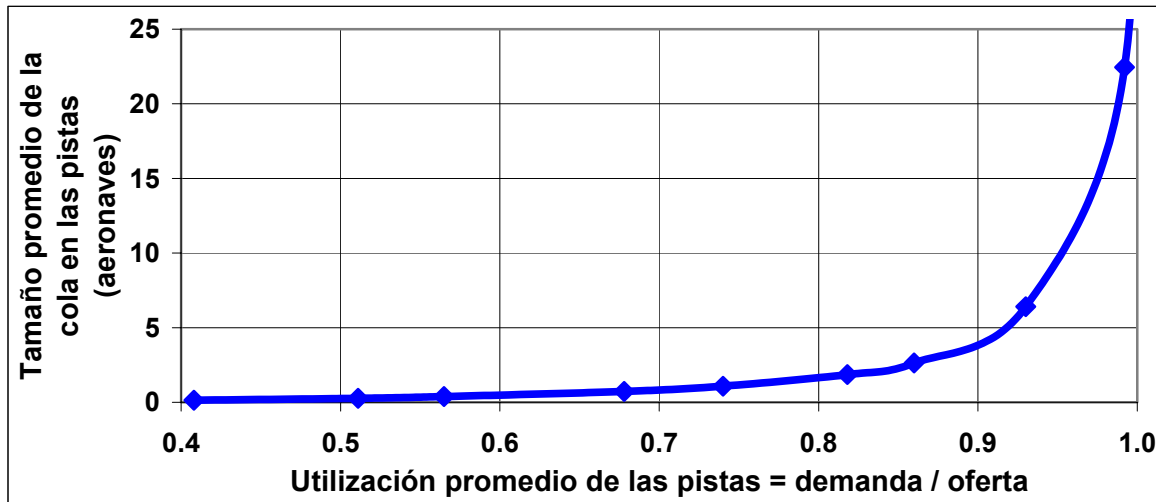
económicas asociadas con estos aeropuertos. Al respecto, el objetivo del documento es explorar algunas de las posibles soluciones alternas.

2.2 Opciones de solución

El primer paso lógico para la búsqueda de soluciones es la identificación de las causas del problema. Las demoras empiezan a ser significativas antes de que la demanda de los servicios exceda la capacidad disponible del sistema.

La experiencia en las operaciones de los sistemas de transporte ha mostrado que las demoras se inician cuando la demanda exceden alrededor del 75 al 80% de la capacidad disponible del sistema, y que la resultante demora promedio se incrementa exponencialmente conforme la relación de la demanda con la capacidad se aproxima al 100% (Odoni, 1976; y Hamzawi, 1992).

Experimentos con modelos de simulación (Herrera, 2004) muestran que al igual que las demoras, los tamaños de las colas de aeronaves a la entrada de las pistas, tanto para despegues como para aterrizajes, empiezan a crecer sustancialmente a partir de valores de utilización promedio de las pistas, mayores a 0.8 (Figura 2).



Fuente: Elaboración personal con base en Herrera (2004), Tabla 6.1

Figura 2

Tamaño promedio de las colas de espera en las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM), en función de la utilización promedio de las pistas

El servicio de las pistas del aeropuerto se deteriora conforme se acerca a su valor de capacidad máxima; las colas y los tiempos de espera no crecen uniformemente conforme la congestión aumenta, sino que después de cierto valor (aproximadamente 4/5 de su capacidad máxima) crecen aceleradamente.

La solución al problema de la congestión aeroportuaria debería por lo tanto, enfocarse a encontrar formas de reducir el cociente demanda/oferta de servicio (capacidad de las instalaciones). Esto se puede lograr mediante el incremento de la capacidad; reduciendo (limitando) la demanda; o combinando ambas opciones. Las opciones de solución identificadas en el presente documento están estructuradas conforme a este razonamiento y se resumen en la Figura 3.

El desarrollo de nuevos aeropuertos o la ampliación de los mismos, incrementa directamente la capacidad del sistema.

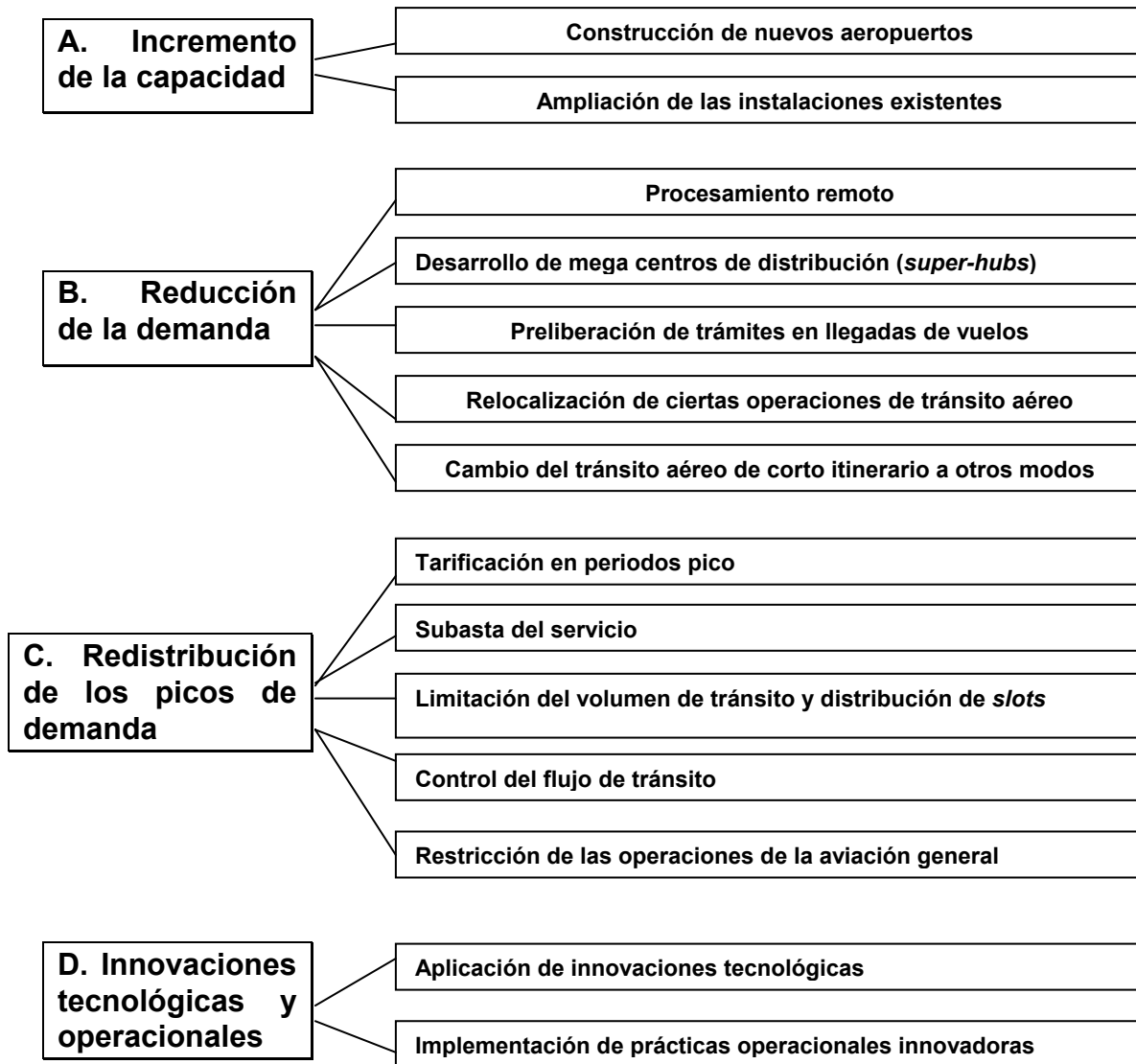
Sin embargo, también es reconocido que debido a restricciones económicas, y a la resistencia de algunas comunidades al desarrollo de nuevos aeropuertos¹, es necesario tener presentes otras alternativas de solución, por ejemplo, la ampliación de la capacidad sin necesidad de grandes inversiones; la administración de la demanda del tránsito y de los picos de demanda; y el incremento en la aplicación de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia y la capacidad de las instalaciones.

También se debe tener presente que la construcción de nuevos aeropuertos o su ampliación, no es una solución factible para cubrir necesidades en el corto plazo, dado que generalmente se requieren tiempos de entre cinco y diez años para realizar todo el proceso de planeación, diseño, aprobación, y construcción.

Como se observa en la Figura 3, las distintas alternativas de solución se han dividido en cuatro opciones.

La opción A se relaciona con la incorporación de nueva infraestructura; mediante esta opción se incrementa la capacidad de todo el aeropuerto o de algunos de sus subsistemas (crecimiento de la oferta); la opción B establece mecanismos que reducen la demanda de los servicios del aeropuerto; la opción C aunque no disminuye la demanda, redistribuye las operaciones, con lo que se obtiene una mayor eficiencia operativa del aeropuerto; finalmente la opción D, mediante innovaciones tecnológicas y/o operacionales también se puede incrementar la eficiencia del aeropuerto.

¹ El 22 de octubre de 2001, después de meses de discusiones y estudios para la ubicación del nuevo aeropuerto de la Ciudad de México, el Gobierno Federal anunció que sería construido en Texcoco (Estado de México). Grupos de ejidatarios, partidos políticos y ecologistas protestaron de inmediato. El 11 de julio de 2002, tras meses de marchas y protestas, el conflicto llegó a su punto de tensión y violencia máxima. Inconformes se enfrentaron con policías (hubo 25 heridos, 13 detenidos y 19 secuestrados). El 1 de agosto de 2002, luego de frustrados intentos de negociación, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes canceló el proyecto. Fuentes: Periódicos "El Universal" y "El Financiero del 23 de octubre de 2001; periódicos "El Universal" y "La Jornada" del 2 de agosto de 2002; y comunicado de prensa de la SCT del 1 de agosto de 2002.



Fuente: Elaboración personal

Figura 3
Opciones para el equilibrio de la capacidad aeroportuaria y su demanda

2.2.1 Opción A. Incremento de la capacidad

2.2.1.A.1 Construcción de nuevos aeropuertos

Una propuesta para tratar con la necesidad de incrementar la capacidad aeroportuaria, ha sido el desarrollo de nuevos aeropuertos². Aunque en el pasado

² El aeropuerto más reciente en México es el de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Ángel Albino Corzo), inaugurado el 27 de junio de 2006. Para su construcción se destinaron 825 millones de pesos. Esta terminal aérea cuenta con la tecnología más avanzada para el ascenso y descenso de pasajeros, así como para la revisión de equipajes. Tiene una pista de 2 mil 500 metros de longitud y 45

esta ha sido una propuesta factible, las restricciones son ahora más numerosas, por ejemplo, las grandes dificultades para encontrar y adquirir grandes extensiones de terreno; los crecientes problemas ambientales; la oposición de comunidades locales para el desarrollo de aeropuertos (debido a los problemas de uso del suelo, ruido, y de congestión en las carreteras alrededor de los aeropuertos); y la escasez de fondos necesarios para el financiamiento de estos proyectos.

Muy pocos aeropuertos serán construidos en el futuro. Uno de estos probables casos se deriva del relanzamiento del Caribe mexicano, para lo cual se abre la posibilidad de la construcción de un nuevo aeropuerto en la Riviera Maya. Las autoridades estatales y empresarios turísticos estiman incrementar en 50% el número de operaciones aéreas en la zona turística de Quintana Roo. Se prevé que la extensión de la nueva terminal aérea sea de mil hectáreas; y que tenga un costo de entre 120 y 140 millones de dólares³.

Otro probable nuevo aeropuerto se deriva del interés de inversionistas privados en retomar el proyecto del aeropuerto de Tizayuca. El proyecto, con una inversión de 200 millones de dólares, para un aeropuerto con dos pistas y con capacidad para recibir aeronaves de gran capacidad, como el *Airbus A380*, pretende utilizar el mismo lugar del proyecto original, ya que los terrenos son federales y algunos espacios privados ya fueron indemnizados y arreglados por el Gobierno de Hidalgo.

La idea es hacer una terminal de carácter mundial, con capacidad de carga y pasajeros que sirva como base alterna al AICM, o como terminal de tránsito, donde los pasajeros puedan tomar otros vuelos que los conecten al resto del país en vuelos regionales, o hacia Centro o Sudamérica. El proyecto también considera que la terminal aérea esté acompañada de una terminal multimodal, con todos los servicios para el manejo de contenedores y su almacenamiento; podrá repartir carga destinada al DF, o a ciudades ubicadas en un radio similar con respecto a Tizayuca⁴.

2.2.1.A.2 Ampliación de las instalaciones aeroportuarias existentes

Esta ha sido una propuesta ampliamente adoptada por varias autoridades aeroportuarias, como un medio para responder al crecimiento de la actividad aérea. Para incrementar la capacidad existente del aeropuerto se tienen distintas alternativas, por ejemplo, la ampliación del área de las plataformas o su

metros de ancho, y tres calles de rodaje; así como un moderno sistema de ayudas visuales que le permite operar las 24 horas del día. Fuente: Boletín de ASA, del 27 de junio de 2006, <http://www.asa.gob.mx>.

³ Fuente: Periódico “El Universal”, del 5 de diciembre de 2005.

⁴ Fuente: Periódico “El Universal”, del 27 de febrero de 2005.

incremento para acomodar más aeronaves; la ampliación de los subsistemas del edificio terminal para incrementar la capacidad en el procesamiento de pasajeros; o la incorporación de más espacio para el estacionamiento de vehículos.

Un ejemplo de esta alternativa es la nueva terminal 2 (en construcción) del AICM, la cual se tiene planeado que entre en operación a finales del 2006. La terminal 2 contará con 229 mil metros cuadrados de edificio Terminal; 294 mil metros cuadrados de plataforma; 23 posiciones de contacto directas al edificio; y un estacionamiento con capacidad para más de 4 mil vehículos. La nueva terminal estará equipada con la tecnología más avanzada en sistemas para el manejo de equipaje (contará con 21 bandas transportadoras), y capacidad para procesar 10 mil 600 maletas por hora.

Para facilitar el traslado de pasajeros (en tránsito, conexión y código compartido), así como de trabajadores del AICM, se establecerá un sistema de interconexión entre la terminal 1 y la nueva terminal 2, mediante trenes automatizados (en menos de seis minutos podrá transportar a los usuarios, por los tres kilómetros de separación que hay entre ambas terminales; tendrá una capacidad diaria de 6 mil 800 pasajeros). Con esta nueva terminal el AICM tendrá una capacidad instalada para atender 32 millones de pasajeros anuales (20 millones en la actual terminal 1 y 12 millones en la terminal 2)⁵.

El incremento de la capacidad de una instalación existente no siempre conlleva su ampliación física. La reconfiguración del espacio existente (modificación de la distribución original) puede ser quizá lo único que se necesite. Por ejemplo, las puertas de salida adyacentes pueden ser combinadas en una sola área común que permita el acomodo de un gran número de pasajeros; o con el objeto de proporcionar más espacio por ocupantes, que el previamente establecido. Si embargo, en el otro extremo la ampliación del aeropuerto puede tomar la forma de un edificio para una nueva terminal de pasajeros.

También es común que la ampliación tome la forma de varias soluciones diseñadas para incrementar marginalmente la capacidad de las instalaciones existentes, en el corto y mediano plazos. Una consideración importante es que en algunos casos puede ser de hecho más barato y más efectivo en el largo plazo construir una instalación totalmente nueva (por ejemplo, un edificio terminal adicional), que continuar con diversas modificaciones parciales en una terminal aérea existente.

Sin duda que puede obtenerse un significativo incremento en capacidad mediante una ampliación de las instalaciones del aeropuerto. Sin embargo, la expansión de la infraestructura aeroportuaria requiere largos intervalos del tiempo y sustanciales inversiones de capital, los cuales no siempre son disponibles debido a la existencia de otras prioridades. Hay ahora una tendencia creciente hacia la

⁵ Fuente: Boletines de ASA del 26 de enero y 3 de mayo del 2006, en <http://www.asa.gob.mx>.

participación del sector privado para el desarrollo y financiamiento de tales proyectos. Un ejemplo es el nuevo edificio satélite del aeropuerto de Monterrey, el cual tuvo una inversión privada superior a los 77 millones de pesos⁶.

2.2.2 Opción B. Reducción de la demanda

La reducción de la demanda en un aeropuerto puede lograrse al cambiar una porción de la demanda hacia alguna localización alterna o hacia otros modos de transporte, teniéndose las siguientes opciones.

2.2.2.B.1 Procesamiento remoto

Esta propuesta ayuda a reducir la demanda en las instalaciones aeroportuarias dando servicio a parte de la demanda, en una instalación alterna o complementaria fuera del aeropuerto. En términos de lado terrestre del aeropuerto, esto aplicaría principalmente al estacionamiento de vehículos, al procesamiento de pasajeros, y a la asignación de posiciones para las aeronaves.

En muchos lugares las terminales satélite para procesamiento remoto de pasajeros, que proporcionan servicios de registro y reclamo de equipaje pueden proporcionar diversas ventajas para los viajeros, por ejemplo, evitar la saturación de las áreas de estacionamiento del aeropuerto; de los mostradores de boletos de las aerolíneas; y de los accesos terrestres que comunican a la terminal.

