

# RANKING DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE AEROLÍNEAS DE ESTADOS UNIDOS Y AMÉRICA LATINA, 2017-2018

Xinyi Sola Zheng and Dan Rutherford, Ph.D.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Brandon Graver, Carmen Araujo, Jennifer Callahan y Sebastián Galarza Suárez por sus revisiones y su apoyo, así como a Kevin Zhang por optimizar el proceso de modelado en Piano con código Python, y al equipo de Filigrana Traducciones por esta versión en español. También agradecemos a Airline Data Inc. por proporcionar datos procesados de la Dirección de Estadísticas de Transporte.



Para obtener más información, sírvase contactar a:

International Council on Clean Transportation  
1500 K Street NW, Suite 650  
Washington DC 20005 USA

[communications@theicct.org](mailto:communications@theicct.org) | [www.theicct.org](http://www.theicct.org) | [@TheICCT](https://twitter.com/TheICCT)

© 2019 International Council on Clean Transportation

# ÍNDICE

<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>iii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Selección de aerolíneas .....	3
2.2 Modelado del consumo de combustible .....	4
2.3 Cálculo de la eficiencia energética .....	6
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>7</b>
3.1 Comparaciones de aerolíneas.....	7
3.2 Análisis de las aeronaves .....	9
3.3 Factores de eficiencia de las aerolíneas del segmento EE. UU.-América Latina .....	11
3.4 Análisis desglosado por aerolínea .....	14
3.4.1 Aerolíneas consignadas únicamente en el ranking del segmento EE. UU.-MCC.....	14
3.4.2 Aerolíneas presentes únicamente en el ranking del segmento EE. UU.-Sudamérica .....	16
3.4.3 Aerolíneas en ambos rankings.....	17
3.5 Comparaciones entre rutas.....	19
<b>4. CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS .....</b>	<b>22</b>
4.1 Conclusiones .....	22
4.2 Próximos pasos.....	23
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>24</b>
<b>APÉNDICE A: VALIDACIÓN DEL MODELO .....</b>	<b>27</b>
<b>APÉNDICE B: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MERCADO     EE. UU.-AMÉRICA LATINA EN 2017 .....</b>	<b>29</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1a.</b> Aerolíneas evaluadas en el mercado EE. UU.-MCC en 2018. ....	3
<b>Tabla 1b.</b> Aerolíneas evaluadas en el mercado EE. UU.-Sudamérica, 2018.....	4
<b>Tabla 2.</b> Principales variables de modelado.....	4
<b>Tabla 3a.</b> Parámetros operacionales de aeronaves en el mercado EE. UU.-MCC, 2018. ....	11
<b>Tabla 3b.</b> Parámetros operacionales de aeronaves en el mercado EE. UU.-Sudamérica en 2018. ....	11
<b>Tabla 4.</b> Parámetros operacionales por segmento EE. UU.-mercado internacional.....	14
<b>Tabla B1a.</b> Parámetros operacionales de aeronaves en el mercado EE. UU.-MCC, 2017.....	30
<b>Tabla B1b.</b> Parámetros operacionales de aeronaves en el mercado EE. UU.-Sudamérica, 2017.....	30

## LISTA DE GRÁFICOS

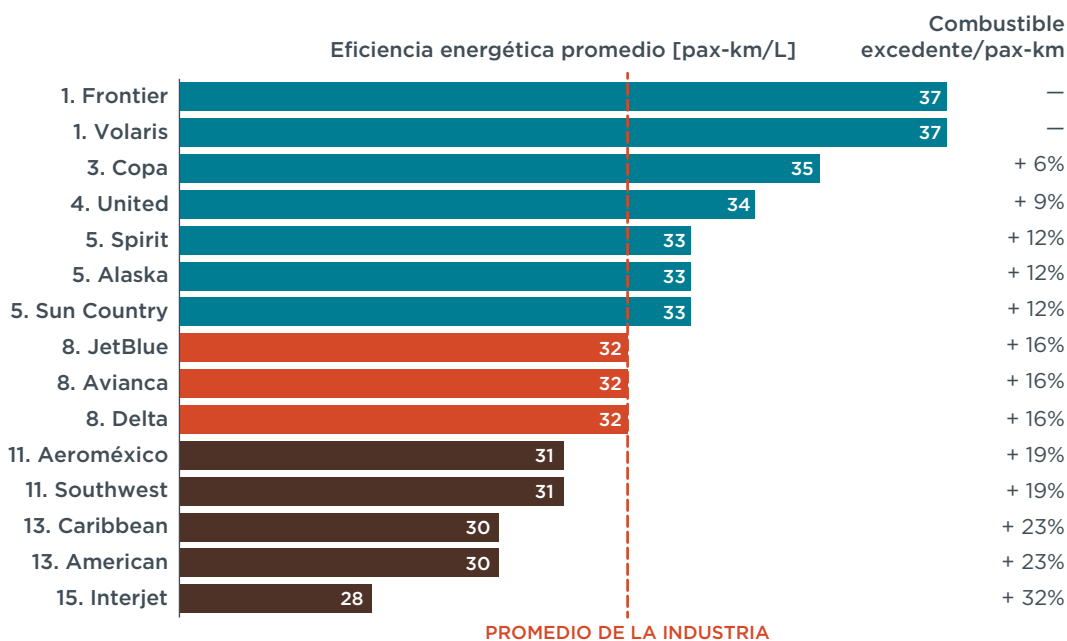
<b>Gráfico ES1a.</b> Eficiencia energética de 15 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-MCC en 2018.....	iii
<b>Gráfico ES1b.</b> Eficiencia energética de 10 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-Sudamérica en 2018.....	iv
<b>Gráfico ES2.</b> Principales factores de eficiencia energética de las aerolíneas en las operaciones entre EE. UU. y América Latina en 2018.....	iv
<b>Gráfico 1a.</b> Eficiencia energética de 15 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-MCC en 2018. ....	7
<b>Gráfico 1b.</b> Eficiencia energética de 10 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-Sudamérica en 2018.....	8
<b>Gráfico 2.</b> Eficiencia energética de los tipos de aeronave empleados en las rutas entre EE. UU. y América Latina en 2018. ....	10
<b>Gráfico 3.</b> Principales factores de eficiencia energética de las aerolíneas en las operaciones entre EE. UU. y América Latina en 2018. ....	13
<b>Gráfico 4.</b> Eficiencia energética en pax-km/L de las filiales de LATAM en rutas sin escalas entre EE. UU. y Sudamérica .....	17
<b>Gráfico 5.</b> Eficiencia energética en pax-km/L de las filiales de Avianca en rutas sin escalas entre EE. UU. y América Latina .....	18
<b>Gráfico 6.</b> Eficiencia energética en pax-km/L de las aerolíneas que prestan servicios en la ruta Los Ángeles-Ciudad de México.....	20
<b>Gráfico 7.</b> Eficiencia energética en pax-km/L de las aerolíneas que cubren la ruta Nueva York-São Paulo .....	20
<b>Gráfico 8.</b> Eficiencia energética en pax-km/L de las aerolíneas que cubren la ruta Nueva York-Santo Domingo .....	21
<b>Gráfico A1.</b> Eficiencia energética registrada por las aerolíneas en comparación con la eficiencia modelada, 2018.....	27
<b>Gráfico B1a.</b> Eficiencia energética de 15 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-MCC, 2017.....	29
<b>Gráfico B1b.</b> Eficiencia energética de 10 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-Sudamérica, 2017. ....	29

## RESUMEN EJECUTIVO

La información pública sobre la eficiencia energética de las aerolíneas es escasa. El International Council on Clean Transportation (ICCT, 'Consejo Internacional sobre Transporte Limpio') ha estudiado la eficiencia energética de las aerolíneas estadounidenses basándose en sus operaciones a nivel nacional entre 2010 y 2018. Asimismo, el ICCT ha analizado la eficiencia energética de las grandes aerolíneas que operan rutas trasatlánticas y transpacíficas, y su último informe emanado de estos análisis se basó en datos del año 2017. Otro grupo de rutas esenciales lo constituyen aquellas que unen EE. UU. con América Latina, pues estas concentraron el 42 % de los vuelos internacionales que salieron de Estados Unidos en 2018 y siguen creciendo con rapidez. En el presente informe, se compara por primera vez la eficiencia de los vuelos comerciales sin escalas en este mercado a partir de los datos de los años calendario 2017 y 2018. Para poder representar mejor las diferencias en las distancias de etapa, dividimos el mercado en dos segmentos: México, Centroamérica y el Caribe (MCC) por un lado y Sudamérica por el otro.

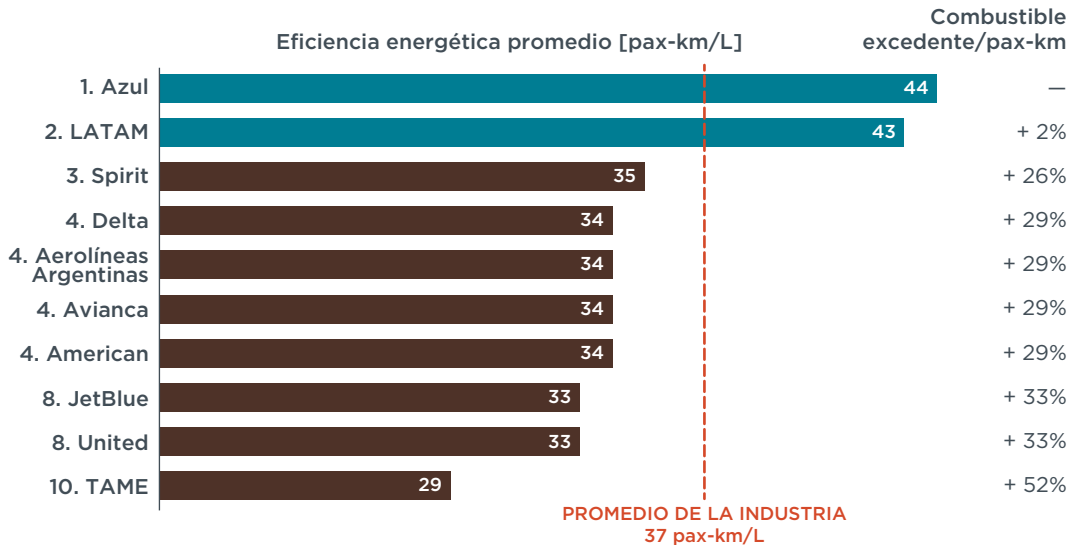
En los gráficos ES1a y ES1b se compara la eficiencia energética de 15 aerolíneas del segmento EE. UU.-MCC y 10 del segmento EE. UU.-Sudamérica. Se seleccionó a estas «grandes» aerolíneas debido a que presentaban la mayor capacidad en cuanto a asientos-kilómetro ofrecidos (ASK). Se calculó la eficiencia energética en función de la cantidad de pasajeros corrigiendo el transporte de carga en los vuelos de pasajeros (*belly freight*), lo cual aumenta el consumo de combustible de los vuelos en términos absolutos, pero mejora la eficiencia energética por unidad de masa transportada.

La compañía estadounidense Frontier y la empresa mexicana Volaris compartieron el mejor resultado de eficiencia energética en cuanto a operaciones en el mercado EE. UU.-MCC en 2018, registrando un promedio de eficiencia energética de 37 pasajeros-kilómetro por litro de combustible (pax-km/L), un 16 % más que el promedio de la industria. Interjet, clasificada como la aerolínea de menor eficiencia energética del mercado EE. UU.-MCC, consume en promedio un 32 % más de combustible por pasajero-kilómetro que Frontier y Volaris.



**Gráfico ES1a.** Eficiencia energética de 15 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-MCC en 2018.

La aerolínea que registró los mejores resultados de eficiencia energética en el mercado EE. UU.-Sudamérica en 2018 fue la brasileña Azul, con un promedio de 44 pax-km/L, un desempeño un 19 % mejor que el promedio del rubro, situado en 37 pax-km/L. En promedio, TAME consumió un 52 % más de combustible por pasajero-kilometro que Azul.

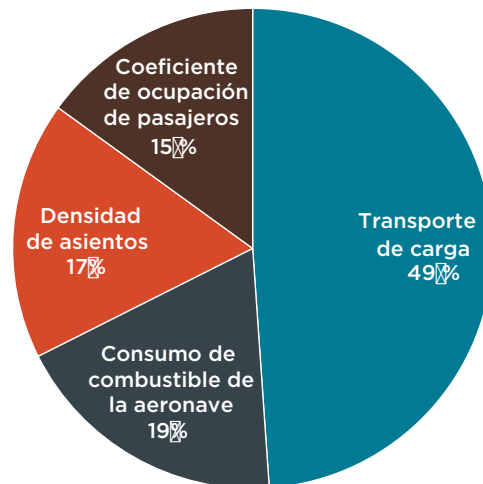


**Gráfico ES1b.** Eficiencia energética de 10 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-Sudamérica en 2018.

Varios factores contribuyen para la eficiencia energética, y los consumidores no siempre son conscientes de ello o no están informados. Analizamos los principales factores que generan la brecha de eficiencia energética entre las aerolíneas que figuran en los rankings para entender mejor su importancia relativa (gráfico ES2). Entre ellos, destacamos el consumo de combustible de las aeronaves, la densidad de asientos, el coeficiente de ocupación de pasajeros y la proporción del transporte de carga con respecto a la carga útil. La proporción del transporte de carga fue el factor de mayor incidencia, y representa cerca de la mitad de la variación entre las aerolíneas. Le siguen el consumo de combustible de las aeronaves (19 %), la densidad de asientos (17 %) y el coeficiente de ocupación de pasajeros (15 %).

El presente trabajo también presenta otras conclusiones, como las siguientes:

- » El promedio de eficiencia energética del mercado EE. UU.-Sudamérica superó en 3 pax-km/L el del mercado trasatlántico y en 6 pax-km/L el del mercado transpacífico, principalmente a raíz de la mayor densidad en la configuración de asientos y de una mayor eficiencia en el consumo de combustible.
- » Entre 2017 y 2018, la eficiencia energética promedio del mercado EE. UU.-MCC mejoró en 0.5 pax-



**Gráfico ES2.** Principales factores de eficiencia energética de las aerolíneas en las operaciones entre EE. UU. y América Latina en 2018.

km/L, debido sobre todo a la compra de aeronaves de fuselaje estrecho más modernas.

- » Las mejoras más significativas entre 2017 y 2018 las registraron Volaris (que subió de 34 a 37 pax-km/L), Sun Country (de 31 a 33 pax-km/L), Interjet (de 26 a 28 pax-km/L) y Azul (de 42 a 44 pax-km/L). Dichas mejoras guardan relación con una serie de cambios operacionales, como el uso de nuevas aeronaves de menor consumo energético en el caso de Volaris, la mayor densidad en las configuraciones de los asientos en el caso de Sun Country y Azul y los mayores coeficientes de ocupación en el caso de Interjet.
- » La demanda total de vuelos entre EE. UU. y América Latina aumentó considerablemente entre 2013 y 2018. La capacidad total, medida en ASK, aumentó un 29 % durante el sexenio. Además, las aerolíneas de bajo costo ampliaron paulatinamente su participación de mercado en el segmento EE. UU.-MCC, subiendo de un 19 % en 2013 a un 30 % en 2018.

## 1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética, que expresa la cantidad de combustible utilizado para transportar una carga útil por una distancia determinada, es una medida importante, pues a mayor consumo de combustible, mayor cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitida por las aerolíneas. Sin embargo, la información pública sobre la eficiencia energética de las aerolíneas es escasa. Las aerolíneas estadounidenses informan su consumo de combustible y sus operaciones según el tipo de aeronave y el mercado, ya sea nacional o internacional, a la Dirección de Estadísticas de Transporte (BTS, en su sigla en inglés) del Departamento de Transportes de EE. UU. A las aerolíneas extranjeras no se le exigen los datos de consumo de combustible, y los Gobiernos extranjeros no suelen publicar información estadística detallada.

Se pueden utilizar diversas calculadoras de emisiones de carbono disponibles en línea, como las de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), ClimateCare y las de las mismas aerolíneas, para estimar el combustible consumido y las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por pasajero y carga aérea durante cada combinación de orígenes y destinos.<sup>1</sup> Sin embargo, estas calculadoras no permiten comparar los resultados de cada aerolínea o vuelo, y tienen por objeto, principalmente, apoyar programas de compensación de emisiones de carbono en lugar de ayudar a los consumidores a elegir los vuelos con mayor eficiencia energética.

A comienzos de 2013, el International Council on Clean Transportation (ICCT, ‘Consejo Internacional sobre Transporte Limpio’) empezó a evaluar la eficiencia energética de las aerolíneas estadounidenses con un estudio comparativo de las operaciones nacionales de EE. UU. del año 2010, que posteriormente actualizó desde 2011 hasta 2018.<sup>2</sup> Hace poco, determinamos que la brecha entre las aerolíneas con mayor y menor eficiencia energética, según sus operaciones en EE. UU., fue de un 26 % en 2018 (Zheng, Graver & Rutherford, 2019). Este trabajo interno motivó al ICCT a comparar la eficiencia energética según la capacidad de las principales aerolíneas que realizaban vuelos transpacíficos (entre Estados Unidos continental y Asia Oriental y Oceanía) y trasatlánticos (entre Estados Unidos continental y Europa). Calculamos que la brecha entre las aerolíneas con mayor y menor eficiencia energética se situó en un 64 % en el caso del mercado transpacífico y en un 63 % en el mercado trasatlántico en 2016 y 2017, respectivamente (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b). En general, se observó que las aerolíneas que poseen aeronaves más eficientes, menos asientos de categoría superior y mayores coeficientes de ocupación de pasajeros y carga realizan vuelos con mayor eficiencia energética.

Tras haber clasificado la eficiencia energética de las aerolíneas en las rutas trasatlánticas y transpacíficas, en el presente informe evaluamos por primera vez la eficiencia energética de los vuelos comerciales sin escalas entre Estados Unidos y América Latina. De las salidas internacionales de Estados Unidos que se registraron en 2018, un 42 % corresponde al grupo de rutas EE. UU.-América Latina. De acuerdo con las proyecciones de la OACI, el número de pasajeros transportados por kilómetro (RPK, en su sigla en inglés) en los vuelos entre Norteamérica y América Latina se duplicará entre 2015 y 2035, y seguirá creciendo a un ritmo sostenido después de 2035 (OACI, 2018).

1 La calculadora de emisiones de carbono de la OACI está disponible en <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>. La calculadora de ClimateCare está disponible en <https://climatecare.org/calculator/>. La calculadora de compensación de emisiones de carbono de United Airlines está disponible en <https://united.conservation.org/>.

2 Entre los informes sobre los rankings de eficiencia energética de las aerolíneas nacionales de EE. UU. figuran los siguientes: Zeinali, Rutherford, Kwan y Kharina, 2013; Kwan, Rutherford y Zeinali, 2014; Kwan y Rutherford, 2014; Li, Kwan y Rutherford, 2015; Olmer y Rutherford, 2017; Zheng, Graver y Rutherford, 2018.



El mercado de EE. UU.-América Latina se diferencia de los mercados transpacífico y trasatlántico de muchas formas. En el presente informe, se divide el mercado en dos segmentos: uno que comprende vuelos entre EE. UU. y Sudamérica, con distancias de etapa y cargas en bodega similares a las de los vuelos transpacíficos y trasatlánticos<sup>3</sup>, y otro con vuelos entre EE. UU. y México, Centroamérica y el Caribe (MCC), cuya distancia de etapa promedio es bastante inferior y que transportan poca carga en la bodega del avión. Esta segmentación de mercado es necesaria porque la variación en la distancia de etapa puede afectar la eficiencia energética de aquellos vuelos que recorran menos de 2000 km (Graver, Zhang & Rutherford, 2019).<sup>4</sup>

Las aerolíneas tradicionales de EE. UU. constituyen una parte sustancial de los mercados transpacífico y trasatlántico, pero predominan sobre todo en el mercado EE. UU.-América Latina, donde controlan cerca del 46 % del mercado EE. UU.-MCC y alrededor del 54 % del mercado EE. UU.-Sudamérica. Se prevé que las grandes aerolíneas estadounidenses incrementarán su influencia en los dos mercados por medio de empresas de riesgo compartido (*joint ventures*) y nuevas alianzas, entre ellas, el emprendimiento conjunto de Delta y Aeroméxico y el que tienen programado United, Avianca y Copa (CAPA, 2019a). Recientemente, Delta remeció la alianza entre American y LATAM al comprar una participación de 20 % en LATAM (Rucinskci, 2019). Pese a no competir con aerolíneas internacionales de bajo costo en los mercados transpacífico y trasatlántico, las aerolíneas estadounidenses de bajo costo se mantienen activas en el mercado EE. UU.-América Latina junto con un grupo de compañías latinoamericanas de bajo costo que crece a buen paso. No obstante, según nuestros datos, el mercado aún es dominado por aerolíneas de servicio completo, que representaron el 70 % de la capacidad total en 2018.

El presente documento está estructurado de la siguiente forma: en el segundo apartado se explica la metodología empleada para calcular la eficiencia energética de las aerolíneas; en el tercer apartado se presenta y analiza la eficiencia energética de las aerolíneas y las aeronaves incluidas en el estudio y se consideran las diferencias de eficiencia entre las aerolíneas que operan en las principales rutas; por último, en el cuarto apartado, se presentan conclusiones y se identifican posibles áreas de trabajo para el futuro.

---

3 La distancia de etapa corresponde a la distancia promedio recorrida en vuelo, medida en millas terrestres, por cada salida que haga una aeronave. Para calcular esta medida, se debe dividir el total de millas que ha volado una aeronave por la cantidad total de salidas que ha efectuado.

4 La segmentación de mercado garantiza una baja sensibilidad de la eficiencia energética redondeada (<1 pax-km/L) a la distancia de etapa promedio de una aerolínea dentro de cada segmento. En el gráfico 2 se presenta una ilustración de la sensibilidad de la eficiencia energética de las aeronaves a la distancia de etapa por tipo de aeronave.

## 2. METODOLOGÍA

En un estudio anterior del ICCT (Graver & Rutherford, 2018a), se hizo una estimación de la eficiencia energética de las aerolíneas en las rutas trasatlánticas sin escalas. Se emplearon los datos operacionales entregados a la Dirección de Estadísticas de Transporte (BTS, en su sigla en inglés) del Departamento de Transportes de EE. UU. e información de ruta de una base de datos de programación de vuelos internacionales con el fin de modelar el consumo de combustible de las aerolíneas.

Todas las aerolíneas que operan vuelos en, desde y hacia Estados Unidos deben entregar los datos de sus operaciones a la BTS. Estos datos se ponen a disposición del público a través de la base de datos BTS T-100. Para este estudio, compramos los datos de los segmentos internacionales de la base BTS T-100 a Airline Data Inc., empresa encargada del control y aseguramiento de calidad de los datos de la BTS. Los datos de la BTS T-100 incluyen información sobre las aerolíneas, los orígenes y destinos de los vuelos, las frecuencias y distancias de los vuelos, los tipos de aeronave, los asientos disponibles, los coeficientes de ocupación de pasajeros y las cargas transportadas. Por otra parte, se usaron los datos sobre consumo de combustible recabados a través del formulario 41 ("Datos financieros") de la BTS para validar el modelado del consumo de combustible (detallado en el apéndice A). Para el presente análisis se usaron datos de los años calendario 2017 y 2018.

### 2.1 SELECCIÓN DE AEROLÍNEAS

En el presente artículo, se comparan las 15 aerolíneas de mayor capacidad—medida en función de los asientos-kilómetro ofrecidos (ASK, en su sigla en inglés)—que ofrecen vuelos sin escalas entre Estados Unidos y MCC, así como las 10 aerolíneas de mayor capacidad que operan vuelos sin escala entre Estados Unidos y Sudamérica. Las aerolíneas clasificadas representan el 98 % de la capacidad total en cada uno de los dos mercados.

En la tabla 1a se resumen las estadísticas principales de las 15 aerolíneas analizadas del mercado EE. UU.-MCC y en la tabla 1b se muestran las 10 aerolíneas analizadas del mercado EE. UU.-Sudamérica. Las estadísticas comprenden la cantidad total de salidas, la distancia de etapa promedio, la proporción de ASK, la proporción de toneladas-kilómetro disponibles (ATK, en su sigla en inglés) y la aeronave más utilizada por cada aerolínea.

**Tabla 1a.** Aerolíneas evaluadas en el mercado EE. UU.-MCC en 2018.

Aerolínea	Salidas	Distancia de etapa promedio (km)	Proporción de ASK	Proporción de ATK	Aeronave más utilizada
<b>Aeroméxico</b>	34 954	2417	7 %	8 %	Boeing 737-800
<b>Alaska</b>	14 667	2333	3 %	3 %	Boeing 737-900ER
<b>American</b>	139 445	1790	18 %	20 %	Boeing 737-800
<b>Avianca</b>	12 826	2807	3 %	4 %	Airbus A320-200
<b>Caribbean</b>	6406	2541	1 %	2 %	Boeing 737-800
<b>Copa</b>	22 378	3039	6 %	5 %	Boeing 737-800
<b>Delta</b>	66 876	2244	14 %	15 %	Boeing 737-900ER
<b>Frontier</b>	4563	2291	1 %	1 %	Airbus A321
<b>Interjet</b>	19 420	1952	4 %	3 %	Airbus A320-200
<b>JetBlue</b>	63 101	1924	11 %	11 %	Airbus A320-200
<b>Southwest</b>	38 425	1875	5 %	5 %	Boeing 737-700
<b>Spirit</b>	13 229	1701	2 %	2 %	Airbus A321
<b>Sun Country</b>	3156	2704	1 %	1 %	Boeing 737-800
<b>United</b>	87 860	2259	15 %	15 %	Boeing 737-800
<b>Volaris</b>	22 826	2371	6 %	6 %	Airbus A320neo
<b>Total</b>	<b>550 480</b>	<b>2152</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	Boeing 737-800

Nota: Se identificaron las aeronaves más utilizadas sobre la base de la cantidad de salidas (Airline Data Inc., 2019)

**Tabla 1b.** Aerolíneas evaluadas en el mercado EE. UU.-Sudamérica, 2018.

Aerolínea	Salidas	Distancia de etapa promedio (km)	Proporción de ASK	Proporción de ATK	Aeronave más utilizada
<b>Aerolíneas Argentinas</b>	2168	7561	4 %	3 %	Airbus A330-200
<b>American</b>	27 524	5340	30 %	30 %	Airbus A319
<b>Avianca</b>	14 178	3307	9 %	9 %	Airbus A320-200
<b>Azul</b>	2875	6000	4 %	4 %	Airbus A330-200
<b>Delta</b>	7243	6605	11 %	10 %	Boeing 767-300ER
<b>JetBlue</b>	4619	2749	2 %	1 %	Airbus A320-200
<b>LATAM</b>	14 457	6058	23 %	27 %	Boeing 767-300ER
<b>Spirit</b>	3194	2518	1 %	1 %	Airbus A320-200
<b>TAME</b>	1133	3974	1 %	2 %	Airbus A330-300
<b>United</b>	10 122	5979	14 %	12 %	Boeing 767-300ER
<b>Total</b>	<b>87 165</b>	<b>5083</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	Boeing 767-300ER

Nota: Se identificaron las aeronaves más utilizadas sobre la base de la cantidad de salidas (Airline Data Inc., 2019)

## 2.2 MODELADO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Al igual que en los rankings anteriores sobre eficiencia energética del ICCT (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b), el consumo de combustible de las aeronaves se modeló en Piano 5, un software de diseño y análisis de rendimiento de aeronaves (Lissys Ltd., 2017). Piano 5 requiere diversas entradas de datos para generar modelos del consumo de combustible de las aeronaves. La tabla 2 contiene una lista de las principales variables y fuentes de modelado que se utilizaron en el presente estudio.