Quizá los retos más significativos a vencer son: el cumplimiento de los requerimientos de seguridad; y la justificación económica ante las aerolíneas de que los beneficios de proporcionar los servicios de registro de equipaje en las terminales satélite, son mayores que los costos asociados. La tecnología puede eventualmente ayudar a los operadores de los aeropuertos y de las terminales remotas a vencer estos y otros retos.

Los ejemplos de tales tecnologías (inciso 2.2.4.D.1.4) incluyen: el boleto electrónico; el pase de abordaje mediante código de barras; los kioscos de autoservicio de uso común; y la identificación por radiofrecuencia del equipaje. Mediante estas tecnologías se facilita el proceso de registro de los pasajeros (*check-in*), y se reduce el personal requerido por las aerolíneas en las terminales remotas (Mansel y Mandle, 2000; y <http://www.iata.org/whatwedo/simplibiz/>).

2.2.2.B.1.1 Estacionamiento de vehículos fuera del aeropuerto

Cuando la capacidad del estacionamiento de vehículos en el aeropuerto es insuficiente para cubrir la demanda, y no puede ser ampliado eficientemente dentro de los límites del aeropuerto, pueden ubicarse instalaciones adicionales de estacionamiento fuera del aeropuerto, y conectarlas a la terminal mediante un sistema de circulación, por ejemplo, autobuses. Aunque esta es una solución

⁶ Inaugurado el 20 de agosto de 2004. Fuente: notams, publicación informativa de OMA, septiembre de 2004, Año 5, Número 54, pp. 1 y 5.

innovadora al problema de la limitación de la capacidad de estacionamiento, este método ha tenido resultados mixtos.

Los conductores tienden a dudar de la utilización de tales instalaciones, con la esperanza de encontrar lugar para estacionarse más cerca del aeropuerto. Si estos conductores no pueden encontrar tal lugar, acudirán a la instalación de estacionamientos fuera del aeropuerto; desafortunadamente durante este proceso se consumirán importantes recursos de las vías de acceso, además del tiempo requerido para estos recorridos.

2.2.2.B.1.2 Procesamiento de pasajeros fuera del aeropuerto

Esto involucra principalmente la entrega de los pases de abordaje, y las actividades relacionadas con la verificación del equipaje en un lugar remoto, o en localizaciones clave dentro de la ciudad, donde los orígenes y destinos de los pasajeros se concentran, por ejemplo, agencias de viaje, hoteles del centro de la ciudad, estaciones de ferrocarril, y estacionamientos periféricos; también incluye el transporte de los pasajeros al aeropuerto para completar las actividades restantes relacionadas con el vuelo, como son las verificaciones de seguridad, y el abordaje a la aeronave. De esta forma, los usuarios al llegar al aeropuerto, tendrán sus pases de abordaje, y su equipaje ya habrá sido transportado directamente a su avión.

La medida anterior contribuye a disminuir la conglomeración de pasajeros en las áreas de procesamiento de la terminal aérea; sin embargo, el éxito de la alternativa depende de la concentración de los pasajeros en los lugares de procesamiento remoto, es decir, de la generación de la suficiente demanda de servicio. Otros factores que afectan el éxito de esta opción, son los costos adicionales originados por la duplicación de servicios; el arreglo de las instalaciones y su ubicación; y la seguridad en la transferencia del equipaje desde tales instalaciones hacia la terminal aérea.

2.2.2.B.1.3 Posiciones remotas para aeronaves

La falta de suficientes posiciones de embarque y desembarque de pasajeros puede ser compensada mediante el uso de autobuses o salas móviles, para transportar a los pasajeros entre el edificio terminal y su aeronave estacionada en una posición remota. Tales vehículos pueden ser autobuses acondicionados, o vehículos especiales de transporte, equipados con dispositivos de levantamiento hidráulico, capaces de embarcar y desembarcar a los viajeros desde el nivel de piso de los edificios terminales, hasta el de las puertas de las aeronaves.

Este tipo de operaciones es ampliamente utilizado en muchos aeropuertos. Es empleado como un complemento para los edificios terminales, particularmente durante las horas pico; o como un medio de transferencia de pasajeros entre aeronaves en aeropuertos predominantemente de conexión.

La operación de transporte es eficiente, y es una alternativa para la construcción de nuevas posiciones de embarque/desembarque de pasajeros. La experiencia también muestra que no ha habido una apreciable diferencia en la aceptación para su uso por parte de los viajeros. El principal inconveniente es el elevado costo de operación y mantenimiento de los vehículos especializados de transporte. Aunque tales montos pueden ser compensados por los significativos ahorros en inversión requeridos en nueva infraestructura del edificio terminal y por los ahorros en sus costos de operación.

2.2.2.B.2 Desarrollo de mega centros de distribución (super-hubs)

Como fue señalado, adicionalmente al requerimiento de eficiencia operacional las aerolíneas favorecen a los centros de distribución (*hubs*), ya que de esta forma pueden captar mayor porción del mercado de pasajeros; además, debido a que frecuentemente la competencia entre las aerolíneas hace más énfasis en sus frecuencias de vuelo que en su capacidad de asientos, se propicia la saturación de los aeropuertos. La operación de los centros de distribución se presenta como un gran número de aeronaves que convergen en un aeropuerto, con un gran número de operaciones por unidad de tiempo. El impacto de tal fenómeno en las instalaciones aeroportuarias es obvia, una considerable congestión.

Una solución posible al problema de la congestión en los mayores aeropuertos que operan como centros de distribución, con una alta proporción de pasajeros en conexión (por ejemplo, Atlanta y Denver, en los Estados Unidos), es el desarrollo de aeropuertos de transferencia remota (o mega centros de distribución), para manejar a estos flujos de pasajeros en transferencia, que de otra forma serían dirigidos hacia aeropuertos congestionados. Los mega centros de distribución deben ser desarrollados específicamente para ese propósito, y ser ubicados en áreas remotas, donde las restricciones mencionadas no se presentan o sean menos críticas (por ejemplo, en aeropuertos alternos o militares). Tales aeropuertos deben estar conectados a las áreas metropolitanas que dan servicio, mediante enlaces terrestres rápidos y eficientes (autopistas), o por transporte aéreo de corto itinerario (helicópteros⁷).

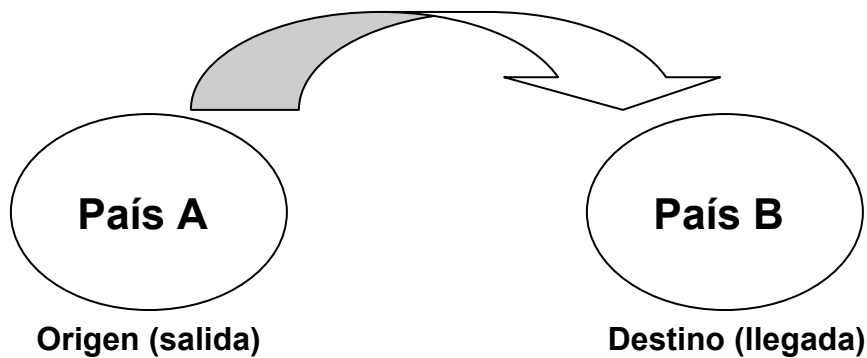
La viabilidad de los aeropuertos de transferencia remota depende de muchos factores como son: el porcentaje y volumen de pasajeros en transferencia; la composición y concentración del tránsito de pasajeros (por ejemplo, domésticos o de vuelos internacionales); las frecuencias de servicio; los enlaces de transporte

⁷ Mexicana de Aviación anunció que a partir del 1 de marzo de 2006 ofrecerá el servicio de taxi aéreo ejecutivo con una tarifa de 120 dólares por persona. La compañía de helicópteros *DiBro* prestará el servicio para enlazar al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) con una base de helicópteros en el centro comercial Santa Fe (zona exclusiva al oeste de la Ciudad de México, a 25 kilómetros del AICM); el traslado aéreo se ofrecerá sólo a sus clientes. Esta innovadora conexión es la más rápida y exclusiva para las personas que viven o trabajan cerca de Santa Fe. Los helicópteros que se utilizarán serán tipo *Bell 407*, con capacidad para tres asientos y el recorrido estimado es de quince minutos. Este tipo de servicios se ofrece en ciudades como Río de Janeiro, Nueva York y Mónaco. Fuente: Periódico El Universal, del 22 de febrero de 2006.

hacia los centros metropolitanos vecinos; y las implicaciones de la red aérea en su conjunto. Al igual que en el desarrollo de nuevos aeropuertos, es posible también que se requiera una evaluación en relación con problemas institucionales y financieros; con capital de inversión y operación; así como la consideración de problemas ambientales, sociales, y de impactos económicos en las comunidades circundantes.

2.2.2.B.3 Preliberación de trámites para pasajeros de llegadas internacionales

Existen algunos acuerdos bilaterales para el transporte aéreo entre ciertos países, mediante los cuales pasajeros con destino a un país B, podrían liberar las formalidades de aduana e inmigración en el aeropuerto de salida en el país A, en lugar de hacerlo en el aeropuerto de llegada B (Figura 4). La preliberación de los pasajeros internacionales que llegan a un país B implica que estos sean tratados en el aeropuerto de destino como si fueran usuarios domésticos. Mediante esta propuesta, las actividades para el procesamiento de viajeros y los requerimientos asociados con la capacidad de la terminal, son cambiados a otro aeropuerto fuera del país de destino B. La desventaja de esta opción se deriva de los costos involucrados en el establecimiento y operación de tales instalaciones de procesamiento de pasajeros en el país de origen de los usuarios.



Fuente: Elaboración personal.

Figura 4
Flujo internacional de pasajeros del país A al país B

Un ejemplo de tales acuerdos bilaterales es el existente entre Canadá y los Estados Unidos. Cuando el acuerdo se instituyó oficialmente en 1974, el objetivo no era entonces liberar la congestión en los aeropuertos, sino más bien proveer mayor comodidad para los pasajeros que entraban a los Estados Unidos desde Canadá. Acuerdos bilaterales similares existen entre los Estados Unidos y las Bahamas y Bermudas.

2.2.2.B.4 Relocalización de ciertas operaciones de tránsito aéreo

2.2.2.B.4.1 Operaciones comerciales

Esta propuesta se basa en decisiones administrativas de la autoridad para reubicar algunos segmentos de las operaciones del tráfico comercial (por ejemplo, vuelos internacionales y operaciones charter), o a ciertas aerolíneas, a otros aeropuertos vecinos con menor utilización o congestión. Se pueden establecer incentivos para ello o, por el contrario, las aerolíneas ser forzadas, mediante políticas administrativas a reubicar sus operaciones, antes de que el crecimiento del tráfico genere congestión y demoras intolerables en la terminal aérea.

Cuando el monto de las demoras empieza a sobrepasar los beneficios obtenidos en el servicio del aeropuerto, algunas aerolíneas, particularmente aquellas con una alta proporción de vuelos de interconexión pueden voluntariamente reubicarse en un aeropuerto vecino, pero con menor utilización. Mediante el desarrollo de la nueva ubicación como un nuevo centro de distribución, las aerolíneas pueden atraer a un mayor mercado de pasajeros en conexión, los cuales de otra forma se habrían transferido a otras aerolíneas de la competencia en el centro de distribución original.

La reubicación del tránsito de pasajeros de una terminal aérea a otra dentro del mismo aeropuerto, es usualmente motivada por las restricciones de capacidad de la terminal, más que por las limitaciones del segmento del movimiento aéreo. Por otro lado, la reubicación hacia otro aeropuerto puede ser el resultado de reducciones temporales en la capacidad, ya sea del segmento aéreo o terrestre, o en ambos; o como un deseo por parte de la autoridad aeroportuaria para equilibrar la utilización del sistema aeroportuario en su conjunto.

Mientras que el concepto de incrementar la utilización de los aeropuertos secundarios, cercanos a los principales (que operan como centros de distribución) parece lógico, los impedimentos para ésta propuesta son numerosos (como es el caso de los de Toluca, Puebla, Cuernavaca, Pachuca y Querétaro, respecto al de la Ciudad de México). Los usuarios afectados (en el aeropuerto principal, y posiblemente en el secundario) intentarán reunir considerable oposición en contra de tal política. Las aerolíneas serán renuentes a reubicar algunas o todas sus operaciones hacia aeropuertos menos ocupados, por razones obvias. Este cambio significaría una pérdida del mercado de alta densidad en la localización original, por lo tanto, tendrían una posible pérdida de ingresos potenciales.

Adicionalmente, la segregación de los pasajeros entre dos aeropuertos no sólo afectaría a las aerolíneas debido al costo de la duplicidad de servicios, sino porque también podría hacer que la programación de sus vuelos sea más difícil y causaría además una utilización ineficiente de su flota aérea. También existe el costo del capital requerido para asegurar que el aeropuerto secundario sea adecuadamente manejado con los nuevos volúmenes de tránsito.

Una posterior dificultad con esta propuesta es la necesidad de respetar acuerdos bilaterales, los cuales involucran a los derechos del transporte internacional; y por otro lado, el riesgo de confrontaciones y posibles sanciones o penalizaciones equivalentes, como ocurre ocasionalmente en asuntos bilaterales que implican capacidades y frecuencias de vuelo.

2.2.2.B.4.2 Aviación general

Un método para maximizar la utilización de la capacidad disponible de un aeropuerto consiste en restringir su uso para vuelos de bajo valor, tales como las operaciones de la aviación general⁸. Las aeronaves utilizadas por la aviación general son comúnmente más pequeñas, y menos equipadas que las de la aviación comercial. Por lo tanto, la segregación de este tipo de aeronaves es favorable no sólo por razones de seguridad, sino también porque se mejora la utilización de la capacidad de la parte aérea del aeropuerto⁹.

Mientras más homogénea es la mezcla de aeronaves manejadas en las pistas de los aeropuertos en términos de tamaño, velocidades y características operacionales, mayor será la uniformidad y precisión en las distancias de separación para los despegues y aterrizajes de aeronaves, teniéndose como resultado una utilización óptima de la capacidad en el lado aéreo. Además, se dice frecuentemente que es un desperdicio de recursos valiosos permitir que pequeñas aeronaves de la aviación general demoren, por ejemplo, a una aeronave comercial en un aeropuerto con capacidad restringida.

Bajo esta propuesta, las operaciones de la aviación general podrían transferirse a sitios alternos (aeropuertos con poca actividad); de esta forma se dispondría de mayor capacidad en el lado aéreo principalmente, para las operaciones de las aerolíneas comerciales. El incremento de capacidad ganada, está entonces asociado al segmento aéreo, debido a que la aviación general comúnmente no consume recursos del edificio terminal, o sus requerimientos son mínimos.

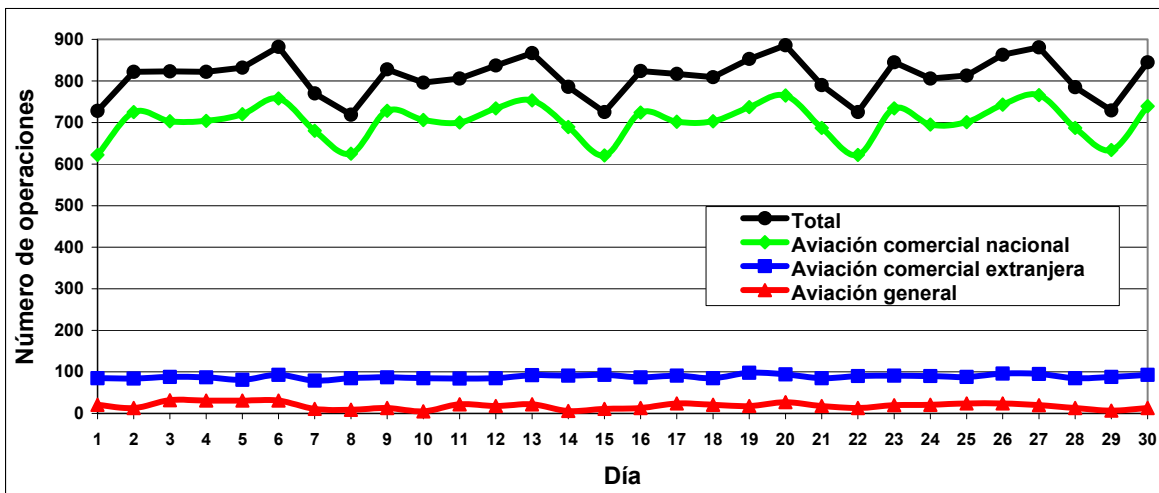
⁸ La aviación general se considera como un buen candidato para reducir la presión en la demanda de servicio aeroportuario, debido a las siguientes características de sus aeronaves: regularmente transportan pocos pasajeros; normalmente pueden operar en aeropuertos mucho más pequeños que aquellos requeridos por los grandes aviones comerciales; y son generalmente más lentas, ligeras, y requieren mayores separaciones con respecto a las más pesadas aeronaves comerciales. Fuente: *Monroe*, 1989.