**Tabla 2.** Principales variables de modelado.

Tipo	Variable	Fuentes
<b>Vuelos programados de la aerolínea</b>	Ruta	Segmentos internacionales de base de datos BTS T-100
	Aeronave empleada	
	Asientos disponibles	
	Salidas	
	Coeficiente de ocupación de pasajeros	
	Transporte de carga	
<b>Parámetros de aeronave propios de la aerolínea</b>	Tipo y cantidad	Ascend Fleets
	Turbina	
	Alerones/cimitarra	
	Masa máxima al despegue	
	Asientos	
<b>Pesos de las aeronaves</b>	Peso vacío en operación	Piano 5
	Peso de los pasajeros	Estándar del sector
	Peso de los asientos y del mobiliario	Predeterminado de la OACI
<b>Consumo de combustible de las aeronaves</b>	Empuje de la turbina	Piano 5
	Resistencia aerodinámica	
	Flujo de combustible	
<b>Otras variables operacionales</b>	Tiempo de rodaje	Segmentos internacionales de la base de datos BTS T-100, FAA Part 121, Piano 5
	Reservas de combustible	
	Niveles del vuelo	
	Velocidad	

Se usó el archivo de la base de datos Ascend Fleets para asignar aeronaves representativas de Piano 5 a cada aerolínea mediante búsquedas de coincidencias lo más cercanas posibles por tipo de aeronave, uso de mecanismo de punta alar, tipo de turbina, cantidad de asientos y masa máxima al despegue (Flight Ascend Consultancy, 2017). En el caso de la distancia de vuelo, se ajustó la distancia ortodrómica de cada ruta en forma ascendente en 50, 100 o 150 km según la distancia original a fin de tomar en cuenta las ineficiencias derivadas del tráfico y las condiciones meteorológicas (OACI, 2017).<sup>5</sup>

Los vuelos comerciales internacionales transportan pasajeros y carga, de modo que se debe distribuir el consumo de combustible de cada vuelo entre los pasajeros y la carga en función de su masa. Con la ecuación 1, se hizo una estimación de la carga útil promedio por vuelo correspondiente a cada grupo de aerolínea-aeronave-número de asientos-distancia de vuelo considerando la cantidad informada de salidas, los asientos disponibles, el coeficiente de ocupación de pasajeros y el transporte de carga. Se utilizó la masa estándar practicada en la industria de 100 kg por pasajero y su respectivo equipaje (OACI, 2017). El modelo contabiliza distintas configuraciones de asientos para el mismo tipo de aeronave ajustando el número predeterminado de asientos en Piano y basándose en un peso de 50 kg por asiento.

$$carga\ útil\ [kg] = \left( \frac{asientos}{salidas} \right) (coef.de\ ocupación_{pax}) \left( \frac{100\ kg}{pax} \right) + \left( \frac{carga\ [kg]}{salidas} \right) \quad (1)$$

5 A los vuelos de menos de 550 km se les aplica una corrección de +50 km; a los vuelos de entre 550 y 5500 km se les aplica una corrección de +100 km; y a los vuelos de más de 5500 km se les aplica una corrección de +150 km.

Debido a la falta de datos específicos sobre las aerolíneas y las aeronaves, se emplearon los valores predeterminados de Piano 5 en el caso de parámetros operacionales como el empuje de la turbina, la resistencia aerodinámica, el flujo de combustible, los niveles de vuelo disponibles y la velocidad. Se definieron velocidades de crucero que permitieran obtener un alcance específico máximo de 99 %. A partir de los datos de la base BTS T-100 sobre segmentos internacionales de los vuelos transpacíficos de las tres aerolíneas estadounidenses (Dirección de Estadísticas de Transporte [BTS], Departamento de Transporte de EE. UU., 2018), se fijó el tiempo de rodaje en 34 minutos, equivalentes al tiempo promedio de rodaje empleado en los rankings trasatlánticos y transpacíficos (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b). Se determinaron reservas de combustible para una distancia de desvío de 370 km, con un 10 % de combustible de la misión asignado a contingencias por congestión, condiciones meteorológicas y otros sucesos imprevistos, y 45 minutos de consumo de combustible en condiciones normales de crucero, según la *Especificación BO43 de Operaciones* de la Administración Federal de Aviación de EE. UU. (U.S. Federal Aviation Administration, 2015).

Con el fin de aumentar la eficiencia del modelado en Piano, interpolamos el valor del consumo de combustible de cada grupo aerolínea-aeronave-número de asientos-origen-destino a partir de una matriz de carga útil-distancia-consumo de combustible generada mediante ejecuciones automatizadas de Piano. Se comprobó la exactitud de la interpolación, que ha arrojó variaciones en un margen del 1 % en comparación con las ejecuciones de Piano.

### 2.3 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética de cada vuelo se calculó usando el modelo elaborado para el ranking transpacífico anterior del ICCT (Graver & Rutherford, 2018a). La eficiencia energética promedio de cada aerolínea, representada por el índice  $a$ , se calculó siguiendo un enfoque de lo particular a lo general (*bottom-up*).

Tras modelar cada grupo único de aerolínea-aeronave-número de asientos-distancia-carga útil, representado por el índice  $i$ , se calculó el consumo total de combustible de todos los vuelos sin escalas entre Estados Unidos y América Latina de cada aerolínea siguiendo la ecuación 2.

$$\text{combustible } [L]_a = \sum_i (\text{combustible } [L]_{a,i}) (\text{salidas}_{a,i}) \quad (2)$$

El consumo de combustible de las aeronaves es proporcional a la masa total de la carga útil transportada. En aquellos vuelos que también transportan carga en bodega, la carga útil se calcula sumando la masa total de los pasajeros y de la carga en bodega por vuelo. Si bien aumenta el consumo absoluto de un determinado vuelo, la carga en bodega también mejora la eficiencia energética de un avión por unidad de masa trasladada, ya que el fuselaje se carga con una cantidad cercana a su capacidad máxima de carga útil. Se utilizó el ratio de carga útil-distancia a combustible consumido de cada aerolínea como punto de partida para la medida promedio de eficiencia energética, que posteriormente se convirtió a la medida basada en los pasajeros, a saber, los pasajeros-kilómetro por litro de combustible (pax-km/L), usando un coeficiente de peso de los pasajeros, como se muestra en la ecuación 3.

$$\text{pax} \times \text{km} / L_a = \frac{\sum_i (\text{carga útil } [kg]_{a,i}) (\text{distancia } [km]_{a,i})}{(\text{combustible } [L]_a) (100 \text{ kg} / \text{pax})} \quad (3)$$

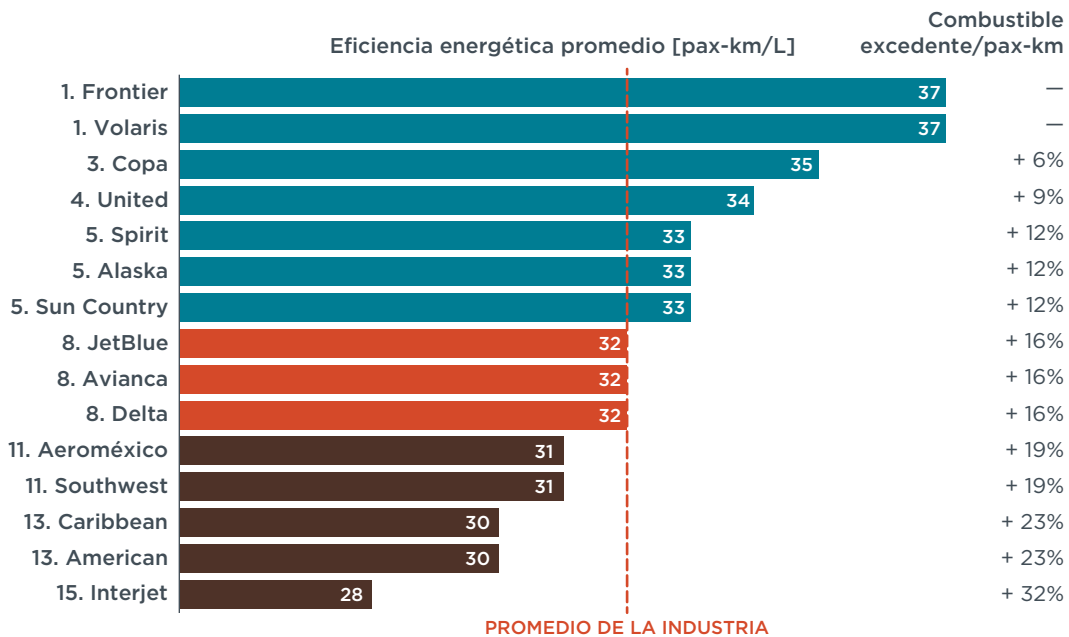
Las eficiencias energéticas que se modelaron para las 44 combinaciones de aeronaves y aerolíneas estadounidenses se validaron usando los datos de consumo de combustible del formulario 41 que se describen en el apéndice A.

### 3. RESULTADOS

La metodología de lo particular a lo general (*bottom-up*) permite comparar las eficiencias energéticas de las aerolíneas, aeronaves y rutas. En el apartado 3.1 se presentan los resultados generales de eficiencia energética correspondientes al año 2018. En el apartado 3.2 se establece una relación entre los resultados generales y los tipos de aeronave, mientras que en el apartado 3.3 se explican los principales factores de eficiencia energética, como el consumo de combustible de las aeronaves, la disposición de los asientos, el coeficiente de ocupación de pasajeros y el transporte de carga. Por último, en los apartados 3.4 y 3.5 se proporciona contexto sobre cada una de las aerolíneas y las rutas escogidas. En el apéndice B se resumen los resultados del año calendario 2017.

#### 3.1 COMPARACIONES DE AEROLÍNEAS

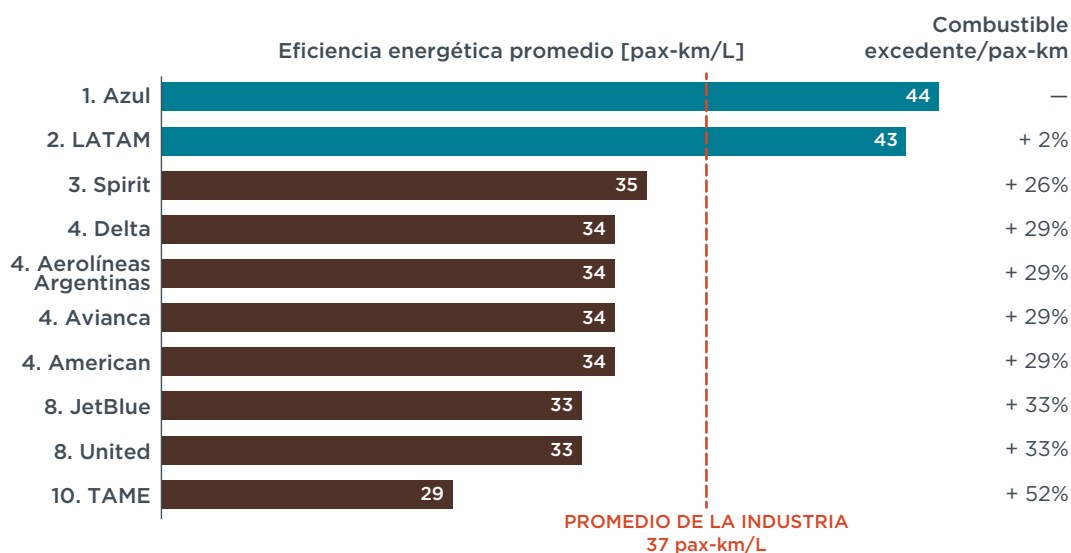
En el gráfico 1a se muestran los promedios de eficiencia energética, medidos en pax-km/L, de las 15 principales aerolíneas que operaron las rutas EE. UU.-MCC en 2018. La línea punteada naranja indica el promedio de la industria, de 32 pax-km/L. Tanto la aerolínea estadounidense Frontier como la mexicana Volaris registraron una eficiencia energética promedio de 37 pax-km/L, un 16 % mejor que el promedio de la industria. Interjet, en tanto, operó los vuelos con menor eficiencia energética, al consumir en promedio un 32 % más de combustible por pasajero-kilometro que las dos primeras aerolíneas de la lista. Esta brecha representa solo la mitad de lo que se observó anteriormente en los rankings transpacífico y trasatlántico (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b), probablemente debido a menores variaciones en el transporte de carga en bodega y en las configuraciones de asientos.



**Gráfico 1a.** Eficiencia energética de 15 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-MCC en 2018.

En el gráfico 1b se muestran los promedios de eficiencia energética de 10 grandes aerolíneas que operaron rutas entre EE. UU. y Sudamérica en 2018. La línea punteada naranja indica la eficiencia energética promedio de la industria, de 32 pax-km/L. La aerolínea brasileña Azul encabezó el ranking de eficiencia energética en este mercado con una eficiencia energética promedio de 44 pax-km/L, cifra un 19 % superior al promedio de la industria. LATAM le siguió de cerca con un promedio de eficiencia

energética de 43 pax-km/L. Por otro lado, la aerolínea ecuatoriana TAME operó los vuelos con menor eficiencia energética, consumiendo en promedio un 52 % más de combustible por pasajero-kilometro que Azul. Esta brecha entre las aerolíneas más eficientes y las menos eficientes es comparable con lo que se observó anteriormente en los rankings transpacífico y trasatlántico (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b). Cabe señalar que, al excluir a Azul, LATAM y TAME, la brecha de eficiencia energética entre las siete aerolíneas restantes pasa a ser relativamente pequeña.



**Gráfico 1b.** Eficiencia energética de 10 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-Sudamérica en 2018.

Las tres aerolíneas más grandes del mercado EE. UU.-MCC en términos de ASK son aerolíneas estadounidenses tradicionales cuya eficiencia energética es cercana al promedio de la industria. American Airlines, que registra la proporción de ASK más alta del mercado (18 %), se ubica en el penúltimo lugar del ranking. Aunque la brecha total de eficiencia energética es estrecha en el segmento EE. UU.-MCC, el consumo de combustible disminuiría considerablemente si American mejorara su eficiencia energética, considerando que tiene una participación de mercado importante. Las tres primeras aerolíneas del ranking EE. UU.-MCC son compañías de menor tamaño, y entre ellas figura Copa, que registra una proporción de ASK de 6 %, la más alta del ranking. En tanto, el mercado EE. UU.-Sudamérica tiene dos actores dominantes: American y LATAM. Ambas aerolíneas controlan una cuota de ASK que supera el 20 %, aunque LATAM ocupa el segundo lugar en materia de eficiencia energética, mientras que American se ubica por debajo del promedio.

También se observan algunos patrones de eficiencia energética por país. En el mercado EE. UU.-Sudamérica, las cinco aerolíneas de EE. UU. registraron eficiencias energéticas similares, siendo Spirit la de mejor desempeño con 35 pax-km/L, seguida de United con 33 pax-km/L. Sin embargo, las aerolíneas mejor clasificadas (Azul y LATAM) obtuvieron un desempeño tan superior en eficiencia energética que las aerolíneas estadounidenses se situaron por debajo del promedio de la industria. En el mercado EE. UU.-MCC, las ocho aerolíneas estadounidenses se repartieron en distintos niveles de eficiencia energética, y se observa una amplia brecha entre las tres aerolíneas mexicanas. Volaris se quedó con el primer lugar, mientras que Aeroméxico se ubicó debajo del promedio de la industria e Interjet ocupó el último lugar.

Los mercados EE. UU.-MCC y EE. UU.-Sudamérica registraron tendencias diferentes en el tiempo. Entre 2017 y 2018, en el mercado EE. UU.-MCC se observó un alza de

2.5 % en el combustible total consumido por las aerolíneas que conforman el ranking, acompañada de un aumento de 4.1 % en el índice RPK, lo cual representa una mejora de aproximadamente 1.4 % en la eficiencia energética total. El en mercado EE. UU.-Sudamérica, en tanto, si bien se registró un crecimiento comparable tanto en el índice RPK como en el consumo de combustible entre 2017 y 2018, no se observa ningún cambio sustantivo en materia de eficiencia energética.

El promedio ponderado de eficiencia energética del mercado EE. UU.-MCC aumentó en 0.5 pax-km/L entre 2017 y 2018, o un 1.4 %. La brecha de eficiencia energética también se contrajo de un 46 % en 2017 a un 32 % en 2018, debido a una disminución de la eficiencia de Frontier (de 38 a 37 pax-km/L) y un aumento de la eficiencia de Interjet (de 26 a 28 pax-km/L). Varias otras aerolíneas lograron mejoras sustanciales, como Volaris (de 34 a 37 pax-km/L) y Sun Country (de 31 a 33 pax-km/L), gracias a distintos cambios operacionales. En el caso de Volaris, la mejora se logró mediante la adopción de aeronaves más eficientes, mientras que en el caso de Sun Country se debió a una mayor densidad de asientos y, en el de Interjet, a una mayor proporción de carga.<sup>6</sup> La única aerolínea del segmento EE. UU.-MCC cuya eficiencia energética disminuyó en más de 1.5 pax-km/L fue Spirit (de 35 a 33 pax-km/L), debido principalmente a una disminución en el coeficiente promedio de ocupación de pasajeros.

Las dos principales variaciones de eficiencia energética entre aerolíneas del mercado EE. UU.-Sudamérica de 2017 a 2018 las registraron Azul y Aerolíneas Argentinas. En efecto, la eficiencia energética de Azul sobrepasó la de LATAM en 2018, principalmente gracias a la modernización de su flota, mientras que LATAM siguió operando en gran medida con la misma flota y las mismas cargas. Entretanto, la eficiencia energética de Aerolíneas Argentinas disminuyó en 2 pax-km/L en 2018, debido principalmente a que los coeficientes de ocupación de pasajeros disminuyeron de un 82 % en 2017 a un 76 % en 2018. Se trata de una disminución importante considerando que la ocupación general de pasajeros en el mercado EE. UU.-Sudamérica solo bajó del 83 % al 82 % durante el mismo período. Por otro lado, la demanda de viajes internacionales se ha desacelerado en Argentina a raíz de la devaluación de su moneda y otras incertidumbres económicas (CAPA, 2019b).

### 3.2 ANÁLISIS DE LAS AERONAVES

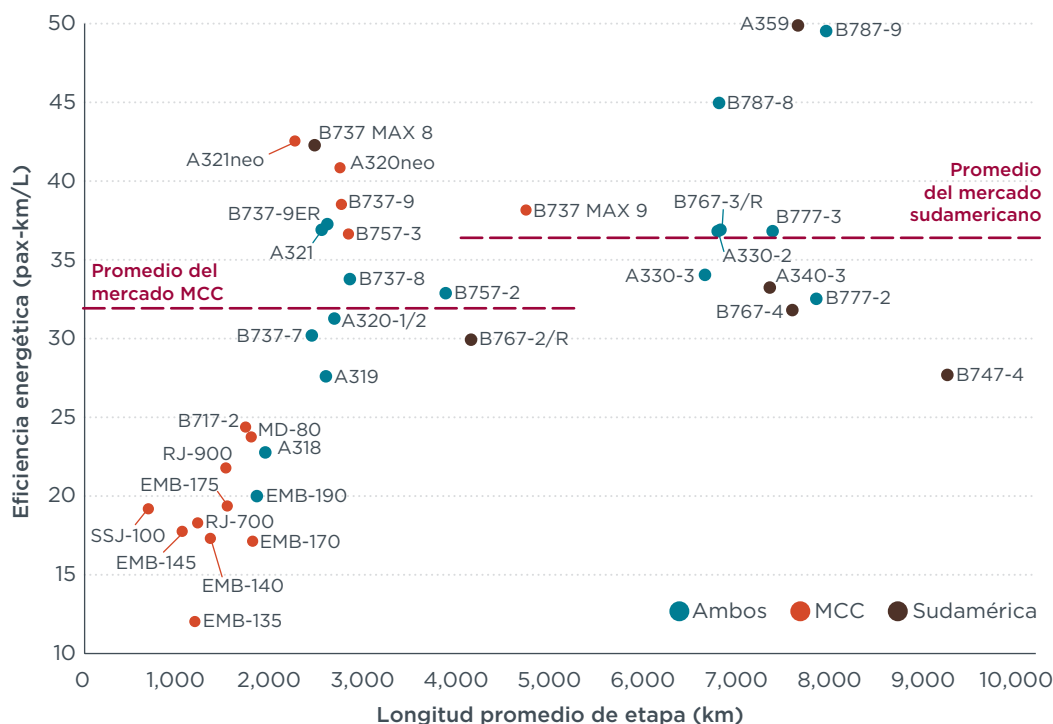
En el gráfico 2 se ilustra la eficiencia energética promedio de cada modelo de aeronave usado en las rutas entre EE. UU. y América Latina en 2018 como una función del modelo de distancia de etapa. Estas eficiencias específicas de cada aeronave también se comparan con el promedio de 32 pax-km/L del mercado EE. UU.-MCC y el promedio de 37 pax-km/L del mercado EE. UU.-Sudamérica.

Las aeronaves Boeing 737 fueron las más utilizadas en las rutas EE. UU.-MCC en 2018, lo que representa el 45 % de los vuelos totales. La segunda familia de aeronaves más utilizada fue la de Airbus A320. La eficiencia energética promedio de las aeronaves Boeing 737 superó en aproximadamente 2 pax-km/L el promedio del mercado EE. UU.-MCC. Los modelos Airbus A320neo, Boeing 737 MAX 8, Airbus A321neo y Boeing 787-900 fueron notoriamente más eficientes, con promedios de eficiencia energética que superaron los 4 pax-km/L. Si bien los Airbus A320neo y los Boeing 737 MAX presentan una elevada eficiencia energética y podrían sustituir los antiguos modelos de aeronaves en los vuelos del segmento EE. UU.-MCC, la adopción futura de la serie

<sup>6</sup> En el presente informe se analizan por separado factores como el menor consumo de combustible de las aeronaves y la alta eficiencia energética de las aerolíneas. Una aeronave de bajo consumo de combustible es aquella que cuenta con tecnologías que reducen el consumo, independientemente de parámetros operacionales como el coeficiente de ocupación, la densidad de asientos y el transporte de carga. Por el contrario, una aerolínea eficiente en términos de consumo de combustible es aquella que logra una alta eficiencia energética en pax-km/L optimizando uno de estos factores, o todos ellos.



737 MAX es incierta tras los accidentes fatales ocurridos a fines de 2018 y principios de 2019 (Gelles, 2019).



**Gráfico 2.** Eficiencia energética de los tipos de aeronave empleados en las rutas entre EE. UU. y América Latina en 2018.

En las rutas sudamericanas, las aeronaves de la familia Airbus A320 fueron las que más se usaron en 2018, representando un 29 % de los vuelos, seguidas del modelo Boeing 767. La eficiencia energética de las aeronaves Airbus A320 registró alrededor de 5 pax-km/L menos que el promedio del mercado EE. UU.-Sudamérica. En contrapartida, los Airbus A350-900 y los Boeing 787 Dreamliners fueron claramente más eficientes al registrar promedios de eficiencia energética que superaron los 40 pax-km/L. La mayor tasa promedio de eficiencia energética del mercado EE. UU.-Sudamérica frente al mercado EE. UU.-MCC puede atribuirse principalmente a la ausencia de aeronaves regionales de baja eficiencia, aunque la adopción de modelos de fuselaje ancho con alta eficiencia energética (a saber, el 13 % de los RPK operados con los modelos A350-900 o B787) también explica esta diferencia.

Cabe señalar que las variaciones en los coeficientes de ocupación de pasajeros, así como en la densidad de asientos y en el transporte de carga, también inciden en la eficiencia energética de las aeronaves. Incluso entre las aerolíneas que ya tienen aeronaves Dreamliner, el número promedio de asientos varía entre 219 y 250 para los Boeing 787-800 y entre 252 y 301 para los Boeing 787-900. Esto se traduce en un rango de eficiencia energética de entre 37 y 48 pax-km/L para el modelo 787-800 y de entre 27 y 53 pax-km/L para el modelo 787-900.

De las cinco aerolíneas que usan aeronaves Boeing 767-300ER en rutas sudamericanas, LATAM fue la que operó este modelo de forma más eficiente en 2018 (40 pax-km/L), gracias a su elevada proporción promedio de transporte de carga, de un 26 %, su promedio de 233 asientos por aeronave y su coeficiente de ocupación de pasajeros de 79 %. Entretanto, American solo dispuso 207 asientos en sus aeronaves 767 y operó con un menor coeficiente de ocupación y proporción de transporte de carga, por lo

que registró una eficiencia energética de 33 pax-km/L con el mismo tipo de aeronave en rutas similares.

### 3.3 FACTORES DE EFICIENCIA DE LAS AEROLÍNEAS DEL SEGMENTO EE. UU.-AMÉRICA LATINA

En las tablas 3a y 3b se resumen los principales parámetros operacionales de las aerolíneas en los vuelos sin escalas desde y hacia MCC y Sudamérica, respectivamente, ordenados por aerolínea y por eficiencia energética en 2018. Los parámetros comprenden el coeficiente de ocupación de pasajeros, la proporción de transporte de carga, la densidad total de asientos y el consumo de combustible relativo de las aeronaves utilizadas.<sup>7</sup>

**Tabla 3a.** Parámetros operacionales de aeronaves en el mercado EE. UU.-MCC, 2018.

Categoría	Aerolínea	Coeficiente de ocupación de pasajeros	Proporción de transporte de carga sobre total de toneladas-km	Densidad de asientos total (asientos/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Consumo de combustible <sup>b</sup>
T1	Frontier	77 %	0 %	1.71	+6 %
T1	Volaris	76 %	0 %	1.67	-5 %
3	Copa	85 %	3 %	1.50	+5 %
4	United	84 %	1 %	1.54	+4 %
T5	Spirit	78 %	0 %	1.67	+5 %
T5	Alaska	84 %	0 %	1.53	+9 %
T5	Sun Country	74 %	0 %	1.68	+5 %
T8	JetBlue	82 %	0 %	1.44	+4 %
T8	Avianca	83 %	2 %	1.41	+6 %
T8	Delta	86 %	2 %	1.51	+9 %
T11	Aeroméxico	78 %	3 %	1.49	+3 %
T11	Southwest	83 %	0 %	1.73	+5 %
T13	Caribbean	73 %	3 %	1.46	+5 %
T13	American	80 %	1 %	1.44	+5 %
15	Interjet	74 %	1 %	1.40	+7 %
<b>Promedio de la industria</b>		<b>82 %</b>	<b>1 %</b>	<b>1.51</b>	<b>+5 %</b>

<sup>a</sup>Asientos por metro cuadrado de FGR. Véase la nota 7 en pie de página para obtener más detalles.

<sup>b</sup>Margen promedio de la aeronave en relación con el estándar de emisiones de CO<sub>2</sub> de la OACI. Véase la nota 7 en pie de página para obtener más detalles.

7 La densidad de asientos se mide en asientos por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) del Factor Geométrico de Referencia (FGR). El FGR es una medida representativa del área de piso presurizada de una aeronave, desarrollada por la OACI para evaluar la eficiencia energética de las aeronaves. Véase Rutherford (2013) para obtener más información. El consumo relativo de combustible de una aeronave se mide en términos de margen a partir del nivel estándar de eficiencia energética o de emisiones CO<sub>2</sub> de la OACI, acordado a nivel internacional para determinar y comparar la eficiencia de las aeronaves. Los valores negativos representan el uso de flotas con mayor eficiencia energética, mientras que los valores positivos corresponden a aeronaves con mayor consumo de combustible. Véase Kharina & Rutherford (2017) para obtener más información.

**Tabla 3b.** Parámetros operacionales de aeronaves en el mercado EE. UU.-Sudamérica en 2018.

Categoría	Aerolínea	Coefficiente de ocupación de pasajeros	Proporción de transporte de carga sobre total de toneladas-km	Densidad de asientos total (asientos/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Consumo de combustible <sup>b</sup>
1	Azul	89 %	35 %	1.10	+1 %
2	LATAM	82 %	31 %	1.11	-1 %
3	Spirit	83 %	0 %	1.65	+4 %
T4	Delta	84 %	17 %	1.09	+4 %
T4	Aerolíneas Argentinas	76 %	24 %	1.13	+3 %
T4	Avianca	82 %	14 %	1.12	+2 %
T4	American	79 %	22 %	0.97	+5 %
T8	JetBlue	86 %	0 %	1.42	+4 %
T8	United	83 %	21 %	1.01	+6 %
10	TAME	79 %	0 %	1.19	+1 %
<b>Promedio de la industria</b>		<b>82 %</b>	<b>22 %</b>	<b>1.07</b>	<b>+3 %</b>

<sup>a</sup>Asientos por metro cuadrado de FGR. Véase la nota 7 en pie de página para obtener más detalles.

<sup>b</sup>Margen promedio de la aeronave en relación con el estándar de emisiones de CO<sub>2</sub> de la OACI. Véase la nota 7 en pie de página para obtener más detalles.