⁹ Debido a que las aeronaves utilizadas por la aviación general son generalmente pequeñas y ligeras, pueden sufrir fallas estructurales por excesivas cargas alares, o ser desviadas de sus trayectorias de vuelo cuando se encuentran con los torbellinos originados por las grandes aeronaves comerciales. Estos torbellinos son invisibles en condiciones normales, y se generan en las puntas de las alas de los aviones; se trata de masas de aire en circulación con gran energía, que se extienden varios kilómetros atrás de las aeronaves. Mientras más grande sea la aeronave que produce los torbellinos, mayor es el peligro. Para evitarlo, las aeronaves pequeñas o ligeras deben dejar un amplio espacio de tiempo y distancia al despegar o aterrizar atrás de aeronaves grandes; esto desde luego disminuye la capacidad de las pistas.

Una preocupación evidente con esta propuesta es la fuerte oposición y resistencia por parte de operadores de aeronaves privadas y de negocios, para reubicar sus actividades aéreas. Otra dificultad se relaciona con la disponibilidad de sitios alternos equipados conveniente y adecuadamente, para dar servicio al tráfico desviado.

En la Figura 5 se muestran las operaciones de la aviación comercial (nacional y extranjera), así como de la aviación general, y las operaciones totales para el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM), durante junio de 2003. El mayor número de las operaciones totales corresponde a la aviación comercial (97.73%), y la menor proporción a la aviación general (2.27%).

Aunque la participación de la aviación general en el AICM es reducida, representa un porcentaje que podría ser utilizado por la comercial; así durante el mes de referencia, se contabilizaron 552 operaciones que potencialmente podrían emplearse por la aviación comercial.



Fuente: Elaboración personal con base en información de Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM)

Figura 5

Operaciones aéreas en las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México durante junio de 2003

2.2.2.B.5 Cambio del tránsito aéreo de corto itinerario a otros modos de transporte

La desviación del tránsito aéreo de corto itinerario (hasta 500 km de distancia) a otros modos de transporte liberaría en algún grado la aglomeración en los aeropuertos con una alta proporción de tal tránsito. Estos modos alternos podrían ser transporte de superficie de alta velocidad, por ejemplo ferrocarril, o enlaces de transporte aéreo dedicado, mediante sistemas de despegue y aterrizaje cortos

(STOL; *Short Take Off and Landing*). La magnitud del cambio dependerá de la calidad del servicio ofrecido por tales modos en relación con el transporte aéreo (por ejemplo, de la duración del tiempo de viaje, frecuencias de servicio, costos, y comodidad).

Cuando el tren de alta velocidad (TGV; *Train à Grande Vitesse*) fue abierto en 1981 entre París y Lyon, en Francia (con un tiempo de recorrido competitivo contra el modo aéreo), virtualmente todo el tránsito de pasajeros aéreos entre ambas ciudades cambió al sistema de tren (*Veldhuis*, 1990). Si tales enlaces con trenes de alta velocidad se desarrollan para conectar a los principales aeropuertos, éstos pueden servir como un excelente alimentador para los flujos de transporte aéreo internacional. Los trenes de alta velocidad (TAV) son una opción viable a considerar en los corredores de tránsito de alta densidad. La principal restricción para su implementación es el requerimiento de un capital masivo de inversión. Estudios del impacto de los trenes de alta velocidad en los aeropuertos europeos indican su alto potencial para remplazar a los vuelos alimentadores, y la capacidad para reducir el problema de congestión en los aeropuertos (*Widmer y Hidber*, 2000).

En junio de 2003 se anunció¹⁰ por parte del Gobierno Federal, un proyecto para la construcción de un tren bala que uniría al Distrito Federal con los estados de México, Querétaro, Guanajuato, y Jalisco. También se dijo que se uniría a los aeropuertos de Querétaro (QET), Bajío (BJX), y Guadalajara (GDL). Mediante este proyecto, el recorrido de Guadalajara al Distrito Federal (542 km) se realizaría en dos horas y diez minutos; entre León y el DF (360 km) una hora y cincuenta minutos de viaje; y entre Querétaro y el DF (211 km) cincuenta minutos.

Se estimó que el precio del boleto para tales recorridos sería más económico que el ofrecido por el modo aéreo. El requerimiento de inversión¹¹ en infraestructura para el proyecto es de entre 6 y 8 mil millones de dólares (*Mendoza y Téllez*, 2006). En cuanto a las características de este tren, se calculó una velocidad promedio de 250 km/h, con dos locomotoras y con una capacidad por tren de 329 plazas¹².

¹⁰ Fuente: Periódico El Universal en línea, del 15 de junio de 2003.

¹¹ En septiembre de 2004 anunció la SCT que el Gobierno no cuenta con la infraestructura necesaria ni con quién invierta en el proyecto del tren bala por resultar muy costoso, así que debe ser autofinanciable. También se descartó que este proyecto sea desechado o sea un "proyecto de papel", pues se encuentra en análisis. El reto a vencer es el financiamiento de un proyecto integral. El esquema que se puede utilizar es el de licitar un proyecto internacional y con financiamiento incluido a largo plazo. A diferencia del tren suburbano que correrá de Buenavista a Huehuetoca, que cuenta ya con infraestructura establecida, el tren bala no tiene nada construido (Fuente: Periódico El Universal en línea, del 24 de septiembre de 2004). Dadas las características de este proyecto se estima que su realización se lleve a cabo en la administración federal 2006-2012 (Fuente: <http://www.t21.biz/>, noticia del 16 de agosto de 2006).

¹² Fuente: Periódico Reforma, suplemento especial de negocios, del 21 de junio de 2004.

En la Tabla 2 se muestran los flujos de pasajeros aéreos y vuelos entre el AICM y los aeropuertos del Bajío, Guadalajara, y Querétaro, durante 2005.

Se aprecia al respecto que hay volúmenes significativos de vuelos y pasajeros que podrían ser desviados al tren de alta velocidad, alrededor de 33 mil operaciones y más de 1.7 millones de pasajeros anuales. Durante 2005 el AICM atendió 293,337 operaciones y casi 24 millones de usuarios, por lo que habría una potencial reducción del 11.2 y del 7.1% en términos de operaciones y de pasajeros respectivamente, en el AICM si se implementara el tren de alta velocidad.

También se detectaron altos volúmenes de carga aérea entre estas ciudades, un poco más de 36 mil toneladas durante 2005. Sin embargo, dado que el TAV está pensado principalmente para el movimiento de pasajeros, habría un potencial para mover estas cargas por ferrocarril, siempre y cuando éste mejorara su servicio en términos de velocidad, puntualidad y frecuencias; de otra forma, los flujos se seguirán moviendo a través de servicios exclusivos de carga aérea.

Tabla 2
Flujos aéreos con potencial de cambiar al tren de alta velocidad, entre los aeropuertos de México (MEX), Bajío (BJX), Guadalajara (GDL) y Querétaro (QET)

Vuelos regulares y de fletamento de la aviación troncal y regional (2005)		
Aeropuertos de origen-destino	Vuelos	Pasajeros
BJX-MEX	2,364	118,891
GDL-MEX	13,616	733,355
QET-MEX	583	7,647
MEX-BJX	2,258	115,584
MEX-GDL	13,590	727,663
MEX-QET	585	7,759
Totales	32,996	1,710,899

Fuente: Elaboración personal con base en información de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

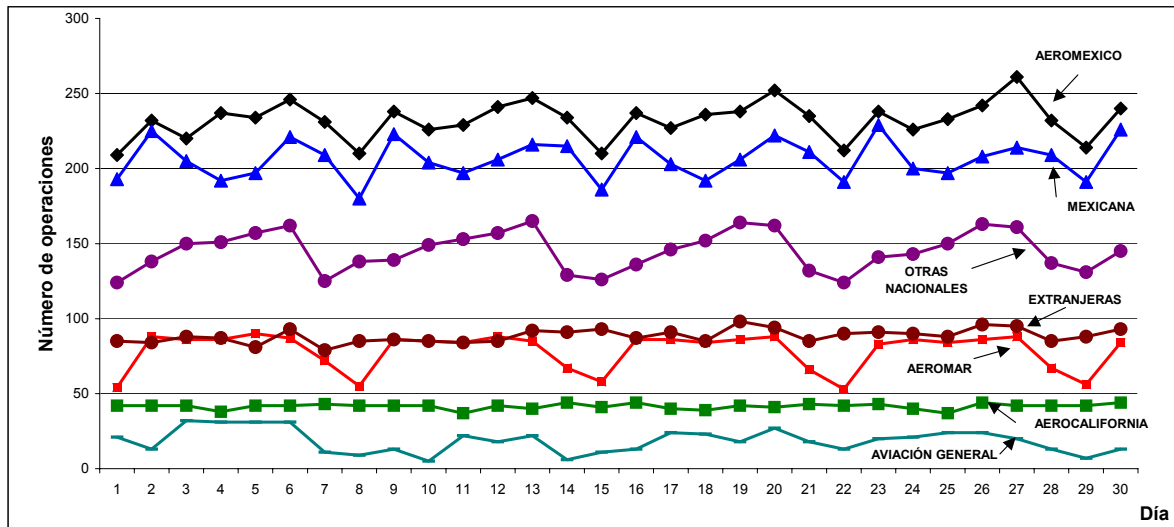
De los totales señalados en la Tabla 2, corresponden a las llegadas, 16,563 aterrizajes con 859,893 pasajeros; y a las salidas, 16,433 despegues con 851,006 pasajeros.

2.2.3 Opción C. Redistribución de los picos de demanda

El tránsito en los aeropuertos se caracteriza por sus picos y valles, como consecuencia principalmente del establecimiento de los itinerarios de las aerolíneas, pero también originados por las preferencias de los pasajeros al realizar sus viajes en intervalos específicos del día. Este es un proceso repetitivo que toma un patrón estacional, semanal, diario, y horario.

Como ejemplo de esta situación tenemos al AICM, en la Figura 6 se muestran las principales aerolíneas que operaban en dicho aeropuerto en el 2003. Se puede apreciar que hay en general un comportamiento cíclico semanal de las operaciones aéreas (las fechas 1, 8, 15, 22 y 29 son domingos).

En particular, el mayor número de operaciones corresponde a las aerolíneas nacionales (87% del total); a las extranjeras, el 11%; y a la aviación general el 2%. Las cuatro aerolíneas nacionales mostradas, generan poco más de dos tercios del total de operaciones en este aeropuerto.



Fuente: Elaboración personal con base en información de Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM)

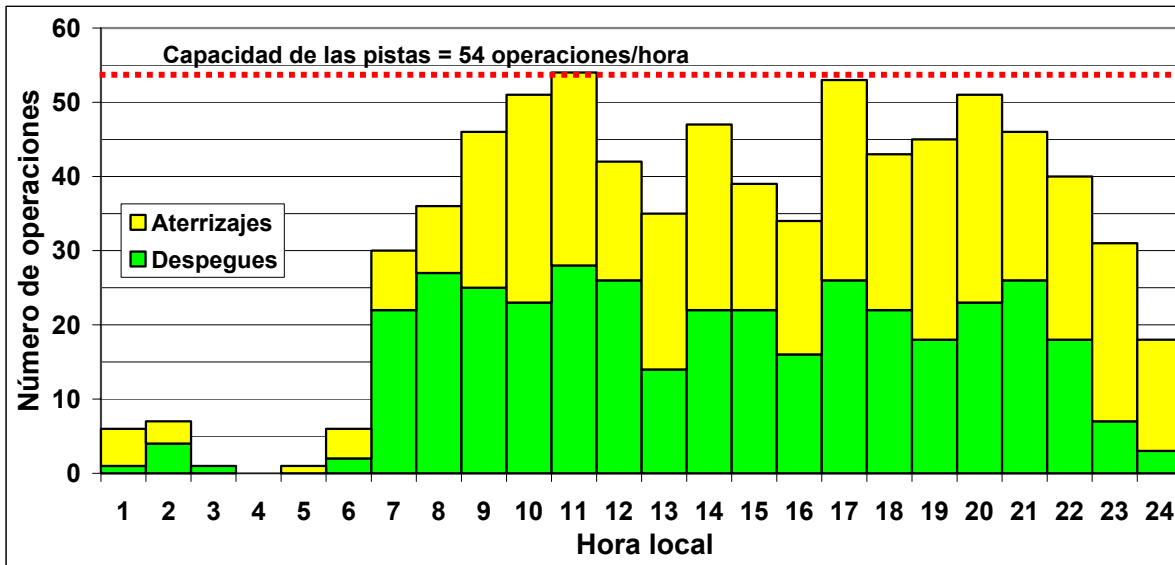
Figura 6
Operaciones aéreas en las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, durante junio de 2003

En la Figura 7 se muestra la distribución de operaciones en el AICM a lo largo de un día típico. Como se observa hay dos patrones marcados de comportamiento en cuanto al número de operaciones realizadas a lo largo del día. El primero se ubica entre las cero y las seis horas; en este intervalo se observan muy pocas operaciones (21), lo cual representa el 2.75% del total diario. El segundo comportamiento se observa después de las 6 horas y hasta las 24 horas, durante el cual se efectúa el mayor número de operaciones aéreas (741).

Una forma obvia para corregir el desequilibrio entre la demanda y la capacidad del aeropuerto es evitar los picos agudos (por ejemplo, entre la 10:00 y 11:00 horas; y 16:00 y 17:00 horas), y redistribuir la demanda en los intervalos con baja actividad (por ejemplo, entre las 00:00 y 06:00 horas; y las 23:00 y 00:00 horas).

Cabe señalar que en la Figura 7 se muestra únicamente la distribución de las operaciones en las pistas, pero tal comportamiento también se extiende (por los pasajeros) a las salas de documentación (mostradores); áreas de revisión (de seguridad); salas de abordaje; ambulatorios; zona de aduanas; bandas de reclamo de equipaje; estacionamiento del aeropuerto y sus accesos.

En muchos aeropuertos canadienses, la relación del flujo de tránsito de pasajeros durante periodos pico excede en algunos casos hasta dos veces al promedio diario (*Hamzawi*, 1985). Para el caso de la Figura 7 (en el AICM) se tiene un promedio horario de 31.75 operaciones/hora, por lo que para la hora pico (entre las diez y las once horas) con 54 operaciones por hora, se tiene una relación de 1.7 entre la hora pico y la promedio, valor cercano¹³ a los observados en Canadá.



Fuente: Elaboración personal con base en información de Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM)

Figura 7
Operaciones aéreas en las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, durante un día típico (2000)

Mientras mayores sean las fluctuaciones de estos tránsitos, más grande será el deterioro del nivel de servicio durante los periodos pico, y consecuentemente más altos serán los costos para cubrir las necesidades adicionales de la capacidad aérea para los picos de demanda. Inevitablemente dichas instalaciones y servicios costosos serán subutilizados durante los periodos de muy baja actividad (valles).

¹³ Para el año 2003 esta relación para el AICM subió a 1.8, por lo que se prevé que el valor se siga incrementando.

A diferencia de la opción A, la cual se enfoca al incremento de la capacidad para abastecer la demanda, el concepto de *redistribución de picos* implica la adopción de ciertas medidas económicas y/o administrativas, dirigidas a modificar el perfil de la demanda, para ajustarlo dentro de los límites de la capacidad disponible. Por lo tanto, esta propuesta es adecuada para situaciones en donde un posterior incremento de la capacidad del aeropuerto no es factible, o es muy costosa.

La idea es cambiar los flujos de tránsito en exceso durante los periodos pico (Figura 7) hacia los periodos de muy baja demanda, obteniendo así una distribución de la demanda más uniforme a lo largo del día (Figura 8).

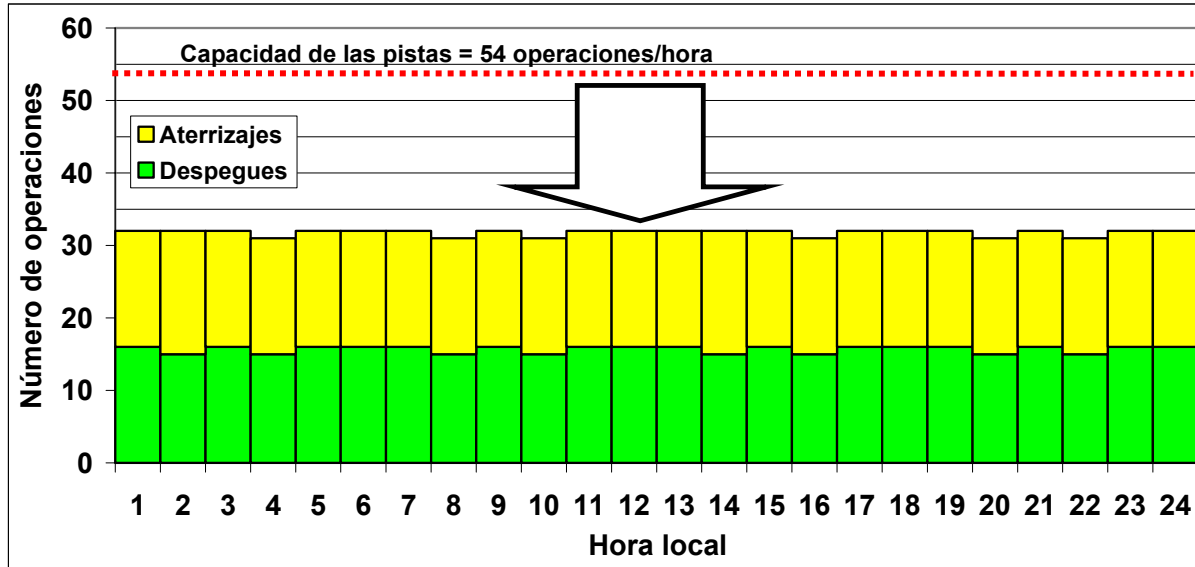
Recordemos que la relación no lineal entre el tamaño promedio de las colas de espera (o de las demoras promedio) y la demanda de servicio, muestra que pequeñas reducciones en la demanda del servicio durante los periodos pico, en un aeropuerto con problemas de congestión, resultara en una mucho mayor reducción de los tamaños de colas y demoras promedio (Figura 2).

Se observa en la Figura 7 cómo algunos intervalos de operación de las pistas están a su máxima capacidad o muy cerca de ella.

La Figura 8 ilustra cómo sería la redistribución de las operaciones aéreas con el objeto de tener un perfil lo más uniforme posible; tanto en la Figura 7 como en la 8 se realiza el mismo número de operaciones (762); sin embargo, en el segundo caso, las pistas operan en forma casi uniforme a aproximadamente un 59% de su capacidad, por lo que los tamaños promedios de las colas en este valor son muy bajos (Figura 2); en cambio, para la condición de la Figura 7 en los intervalos de gran actividad, estos valores son significativos.

Aunque la ampliación de un aeropuerto llegue a ser inevitable, la solución mediante redistribución de los picos de demanda puede implementarse en menos tiempo que el requerido para construir una nueva instalación, con la ventaja de demorar su ampliación y las grandes inversiones de capital asociadas.

Hay dos propuestas para lograr la redistribución de los picos de demanda; una, con base en el mercado (medidas económicas); y otra, basada en medidas administrativas; ambas propuestas se presentan a continuación.



Fuente: Elaboración personal

Figura 8
Redistribución ideal de las operaciones aéreas en las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, presentadas en la Figura 7

Medidas económicas

2.2.3.C.1 Tarificación en periodos pico

Esta es una propuesta económica, que utiliza a los precios como un instrumento para regular la demanda del tránsito, se ha aplicado exitosamente en servicios de tránsito urbano en algunas de las mayores áreas metropolitanas del mundo. Esta propuesta, comúnmente toma la forma de una tarifa adicional (derecho extra) en el uso del aeropuerto durante las horas de mayor demanda, con objeto de alentar a las aerolíneas y otros usuarios a cambiar sus vuelos fuera de los periodos de mayor congestión, hacia otros de menor uso o hacia otros aeropuertos. El resultado esperado es una baja en los volúmenes de tránsito pico, ya que esta propuesta operaría selectivamente sobre todos los que antes utilizaban al aeropuerto sin restricciones; por ello, se obtiene un perfil de demanda más uniforme a lo largo del día.

Podría argumentarse que la propuesta de tarificación de los periodos pico no es efectiva en la reducción de concentración de operaciones en determinados intervalos, debido a que las aerolíneas programarán sus vuelos para cubrir las necesidades de los pasajeros de negocios, cuyo comportamiento de viaje es relativamente insensible a los cambios de precio. Sin embargo, los usuarios sensibles al precio, alterarán sus patrones de viaje, evitando de ésta forma los cargos adicionales de los periodos pico.

El supuesto es que la reducción en la demanda originada por la pérdida de los viajeros sensibles al precio, forzaría a las aerolíneas a reprogramar algunos de

sus vuelos. Cualquier reprogramación que disminuya los volúmenes de tránsito de los periodos pico en aeropuertos congestionados, producirá una reducción proporcionalmente mayor en las demoras y en los tamaños de las colas de espera como ya se mencionó. Por lo tanto, una adecuada implementación de los cargos adicionales para los periodos pico, podría en realidad alterar el perfil de demanda diaria y reducir la congestión y las demoras.

Los ingresos extras, generados por la imposición de cargos durante los periodos pico, podrían ser utilizados para financiar las necesidades de ampliación de las instalaciones aeroportuarias. Estas tarifas adicionales se justifican, dado que mediante ellas se cubren los costos adicionales que se generan al proveer las instalaciones extras requeridas para proporcionar servicios a estos tránsitos que saturan la operación normal del aeropuerto.

Alternativamente, los ingresos adicionales podrían ser regresados a las aerolíneas, en tal forma que se les induzca a cambiar sus tránsitos fuera de los periodos pico. Las aerolíneas a su vez podrían considerar pasar este beneficio a sus pasajeros, mediante tarifas más reducidas para los periodos de baja actividad en el aeropuerto, induciendo así la preferencia por los horarios sin problemas de congestión, y tendiendo a obtener un perfil de demanda más uniforme a lo largo del día.

El concepto de tarificación para los periodos pico es conceptual y teóricamente atractivo, y ha sido comúnmente respaldado por economistas y académicos. Sin embargo, uno de sus principales inconvenientes es, cómo determinar un verdadero costo marginal que refleje el costo de la capacidad aeroportuaria adicional necesaria para acomodar, por ejemplo, un aterrizaje o un despegue más, durante el periodo pico. No hay una forma precisa o generalmente aceptada para dividir la capacidad del aeropuerto en sus dos modos de operar: normal y con saturación (periodos pico de demanda); por ello, la aplicación de ésta propuesta es controversial.

Para que esta opción sea efectiva en cambiar la demanda hacia los periodos con baja actividad, los cargos para los periodos pico deberían establecerse lo suficientemente altos a fin de desmotivar su utilización. Sin embargo, más adelante algunas aerolíneas podrían a pesar de las elevadas tarifas impuestas para los servicios en los periodos pico, continuar programando vuelos durante dichos intervalos debido a que el mercado de usuarios es mayor durante tales periodos, y es desde luego donde podrían obtener ingresos significativos.

También se debe considerar que al establecer su estructura tarifaria, las aerolíneas pueden promediar los altos costos operativos de las horas pico, con los de periodos de baja actividad aérea del aeropuerto (y bajos costos operativos), pasando estos montos adicionales a todos los pasajeros, como un incremento general de tarifa.

Otra preocupación es que las elevadas tarifas impuestas para los servicios durante horas pico suelen ser una pesada carga para las aerolíneas pequeñas, las cuales a menudo deben coordinar sus vuelos con los de las grandes (*Hamzawi, 1992*).

El principal atractivo de la propuesta de tarificación es su simplicidad; además, no compromete la seguridad; no es inherentemente discriminatoria en contra de cualquier grupo de usuarios; es compatible con otras propuestas para reducir los problemas de congestión y demoras; no entra en conflicto con otros objetivos del aeropuerto (por ejemplo, políticas de reducción de ruido); y es efectiva como una alternativa tanto en el corto como en el largo plazos.

Mucha de la literatura económica en la teoría de la tarificación de los periodos pico, no reconoce las consideraciones operacionales únicas de la industria de la aviación. Por ejemplo, algunos aeropuertos presentan problemas de congestión y demoras únicos, que no pueden ser corregidos mediante la tarificación. Por ejemplo, el *John F. Kennedy*, de Nueva York, se enfrenta a problemas de congestión entre las quince y veintidós horas, lo cual depende en gran medida de las demandas originadas en aeropuertos extranjeros, en diferentes zonas horarias del mundo. La técnica de tarificación tendría muy poco efecto en los problemas de congestión y demoras, ya que existen otras restricciones operacionales asociadas con dichos vuelos internacionales (*Fisher, 1989*).

2.2.3.C.1.1 Sobretasas directas para los pasajeros

La demanda de acceso al aeropuerto se deriva finalmente de la decisión de los viajeros para usar el transporte aéreo y alcanzar un destino deseado. Si los viajeros potenciales no deciden volar, obviamente no habría demanda del aeropuerto ni de los servicios de las aerolíneas. Normalmente casi toda la literatura para reducir el problema de congestión y demoras en los aeropuertos se enfoca a métodos que modifican la demanda por parte de las aerolíneas. Las técnicas económicas, tales como la tarificación para periodos pico, indirectamente intentan cambiar el comportamiento de viaje de los pasajeros, mediante la imposición de costos adicionales a las aerolíneas; estas, entonces supuestamente transferirían los costos a los pasajeros, logrando de esta forma el cambio deseado en el comportamiento del viajero.

Sin embargo, las aerolíneas deciden en qué grado transfieren a los pasajeros el precio de acceso al aeropuerto durante los periodos pico, por lo que no hay una conexión directa entre lo que trata de controlar la autoridad del aeropuerto (la congestión), y los pasajeros, quienes son realmente la fuente de la saturación. Consecuentemente, la autoridad aeroportuaria tiene que confiar en las aerolíneas para comunicar a los pasajeros los costos de la congestión en la forma de mayores tarifas. La posibilidad de que las aerolíneas pueden escoger el no transferir estos costos, señala la ineficiencia inherente de los métodos indirectos que tratan de controlar el comportamiento de los viajeros.

El control de la demanda en los servicios aeroportuarios puede lograrse mediante sobretasas aplicadas directamente a los pasajeros, las cuales los motivarán a viajar mediante modos alternos, y los incentivaría a viajar en avión durante los periodos no pico; promoviendo la elección de vuelos que conecten con aeropuertos menos congestionados. De este modo, todos los boletos durante los periodos pico serían sujetos a sobretasas, sin importar el tipo de ruta. Los usuarios tendrían una clara elección: pagar una sobretasa para viajar durante los periodos pico, o evitar la sobretasa al programar sus viajes durante los lapsos no pico.

Además, cualquier itinerario que incluya vuelos que conecten con aeropuertos congestionados incurrirá en sobretasas adicionales para cada conexión. Nuevamente, los pasajeros tendrían una clara elección; los vuelos que tuvieran una conexión en aeropuertos saturados estarían sujetos a las sobretasas en los lugares de conexión. Teóricamente, las aerolíneas tendrían un incentivo para empezar a ofrecer vuelos sin conexiones, o vuelos con conexiones en aeropuertos no congestionados, debido a que ninguno de estos vuelos estaría sujeto a la sobretasa de conexión.

La recaudación de la sobretasa a los pasajeros sería a través de la fuente original de la demanda del servicio, lo cual afectaría la demanda de los servicios aeroportuarios al reducir el nivel general de la demanda de viajes aéreos, cambiando la demanda de los periodos pico, hacia los periodos no pico, y ofreciendo a los usuarios en conexión, un incentivo para viajar a través de aeropuertos menos congestionados.

Existen otras ventajas de la sobretasa a los pasajeros, por ejemplo, puede ajustarse rápidamente como respuesta a los cambios en la capacidad y demanda, en el largo y corto plazos; o bien ser ajustada para reflejar las diferencias de la congestión en distintos aeropuertos y en diversos intervalos a lo largo del día; no afecta la seguridad; y es compatible con otras técnicas para reducir los problemas de saturación y demoras. Una sobretasa de conexión podría también proveer un incentivo para que las aerolíneas troncales cambiaran algunos de sus vuelos de conexión, hacia aeropuertos menos congestionados.

El grado en el que la sobretasa a los pasajeros puede alcanzar los resultados deseados depende de dos factores: de que los viajeros potenciales sean informados de la existencia y de la naturaleza de la sobretasa¹⁴; y de que se desarrolle un método para que los usuarios paguen la sobretasa al comprar sus boletos, o en el momento de confirmar su reservación. En particular, las sobretasas deben mostrarse en los sistemas de reservaciones computarizados de las aerolíneas, de tal forma que se desplieguen en las terminales de computadora de las aerolíneas y de los agentes de viaje.

¹⁴ Los agentes de viajes pueden facilitar la difusión de la información en relación con esta sobretasa.

En cuanto a las objeciones por parte de las aerolíneas se tiene el argumento de los costos, que les implica modificar sus sistemas de reservación para considerar tales sobretasas. Sus sistemas de reservaciones computarizados tendrían que programarse para calcular y desplegar la sobretasa propuesta. Por otro lado, algunos analistas de la industria aérea creen que los incentivos económicos no son efectivos debido a que los itinerarios de las aerolíneas se basan en las necesidades de los viajeros de negocios, cuyo comportamiento es relativamente insensible a los cambios en las tarifas. Vencer la oposición de los pasajeros y de las aerolíneas, es el principal obstáculo para la adopción de esta alternativa (Fisher, 1989).

2.2.3.C.2 Subasta del servicio

Otra medida económica para reducir el nivel de demanda durante los periodos pico en aeropuertos con gran actividad aérea, es la venta al más alto postor del derecho del uso del aeropuerto (por ejemplo, para realizar un aterrizaje o un despegue) durante cierto intervalo del día (*slot*). De esta forma, las fuerzas del libre mercado determinarán el costo, el cual es simplemente el que los usuarios estén dispuestos a pagar, con base en su percepción del valor del acceso al aeropuerto en un momento dado.

La adopción de esta alternativa se justifica en el hecho de que si el uso del aeropuerto está limitado, entonces deberá ser tratado como un *recurso escaso*. Por lo tanto, el precio del acceso al aeropuerto debe determinarse por la demanda, a través de un mecanismo orientado al mercado. Este método se ha utilizado en varios de los aeropuertos con gran demanda en los Estados Unidos, para operaciones domésticas (esta alternativa es incompatible con la mayoría de los acuerdos bilaterales internacionales).

Un inconveniente con la venta de *slots* es la posibilidad de que estos sean acaparados por los compradores más fuertes, interrumpiendo así el acceso al aeropuerto a otros usuarios potenciales, incluyendo a las aerolíneas pequeñas y nuevas; para las cuales sería difícil comprar espacios de servicio dentro de los costosos periodos pico (que son a la vez, los generadores de elevados ingresos). De ahí que esta alternativa podría considerarse como anticompetitiva y en detrimento de la viabilidad comercial de aerolíneas pequeñas, o con poca capacidad financiera.

Adicionalmente, existen dificultades relacionadas con el proceso de subasta de los *slots*. En algunos aeropuertos, una gran proporción de los *slots* ya se ha adjudicado a aerolíneas importantes, en reconocimiento a las inversiones sustanciales que han realizado en dichos lugares; de esta forma sólo quedaría una pequeña fracción para su subasta. Si no es implementada adecuadamente esta alternativa, podría ser vista como inequitativa por su tendencia a mantener el interés económico de las principales aerolíneas en detrimento de las pequeñas y nuevas (Hamzawi, 1992).

Algunos autores (*Fisher, 1989*), consideran que el mecanismo de la venta o subasta de *slots* es una propuesta híbrida, dado que combina las características de las técnicas administrativas y económicas para asignar la demanda al aeropuerto.

En un aeropuerto con asignación limitada de *slots*, estos se establecen administrativamente; pero en lugar de confiar en las técnicas administrativas para ubicar la distribución entre los grupos de usuarios, los *slots* son intercambiados en un sistema de mercado abierto.

A pesar de las ventajas de las técnicas de venta de *slots*, sobre las técnicas administrativas de distribución, hay problemas que limitan su utilización. En este caso, se tienen que tomar decisiones administrativas arbitrarias en una gran variedad de problemas económicos complejos, incluyendo el número de *slots* a asignar por unidad de tiempo; la vigencia que cada derecho de operación tiene; los derechos de despegue, aterrizaje, y carreteo asociados a cada *slot*; y el proceso para la distribución inicial de los *slots*. Mediante este mecanismo, no hay certeza de que el número y naturaleza de los *slots* que están disponibles para venta son los más atractivos, o los más efectivos.

El problema derivado de la determinación arbitraria del número de *slots* a ser ofrecidos en venta, y el potencial abuso en el mercado, sugiere que la venta de *slots*, no es la técnica más eficiente o efectiva para distribuir los recursos escasos del aeropuerto.

Medidas administrativas

Los mecanismos anteriores, basados en el mercado, pueden dificultar su implementación y encontrar fuerte oposición por parte de los usuarios del aeropuerto.

Otra propuesta alternativa es adoptar ciertos procedimientos de regulación, o administrativos dirigidos a limitar el volumen o el tipo de tránsito aéreo; estos volúmenes podrán ser atendidos en otro aeropuerto dentro de sus límites de capacidad o dentro de un nivel aceptable de demoras. Por ello, este método tendría el mismo efecto general que aquel adoptado mediante medidas económicas, en el que la demanda es redistribuida más uniformemente a lo largo del día, y una porción del tránsito cambiaría a otros aeropuertos aledaños. Sin embargo, existen algunas diferencias importantes entre ambas propuestas.

Las medidas económicas, probablemente modificarán tanto los volúmenes del movimiento de aeronaves como el de pasajeros, ya que el uso del aeropuerto durante los periodos pico tendrá un costo mayor.

Por otro lado, los procedimientos administrativos solamente redistribuirían o reducirían los movimientos de aeronaves, y liberarían una alta demanda de servicio del sistema de las pistas; lo cual probablemente no contribuiría

significativamente a liberar la congestión de la terminal o de los accesos terrestres al aeropuerto, dado que las medidas administrativas no tienen influencia en las preferencias de los pasajeros para seleccionar su hora de salida, por lo que las aerolíneas podrían compensar la reducciones de las frecuencias de los vuelos en los periodos pico, mediante la utilización de aeronaves más grandes para satisfacer la demanda.

Por lo tanto, la utilización de medidas administrativas podría adecuarse, si la restricción de capacidad crítica es principalmente en el lado aéreo, más que en el lado terrestre.