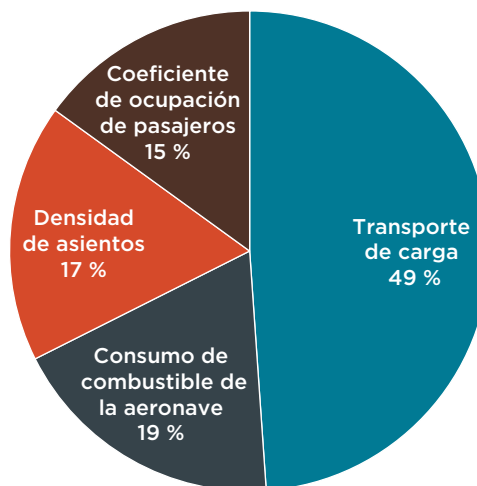
El mercado EE. UU.-MCC en su conjunto registró una densidad promedio de 1.51 asientos/m<sup>2</sup>, cifra bastante superior a la del mercado EE. UU.-Sudamérica, que promedió 1.07 asientos/m<sup>2</sup>. Asimismo, se observó una elevada variación en la densidad de asientos de cada aerolínea. En el mercado EE. UU.-MCC, por un lado, Southwest y Frontier registraron una densidad superior a los 1.70 asientos/m<sup>2</sup>, mientras que Interjet registró la densidad más baja, con 1.40 asientos/m<sup>2</sup>. Aunque se observó una menor densidad de asientos total en el mercado EE. UU.-Sudamérica, Spirit y JetBlue realizaron vuelos con una alta densidad, lo que se condice con sus modelos de negocios de bajo costo. American, en tanto, registró el menor número de asientos por superficie en el mercado EE. UU.-Sudamérica.

Ambos mercados registran un coeficiente de ocupación de pasajeros de 82 % y relativamente poca variación entre aerolíneas. Pese a ocupar el primer lugar en materia de eficiencia energética, Frontier realizó vuelos con un consumo de combustible relativamente mayor que el de sus pares en el mercado EE. UU.-MCC. Por el contrario, Volaris se benefició de una flota que le permitió registrar el menor consumo de combustible del mercado EE. UU.-MCC por un amplio margen. El margen promedio de consumo de combustible de una aeronave con respecto al estándar de emisiones de CO<sub>2</sub> de la OACI es aproximadamente un 2 % mayor en el mercado EE. UU.-MCC que en el mercado EE. UU.-Sudamérica, lo que refleja, de forma general, el uso de aeronaves que consumen más combustible. No obstante, es probable que esta tendencia cambie, puesto que las aerolíneas de bajo costo que operan rutas del segmento EE. UU.-MCC han cursado pedidos por un número considerable de aeronaves nuevas y más eficientes (CAPA, 2019a).

Una diferencia sustancial entre los dos mercados es la cantidad de carga transportada en bodega. Tal como se muestra en las tablas, las aerolíneas del mercado EE. UU.-MCC prácticamente no llevan carga en bodega, mientras que en el mercado EE. UU.-Sudamérica el transporte de carga representa en promedio un 22 % de la carga útil. Las excepciones son Spirit, JetBlue y TAME, que operan rutas relativamente cortas prácticamente sin carga en bodega. Entre los productos perecibles transportados habitualmente en vuelos con destino a EE. UU. figuran flores de Colombia, salmón

de Chile y bayas de Argentina y Perú (Asociación Internacional de Carga Aérea, 2018).

La variación de parámetros operacionales entre aerolíneas ayuda a explicar la magnitud de las brechas de eficiencia energética que se observaron en los mercados EE. UU.-MCC y EE. UU.-Sudamérica. El hecho de que la brecha de 32 % observada en el segmento EE. UU.-MCC sea inferior puede atribuirse a la variación prácticamente nula de la carga en bodega entre las aerolíneas clasificadas y la modesta variación observada en la densidad de asientos en comparación con lo que sucede en el mercado EE. UU.-Sudamérica.



**Gráfico 3.** Principales factores de eficiencia energética de las aerolíneas en las operaciones entre EE. UU. y América Latina en 2018.

Elaboramos un modelo de regresión múltiple para establecer una relación entre la eficiencia energética general de las aerolíneas y los parámetros, o factores, operacionales y tecnológicos, como el consumo de combustible de las aeronaves, la densidad de asientos, el coeficiente de ocupación de pasajeros y la proporción de transporte de carga. Este es el mismo método adoptado en los rankings trasatlánticos anteriores (Graver & Rutherford, 2018b). Por otro lado, se usó el método Shapley para cuantificar la importancia relativa de cada factor de eficiencia energética, cuyos resultados se recogen en el gráfico 3. Este método refleja alrededor del 85 % de la varianza total, y se normalizan las medidas para alcanzar el 100 %.

La proporción del transporte de carga fue el factor más importante, y representa aproximadamente la mitad de la varianza entre las aerolíneas. La varianza restante se explicó, en medidas mayoritariamente iguales, por el consumo de combustible de las aeronaves, la densidad de asientos y el coeficiente de ocupación. Del análisis por *bootstrapping* se desprende una superposición significativa en el intervalo de confianza normalizado de 95 % para los cuatro factores estimados: 2-34 % en el caso del consumo de combustible de las aeronaves; 2-29 % para el coeficiente de ocupación de pasajeros; 13-55 % para el transporte de carga; y 8-28 % para la densidad de asientos. Aun así, es justo señalar que la proporción de transporte de carga fue el principal factor de eficiencia energética de la ruta EE. UU.-América Latina en 2018.

Los factores de eficiencia energética propios del mercado de EE. UU.-MCC y de EE. UU.-Sudamérica, en tanto, difieren.<sup>8</sup> La proporción del transporte de carga con respecto a la carga útil total desempeñó un papel decisivo en la eficiencia energética del mercado EE. UU.-Sudamérica, pero tuvo un efecto acotado en el caso del mercado EE. UU.-MCC, donde hubo poco transporte de carga en todos los vuelos. Los cuatro parámetros operacionales no explican una parte importante de la varianza observada

<sup>8</sup> Aquí se presentan resultados combinados para los mercados EE. UU.-MCC y EE. UU.-Sudamérica debido a su importancia estadística en ambos mercados. Por otra parte, se elaboró un modelo de regresión múltiple para procesar los datos de EE. UU.-MCC y EE. UU.-Sudamérica por separado. Si bien los resultados del segmento EE. UU.-MCC no cobraron relevancia estadística, de la varianza explicada por el modelo lineal se desprende que la densidad de asientos tiene una mayor importancia relativa. Los datos modelados de EE. UU.-Sudamérica representaron el 96 % de la varianza, con distintos factores de importancia relativa atribuidos a la proporción del transporte de carga (51 %), el coeficiente de ocupación de pasajeros (22 %), el consumo de combustible de las aeronaves (17 %) y la densidad de asientos (10 %).

en el mercado EE. UU.-MCC, lo cual sugiere que hubo otros factores de peso, como la antigüedad de la flota.

Dos de las principales tendencias observadas en el mercado EE. UU.-América Latina entre 2013 y 2018 fueron el aumento de servicios de las aerolíneas de bajo costo y una mayor utilización de aeronaves nuevas (Baker, 2019). Durante el presente sexenio, las aerolíneas de bajo costo aumentaron de forma sostenida su participación colectiva en el mercado EE. UU.-MCC, al pasar de un 19 % en 2013 a un 30 % en 2018. Entretanto, el mercado EE. UU.-MCC en su conjunto registró un aumento de 44 % en los ASK. Entre las siete aerolíneas de bajo costo del mercado EE. UU.-MCC, las aerolíneas que registraron el mayor aumento de ASK entre 2013 y 2018 fueron Southwest (+554 %) e Interjet (+272 %).

Asimismo, durante el presente sexenio, las aerolíneas que prestan servicios en las rutas entre EE. UU. y América Latina utilizaron cantidades cada vez mayores de aeronaves Airbus A321, Boeing 787 y Airbus A330, mientras que retiraron de circulación algunas de las antiguas aeronaves Boeing 757 y 767. La proporción del transporte de carga y el coeficiente de ocupación de pasajeros no registraron mayores variaciones entre 2013 y 2018.

Dado que la distancia de etapa promedio del mercado EE. UU.-Sudamérica es similar a la de los mercados transpacífico y trasatlántico, se puede comparar la contribución de los parámetros operacionales a la eficiencia energética en distintos mercados, aunque en años levemente distintos (tabla 4). La eficiencia energética promedio del mercado EE. UU.-Sudamérica superó en 3 pax-km/L la del mercado trasatlántico estadounidense y en 6 pax-km/L la del mercado transpacífico estadounidense, debido principalmente a que las aeronaves de las rutas sudamericanas tendieron a presentar una mayor densidad de asientos y una mayor eficiencia energética.

**Tabla 4.** Parámetros operacionales por segmento EE. UU.-mercado internacional (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b).

Mercado aéreo (año)	Distancia de etapa promedio (km)	Coefficiente de ocupación de pasajeros	Proporción de transporte de carga sobre total de toneladas-km	Densidad de asientos total <sup>a</sup> (asientos/m <sup>2</sup> )	Consumo de combustible <sup>b</sup>	Eficiencia energética (pax-km/L)
Transpacífico (2016)	10 738	82 %	25 %	0.87	+4 %	31
Trasatlántico (2017)	7028	81 %	21 %	1.01	+5 %	34
EE. UU.-Sudamérica (2018)	5083	82 %	22 %	1.07	+3 %	37

<sup>a</sup>Asientos por metro cuadrado de FGR. Véase la nota 7 en pie de página para obtener más detalles.

<sup>b</sup>Margen promedio de la aeronave en relación con el estándar de emisiones de CO<sub>2</sub> de la OACI. Véase la nota 7 en pie de página para obtener más detalles.

### 3.4 ANÁLISIS DESGLOSADO POR AEROLÍNEA

Tras demostrar que el tipo de aeronave, la densidad de asientos, el coeficiente de ocupación de pasajeros y el transporte de carga son factores determinantes para la eficiencia energética de las aerolíneas, en el presente apartado se detalla cómo las aerolíneas pueden mejorar estos parámetros con el fin de aumentar su eficiencia energética.

### 3.4.1 Aerolíneas consignadas únicamente en el ranking del segmento EE. UU.-MCC

**Frontier Airlines (T-1.º: 37 pax-km/L)**, aerolínea estadounidense de ultrabajo costo que registró la mayor eficiencia energética en operaciones nacionales de EE. UU. en 2017 y 2018 (Zheng et al., 2019), operó rutas entre 10 aeropuertos estadounidenses y cinco destinos en México y el Caribe en 2018. La densidad de asientos contribuyó significativamente a la alta eficiencia energética de la aerolínea en estas rutas. La mayoría de los vuelos en el mercado EE. UU.-MCC fueron realizados por aeronaves Airbus A321 y A320-200. Al destinar a las rutas del segmento EE. UU.-MCC un mayor número de aeronaves Airbus A320neo que posee y que ha encargado, Frontier podría mejorar aún más su eficiencia energética.

**Volaris (T-1.º: 37 pax-km/L)**, una aerolínea de bajo costo, es la segunda compañía aérea más grande de México. Prestó servicios sin escalas entre 31 aeropuertos estadounidenses y 20 destinos de México, un aeropuerto en El Salvador y uno en Guatemala en 2018. Volaris usó aeronaves de consumo excepcionalmente bajo en sus rutas en el mercado EE. UU.-MCC; en concreto, más de la mitad de los RPK corresponden a aeronaves Airbus A320neo y A321neo. La sustitución de aeronaves A320 por el modelo A320neo en 2018 se tradujo en una mejora de 3 pax-km/L en su eficiencia energética. Esto representa el mayor incremento entre las aerolíneas analizadas de ambos mercados con respecto a 2017. Además, la aerolínea encargó nada menos que 80 aeronaves nuevas de la familia A320neo, cuya entrega está programada para empezar en 2022 (Volaris, 2017).

**Compañía Panameña, Copa (3.º: 35 pax-km/L)**, principal aerolínea de Panamá y miembro de Star Alliance, realizó vuelos sin escalas entre Ciudad de Panamá y 14 aeropuertos estadounidenses en 2018. En la mayoría de estos vuelos se usaron aeronaves Boeing 737-800. Copa tiene actualmente alrededor de 55 aeronaves Boeing 737 MAX encargadas, y tiene previsto aumentar el uso de aeronaves 737 MAX 9 en los vuelos desde o hacia Estados Unidos (Liu, 2018). Sin embargo, dado que aún no se han resuelto los problemas de seguridad de las aeronaves 737 MAX, este plan de renovación de flota es incierto. La compañía operó con el mayor coeficiente de ocupación de las aerolíneas que conforman el ranking del segmento EE. UU.-MCC. Actualmente, Copa está sellando un acuerdo de riesgo compartido con Avianca y United (CAPA, 2019a).

**Alaska Airlines (T-5.º: 33 pax-km/L)**, la quinta aerolínea más grande de EE. UU., cuyo principal centro de operaciones se encuentra en el Aeropuerto Internacional de Seattle-Tacoma, realizó vuelos entre ocho aeropuertos en los estados del Pacífico de EE. UU. y 12 destinos del segmento MCC en 2018. La aerolínea utilizó principalmente aeronaves Boeing 737-900ER y 737-800 en estas rutas y amplió su capacidad tras fusionarse con Virgin America, cuya flota de aeronaves Airbus A320 se utilizó en el 19 % de las salidas en 2018. Sin embargo, tras la fusión, el consumo promedio de combustible de la flota de Alaska en el mercado EE. UU.-MCC también pasó a ser el más elevado entre las aerolíneas que conforman el ranking. Pese a ello, la compañía logró alcanzar una eficiencia energética superior al promedio gracias a una densidad de asientos relativamente alta y un coeficiente de ocupación de pasajeros superior al promedio.

**Sun Country Airlines (T-5.º: 33 pax-km/L)** es una compañía estadounidense de ultrabajo costo con centro de operaciones en el Aeropuerto Internacional Minneapolis-Saint Paul. La aerolínea realizó vuelos sin escalas entre seis aeropuertos estadounidenses y 14 destinos del segmento MCC en 2018, principalmente con aeronaves Boeing 737-800. La compañía operó con la densidad de asientos más alta entre las aerolíneas que conforman el ranking EE. UU.-MCC de 2018. La reconfiguración de las aeronaves 737-800, que pasaron 166 a 176 asientos en promedio, ayudó a mejorar la eficiencia energética de la aerolínea en 2 pax-km/L en 2018.

**Aeroméxico (T-11.º: 31 pax-km/L)**, aerolínea emblemática y la más grande del país, realizó vuelos sin escalas entre 24 aeropuertos estadounidenses y siete destinos de México en 2018. La aerolínea ostenta la mayor cuota de mercado aéreo nacional e internacional en México (CAPA, 2018), y también opera en el marco de una empresa de riesgo compartido con Delta Airlines (CAPA, 2019a). Las aeronaves que utilizó con mayor frecuencia en 2018 fueron los modelos Embraer 190 y Boeing 737-800, 737-700 y 787-900. Las 54 aeronaves 737 MAX encargadas podrían ayudar a mejorar la eficiencia energética de la aerolínea, siempre y cuando se resuelvan los problemas de seguridad que presenta el modelo y se reanuden sus operaciones (Navarro, 2019).