A continuación se describen algunos de estos procedimientos administrativos. Cabe mencionar que pueden ser aplicados individualmente o en forma conjunta.

2.2.3.C.3 Limitación del volumen de tránsito y distribución de *slots*

Bajo esta propuesta se imponen límites en el número de aeronaves que despegan y aterrizan, y/o en los volúmenes de pasajeros permisibles dentro de los límites de alguna capacidad específica del sistema, por ejemplo, en las pistas, salas de abordaje y/o el edificio terminal. Los límites impuestos pueden ser aplicados a determinados intervalos del día (periodos pico) o, en el caso de una congestión severa y estable en el aeropuerto, durante todo el día.

Debido a que las demoras se incrementan exponencialmente conforme la demanda se acerca al valor de la máxima capacidad de las instalaciones (Figura 2), una pequeña reducción en los volúmenes de tránsito puede resultar en una disminución comparativamente más significativa en las demoras. Esto hace que la propuesta de limitar el volumen de tránsito, sea una medida atractiva para confrontar rápidamente (y en forma no costosa) los problemas de congestión aeroportuaria.

Comúnmente los límites de los volúmenes de tránsito establecidos por la autoridad aeroportuaria tienen dos valores: uno para la aviación comercial y otro para la aviación general. Mediante un comité que incluye a todas las aerolíneas que operan en un aeropuerto y que comúnmente se reúne cada dos años, se distribuyen entre todos, los volúmenes preestablecidos de tránsito para el aeropuerto en cuestión, mediante *slots*; y en forma conjunta preparan los horarios que satisfacen los límites de los niveles de tránsito impuestos.

El término *slot* significa el derecho para aterrizar o despegar (una sola vez), durante una hora específica. Los *slots* para las operaciones de la aviación general se establecen bajo el principio de “los primeros que llegan, son los primeros que se atienden”.

A diferencia de las medidas económicas descritas (y que han tenido un uso limitado), la propuesta de limitación del volumen de tránsito y distribución de *slots*, se ha aplicado en varios de los principales aeropuertos de los Estados Unidos y en

muchos otros de gran demanda de Europa y el Lejano Oriente. Este método demostró ser efectivo para administrar la demanda en los periodos pico, cuando fue establecido en varios aeropuertos norteamericanos con gran actividad aérea; posteriormente esta alternativa evolucionó como un medio para administrar la capacidad limitada de los aeropuertos.

Los valores de los límites del volumen de tránsito pueden establecerse en términos del volumen horario de aeronaves y/o pasajeros (en llegadas y salidas), dependiendo principalmente de las restricciones de capacidad específica prevaleciente en el aeropuerto de interés. Estos valores también pueden establecerse para intervalos menores a una hora, con objeto de suavizar el perfil de la demanda de tránsito diario.

Los límites del volumen de tránsito pueden ser impuestos simplemente a criterio del administrador del aeropuerto o, como ya se mencionó, establecidos después de rigurosas evaluaciones para determinar cómo se satisface en mayor medida al conjunto de las aerolíneas usuarias del aeropuerto.

En este caso, complejos cálculos computacionales se realizan con base en información proporcionada por las aerolíneas, considerando todos sus planes de vuelos (horarios de llegadas y salidas), tipos de aeronaves, número promedio de pasajeros tanto en llegadas como en salidas, y tiempos de ocupación promedio de la terminal por parte de los pasajeros.

Aunque la propuesta de distribución de *slots* parece ser efectiva en el control de los picos de tránsito, no es una medida popular para las aerolíneas debido a que restringe el acceso al aeropuerto en los intervalos con mayor demanda de servicio. Por eso, es vista por ellos como contraproducente en términos de eficiencia económica, y entra en conflicto con el principio básico de libre acceso al aeropuerto para todos los usuarios.

Además, la desregulación ha hecho que la distribución de los *slots* sea un proceso más difícil, debido a la necesidad de acomodar constantemente nuevas operaciones de despegue y aterrizaje, y por la complejidad de los cambios frecuentes de las aerolíneas en su estructuración de rutas y horarios.

2.2.3.C.4 Control de flujo de tránsito

El control de flujo es un procedimiento de administración del tránsito aéreo asistido por computadora, el cual no restringe explícitamente el acceso al aeropuerto (lo cual es una de las principales críticas a la alternativa anterior, C.3).

Esta técnica se enfoca al control dinámico de los volúmenes de tránsito desde y hacia un aeropuerto, como respuesta general a una demanda regional o nacional. Se logra mediante ajustes computarizados continuos en los tiempos de llegadas y salidas de aeronaves en todo el sistema de aeropuertos, de tal forma que las demoras generen el menor costo posible.

Las demoras se presentarán comúnmente en tierra, en los aeropuertos de salida, o en ruta para los aeropuertos de destino, y menos frecuentemente en patrones de espera (AOCl, 1982). Bajo el control de flujo de tránsito, para que una aeronave tenga derecho a despegar (desde el aeropuerto de origen), deberá tener asignado un *slot* de aterrizaje en el aeropuerto de destino.

La administración de flujo de tránsito también puede involucrar la asignación de diferentes prioridades, para diferentes tipos de aeronaves comerciales (por ejemplo, pesadas, medianas o pequeñas) para intervalos específicos a lo largo del día. Aunque esta alternativa no cumple con el principio de “primeras solicitudes primeros servicios” (*first-come-first-served*) incrementa la utilización de la capacidad total de las pistas del sistema.

Desde el punto de vista de las aerolíneas, esta técnica limita su libre acceso a los aeropuertos; es un poco más aceptable que la propuesta anterior (C.3), ya que es mejor para las aerolíneas (desde el punto de vista económico) absorber el monto de las demoras impuestas por el sistema que pagar los costos derivados de la reprogramación de vuelos.

Es importante remarcar que los beneficios de la administración del flujo de tránsito se relacionan principalmente con el lado aéreo, y que este método no incrementa la capacidad nominal del sistema; más bien, es un medio para maximizar la utilización del limitado espacio aéreo existente y de los recursos del aeropuerto.

2.2.3.C.5 Restricción de las operaciones de la aviación general

Un método para maximizar la utilización de la capacidad disponible de un aeropuerto consiste en restringir su uso para los tránsitos no comerciales. Las operaciones de la aviación general son generalmente el centro de tales restricciones.

Mientras que las medidas económicas, descritas en los incisos C.1 y C.2 pueden emplearse para alcanzar este fin, las restricciones explícitas de acceso también podrían ser impuestas para este tipo de vuelos durante ciertos intervalos (periodos pico), o en casos extremos para todo el día. Esta restricción de acceso busca cambiar una parte de la actividad aérea de las horas pico, hacia intervalos con menos actividad, liberando de esta forma más capacidad del lado aéreo para las operaciones de las aerolíneas comerciales. La capacidad liberada mediante esta alternativa está nuevamente asociada con el lado aéreo.

Los beneficios y dificultades asociados con la restricción de acceso al aeropuerto para la aviación general ya se mencionaron en el inciso B.4.2.

Esta administración de la demanda no agrega capacidad al aeropuerto, sino más bien promueve una utilización más eficiente de los recursos existentes.

En general las técnicas administrativas limitan la sobredemanda, pero tienen serias desventajas. En primer lugar, estas son soluciones de corto plazo que ignoran la realidad de una oferta inadecuada. La imposición de las asignaciones limitadas encubre los cambios en la demanda real del mercado, lo cual dificulta la planeación para la capacidad futura.

Por otro lado, el único mecanismo utilizado para asegurar una ubicación eficiente de la asignación de *slots*, es el de prueba y error. Las fluctuaciones entre la oferta y la demanda hacen difícil una asignación adecuada de *slots*, aun las asignaciones más elaboradas no pueden anticipar todos los cambios que se presentarán en la demanda.

Además, las técnicas administrativas tienden a preservar el estado actual del mercado de las aerolíneas; y la distribución de los *slots* se complica conforme se incrementa el número de acuerdos entre las aerolíneas alimentadoras en los aeropuertos que sirven como centros de distribución.

Las técnicas administrativas siempre han sido vulnerables cuando se critican al señalar que fallan en el sentido de la equidad, debido a que en cierta medida la distribución de *slots* se realiza en forma arbitraria.

Las técnicas administrativas son medidas provisionales que no incrementan la oferta, ni reducen la demanda real. No son soluciones de largo plazo para los problemas de congestión y demoras en los aeropuertos. Una mejor propuesta de largo plazo es la adopción de mecanismos de tarifas que automáticamente ajustan la demanda con la capacidad disponible (*Fisher, 1989*).

Para las técnicas económicas, el tipo de aviación general que opera en cada aeropuerto debe analizarse cuidadosamente antes de establecer cualquier tipo de estrategia tarifaria. Para aquellos aeropuertos sin problemas de congestión, una tarifa fija por operación podría ser la más adecuada.

Sin embargo, para aquellos con problemas de congestión, una tarifa fija por operación y una tarifa para las horas pico, con base en la duración de las operaciones, puede servir para suavizar los picos de demanda y reducir sustancialmente la utilización de las pistas durante estos intervalos por las aeronaves pequeñas (*Monroe, 1989*).

2.2.4 Opción D. Aplicaciones tecnológicas e innovaciones operacionales

Las propuestas descritas podrían en teoría reducir las demoras de tránsito, y son dignas de consideración desde el punto de vista de la eficiencia en la utilización de los recursos existentes, y para evitar la inversión de grandes sumas de capital. Sin embargo, algunos de sus principios son controversiales y requieren la solución de diversos problemas analíticos, legales y administrativos.

Por ejemplo, pueden necesitarse varios años de experimentación para establecer una estructura de tarifas más efectiva (para horas pico y no pico) con el objeto de controlar la congestión y las demoras. Esto ha llevado a la búsqueda de nuevas tecnologías e innovaciones en la operación de los aeropuertos para maximizar la utilización de sus instalaciones.

Las aplicaciones tecnológicas no se restringen solamente a sofisticados dispositivos electrónicos y mecánicos, como los ahora utilizados para la navegación aérea, vigilancia, comunicaciones, y control de vuelo; sino también incluye aquellas relacionadas con innovaciones en la tecnología de las aeronaves, el diseño de terminales, la asignación automática de salas de abordaje, la modelación y simulación computacional de las operaciones aeroportuarias, y las prácticas operacionales innovadoras.

2.2.4.D.1.1 Tecnología de las aeronaves

Esta opción se centra en dos nuevos tipos de aeronaves que permitirían reducir la demanda de servicio del aeropuerto en el lado terrestre, o en el aéreo, o en ambos.

El primer tipo de aeronave es aquel que debido a sus características no requeriría el uso de un aeropuerto para su operación (convertiplanos), y el segundo es el que si bien requiere un aeropuerto para operar, tendría una capacidad sustancialmente mayor en el transporte de pasajeros, por lo que requeriría un menor número de operaciones en las pistas para transportar a un mismo número de pasajeros, o podría transportar más pasajeros con el mismo número de operaciones (aeronaves de gran capacidad).

2.2.4.D.1.1.1 Convertiplanos

El desarrollo civil de los convertiplanos¹⁵ para los sistemas de transporte aéreo, actualmente se considera como un medio potencial para suministrar servicios

¹⁵ Aeronave dotada de alas fijas convencionales y propulsada por hélices, cuyos ejes de rotación son orientables, lo que la convierte en un híbrido entre el avión y el helicóptero. Para el despegue vertical las hélices son dirigidas hacia arriba, convirtiendo todo su empuje en levantamiento. En este modo de operación la aeronave es básicamente un helicóptero. Al inclinar los rotores poco a poco hacia delante, la aeronave va ganando velocidad, hasta que finalmente quedan paralelos con el eje longitudinal de la aeronave, proporcionando el empuje máximo. Bajo esta condición, las alas proveen todo el levantamiento y su máxima eficiencia, por lo que se alcanza la máxima velocidad. En este momento el convertiplano se comporta prácticamente como un avión turbohélice. Las características anteriores confieren a los convertiplanos la capacidad de despegar y aterrizar verticalmente (VTOL, *Vertical Take Off and Landing*), a la vez que les permite alcanzar mayores velocidades en vuelo horizontal que un helicóptero. En un helicóptero su máxima velocidad de traslación está limitada por la velocidad a la que gira su rotor, debido a que el plano de rotación del rotor de un helicóptero es casi paralelo al de su traslación, dependiendo de la velocidad del rotor y la de su traslación; para ciertos valores una parte del rotor tendrá velocidad relativa al viento igual a cero o negativa, por lo que se desplomaría. Lo anterior limita la velocidad de crucero de los helicópteros modernos a 278 km/h (150 nudos); sin embargo, en los convertiplanos esto no se presenta, debido a que las máximas velocidades se obtienen con el rotor perpendicular al movimiento de traslación de la aeronave, por lo que pueden alcanzar velocidades de crucero del

aéreos regulares de corta distancia. Esta tecnología puede proveer servicios para el transporte de pasajeros desde el centro de una gran ciudad hacia el de otro centro importante, y se espera que atraiga principalmente a los viajeros de negocios.

La aeronave en sí, que ya ha sido desarrollada comercialmente, combina las capacidades de despegue y aterrizaje vertical de los helicópteros con la velocidad, radio de acción y consumo de combustible de las aeronaves de ala fija (aviones).

Un estudio de la *Boeing*¹⁶ sugiere que las aplicaciones potenciales civiles de la tecnología de los convertiplanos podrían captar entre uno y dos tercios del tránsito de corto itinerario y de alta densidad, que es actualmente manejado en los aeropuertos, lo cual significaría una reducción significativa en la demanda de servicio de los aeropuertos.

Este concepto contribuiría a disminuir la saturación aeroportuaria tanto en el lado terrestre como en el aéreo al cambiar estos flujos (de pasajeros y aeronaves), que comúnmente utilizan aeronaves pequeñas, hacia otras instalaciones fuera del aeropuerto (hacia los vertipuertos¹⁷, que en términos generales serían muy similares a un helipuerto, ver Figura 9).

orden de 463 km/h (250 nudos), y velocidades máximas de 556 km/h (300 nudos). El sistema de propulsión del convertiplano es más complejo que el de un helicóptero convencional debido a sus grandes rotores articulados y a su ala adicional, sin embargo, la mejora en su eficiencia a velocidad de crucero y su velocidad mayor respecto a los helicópteros, los hace atractivos para ciertas aplicaciones. Dado que sus rotores son menos ruidosos que los de un helicóptero (en el vuelo de crucero), y a que es más veloz que estos se espera que atraiga su aplicación para el servicio comercial de transporte en áreas con alta densidad de población. Los convertiplanos también pueden alcanzar un techo de servicio sustancialmente mayor que el de los helicópteros, dado que pueden volar fácilmente a más de 6 000 metros (20 000 pies) de altitud; mientras que los helicópteros, comúnmente no exceden una altitud de 3 000 metros (10 000 pies). Esta característica significa que algunos usos que hasta ahora sólo habían sido considerados para las aeronaves de ala fija, ahora pueden ser realizados por los convertiplanos sin necesidad de pistas de despegue y aterrizaje. Estas aeronaves requieren de todas las partes fundamentales de un helicóptero con doble rotor, pero también de todos los controles de vuelo de un avión común, y de un mecanismo que gire sus rotores; lo anterior ocasiona que el costo de un convertiplano sea entre un 50 y 100% mayor que el de un helicóptero, con las mismas características de potencia y peso vacío. Por ejemplo, el costo de un V-22 *Osprey* (convertiplano de uso militar) es de más de 80 millones de dólares. *Bell Helicopter* ha sido el principal desarrollador y líder de los principales convertiplanos; actualmente son socios con *Boeing* en la primera producción en serie de un convertiplano (el V-22 *Osprey*). *Bell* también ha desarrollado convertiplanos comerciales, como el *Bell-Agusta BA-609*. Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

¹⁶ http://www.simlabs.arc.nasa.gov/library/tiltrotor/wrld_trav.html

¹⁷ Área definida de terreno o área elevada, incluyendo edificios e instalaciones; utilizada para el despegue y aterrizaje de convertiplanos y de aeronaves de ala rotativa. Para detalles del diseño de vertipuertos se puede consultar: *Advisory Circular No. 150/5390-3. Vertiport Design. Federal Aviation Administration. Department of Transportation. USA.*
Referencia: <http://www.dot.ca.gov/hq/planning/aeronaut/documents/5390-3.pdf>

La capacidad de los convertiplanos para despegar y aterrizar en casi cualquier lugar, permite la construcción de vertipuertos a nivel del suelo en el centro de las ciudades, o en la parte superior de edificios, en estacionamientos de automóviles, o aun en áreas aledañas a las principales autopistas.

El establecimiento de vertipuertos en los principales aeropuertos concentradores y de distribución, también es posible y común; sin embargo, en este caso, sólo se libera presión en el lado aéreo del aeropuerto.

Los problemas relacionados con el desarrollo de servicios mediante convertiplanos se relacionan principalmente con sus altos costos de adquisición, y con la necesidad y ubicación adecuada de los vertipuertos.