**Southwest Airlines (T-11.º: 31 pax-km/L)**, una aerolínea estadounidense de bajo costo, prestó servicios en 27 aeropuertos estadounidenses y 14 destinos del segmento MCC en 2018, principalmente con aeronaves Boeing 737-700 y 737-800. Southwest tendió a realizar vuelos con altos coeficientes de ocupación de pasajeros y una elevada densidad de asientos. No obstante, como las aeronaves 737-700 presentan un consumo de combustible intrínsecamente mayor que el de otros modelos, la eficiencia energética total de Southwest fue inferior al promedio. El plan para sustituir las antiguas aeronaves 737-700 por otras de la serie 737 MAX podría mejorar considerablemente la eficiencia de la flota de Southwest, pero se encuentra retrasado debido a la suspensión de los permisos de vuelo de los 737 MAX (Josephs, 2019).

**Caribbean Airlines (T-13.º: 30 pax-km/L)**, aerolínea nacional y emblemática de Trinidad y Tobago, operó únicamente aeronaves Boeing 737-800 entre cuatro aeropuertos estadounidenses y ocho destinos del Caribe. Pese a haber utilizado aeronaves con menor consumo de combustible y mayor densidad de asientos frente a las cifras promedio de la industria, Caribbean registró el coeficiente de ocupación de pasajeros más bajo entre las 15 aerolíneas del segmento EE. UU.-MCC que conforman el ranking. La posible sustitución de los Boeing 737-800 por aeronaves 737 MAX 8 podría mejorar su eficiencia energética, pero Caribbean está reevaluando esa opción debido a los accidentes protagonizados por los 737 MAX (Wint, 2019).

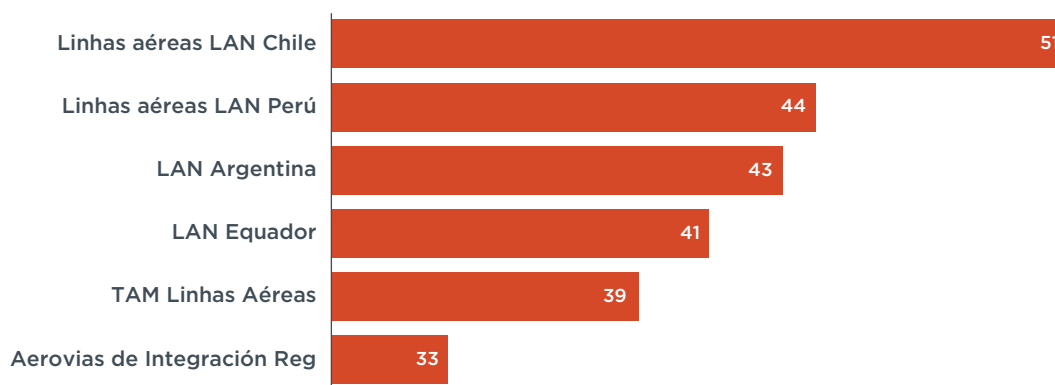
**Interjet Airlines (15.º: 28 pax-km/L)**, una aerolínea de bajo costo con sede en México, operó rutas entre 10 aeropuertos estadounidenses y siete ciudades mexicanas en 2018 usando aeronaves Airbus A320. La compañía empezó a distanciarse del modelo de bajo costo en 2018, cuando empezó a ofrecer asientos con espacio adicional para las piernas y una franquicia de equipaje más generosa (Interjet, s. f.). Sin embargo, Interjet mejoró su eficiencia energética en 2 pax-km/L entre 2017 y 2018, principalmente tras incrementar su coeficiente de ocupación de pasajeros de un 69 % a un 74 %. Debido al cambio del modelo de negocios de la aerolínea, no está claro si se mantendrá esta densidad de asientos.

### 3.4.2 Aerolíneas presentes únicamente en el ranking del segmento EE. UU.-Sudamérica

**Azul Airlines (1.º: 44 pax-km/L)** es una aerolínea de bajo costo y la tercera aerolínea más grande de Brasil. Hace poco la compañía amplió su servicio al pasar de operar solo vuelos nacionales a ofrecer vuelos internacionales sin escala. En 2018, la aerolínea utilizó aeronaves Airbus A320neo y A330-200 para prestar servicios entre dos aeropuertos de Florida y seis destinos de Brasil. La compañía se ubicó en primer lugar entre las 10 aerolíneas del mercado EE. UU.-Sudamérica gracias a la eficiencia energética de su flota, al operar con los mayores niveles de coeficiente de ocupación y de proporción del transporte de carga. La reconfiguración de los asientos de las aeronaves A330 en 2017 también ayudó a Azul a transportar más pasajeros en los mismos vuelos. La flota de Azul tiene probabilidades de seguir mejorando en el futuro próximo, ya que la aerolínea ha encargado 25 aeronaves A320neo, 10 A321neo y cuatro A330-900neo (Azul Airlines, 2019).



**LATAM Airlines (2.º: 43 pax-km/L)** es un grupo chileno con filiales en Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, Paraguay y Perú. El grupo operó rutas entre siete aeropuertos estadounidenses y 13 ciudades sudamericanas en 2018, y tiene centros de operaciones en Santiago, Lima y Bogotá. El grupo registró la segunda proporción de transporte de carga más alta entre las aerolíneas del ranking EE. UU.-Sudamérica de 2018. Las filiales operaron una flota relativamente eficiente conformada por aeronaves Boeing 767-300, 787-800/900, 777-300 y Airbus A359. La compañía podría continuar mejorando su flota mediante la inversión en nuevas aeronaves A321neo (CAPA 2019a). En el gráfico 4 se aprecia que la eficiencia energética varía entre las filiales, encabezadas por LATAM Chile, seguida de LATAM Colombia (nombre comercial de Aerovías de Integración Regional S. A.), debido en gran parte al hecho de que operan con diferentes modelos de aeronave. LATAM está sellando una alianza con Delta, que adquirió el 20 % de participación accionaria en LATAM (Rucinski, 2019).



**Gráfico 4.** Eficiencia energética en pax-km/L de las filiales de LATAM en rutas sin escalas entre EE. UU. y Sudamérica.

**Aerolíneas Argentinas (T-4.º: 34 pax-km/L)** es la más grande de Argentina y es miembro de SkyTeam, que operó vuelos sin escalas entre Buenos Aires y dos aeropuertos estadounidenses (Miami International y John F. Kennedy International) en 2018. La mayoría de estos vuelos se realizaron en aeronaves Airbus A330-200. El coeficiente promedio de ocupación de pasajeros de la compañía bajó de un 82 % en 2017 a un 76 % en 2018, principalmente en la ruta Miami-Buenos Aires. Esta merma repercutió en la eficiencia energética de la aerolínea, que cayó del tercer lugar del ranking de 2017 a un empate en el cuarto lugar en 2018, superada por Spirit y Delta.

**TAME EP Línea Aérea del Ecuador (10.º: 29 pax-km/L)**, compañía emblemática del país, prestó servicios entre dos aeropuertos de Estados Unidos y dos destinos de Ecuador en 2018, rutas en las que usó con frecuencia los modelos Airbus 330-300 y A320-200. Al figurar entre las tres principales aerolíneas que operaron sin carga en bodega en el mercado EE. UU.-Sudamérica, TAME registró la eficiencia energética más baja de este mercado, pese a tener una densidad de asientos y un consumo de combustible superiores al promedio y un coeficiente de ocupación de pasajeros cercano al nivel promedio.

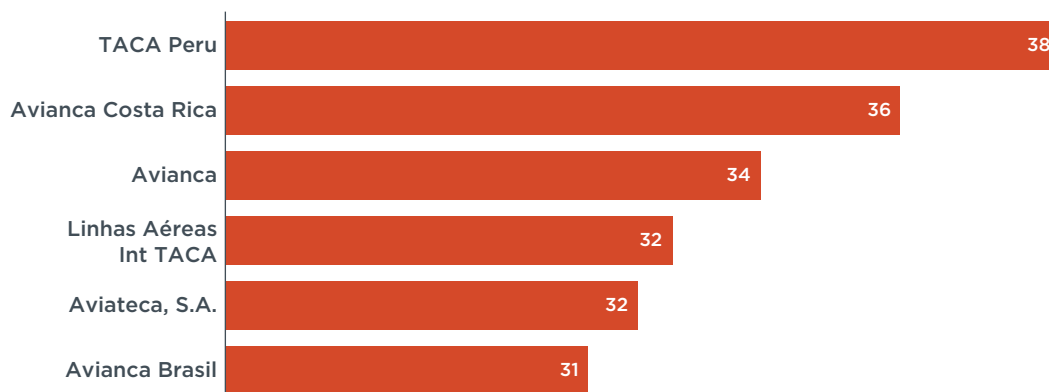
### 3.4.3 Aerolíneas en ambos rankings

**American Airlines (MCC T-13.º: 30 pax-km/L; SA T-4.º: 34 pax-km/L)**, la aerolínea más grande del mundo por RPK, ostentó la mayor participación de mercado tanto en el segmento EE. UU.-Sudamérica como en el segmento EE. UU.-MCC en 2018. La compañía utilizó principalmente aeronaves Airbus A319 y Boeing 777 entre cuatro aeropuertos estadounidenses y 21 destinos de Sudamérica. Los planes para sustituir sus antiguas aeronaves Boeing 777-200ER por aeronaves 787-900 y reemplazar los



modelos 767-300ER por aeronaves 787-800 (American Airlines, 2018) podrían mejorar la flota de la aerolínea, que registró el consumo de combustible más alto del ranking. Sin embargo, el uso reiterado de aeronaves A319 poco eficientes sería desfavorable en términos de mejora de la eficiencia energética. La aerolínea también prestó servicios entre 23 aeropuertos estadounidenses y 68 destinos del segmento MCC en 2018, principalmente con aeronaves Boeing 737-800 y Airbus A320. La eficiencia energética de American fue inferior al promedio en ambos mercados, pero podría incrementarse mejorando el coeficiente de ocupación y la disposición de los asientos.

**Avianca (MCC T-8.<sup>a</sup>: 32 pax-km/L; SA T-4.<sup>a</sup>: 34 pax-km/L)**, aerolínea emblemática de Colombia y segunda aerolínea más grande de América Latina, también es miembro de Star Alliance. En 2018 Avianca operó en 12 aeropuertos estadounidenses, siete destinos de Sudamérica y cuatro destinos del segmento MCC. La compañía utilizó aeronaves Airbus A320 y A330 en sus rutas del mercado EE. UU.-Sudamérica y únicamente aeronaves Airbus 320 en sus rutas del mercado EE. UU.-MCC. Avianca tenía encargadas más de 100 aeronaves A320neo, pero recientemente canceló 17 pedidos y pospuso otros 35 (Yeo, 2019). La compañía obtuvo resultados cercanos al promedio en ambos mercados, pese a adoptar estrategias distintas en cada uno. En concreto, Avianca utilizó aeronaves relativamente eficientes con una baja densidad de asientos en el mercado EE. UU.-Sudamérica, mientras que en el segmento EE. UU.-MCC hizo lo contrario. En el gráfico 5 se observa la variación de la eficiencia energética entre las filiales de Avianca.



**Gráfico 5.** Eficiencia energética en pax-km/L de las filiales de Avianca en rutas sin escalas entre EE. UU. y América Latina.

**Delta Air Lines (MCC T-8.<sup>a</sup>: 32 pax-km/L; SA T-4.<sup>a</sup>: 34 pax-km/L)**, una aerolínea tradicional de Estados Unidos y segunda aerolínea más grande del mundo en cuanto a RPK, en 2018 realizó vuelos entre seis aeropuertos estadounidenses y ocho ciudades de Sudamérica, y entre 30 aeropuertos estadounidenses y 41 destinos del segmento MCC. En ambos mercados, Delta operó con un coeficiente de ocupación superior al promedio, una baja densidad de asientos y aeronaves de alto consumo de combustible. Es probable que la eficiencia energética mejore a medida que la aerolínea adopte aeronaves más eficientes. Las aeronaves Boeing 767-300ER, las más usadas en las rutas sudamericanas, debieran ser reemplazadas por aeronaves Airbus A330-900neo, mientras que las aeronaves Airbus A321neo ya encargadas sustituirán los antiguos Airbus A320 a partir de 2021 (Delta, 2017; Delta, 2018).

**JetBlue Airways (MCC T-8.<sup>a</sup>: 32 pax-km/L; SA T-8.<sup>a</sup>: 33 pax-km/L)**, una importante compañía estadounidense de bajo costo, operó en cinco ciudades de Colombia, Ecuador y Perú y 29 destinos del mercado MCC en 2018. JetBlue usó principalmente aeronaves Airbus A320 en sus vuelos con destino a América Latina. La compañía

está reconfigurando sus aeronaves A320, que pasarán de 150 a 162 asientos, lo cual podría aumentar considerablemente su eficiencia energética (Yeo, 2018). La aerolínea operó con una eficiencia energética inferior al promedio en ambos mercados y tuvo la desventaja de no transportar carga en bodega en el mercado EE. UU.-Sudamérica.

**Spirit Airlines (MCC T-5.<sup>a</sup>: 33 pax-km/L; SA 3.<sup>a</sup>: 35 pax-km/L)**, aerolínea estadounidense de bajo costo con operaciones nacionales altamente eficientes, prestó servicios en ocho aeropuertos estadounidenses, 17 destinos del segmento MCC y siete ciudades de Colombia, Ecuador y Perú en 2018 con aeronaves Airbus A320. Spirit tiene un modelo de negocios de ultrabajo costo con una densidad de asientos, y registró una eficiencia energética superior al promedio tanto en el segmento EE. UU.-MCC como en el segmento EE. UU.-Sudamérica, pese a no transportar carga en bodega en sus rutas sudamericanas, que también se caracterizan por distancias de etapa relativamente cortas. Es probable que la flota de Spirit mejore en ambos mercados cuando la compañía reciba los aeronaves A320neo que ha encargado (Spirit Airlines Inc., 2018).

**United Airlines (MCC 4.<sup>a</sup>: 34 pax-km/L; SA T-8.<sup>a</sup>: 33 pax-km/L)**, tradicional compañía estadounidense y tercera aerolínea más grande del mundo, prestó servicios entre cinco aeropuertos estadounidenses y ocho destinos de Sudamérica y entre 24 aeropuertos estadounidenses y 51 destinos del segmento MCC en 2018. Algunas de las aeronaves que utilizó con mayor frecuencia en sus vuelos entre EE. UU. y América Latina fueron los modelos Boeing 767-300ER, 737 y 777-200. La aerolínea tiene previsto sustituir sus aeronaves 777-200 por algunos de los 45 Airbus A350-900 de alta eficiencia que tiene encargados (Russell, 2017).