Las ventajas para los usuarios son:

- a) Minimiza la pérdida de tiempo y dinero en los traslados terrestres
- b) Evita la pérdida de tiempo en los aeropuertos congestionados
- c) Los puntos de salida y llegada son cercanos a sus lugares de trabajo, y/o a sus residencias
- d) Son más confortables (menos ruidosos y con menos vibraciones) y rápidos que los helicópteros

Ventajas adicionales:

- a) Se disminuye la congestión en los aeropuertos (comúnmente puede disminuir hasta un 15% el flujo de pasajeros, y un 10% el de operaciones, en un aeropuerto con gran actividad)
- b) Emiten menos gases contaminantes¹⁸

Aunque ha habido diversos desarrollos para este tipo de aeronave, desde la década de los cincuentas del siglo pasado¹⁹, la mayoría se ha quedado sólo en la etapa experimental, o se han utilizado con fines militares. Sin embargo, el primer convertiplano para usos civiles es el *Bell/Agusta BA609*; este fue desarrollado por la *Bell/Agusta Aerospace Company* (BAAC), una empresa formada por *Bell* y *AgustaWestland*.

¹⁸ http://www.simlabs.arc.nasa.gov/library/tiltrotor/wrld_trav.html

¹⁹ Como ejemplos de convertiplanos desarrollados en la década de los cincuenta, se tienen: *Bell XV-3*; *Bell Vertol VZ-2^a*; *Doak VZ-4DA*; *Dornier DO 29*; *Ryan VZ-3RY*; *Hiller X-18*; para la década de los sesentas: *Kamov Ka-22 Vintokryl*; *Curtiss-Wright X-19^a*; *Vought-Hiller-Ryan XC-142^a*; *Nord 500*; para los años setentas: *Bell XV-15* (antecesor del *V-22 Osprey*); *Canadair CL-84*; para la década de los noventas el *Bell/Boeing V-22 Osprey*; y para principios del 2000, empezó el desarrollo del *Bell/Agusta BA609*.



Fuente: http://www.bellagusta.com/air_ba_main.cfm

Figura 9
Convertiplano BA609 en un vertipuerto

Las primeras pruebas en tierra del BA609 empezaron en diciembre de 2002. Su primer vuelo se realizó en marzo de 2003 (en *Arlington, Texas*, EUA). El 22 de julio de 2005, el BA609 realizó su primer cambio total de modo “helicóptero” a modo “aeroplano”, y viceversa en vuelo; convirtiéndose en la primera aeronave civil que realiza esta proeza.

El diseño de la aeronave requiere una tripulación de dos miembros, y puede llevar hasta nueve pasajeros. La BAAC afirma que para mediados de 2004 había pedidos para 65 de estas aeronaves.

Características generales del BA609:

Propulsión: dos motores *Pratt & Whitney Canada PT6C-67A* @ 1 447 kW

Dimensiones: longitud 13.3 m, altura 4.5 m, envergadura 10 m, diámetro de cada rotor 10 m (Figura 10)

Pesos: vacío 4 765 kg; carga de paga 2 500 kg; máximo 7 265 kg

Velocidad máxima de crucero: 509 km/h

Techo de servicio: 7 550 m

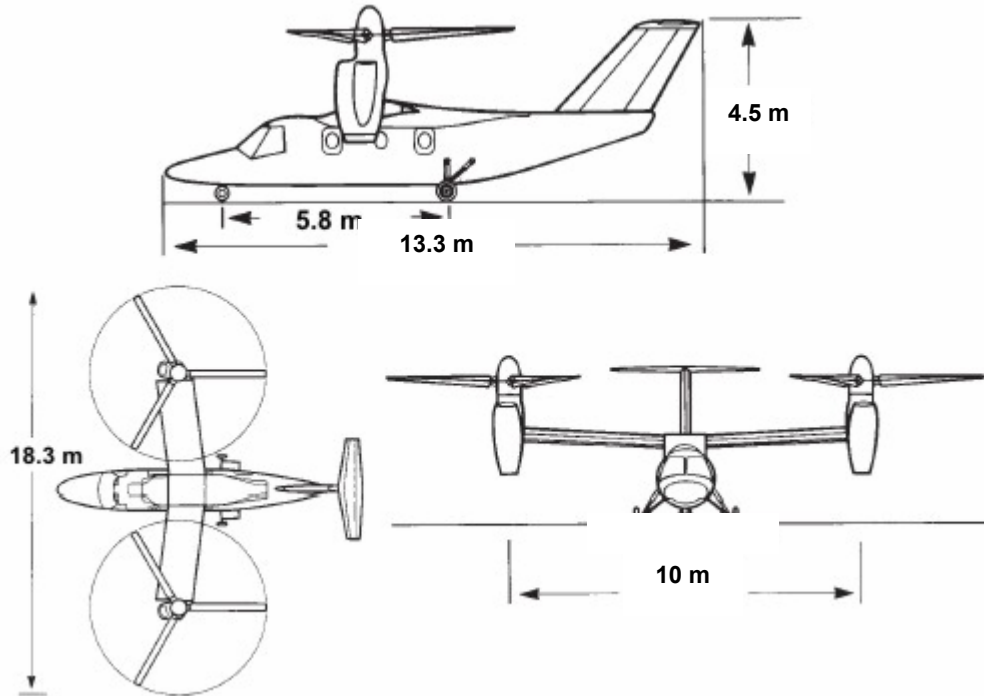
Radio de acción: 1 389 km

Costo: 10 millones de dólares

Costos de operación: 875 dólares/hora²⁰

²⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/Bell/Agusta_BA609

Esta aeronave puede volar en condiciones de hielo y climas cálidos (árticos y desérticos). No hay otra forma más rápida de viajar entre áreas metropolitanas para distancias entre 80 y 800 km²¹.



Fuente: http://www.bellagusta.com/air_ba_main.cfm

Figura 10
Dimensiones del convertiplano BA609

Las Figuras 11 y 12 muestran al convertiplano BA609 con sus rotores en las posiciones vertical (modo helicóptero) y horizontal (modo avión) respectivamente.

La factibilidad y competitividad potencial de los convertiplanos para el mercado de pasajeros en viajes regulares cortos, ha sido estudiada (Hansen, 1991) desde el punto de vista de los costos logísticos totales (considerados como la suma de los costos de adquirir y operar las aeronaves; el costo de acceso de los pasajeros a los aeropuertos o vertipuertos; el costo del tiempo de espera de los pasajeros por el vuelo; y el costo del tiempo de vuelo de los pasajeros).

Los resultados indican que la ventaja de accesibilidad de los convertiplanos es muy importante, dado que hace factible su operación; aunque su costo de adquisición (costo por asiento) sea mayor que el de una aeronave turbohélice.

²¹ http://www.bellagusta.com/air_ba_main.cfm



Fuente: http://www.bellagusta.com/air_ba_main.cfm

Figura 11
Convertiplano BA609 en modo "helicóptero"



Fuente: http://www.bellagusta.com/air_ba_main.cfm

Figura 12
Convertiplano BA609 en modo "avión"

Si además se considera un escenario con múltiples vertipuertos, la tecnología del convertiplano es todavía mucho más competitiva.

El análisis también sugiere que el tamaño (capacidad) del convertiplano es una característica crucial. Aunque no hay un tamaño único de convertiplano que funcione adecuadamente para todos los mercados, nuevamente el sistema de vertipuertos múltiples resuelve el dilema, dado que aumenta los grados de libertad para responder a la variación del tamaño de los mercados.

2.2.4.D.1.1.2 Aeronaves de gran capacidad

Hasta finales del siglo pasado las aeronaves comerciales de cabina ancha tenían una capacidad de entre 350 y 550 pasajeros. Aunque había la capacidad técnica para construir aeronaves con capacidad mayor (de entre 700 y 1000 pasajeros), estas aeronaves no aparecieron en el mercado hasta ahora, a principios del siglo XXI (por ejemplo, el *Airbus A380*, ver figuras 13 y 14).

En particular, estas aeronaves serán utilizadas en las rutas de alta densidad de viajeros, incrementando así el número de pasajeros transportados, sin incrementar el número de operaciones en las pistas. Esto genera un beneficio importante en términos de capacidad, en aeropuertos con problemas de congestión en pistas. Desde luego, si las instalaciones en la parte terrestre del aeropuerto no tienen la suficiente capacidad, padecerán problemas de saturación en esta área.

Experimentos con modelos de simulación para cuantificar los efectos de la reducción de la demanda de servicio en las pistas, al utilizar aeronaves de mayor capacidad indican que se pueden obtener beneficios significativos (Herrera; 2001). Por ejemplo, es factible conseguir reducciones en los tiempos promedios de espera del orden del 17%, y en los tamaños promedio de las colas de espera del orden del 21%.

Por otro lado, estudios que analizan el impacto de las aeronaves de gran capacidad, en los flujos de pasajeros de las terminales aéreas internacionales, mediante modelos de simulación (*Chiu y Walton*, 2002 y 2003), señalan que todos los subsistemas del lado terrestre de la terminal son afectados, dado que se incrementan los tiempos promedios de espera. Sin embargo, el subsistema más afectado es el de reclamo de equipaje. Actualmente, el *Airbus A380* es el avión comercial con la mayor capacidad de pasajeros y carga, superando al mítico *Boeing 747* tanto en capacidad como en comodidad. Su primer vuelo fue en 2005 (27 de abril), y se tiene previsto que entre en operación en 2007.

Hasta ahora (2006) se encuentra en su fase de pruebas, y se han construido cinco aeronaves; el costo de cada una es de 250 millones de euros, y entrarán a competir directamente con el *Boeing 747*.

Se ofrece en dos versiones; la A380-800, que tiene dos niveles en toda su longitud; cada uno con dos pasillos, conectados entre sí por dos grandes

escaleras, con capacidad para 555 pasajeros (en tres clases) o hasta 853 usuarios (en configuración económica de clase turista). Se estima que el radio de acción del modelo -800 sea de 15 000 km. La versión A380-800F, dedicada a carga, podrá transportar 150 toneladas de carga, con un radio de acción de 10 400 km.



Fuente: <http://www.airbus.com/en/>

Figura 13
Vistas del Airbus A380



Fuente: <http://www.airliners.net>

Figura 14
El Airbus A380 en el festival aéreo 2005, en Dubai

Las características generales del A380 se muestran en la Tabla 3, donde se compara con su competidor, el *Boeing 747*.

Tabla 3
Características generales del Boeing 747 y del Airbus A380

Características	Aeronave	
	Boeing 747	Airbus A380
Longitud (m)	70.6	73
Envergadura (m)	59.6	79.75
Altura (m)	19.4	24.1
Capacidad (pasajeros)	416	555 a 853
Peso máximo de despegue (kg)	378,182	562,000
Radio de acción (km)	13,450	15,000

Fuentes: <http://www.boeing.com> y <http://www.airbus.com/en/>

Airbus cuenta ya con pedidos de 16 aerolíneas (abril de 2006); el primer avión será entregado a *Singapore Airlines*. Varios aeropuertos en el mundo han modificado sus instalaciones para poder dar servicio a esta aeronave; por ejemplo, el de *Heathrow* (Londres), el *John F Kennedy* (Nueva York), y los de Tokio, Seúl, *Hong Kong* y Singapur²². En el caso de México, el AICM se convertirá en el primer aeropuerto de América Latina con capacidad para recibir al nuevo A380, mediante la nueva terminal 2 en construcción²³.

Como se observa en la Tabla 3, la longitud del *Boeing 747* y del *Airbus A380* es similar; sin embargo, la envergadura del A380 es significativamente mayor, al igual que su peso máximo de despegue, y su capacidad para transportar pasajeros.

Debido a la incorporación de los más recientes avances tecnológicos en estructuras, materiales, aerodinámica y diseño de motores, el A380 posee costos de operación por asiento, entre un 15 a 20% más bajos, que los del *Boeing 747-400*.

Aunque el A380 tiene la ventaja de transportar un 35% más de pasajeros, que su competidor más cercano, sus motores consumen un 12% menos de combustible por asiento, reduciendo los costos de operación, y minimizando los efectos ambientales adversos, al generar una menor cantidad de gases contaminantes²⁴.

Uno de los objetivos clave en el diseño del A380 fue que la nueva aeronave pudiera utilizar la infraestructura aeroportuaria existente con mínimas

²² Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Airbus_A380

²³ Fuente: Boletín de ASA del 3 de mayo del 2006, en <http://www.asa.gob.mx>

²⁴ Fuente: <http://www.airbus.com/en/aircraftfamilies/a380/economics>

modificaciones, y reducir sus costos de operación en relación con sus competidores. La aeronave resultante con un 49% más de espacio en piso, y sólo 35% mayor capacidad en pasajeros en comparación con el Boeing 747, obtiene asientos y pasillos más anchos y confortables para los pasajeros²⁵.

Como respuesta al desarrollo del A380, la empresa aeronáutica *Boeing* lanzó a finales del 2005 una versión mejorada del *Boeing 747*, de mayor tamaño y más eficiente. La empresa aeronáutica ya tiene varios pedidos para esta nueva aeronave en la versión de carga; se estima que las primeras unidades serán entregadas en el segundo semestre del 2009.

Los nuevos aparatos, designados como Boeing 747-8, utilizarán tecnología y motores de *General Electric Co*, diseñados para el *Boeing 787*, con lo que se logrará una aeronave más silenciosa y eficiente. El costo de operación, en términos de asiento-kilómetro, es 4% menor que el del *Airbus A380*, y en consumo de combustible es 11% más eficiente.

La nueva versión del cuatrimotor Boeing 747 tendrá capacidad para 450 pasajeros, frente a los 416 del último modelo actual, y además incorporará un nuevo diseño interior. Tendrá 3.5 metros más de longitud y un radio de acción de 14 mil 815 kilómetros. La versión de carga es 5.6 metros más larga que la versión actual. Ambos modelos tienen la ventaja de ajustarse a la actual infraestructura aeroportuaria²⁶.

Análisis recientes (*Gosling y Hansen, 2001*), señalan que las aeronaves de gran capacidad tienden a utilizarse en mercados de largo recorrido y con alta densidad de pasajeros, más que en mercados de corto recorrido y alta densidad, o en mercados de baja densidad. También establecen que la respuesta de las aerolíneas al incremento de las demoras aeroportuarias, que se presentarán en el futuro, sólo implicarán un modesto incremento en la utilización de aeronaves de gran capacidad si esto se deja a las fuerzas del mercado. Por lo tanto, las administraciones aeroportuarias y los Gobiernos podrían considerar el establecimiento de regulaciones o acciones administrativas para fomentar la utilización de este tipo de aeronaves, con el objeto de impedir o reducir incrementos significativos en las demoras, particularmente en el lado aéreo.

2.2.4.D.1.2 Diseño de terminales

Un ejemplo de una propuesta novedosa para el diseño de terminales que minimizan las distancias entre la entrada de la terminal y las salas de abordaje, es la que recurre al concepto de *módulos de servicio de pasajeros* (*Roark, 1990*). Para este concepto, los módulos son edificios de dos niveles (salidas en la parte superior y llegadas en la inferior) con un puente colector para las aeronaves en

²⁵ Fuente: <http://www.airliners.net>

²⁶ Fuente: <http://www.boeing.com/commercial/747family/background.html>

cada una de sus esquinas; y capacidad de servicio para cuatro aeronaves al mismo tiempo.

Los módulos se conectan entre sí por un sistema movilizador de pasajeros. Una terminal debería estar formada por tantos módulos como fuera necesario para el número requerido de salas de abordaje. Por ejemplo, una terminal con 40 salas de abordaje requerirá diez módulos.

Los diseños de este tipo pueden construirse y operarse con un costo menor que los métodos de construcción de edificios tradicionales, y con menos inconvenientes para los pasajeros. El diseño modular también contribuye a la eficiencia en el procesamiento de pasajeros y provee flexibilidad para futuras ampliaciones de la terminal.

2.2.4.D.1.3 Automatización de la asignación de salas de abordaje

Un área de las operaciones aeroportuarias que ha recibido recientemente significativa atención, en términos de aplicación de nuevas tecnologías de modelaje, es la automatización de la asignación de las salas de abordaje para las aeronaves. En muchos aeropuertos hoy en día, la asignación de las salas de abordaje se maneja manualmente mediante pizarrones con fichas magnéticas que representan la ocupación de las salas de abordaje.

Cuando hay demoras en los vuelos, originados por problemas mecánicos en las aeronaves o derivados por el mal estado del tiempo, en un aeropuerto con gran actividad, esta situación se torna para los administradores de las salas en una pesada tarea, física y mental al tratar de acomodar de la mejor manera a los integrantes de los vuelos en las salas. Mucho de este trabajo rutinario puede ser fácilmente eliminado mediante la automatización.

La tecnología de inteligencia artificial y otros programas computacionales, recientemente han sido utilizados para desarrollar sistemas potentes de asignación de salas de abordaje, incorporando el conocimiento, destreza y experiencia de los administradores de las salas de abordaje, mediante microcomputadoras rápidas y con pantallas de gráficos de alta resolución.

Estos desarrollos, además de ser eficientes permiten que los administradores se concentren en problemas más difíciles y delicados, que pueden surgir durante la operación diaria del aeropuerto. El empleo de estas tecnologías adquiere mayor utilidad y valor conforme el tránsito aeroportuario se incrementa y los límites de capacidad son alcanzados.