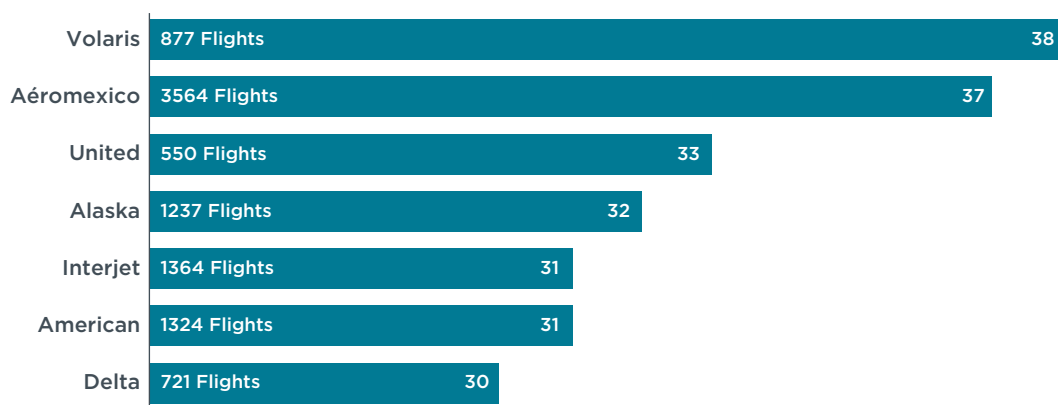
### 3.5 COMPARACIONES ENTRE RUTAS

Aparte de estos resultados destacados, hemos seleccionado las tres rutas con mayor competencia entre aerolíneas para evaluar cómo el tipo de aeronave, el coeficiente de ocupación de pasajeros y el transporte de carga inciden en la eficiencia energética.

**Los Ángeles-Ciudad de México.** La ruta del segmento EE. UU.-MCC con el mayor nivel de competencia fue Los Ángeles-Ciudad de México. En 2018, 7 aerolíneas realizaron un total de 9637 vuelos entre las dos ciudades.

Las compañías más eficientes en esta ruta emplearon distintas estrategias. Volaris utilizó aeronaves de elevada eficiencia energética Airbus A320neo en más de dos tercios de los vuelos, pese a registrar un coeficiente de ocupación de pasajeros de tan solo 72 %. Gracias a su densidad de asientos relativamente alta, Volaris también registró una alta eficiencia energética en esta ruta. Aeroméxico, por su parte, combinó la eficiencia energética moderada de sus Boeing 737-800 con un coeficiente de ocupación promedio de 85 %, y alcanzó una eficiencia energética semejante. Con 38 y 37 pax-km/L de combustible, respectivamente, los vuelos de ambas aerolíneas superaron el promedio de la ruta (34 pax-km/L) en materia de eficiencia energética.

Las demás aerolíneas que operaban esta ruta registraron un nivel de eficiencia cercano al promedio del mercado EE. UU.-MCC, de 32 pax-km/L, y tendieron a volar aeronaves Airbus A319 o A320-200 y Boeing 737-800 con bajos coeficientes de ocupación de pasajeros.

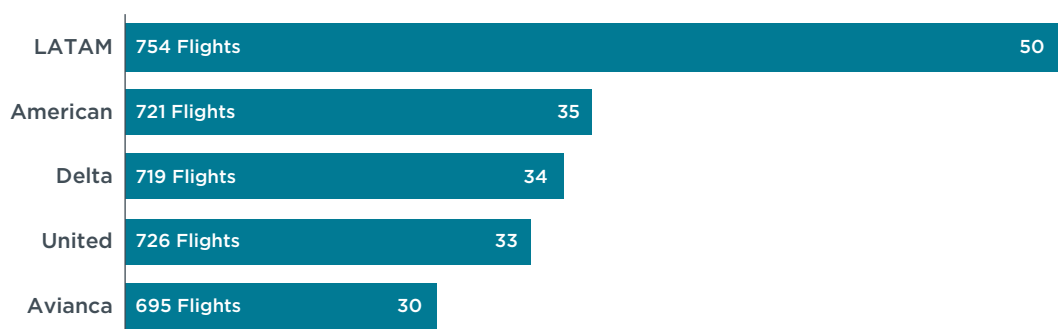


**Gráfico 6.** Eficiencia energética en pax-km/L de las aerolíneas que prestan servicios en la ruta Los Ángeles-Ciudad de México.

**Nueva York-São Paulo.** La ruta sudamericana con mayor nivel de competencia fue la que une el área metropolitana de Nueva York (JFK y Newark) con São Paulo. Cinco aerolíneas realizaron un total de 3615 vuelos entre las dos ciudades en 2018.

El tipo de aeronave utilizado desempeñó un papel decisivo en la eficiencia energética de esta ruta, como se aprecia en el gráfico 7. LATAM Airlines utilizó principalmente aeronaves Airbus A350-900 y superó la eficiencia energética de la competencia en un 44-68 %. Su elevada proporción de transporte de carga, que promedió un 40 %, ayudó a la aerolínea a registrar una alta eficiencia energética pese a su bajo coeficiente de ocupación de pasajeros promedio, que se situó en un 66 %. En el lado opuesto del espectro, Avianca usó aeronaves Airbus A330-200 en todos sus vuelos con un coeficiente de ocupación promedio de 75 % y una proporción de transporte de carga de 23 %, lo que la llevó a registrar la menor eficiencia energética de la ruta.

Cabe señalar que la eficiencia energética de los vuelos de LATAM varía mucho entre sus rutas y filiales. Por ejemplo, LATAM realizó vuelos entre EE. UU. y Brasil con una eficiencia energética que fluctuó entre los 25 y 56 pax-km/L según las aeronaves empleadas y los coeficientes de ocupación promedio.



**Gráfico 7.** Eficiencia energética en pax-km/L de las aerolíneas que cubren la ruta Nueva York-São Paulo.

**Nueva York-Santo Domingo.** Entre Estados Unidos y el Caribe, el mayor grado de competencia entre aerolíneas se observó en la ruta que une el área metropolitana de Nueva York (JFK y Newark) con Santo Domingo. Cinco aerolíneas realizaron un total de 7273 vuelos en 2018, con una variedad de aeronaves Boeing 737 y Airbus A320. American Airlines solo realizó 12 vuelos en esta ruta en 2018 y no se incluyó en el presente análisis.

La mayoría de los vuelos de esta ruta alcanzó una eficiencia energética que superó el promedio de la industria en los vuelos entre EE. UU. y MCC, debido principalmente a la adopción de aeronaves más grandes y de pasillo único como los Boeing 737-900ER de Delta, los Airbus A321 de JetBlue y los Boeing 737-900 de United. Por otro lado, Delta y United operaron esta ruta con coeficientes de ocupación promedio de un 90 % y un 91 %, respectivamente.

Sin embargo, junto con JetBlue, las tres registraron una menor eficiencia energética en las rutas más cortas entre el Caribe y los estados del sur de Estados Unidos al utilizar aeronaves regionales de menor tamaño (p. ej., Embraer 175) y modelos antiguos de aeronaves de pasillo único (p. ej., Airbus A319 y A320).



**Gráfico 8.** Eficiencia energética en pax-km/L de las aerolíneas que cubren la ruta Nueva York-Santo Domingo.

Estos análisis de rutas pueden compararse con los resultados de otras fuentes. Por ejemplo, en su calculadora de emisiones de CO<sub>2</sub>, la OACI estima el consumo de combustible promedio total por ruta a partir de una fórmula derivada de los datos de consumo que las aerolíneas estadounidenses entregan a la Dirección de Estadísticas de Transporte.<sup>9</sup> Las estimaciones obtenidas con la calculadora de emisiones de CO<sub>2</sub> de la OACI no son de utilidad para elegir las aerolíneas más eficientes en materia energética en una ruta específica. Por ejemplo, la OACI estima un consumo de combustible total de 116.4 toneladas para un viaje de ida y vuelta entre Nueva York (JFK) y São Paulo (GRU). Sin embargo, nuestro análisis arrojó que Delta consumió menos combustible en esta ruta el año pasado, con un promedio de 93 toneladas, seguida de Avianca (97 toneladas), LATAM (104 toneladas) y American (124 toneladas). Pese a los niveles de incertidumbre de ambos métodos, las grandes diferencias de consumo de combustible entre las aerolíneas demuestran la necesidad de contar con información específica para cada aerolínea.

<sup>9</sup> La calculadora de emisiones de carbono de la OACI está disponible en <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>.

## 4. CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS

### 4.1 CONCLUSIONES

En el ranking de 15 aerolíneas principales que operan vuelos sin escalas hacia destinos del segmento MCC, se observa una brecha moderada de 32 % entre los niveles de eficiencia energética de las compañías que ocupan el primer y el último lugar de la lista. Frontier y Volaris, dos aerolíneas de bajo costo, compartieron el primer lugar pese a emplear distintas estrategias. Por su parte, Frontier usó aeronaves Airbus A321 y A320 relativamente eficientes con una alta densidad de asientos, mientras que Volaris utilizó principalmente aeronaves A320neo, que registraron el menor consumo de combustible de 2018. Interjet, situada en último lugar, registró la eficiencia energética más baja en los vuelos hacia el segmento EE. UU.-MCC, con 28 pax-km/L, al usar una flota Airbus A320-200 con bajos coeficientes de ocupación.

Entre las 10 principales aerolíneas que operan rutas del mercado EE. UU.-Sudamérica, se observa una amplia brecha de 52 % entre el líder del sector (Azul) y la aerolínea que ocupa el último lugar (TAME) en términos de eficiencia energética. Dos aerolíneas latinoamericanas registraron resultados sobresalientes en esta materia: Azul, que alcanzó el coeficiente de ocupación y la proporción de transporte de carga más elevados, y LATAM, que destacó por sus aeronaves eficientes y su alta proporción de carga. TAME realizó los vuelos con menor eficiencia energética hacia destinos sudamericanos, con 29 pax-km/L sin carga en bodega. El principal factor en la brecha de eficiencia energética en el mercado EE. UU.-América Latina es la proporción del transporte de carga, seguida del consumo de combustible de las aeronaves y la densidad de asientos, que, sumados, representan más del 80 % de la variación en la eficiencia energética de las aerolíneas.

A grandes rasgos, se observa que las aerolíneas con combinaciones muy variadas de aeronave, de coeficientes de ocupación de pasajeros, de transporte de carga y de configuración de asientos registran eficiencias energéticas similares. En el mercado EE. UU.-Sudamérica, cuatro aerolíneas promediaron 34 pax-km/L: Delta, Aerolíneas Argentinas, Avianca y American. Estas compañías tendieron a registrar resultados sólidos en uno de los cuatro parámetros operacionales principales. Por ejemplo, Avianca y American utilizaron aeronaves de bajo consumo de combustible, mientras que Delta y Aerolíneas Argentinas presentaron una mayor densidad de asientos,

La brecha de eficiencia energética en el segmento EE. UU.-MCC equivale tan solo a la mitad de la brecha observada en nuestros rankings transpacífico y trasatlántico. La brecha del mercado EE. UU.-Sudamérica también es levemente inferior a la que se observa en los otros dos rankings. El promedio de eficiencia energética del mercado EE. UU.-Sudamérica superó en 3 pax-km/L el del mercado trasatlántico y en 6 pax-km/L el del mercado transpacífico. La diferencia se debe principalmente a flotas que, en promedio, registran un menor consumo de combustible.

La adopción de aeronaves de fuselaje ancho más eficientes, como los Airbus A350 y los Boeing 787, puede ayudar a mejorar aún más la eficiencia energética del mercado EE. UU.-América Latina. A medida que aumente la demanda de transporte aéreo, se comprarán más aeronaves nuevas. Los modelos como el A350, el 787 y el A330neo, al igual que los modelos en proceso de desarrollo, como el 777X, con el tiempo dominarán la flota mundial de fuselaje ancho. Independientemente de los demás factores, las aerolíneas equipadas con aeronaves que consumen menos combustible tienden a registrar una mayor eficiencia energética, aunque los parámetros operacionales como el transporte de carga en bodega también son importantes y han de ser monitoreados.

La OACI, que funge como fiscalizador de facto de la aviación comercial en todo el mundo, fijó como meta una mejora anual de 2 % en la eficiencia energética de las aerolíneas. Pese a haber elaborado un estándar de eficiencia energética para las nuevas aeronaves (Kharina & Rutherford, 2017), la OACI aún no ha adoptado una normativa obligatoria que fomente el incremento de la eficiencia en la flota existente. Es probable que el objetivo de la OACI de lograr un crecimiento neutro en carbono a partir de 2020 se logre mediante la compensación de emisiones de carbono, y no mediante una mejora en la eficiencia de las aeronaves o la adopción de combustibles alternativos (Pavlenko, 2018). Por lo demás, se ha observado que, pese a ser un factor importante, los precios de los combustibles por sí solos son un factor irregular de eficiencia energética en la industria de la aviación (Kharina, McDonnell & Rutherford, 2015). Es probable que se necesiten otras políticas para fomentar la reducción de las emisiones en la flota actualmente en operación con miras a cumplir las metas climáticas a largo plazo del sector.

## 4.2 PRÓXIMOS PASOS

En el presente estudio, se presentó nuestro primer análisis de eficiencia energética de las aerolíneas que operan entre Estados Unidos y América Latina. A medida que el mercado crezca, la puesta al día del ranking ayudará a evaluar la evolución del mercado en materia de eficiencia energética a raíz de la ampliación y la renovación de la flota, el incremento de la conectividad mediante acuerdos de riesgo compartido (*joint ventures*) y el crecimiento sostenido de las aerolíneas de bajo costo.

Además, seguiremos trabajando con el Departamento de Transportes de EE. UU. y nuestro proveedor de datos con el fin de garantizar que las aerolíneas entreguen datos operacionales fidedignos que permitan elaborar los futuros rankings de eficiencia energética. Por último, suponiendo que haya una estrecha colaboración con las aerolíneas que forman parte del ranking, nuestra metodología podrá pasar de un método de modelado a un análisis de datos primarios de consumo de combustible de todas las aerolíneas con el fin de abarcar el abanico completo de medidas operacionales que inciden en la eficiencia energética de las aerolíneas (Zou, Elke & Hansen, 2012).

## REFERENCIAS

- Administración Federal de Aviación de EE. UU. (2015). *Part 121 flag operations, supplemental operations outside the contiguous states, and extended overwater operations*. Recuperado de <http://fsims.faa.gov/PICDetail.aspx?docId=8900.1Vol.3.Ch25.Sec4>
- Airline Data, Inc. (2019). [Datos de aerolíneas comerciales de EE. UU.]. Recuperado de <http://www.airlinedata.com/>
- American Airlines. (2018). *American Airlines expands Boeing 787 fleet*. Recuperado de <http://news.aa.com/news/news-details/2018/American-Airlines-Expands-Boeing-787-Fleet/default.aspx>
- Asociación Internacional de Carga Aérea. (2018). *Airfreight fortunes flying high in Latin America*. Recuperado de <https://tiaca.org/home/airfreight-fortunes-flying-high-in-latin-america/>
- Azul Airlines. (2019). *Azul accelerates its fleet transformation in 2019*. Recuperado de <https://www.prnewswire.com/news-releases/azul-accelerates-its-fleet-transformation-in-2019-300790733.html>
- Baker, M. (2019). *Latin America's aviation industry is changing thanks to LCCs*. *Business Travel News*. Recuperado de <https://www.businesstravelnews.com/Transportation/Air/Latin-Americas-Aviation-Industry-Is-Changing-Thanks-to-LCCs>
- Bureau of Transportation Statistics (BTS), Departamento de Transportes de EE. UU. (2018). *Air carrier statistics (Form 41 Traffic) – All carriers [Database]*. Recuperado de [https://www.transtats.bts.gov/Tables.asp?DB\\_ID=111](https://www.transtats.bts.gov/Tables.asp?DB_ID=111)
- CAPA - Centre for Aviation. (2018). *Aeromexico outlines Mexico market share for Jun-2018*. Recuperado de <https://centreforaviation.com/news/aeromexico-outlines-mexico-market-share-for-jun-2018-831463>
- CAPA - Centre for Aviation. (2019a). *US-to-Latin America aviation: JVs and LCCs change the dynamics*. Recuperado de <https://centreforaviation.com/analysis/reports/us-to-latin-america-aviation-jvs-and-lccs-change-the-dynamics-459113>
- CAPA - Centre for Aviation. (2019b). *Latin American aviation outlook: Uncertainty blankets 2019*. Recuperado de <https://centreforaviation.com/analysis/airline-leader/latin-american-aviation-outlook-uncertainty-blankets-2019-457923>
- Delta. (2017). *Delta selects Airbus A321neo for narrowbody fleet renewal*. Recuperado de <https://news.delta.com/delta-selects-airbus-a321neo-narrowbody-fleet-renewal>
- Delta. (2018). *Delta orders 10 additional A330-900neos to replace older widebody jets, facilitate measured growth*. Recuperado de <https://news.delta.com/delta-orders-10-additional-a330-900neos-replace-older-widebody-jets-facilitate-measured-growth>
- FlightAscend Consultancy. (2017). *Ascend Fleets [Aviation database]*. Recuperado de <https://www.flightglobal.com/products/fleets-analyzer/>
- Gelles, D. (2019, 28 de octubre). *Boeing 737 Max: What's happened after the 2 deadly crashes*. *The New York Times*. Recuperado de <https://www.nytimes.com/interactive/2019/business/boeing-737-crashes.html>
- Graver, B. & Rutherford, D. (2018a). *Transpacific airline fuel efficiency ranking, 2016*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/transpacific-airline-fuel-efficiency-ranking-2016>
- Graver, B. & Rutherford, D. (2018b). *Transatlantic airline fuel efficiency ranking, 2017*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Transatlantic\\_Fuel\\_Efficiency\\_Ranking\\_20180912.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Transatlantic_Fuel_Efficiency_Ranking_20180912.pdf)



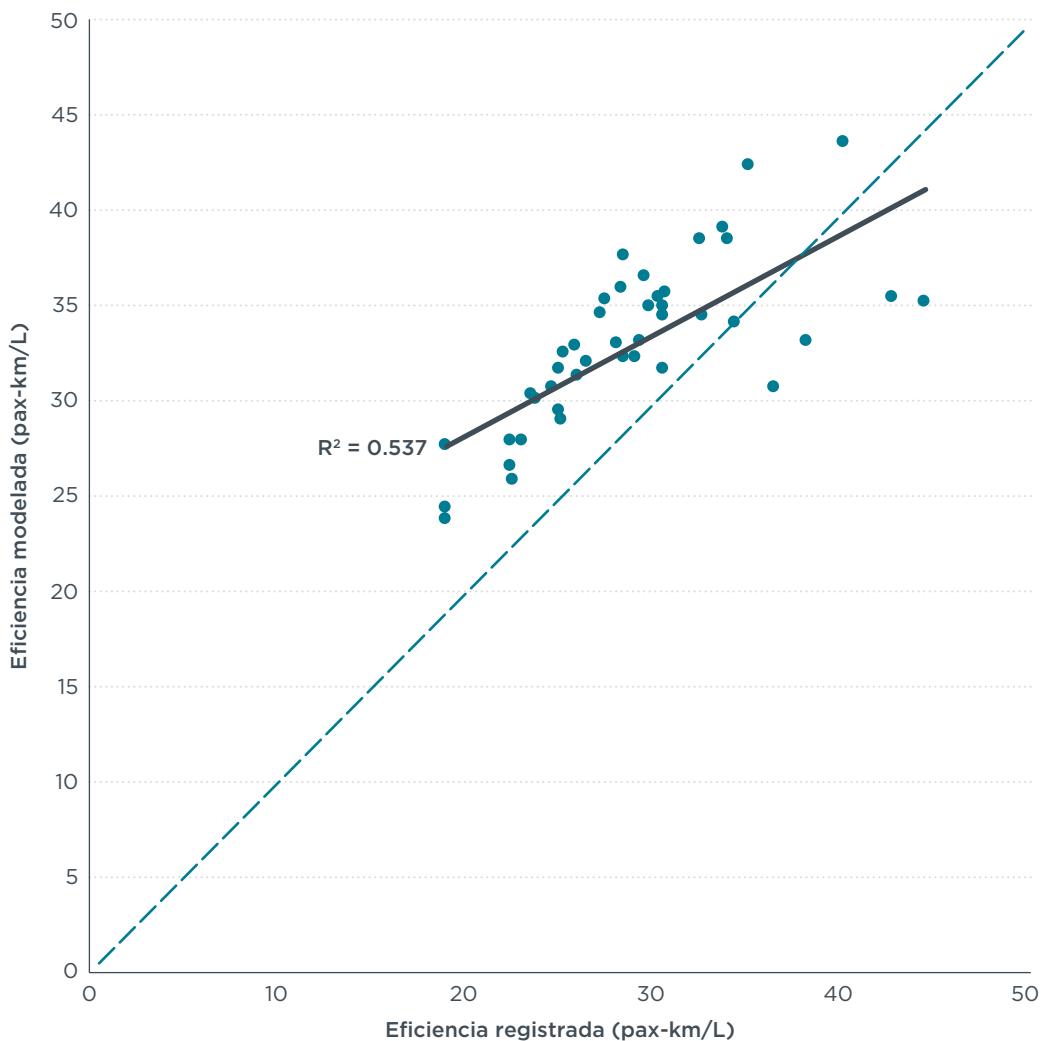
- Graver, B., Zhang, K. & Rutherford, D. (2019). *CO<sub>2</sub> emissions from commercial aviation, 2018*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/publications/co2-emissions-commercial-aviation-2018>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1999). Comparisons of present-day and 2015 forecast emissions inventories (NASA, ANCAT/EC2, and DLR). In Penner, J., Lister, D., Griggs, D., Dokken, D. & McFarland, M. (Eds.), *Aviation and the Global Atmosphere* (Section 9.3.4). Recuperado de <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/137.htm>
- Interjet Airlines. (s. f.). Interjet experience: We are different! Recuperado de <https://www.interjet.com/en-us/fly-with-us/we-are-different>
- Josephs, L. (2019, 16 de julio). *Boeing 737 Max grounding hits Southwest's pilot hiring*. CNBC. Recuperado de <https://www.cnbc.com/2019/07/16/boeing-737-max-grounding-hits-southwests-pilot-hiring.html>
- Kharina, A., McDonnell, T. & Rutherford, D. (2015). *Fuel efficiency trends for new commercial jet aircraft: 1960 to 2014*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, <https://www.theicct.org/publications/fuel-efficiency-trends-new-commercial-jet-aircraft-1960-2014>
- Kharina, A. & Rutherford, D. (2017). *International Civil Aviation Organization's CO<sub>2</sub> standard for new aircraft*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT-ICAO\\_policy-update\\_revised\\_jan2017.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT-ICAO_policy-update_revised_jan2017.pdf)
- Kwan, I., Rutherford, D. & Zeinali, M. (2014). *U.S. domestic airline fuel efficiency ranking, 2011–2012*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, <https://www.theicct.org/publications/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2011%E2%80%932012>
- Kwan, I. & Rutherford, D. (2014). *U.S. domestic airline fuel efficiency ranking, 2013*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/publications/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2013>
- Kwan, I. & Rutherford, D. (2015). *Transatlantic airline fuel efficiency ranking, 2014*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/transatlantic-airline-efficiency-2014>
- Liu, J. (2018, 17 de septiembre). *Copa Airlines outlines planned 737 MAX 9 network from late-Sep 2018*. Recuperado de Routes Online, <https://www.routesonline.com/news/38/airlineroute/280579/copa-airlines-outlines-planned-737-max-9-network-from-late-sep-2018/>
- Lissys Ltd. (2017). Piano 5 for Windows [Software de modelado de aeronaves]. Recuperado de <http://www.lissys.demon.co.uk/Piano5.html>
- Navarro, A. (2019, 1 de agosto). *Airbus and Embraer to face off for Aeromexico's small-jet deal*. Recuperado de Bloomberg, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-08-01/airbus-embraer-to-face-off-as-aeromexico-revamps-regional-fleet>
- Olmer, N. & Rutherford, D. (2017). *U.S. domestic airline fuel efficiency ranking, 2015–2016*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/publications/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2015-16>
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2017). *ICAO carbon emissions calculator methodology*. Recuperado de [https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator\\_v10-2017.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v10-2017.pdf)



- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2018). *ICAO long-term traffic forecasts*. Recuperado de [https://www.icao.int/sustainability/Documents/LTF\\_Charts-Results\\_2018edition.pdf](https://www.icao.int/sustainability/Documents/LTF_Charts-Results_2018edition.pdf)
- Pavlenko, N. (2018). *ICAO's CORSIA scheme provides a weak nudge for in-sector carbon reductions*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/blog/staff/corsia-carbon-offsets-and-alternative-fuel>
- Rucinski, T. (2019, 26 de septiembre). Delta to buy 20% of LATAM for \$1.9 billion in regional shake-up. *Reuters*. Recuperado de <https://www.reuters.com/article/us-latam-airlines-m-a-delta-air/delta-to-buy-20-of-latam-for-1-9-billion-in-regional-shake-up-idUSKBN1WB2UZ>
- Russell, E. (2017, 6 de septiembre). *United to replace 777-200s with A350s*. Recuperado de Flight Global, <https://www.flightglobal.com/news/articles/united-to-replace-777-200s-with-a350s-440887/>
- Rutherford, D. (2013). *International Civil Aviation Organization's CO<sub>2</sub> certification requirement for new aircraft*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate\\_ICAO\\_CO2cert\\_aug2013a.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_ICAO_CO2cert_aug2013a.pdf)
- Spirit Airlines Inc. (2018). 2018 Form 10-K. Recuperado de <http://ir.spirit.com/Cache/396731595.pdf>
- Volaris. (2017, 15 de noviembre). *Volaris commits to 80 A320neo family aircraft*. Recuperado de <http://ir.volaris.com/English/news-and-events/press-releases/press-release-details/2017/Volaris-commits-to-80-A320neo-Family-aircraft/default.aspx>
- Wint, B. (2019). *Caribbean Airlines still undecided about 737 MAX 8 leases*. Recuperado de Gate Checked website, <https://www.gatechecked.com/caribbean-airlines-undecided-737-max-8-leases-1331>
- Yeo, G. (2018, 2 de mayo). JetBlue rolls out first A320 with new cabin interior. Recuperado de Flight Global, <https://www.flightglobal.com/news/articles/pictures-jetblue-rolls-out-first-a320-with-new-cabi-448267/>
- Yeo, G. (2019, 15 de marzo). *Avianca cancels 17 A320neo family aircraft, defers 35*. Recuperado de Flight Global, <https://www.flightglobal.com/news/articles/avianca-cancels-17-a320neo-family-aircraft-defers-3-456700/>
- Zeinali, M., Rutherford, D., Kwan, I. & Kharina, A. (2013) *U.S. domestic airline fuel efficiency ranking, 2010*. Recuperado de International Coalition on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2010>
- Zheng, X., Graver, B. & Rutherford, D. (2019). *U.S. domestic airline fuel efficiency ranking, 2017-2018*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, [www.theicct.org/publications/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2017-18](http://www.theicct.org/publications/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2017-18)
- Zou, B., Elke, M. & Hansen, M. (2012). *Evaluating air carrier fuel efficiency and CO<sub>2</sub> emissions in the U.S. airline industry*. Recuperado de International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/evaluating-air-carrier-fuel-efficiency-and-co2-emissions-us-airline-industry>

## APÉNDICE A: VALIDACIÓN DEL MODELO

El modelo de consumo de combustible elaborado con la metodología descrita en el apartado 2 se validó usando datos de consumo de combustible que nueve aerolíneas estadounidenses entregaron a la Dirección de Estadísticas de Transporte (BTS, 2018) para cada tipo de aeronave utilizada en las rutas entre EE. UU. y América Latina.<sup>10</sup> La eficiencia energética promedio de cada tipo de aeronave se calculó directamente a partir de estos datos y se comparó con la eficiencia energética del modelo, lo cual permitió evaluar la incertidumbre introducida por el modelado del consumo de combustible con Piano por medio de supuestos estandarizados de los parámetros operacionales. Se incluyó un total de 44 combinaciones de aerolíneas y tipos de aeronave en el análisis de validación del modelo, que se muestra en el gráfico A1.



**Gráfico A1.** Eficiencia energética registrada por las aerolíneas en comparación con la eficiencia modelada, 2018.