Varios de los aeropuertos principales en los Estados Unidos ya han empezado a utilizar este sistema, mediante el cual se obtienen asignaciones más precisas de las salas de abordaje, considerando las irregularidades originadas por el estado del tiempo, programas de vuelo, aeronaves en ruta, y las propias condiciones del aeropuerto.

2.2.4.D.1.4 Incremento en la velocidad del procesamiento de pasajeros en la terminal

También existen avances tecnológicos para acelerar el procesamiento de los pasajeros en los edificios terminales, y liberar presión en su capacidad. Actualmente el programa “Simplificando el Negocio” (*Simplifying the Business*), de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), busca mejorar y hacer más eficiente el servicio aéreo y generar ahorros para las aerolíneas.

Para ello, la IATA ha concentrado sus esfuerzos en la aplicación de varias iniciativas; cuatro de las cuales también benefician la capacidad operativa de los aeropuertos: el boleto electrónico (*ET, Electronic-ticketing*); el pase de abordaje mediante código de barras (*BCBP, Bar Coded Boarding Pass*); los kioscos de autoservicio de uso común (*CUSS, Common Use Self-Service*); y la identificación por radiofrecuencia del equipaje (*Radio Frequency Identification, RFID*).

El boleto electrónico (*ET, Electronic-ticketing*)

El boleto electrónico mantiene la misma información que el boleto impreso en un registro electrónico, por lo que requiere una base de datos integrada con los sistemas de servicio de las aerolíneas. Se estima que este sistema ahorrará a la industria aérea 3 mil millones de dólares anualmente. La meta es que durante 2006 este sistema se incorpore en un 60%, y que se implemente totalmente a finales del 2007.

De esta forma, los clientes obtienen sus boletos de una manera más simple, y no hay posibilidad de que se pierda; además facilita y agiliza los cambios de último minuto de los viajeros²⁷.

Las 261 aerolíneas que constituyen la IATA²⁸ procesan anualmente 300 millones de boletos impresos, con un costo de aproximadamente diez dólares cada uno. El costo de los boletos electrónicos será de un dólar. Otras ventajas adicionales se derivan de la eliminación de la impresión, almacenaje, y el envío de los boletos; además hay un incremento en la capacidad de los mostradores de documentación, dado que facilitan el trámite de registro (*check-in*), y también permiten la utilización de los kioscos de autoservicio para registro. Mediante esta

²⁷ Las aerolíneas y las agencias de viajes, mediante terminales especializadas, tendrán la capacidad de imprimir (emitir), visualizar, actualizar, cancelar, intercambiar, y rembolsar los boletos electrónicos, los que estarán almacenados dentro de servidores electrónicos (*ETS, Electronic Ticket Server*). Tales servidores, primero verificarán la validez de los boletos electrónicos y los derechos de acceso, y después procesarán todos los requerimientos. También crearán un registro de los boletos en forma electrónica (*ETR, Electronic Ticket Record*) dentro de su propia base de datos. El servidor electrónico de boletos es un sistema totalmente seguro y confiable. Los boletos electrónicos generados en el servidor pueden enviarse a los clientes o cualquier otra persona mediante correo electrónico. Fuentes: <http://www.iata.org/whatwedo/simplibiz/> y <http://www.interglobetechnologies.com/Airline-e-ticketing.asp>

²⁸ Conforman el 94% del tránsito aéreo internacional regular.

tecnología es factible hacer transferencias electrónicas de información entre distintas aerolíneas, mediante el intercambio electrónico de datos (EDI).

El pase de abordaje mediante código de barras (BCBP, Bar Coded Boarding Pass)
Este documento de abordaje contiene un código de barras estándar que reemplaza a la banda magnética de los pases de abordaje, y puede mantener la información para múltiples segmentos y distintas aerolíneas en un único pase.

Con esta iniciativa se ahorrarán aproximadamente 3.58 dólares, ó 5.34 dólares por cliente registrado (*check-in*), dependiendo de si se trata de un pasajero sin o con equipaje. Además se proporcionará un servicio más rápido para los viajeros.

Las aerolíneas afiliadas a la IATA deberán tener capacidad para manejar el pase de abordaje mediante código de barras para el 2008, y se ha programado el total reemplazo de la tecnología de cinta magnética para el 2010.

La meta es reducir las líneas de espera en los aeropuertos y los costos asociados con los procesos de abordaje. Los pasajeros tendrán la capacidad de imprimir sus propios pases de abordaje en cualquier lugar donde tengan acceso a Internet, ya sea en su casa, oficina o en un taxi en su camino al aeropuerto; de esta forma se reducirán las colas en los mostradores de registro (liberando capacidad de los mostradores de documentación de los aeropuertos). Además, las aerolíneas tendrán más opciones para proveer los pases de abordaje mediante diferentes tecnologías²⁹.

Kioscos de autoservicio de uso común (CUSS, Common Use Self-Service)

Son una herramienta mediante la cual diversas aerolíneas pueden compartir un mismo kiosco de autoservicio (Figura 15). Mediante éstos es factible ahorrar tiempo para los pasajeros (el registro por viajero se realiza en 2.5 minutos), se ahorra espacio en los aeropuertos (en lugar de que cada aerolínea tenga su propio kiosco), y se incrementa la capacidad a un menor costo. Además, las aerolíneas pueden ahorrar hasta 2.50 dólares por cada pasajero registrado (*check-in*). A mediados del 2006, el número de aeropuertos que disponen de este servicio fue de 33.

Los kioscos pueden instalarse en diversas localizaciones, muy distintas a las tradicionales áreas de registro, por ejemplo, en estaciones del ferrocarril o de autobús, vestíbulos de hotel, negocios de renta de automóviles, centros de convenciones, etcétera.

Los kioscos de autoservicio para registro en los aeropuertos han estado funcionando desde hace diez años. Inicialmente todos estos sistemas fueron

²⁹ Fuentes: <http://www.iata.org/whatwedo/simplibiz/> y <http://www.lhsystems.com/extra/simplibiz/>

propiedad y desarrollo independiente de algunas aerolíneas³⁰. La industria aérea pronto se dio cuenta de que aunque había distintas variantes de los kioscos, básicamente eran la misma herramienta; pero debido a su desarrollo independiente eran muy costosos; además, se observó que el servicio ofrecido tenía una gran demanda por los pasajeros.



Fuente: <http://www.ier.fr>

Figura 15
Kioscos de autoservicio, compacto y modular

Por ello, las aerolíneas a través de la IATA decidieron crear y adoptar un patrón común para estos kioscos, con objeto de asegurar un servicio más competitivo para sus clientes. Desde luego, su costo de operación es significativamente más bajo que el de los kioscos únicos por aerolínea³¹.

Identificación por radiofrecuencia del equipaje (*Radio Frequency Identification, RFID*)

La IATA ha tomado un papel líder en la simplificación del manejo del equipaje, mediante la tecnología de identificación por radiofrecuencia.

Con base en esta tecnología, se mejora considerablemente el servicio al cliente (en términos de reducción de equipaje extraviado y de los nuevos requerimientos de seguridad); se incrementa la velocidad en los sistemas de manejo de equipaje; se reducen los errores de manejo (es más confiable que la tecnología de código de barras); tiene bajos costos de mantenimiento; y permite la identificación de las maletas dentro de contenedores, que no podrían detectarse mediante sistemas ópticos.

³⁰ Con objeto de tener ventajas competitivas, y dirigidos a los usuarios frecuentes y a los pasajeros de negocios.

³¹ Fuentes: <http://www.iata.org/whatwedo/simplibiz/> y <http://www.lhsystems.com/extra/simplibiz/>

Debe señalarse que la IATA promueve a través de esta iniciativa la introducción del sistema de identificación por radiofrecuencia, para el manejo de equipajes en la industria aérea.

Para finales del 2006 se habrán llevado a cabo cinco pruebas piloto en algunos aeropuertos alrededor del mundo³², con el fin de recabar información para facilitar la utilización masiva de esta tecnología.

El objetivo del proyecto piloto es medir y validar la interoperabilidad de la tecnología, y los procesos asociados; y determinar los costos y beneficios asociados con la nueva tecnología (los costos incluyen la infraestructura, el *hardware*, el *software* y la consultoría; por su parte, los beneficios incluyen reducciones del mal manejo de equipaje, reducciones en los costos de mano de obra, reducciones en los costos de mantenimiento, así como mejora en el servicio al cliente, incluyendo la reducción de quejas, y mejoras en otros aspectos tales como el aumento de la seguridad, y un mejor seguimiento del movimiento del equipaje)³³.

La tecnología de radiofrecuencia utiliza pequeñas etiquetas con circuitos³⁴ (Figura 16). Se ha estimado que con el cambio del sistema de código de barras por el sistema de identificación por radiofrecuencia, la industria aérea en conjunto puede obtener ahorros de hasta mil millones de dólares anualmente.

Sin embargo, no puede realizarse un cambio rápido del sistema de código de barras por el de radiofrecuencia; por ello, los circuitos de radiofrecuencia se integrarán dentro de las actuales etiquetas con códigos de barras, como un proceso de transición que llevará varios años, durante el cual ambas tecnologías funcionarán en forma paralela.

³² La prueba piloto se aplicó en cinco aeropuertos y cinco aerolíneas. Se buscó conformar una red representativa con diversidad geográfica (evaluando distintas frecuencias de radio), y considerando a distintas alianzas aéreas.

³³ Fuentes: <http://www.iata.org/whatwedo/simplibiz/> y http://www.lhsystems.com/extra/simplibiz/rfid_1.htm

³⁴ Una etiqueta de identificación por radiofrecuencia es un pequeño dispositivo formado por un circuito integrado y una antena que permite responder a solicitudes por radiofrecuencia, desde un emisor-receptor. Cuando se envía una señal de búsqueda (radiofrecuencia) se induce una corriente eléctrica en la antena, la cual proporciona la suficiente energía al circuito de la etiqueta para poder transmitir una respuesta. Por lo anterior, estas etiquetas no requieren de pila o batería externa para funcionar, y son dispositivos bastante pequeños. Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/RFID>



Fuente: <http://www.iata.org/whatwedo/simplibiz/>

Figura 16
Etiqueta para equipaje con código de barras, e identificación por radiofrecuencia

2.2.4.D.1.5 Modelación y simulación computacional

Como una parte importante de la aplicación de innovaciones tecnológicas, ha tenido un gran reconocimiento el desarrollo y empleo de modelos computacionales, para evaluar los niveles prevalecientes de servicio y las posibles opciones para reducir la congestión.

Como herramientas para mejorar la eficiencia de las operaciones aeroportuarias y la capacidad de administración, tales modelos pueden utilizarse en la simulación de: movimientos de las aeronaves en las pistas, calles de rodaje y plataformas³⁵; asignación de las salas de abordaje para las aeronaves; flujos de pasajeros en el edificio terminal³⁶; y movimientos de vehículos en el sistema de transporte terrestre³⁷.

³⁵ En este caso se han desarrollado varios modelos de simulación para el AICM (Herrera 2001 y 2004).

³⁶ Mediante modelos de simulación se puede determinar la configuración más conveniente del edificio terminal, con objeto de minimizar la distancia promedio de recorrido de los pasajeros dentro de éste. Para un amplio rango de mezclas de pasajeros y número de salas de espera, la terminal con la configuración semi-centralizada aparece como la mejor opción (*Bandara y Wirasinghe*, 1992). También se han desarrollado modelos para resolver problemas en el edificio terminal, mediante una nueva filosofía de planeación, diseño y operación, con base en la utilización óptima de los recursos, y en la administración y control de los flujos de pasajeros. Estos modelos pueden servir como una herramienta operativa de los administradores del edificio terminal para mantener un adecuado nivel de servicio en dicho lugar, y también como una herramienta de capacitación para el personal de nuevo ingreso en esta área (*Saffarzadeh y Braaksma*, 2000).

³⁷ Un ejemplo es el modelo de simulación *Total AirportSim*, desarrollado por la IATA. Este modelo es capaz de considerar todos los subsistemas de un aeropuerto, desde los relacionados con el espacio aéreo hasta la terminal de pasajeros, simulando el movimiento de pasajeros y aeronaves; y también ofrece animaciones de las simulaciones. Fuente: <http://www.airportdev@iata.org>. Referencia: *Le*, 2002.

El énfasis actual en los horarios de vuelo y en la distribución de *slots* ha forzado a los operadores aeroportuarios a ser más precisos al definir las capacidades, bajo estas condiciones. Por ello se ha establecido un papel adicional para la automatización en el área de predicciones diarias y horarias, y en la medición de la capacidad y las demoras.

Hay también una necesidad permanente en la predicción de los cambios en capacidad cuando se modifica el arreglo de la terminal (*layout*), o el perfil de la demanda. Esto genera la necesidad de un análisis detallado de los flujos dinámicos, a través de los distintos componentes procesadores del aeropuerto. La complejidad que involucra realizar estas tareas necesita apoyo mediante modelos computacionales avanzados, para obtener soluciones en tiempos cortos.

Un prerrequisito para el funcionamiento ordenado de un aeropuerto es que todos sus subsistemas³⁸ estén interconectados en forma armónica. La falla o desorganización del servicio en cualquiera de los subsistemas, afecta la operación de todos sus eslabones. Por ejemplo, el incremento en el número de plataformas para manejar la llegada de un mayor número de aeronaves, reducirá la capacidad del sistema de llegadas del aeropuerto en su totalidad. Estos efectos del sistema, sólo pueden examinarse a través de modelos de simulación.

2.2.4.D.2 Prácticas operacionales

Finalmente, un conjunto de prácticas operacionales innovadoras para mejorar la utilización de la capacidad aeroportuaria (tanto del lado terrestre, como aéreo), se consideran a continuación.

1. Integración de los servicios aéreos y ferroviarios, como se ha hecho en algunos aeropuertos europeos, con lo cual la llegada del equipaje de las aeronaves es reenviado directamente a las distintas estaciones ferroviarias, evitando con ello la necesidad del reclamo de equipaje, por parte de los pasajeros (en las bandas de reclamo del aeropuerto). Esto contribuye a reducir la demanda en las bandas de reclamo de equipaje del aeropuerto.
2. Utilización de señalamiento temporal o removible de las aerolíneas en los mostradores de las salas de documentación de la terminal, para permitir el uso de instalaciones comunes entre las distintas aerolíneas.
3. Documentación en las salas de abordaje para operaciones de corto itinerario de pasajeros, que sólo llevan equipaje de mano. Esto permite desviar viajeros de los mostradores saturados de las salas de documentación, hacia las de abordaje, liberando presión de las primeras.

³⁸ Por ejemplo, estacionamientos, accesos, salas de documentación, áreas de circulación de pasajeros (ambulatorios), bandas de reclamo de equipaje, zona de aduana, calles de rodaje, pistas, y sistemas de control de tránsito aéreo.

4. Adopción de estrategias operacionales en la asignación de salas de abordaje comunes para maximizar la utilización de la capacidad de las salas, en lugar de la utilización de salas exclusivas por aerolínea.

5. Empleo de las reversas de los motores de las aeronaves en sus posiciones de embarque, con objeto de eliminar el inconveniente de que las aeronaves esperen hasta que los remolcadores las saquen de sus plataformas; además se evita pérdida de tiempo en la operación de acoplamiento y desacoplamiento del tren de aterrizaje con los remolcadores.

Casi todas las aeronaves comerciales modernas impulsadas con motor de reacción están equipadas con sistemas de reversas, las cuales invierten la dirección del empuje de los motores³⁹. Los mecanismos de las reversas introducen una estructura aerodinámica dentro del flujo del aire del motor, que desvía la dirección del empuje producido⁴⁰.

El siguiente paso, después de que todas las puertas de una aeronave comercial se han cerrado y asegurado, es mover la aeronave hacia atrás para poder circular por una calle de rodaje hacia la pista de despegue. Comúnmente, un vehículo terrestre (remolcador, ver Figura 17) se utiliza para empujar a las aeronaves hacia atrás de las salas de abordaje.

Sin embargo, en algunos aeropuertos, ciertos tipos de aeronaves están autorizadas para moverse hacia atrás recurriendo a la potencia de sus propios motores⁴¹; esto significa que los motores de la aeronave funcionen desde las plataformas de abordaje, en donde activan sus reversas⁴².

³⁹ El empuje de reversa en los motores de reacción es comúnmente utilizado, junto con los frenos de las llantas y los frenos aerodinámicos (*spoilers*), para reducir la velocidad de las aeronaves durante su aterrizaje; y ocasionalmente para mover las aeronaves afuera de sus posiciones de embarque.

⁴⁰ Hay dos tipos de reversas: tipo cascada y tipo concha. Las de cascada se utilizan en motores de reacción con grandes abanicos y elevado empuje. Cuando una reversa de cascada se activa, diversos mecanismos alrededor del motor desvían el flujo de aire del abanico hacia delante, mediante un conjunto de deflectores alrededor del motor. Sin embargo, el flujo de aire caliente proveniente de la turbina continúa dirigido hacia atrás. Con las reversas de cascada, el empuje neto de reversa producido es comúnmente de entre un 15 a 20% del empuje normalmente generado hacia atrás. Este tipo de reversa es comúnmente utilizado en aeronaves de diseños recientes, incluyendo a los *Boeing 737, 757, 767*, y a todas las aeronaves *Airbus*. Las reversas tipo concha se emplean principalmente en aeronaves más viejas, con motores más pequeños y de menor empuje. En este caso, dos grandes deflectores pivotan atrás del motor, con objeto de dirigir todo el flujo de gases hacia adelante. Este tipo de reversa se usa principalmente en las aeronaves *F-100, MD-80, DC-9, Boeing 727* y viejos modelos de *Boeing 737*. Con las reversas tipo concha, el empuje neto de reversa producido es entre un 30 a 40% del empuje generado hacia atrás. Debido a que la reversa tipo concha es más eficiente que la de cascada, su tiempo de operación es menor. Fuente: *Rice, 2002*.

⁴¹ Esto es conocido como retroceso con potencia (*power backing*). Hay un conjunto de características que determinen si una aeronave puede o no utilizar el retroceso con potencia, por ejemplo, la ubicación y tipo de motores; el diseño del edificio terminal; proximidad con aeronaves a

Algunas aeronaves, por ejemplo, MD80, *Boeing 727*, y otras con motores ubicados en una posición alta, pueden aplicar las reversas de sus motores para salir de las plataformas sin necesidad de recurrir a un remolcador.

Sin embargo, está práctica no es recomendable para aeronaves con motores en posición baja (por ejemplo, debajo de las alas), debido a que son más propensas a succionar objetos del suelo y dañar sus motores⁴³.

Por otro lado, se debe tener presente que esta práctica operacional puede presentar fuertes objeciones por parte de los ambientalistas, ya que argumentan que su utilización genera importantes impactos negativos en la calidad el aire⁴⁴, además señalan que las reversas no son un requerimiento por parte de las autoridades reguladoras de aviación⁴⁵.

su alrededor; y la disponibilidad de personal de rampa y remolcadores. Las restricciones a veces también dependen de la hora del día, en algunos aeropuertos sólo se permite su empleo durante la noche. Aunque la principal motivación para estas restricciones es el ruido, también hay beneficios en ahorros de combustible y en la reducción de gases contaminantes. Fuente: *Rice*, 2002.

⁴² Fuente: <http://www.airlines.org/about/d.aspx?nid=7949>

⁴³ Fuente: <http://www.flyertalk.com/forum/showthread.php?t=156844>

⁴⁴ Comúnmente, las emisiones de gases generadas durante la activación de las reversas no se incluyen en los registros de emisiones contaminantes de un aeropuerto. Debido a que la mayoría de las emisiones de NO_x de las aeronaves se presentan fuera de el aeropuerto (durante su ascenso y aproximación), el uso de la reversas puede ser responsable de la adición de un 15%, de gases contaminantes NO_x dentro del aeropuerto. Dado que este incremento de NO_x se genera en un área relativamente pequeña, puede crear impactos negativos significativos en la calidad del aire en la vecindad de aeropuertos con gran actividad (principalmente sobre el personal del aeropuerto, pasajeros y en los residentes de los alrededores). Se ha determinado que el retroceso con potencia produce un promedio de 1.6 kilogramos de NO_x, cada vez que se utiliza, lo cual es más de diez veces la cantidad de NO_x generada por un remolcador de aeronave. Por ejemplo, en el caso del aeropuerto de *Dallas-Fort Worth*, en los Estados Unidos, la eliminación del retroceso con potencia equivaldría a remover más de 22,000 carros de vehículos que circulan diariamente por ese lugar. Fuente: *Rice*, 2002.

⁴⁵ El uso del empuje de la reversas no es esencial para la operación de las aeronaves. La Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos, no requiere que las aeronaves tengan o utilicen el empuje de las reversas. Sin embargo, la mayoría de las aerolíneas aseguran que la utilización de las reversas es necesaria para proveer una fuerza de frenado adicional en condiciones climáticas adversas (particularmente en pistas húmedas, o con formación de hielo), por ello la mayoría las utiliza durante el aterrizaje. Las aerolíneas perciben que emplear reversas agrega un margen de seguridad en la operación de las aeronaves, muchas las utilizan para reducir la cantidad de frenado requerido en las ruedas durante el aterrizaje. Fuente: *Rice*, 2002.



Fuente: <http://www.airport-technology.com/contractors/groundequipment/tld/tld1.html>

Figura 17
Remolcador TPX-500-S, para el Airbus A380

6. El conocimiento del comportamiento de las estelas de los torbellinos generadas por las aeronaves, puede incrementar la capacidad⁴⁶ de aeropuertos con pistas paralelas muy cercanas⁴⁷. Después de más de cuarenta años de investigaciones en el comportamiento de estos torbellinos, el movimiento de las estelas de los torbellinos durante pequeños intervalos, es un fenómeno comprendido en profundidad⁴⁸.

⁴⁶ El incremento de la capacidad de las pistas requerirá estrategias que reduzcan la separación establecida entre la operación de las aeronaves. Comúnmente el factor limitante son las estelas de los torbellinos generadas por las alas de las aeronaves. Las soluciones implican entonces: eliminar los torbellinos; evitar el cruzar por ellos; o mantener el control del vuelo dentro de ellos. Una propuesta establecida conceptualmente señala la utilización de nuevos diseños de alerones, para debilitar a los torbellinos (Kelley, 2001).

⁴⁷ Este término (*close-spaced parallel runways*) aplica para aquellas pistas con una separación menor a 762 metros (2,500 pies).

⁴⁸ Como resultado de años de observaciones y de análisis de información, y de la utilización de modelos del movimiento de las estelas de los torbellinos (Burnham, 2001). Una extensa bibliografía en relación con los estudios de las estelas de los torbellinos (*wake vortex*) puede ser obtenida de <http://www.volpe.dot.gov/wv>.

Mediante este conocimiento se han sugerido nuevos criterios para reducir los límites operacionales en los aeropuertos, con objeto de aumentar la capacidad de las pistas. Por ejemplo, ha sido examinado (*Burnham, D.C., et. al., 2001*) cómo la vieja práctica de manejar las pistas paralelas muy cercanas, como una sola pista para las aproximaciones por instrumentos, bajo ciertas condiciones puede ser modificada con objeto de permitir mayor número de operaciones sin afectar la seguridad.

Las características anteriores se ajustan a las del AICM, dado que éste opera con dos pistas paralelas separadas 330 metros, bajo estas condiciones la capacidad del conjunto de las dos pistas es de 54 operaciones por hora.

El beneficio de incrementar la capacidad de las pistas del AICM ya ha sido evaluado mediante modelos de simulación (*Herrera 2001 y Herrera 2004*), en donde se observan beneficios importantes cuando, por ejemplo, se aumenta la capacidad del conjunto de las pistas de 54 a 60 operaciones por hora, dado que se observan reducciones de los tiempos de espera y de los tamaños de las colas en las pistas, del orden del 33%. Por lo que la implementación de este cambio operativo es muy recomendable.

3 Conclusiones y recomendaciones

Se exploraron diversas alternativas para solucionar el problema de la falta de capacidad aeroportuaria, con objeto de reducir la congestión del tránsito y las demoras. La severidad del incremento en la congestión en el lado aéreo, y terrestre obstaculizan la operación de la red aérea, aunque consideraciones políticas, ambientales, operacionales, y financieras limitan el número de soluciones factibles. La construcción de nuevos aeropuertos y la ampliación de las instalaciones existentes agregarán más capacidad, pero el desarrollo de nuevos aeropuertos está limitado por sus altos costos, y la escasez de sitios adecuados para su construcción. Sin embargo, la opción de incrementar la capacidad del sistema es la única solución viable a largo plazo, si la demanda del servicio aéreo continúa creciendo con las actuales tasas.

En general, la solución para reducir los problemas de congestión y demoras consiste en reducir la relación del cociente demanda/oferta de servicio; valores en esta relación menores a 0.8 son deseables, debido a que los tamaños de las colas y de los tiempos de espera crecen en una proporción acelerada más allá de este valor. Sin embargo, puede resultar controversial decidir a qué parte de la relación se le debe dar mayor prioridad.

Las restantes alternativas deben considerarse cuidadosa y seriamente, como opciones prácticas en el corto y mediano plazos, dado que el incremento de la capacidad de la infraestructura requiere para su implementación prolongados periodos de tiempo. La elección y el grado de éxito asociado con cualquier opción en particular dependen en gran medida de aspectos políticos, sociales, económicos, y ambientales de la región en donde se ubica el aeropuerto. También el grado de beneficios depende, entre otros factores, de las características del tránsito; de la configuración física; de las condiciones operacionales; y del grado de desequilibrio entre la demanda y la capacidad de cada aeropuerto.

Algunas propuestas de disminución de la demanda mediante, por ejemplo, el cambio de tránsito aéreo de corto itinerario a otros modos, aparentemente pueden generar beneficios significativos en la reducción de la congestión aeroportuaria, sin embargo, se requieren de grandes inversiones para ello.

Los esfuerzos para reducir la congestión y las demoras al establecer la asignación de *slots*, son también propuestas de corto plazo para un problema de largo plazo. La distribución equitativa y eficiente de los derechos de las operaciones por medio de técnicas administrativas es difícil, aunque no imposible; sin embargo, tales técnicas administrativas no resolverán el problema subyacente del exceso de demanda y de la insuficiencia en la oferta.

Muchos críticos argumentan que las técnicas económicas, únicamente posponen la inevitable necesidad de ampliación, y están en lo correcto. El sistema aeroportuario nacional necesitará crecer; se requerirán nuevas y mejores

instalaciones. Mientras tanto, una combinación de tarifas de aterrizaje en los periodos pico, para controlar el acceso aéreo, y sobretasas para los pasajeros con el propósito de administrar la demanda de los viajeros, podría producir una distribución más equitativa y eficiente de la capacidad actual de los aeropuertos con problemas de saturación.

También, se reconoce que las opciones que introducen mejoras tecnológicas y/o prácticas operacionales innovadoras, tienen potencial para incrementar la capacidad del manejo del tránsito en las instalaciones aeroportuarias en el corto y mediano plazos. Sin embargo, su contribución para disminuir la congestión aeroportuaria y las demoras es limitada, dado que no incrementarán suficientemente la oferta para proveer una reducción duradera al problema del crecimiento acelerado de la demanda, por lo que no pueden ser consideradas como un sustituto de la ampliación de la capacidad a largo plazo. Sin embargo, existen excepciones como es el caso de la utilización de los convertiplanos, y el aumento de la capacidad de las pistas, mediante la reducción de la separación operacional de las aeronaves, con base en el nuevo conocimiento del comportamiento de los torbellinos generados por las aeronaves.

Por último, se debe señalar que aunque cada técnica aplicada individualmente tiene potencial para reducir en alguna medida la congestión y las demoras, existe también la posibilidad de la aplicación conjunta de distintas alternativas, dado que muchas de ellas se complementan. Con esto se busca finalmente obtener una mayor eficiencia de las instalaciones aeroportuarias en beneficio de los usuarios finales de los servicios aéreos, es decir, los pasajeros.

4 Bibliografía

Airport Operators Council Internacional (AOCI) (1982). *Report of the industry task force on airport capacity improvement and delay reduction.* Washington, DC. USA.

Bandara S. y Wirasinghe S. C. (1992). *Walking distance minimization for airport terminal configurations.* *Transportation Research: An International Journal Part A: Policy and Practice* No. 1. Pergamon Press. New York. USA.

Burnham, D.C; Hallock, J.N; Greene, G.C. (2001). *Increasing airport capacity with modified IFR approach procedures for close-spaced parallel runways.* *Air Traffic Control Quarterly* (2001), Vol. 9, No. 1, pp. 45-58. Published by: Air Traffic Control Association Institute, Inc. USA.

Chiu Chiung-Yu y Walton C. Michel (2002). *Integrated simulation method to evaluate the impact of new large aircraft on passenger flows at airport terminals.* *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board* No. 1788. Transportation Research Board, Washington, DC. USA.

Chiu Chiung-Yu y Walton C. Michel (2003). *Impacts of new large aircraft on passenger flows at international airport terminals.* *Research Report SWUTC/03/167530-1.* Southwest Region University Transportation Center. Center for Transportation Research. University of Texas at Austin. Austin, Texas. USA.

Dirección General de Aeronáutica Civil (2006). Subsecretaría de Transporte. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. La aviación mexicana en cifras 1989-2005. México.

Federal Aviation Administration. (1991). *Advisory Circular* No. 150/5390-3. *Vertiport Design.* Department of Transportation. USA.

Fisher John B. (1989). *Managing demand to reduce airport congestion and delays.* *Transportation Research Record* 1218. Transportation Research Board. National Research Council. Washington, DC. USA.

Gosling G. D. y Hansen M. M. (2001). *Prospects for increasing average aircraft size at congested airports.* *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board* No. 1744. National Academy Press. Washington, DC. USA.

Hamzawi Salah G. (1985). *Passanger traffic peaking at Canadian airports,* Volumes 1-16 (data), Transport Canada. Ottawa. Canada.

Hamzawi Salah G. (1992). *Lack of airport capacity: Exploration of alternative solutions. Transportation Research: An International Journal Part A: Policy and Practice No. 1.* Pergamon Press. New York. USA.

Hansen Mark (1991). *Assesing tiltrotor technology: A total logistics cost approach. Transportation Research Record No. 1296. Transportation Research Board. National Research Council. USA*

Herrera García Alfonso (2001). Simulación de operaciones aeroportuarias. El caso de despegues y aterrizajes en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Publicación Técnica No. 180 del Instituto Mexicano del Transporte. México.

Herrera García Alfonso (2004). Elaboración de un modelo de simulación del movimiento de aeronaves en pistas, calles de rodaje y posiciones de embarque y desembarque del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Instituto Mexicano del Transporte. Informe final de investigación TI-08/03. México.

Kelley Wickemeyer Robert, et. al. (2001). *Airports in the 21st Century. Proceedings of a Conference Transportation Research Circular No. E-C027. Transportation Research Board. Washington, DC. USA.*

Le Tung X. et. al. (2002). *Airport-airspace simulations a new outlook Transportation Research E-Circular No. E-C042. Transportation Research Board. Washington, DC. USA.*

Mansel Douglas M. y Mandle Peter B. (2000). *Off-airport passenger check-in facilities at satellite terminals. Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board No. 1703. Transportation Research Board – National Research Council, National Academy Press, Washington, DC. USA.*

Mendoza Sánchez J. Fernando y Téllez Gutiérrez Rodolfo (2006). Trenes de alta velocidad en el mundo y su posible utilización en México. XVI Reunión Nacional de Ingeniería de Vías Terrestres. Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, AC. México.

Monroe Jan E. (1989). *Practical methods for shifting general aviation traffic from commercial service airports to reliever airports. Transportation Research Record 1218. Transportation Research Board. National Research Council. Washington, DC. USA.*

Odoni A. y Vittek J. (1976). *Airport quotas and peak hour pricing: Theory and practice. Flight Transportation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Massachusetts. USA.*

Rice Colin (2002). *Restricting use of reverse thrust as an emissions reduction strategy. Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board No. 1788. Transportation Research Board, Washington, DC. USA.*

Roark W. (1990). *Terminal design, Presentation to the Transportation Research Board meeting. Washington, DC. USA.*

Saffarzadeh Mahmoud y Braaksma John P. (2000). *Optimum design and operation of airport passenger terminal buildings. Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board No. 1703. Transportation Research Board – National Research Council, National Academy Press, Washington, DC. USA.*

Veldhuis J. (1990). *Impact of liberalization on European airports. Transportation Research Board meeting, January 1990. Washington, DC. USA.*

Widmer J.P. y Hidber C. (2000). *Effects of rail stations at airports in Europe. Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board No. 1703. Transportation Research Board – National Research Council, National Academy Press, Washington, DC. USA.*

http://en.wikipedia.org/wiki/Bell/Agusta_BA609

http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

<http://es.wikipedia.org/wiki/RFID>

<http://www.airbus.com/en/>

<http://www.airlines.org/about/d.aspx?nid=7949>

<http://www.airliners.net>

<http://www.airport-technology.com/contractors/groundequipment/tld/tld1.html>

<http://www.asa.gob.mx>

http://www.bellagusta.com/air_ba_main.cfm

<http://www.boeing.com>

<http://www.dot.ca.gov/hq/planning/aeronaut/documents/5390-3.pdf>

<http://www.eluniversal.com.mx/noticias.html>

<http://www.flyertalk.com/forum/showthread.php?t=156844>

<http://www.iata.org/whatwedo/simplibiz/>

<http://www.ier.fr>

<http://www.interglobetechnologies.com/Airline-e-ticketing.asp>

<http://www.lhsystems.com/extra/simplibiz/>

http://www.lhsystems.com/extra/simplibiz/rfid_1.htm

http://www.simlabs.arc.nasa.gov/library/tiltrotor/wrld_trav.html

<http://www.t21.biz/>

[http://www.volpe.dot.gov/wv.](http://www.volpe.dot.gov/wv)



‡ Certificación ISO 9001:2000 según documento No 0109-2007-AQ-MEX-EMA,
vigente hasta el 24 de octubre de 2009 (www.imt.mx)

CIUDAD DE MÉXICO

Av Nuevo León 210, piso 2
Col Hipódromo Condesa
06100, México, D F
tel (55) 5265 3190
fax (55) 5265 3190 ext 4711

SANFANDILA

km 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro
tel (442) 216-9777
fax (442) 216-9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx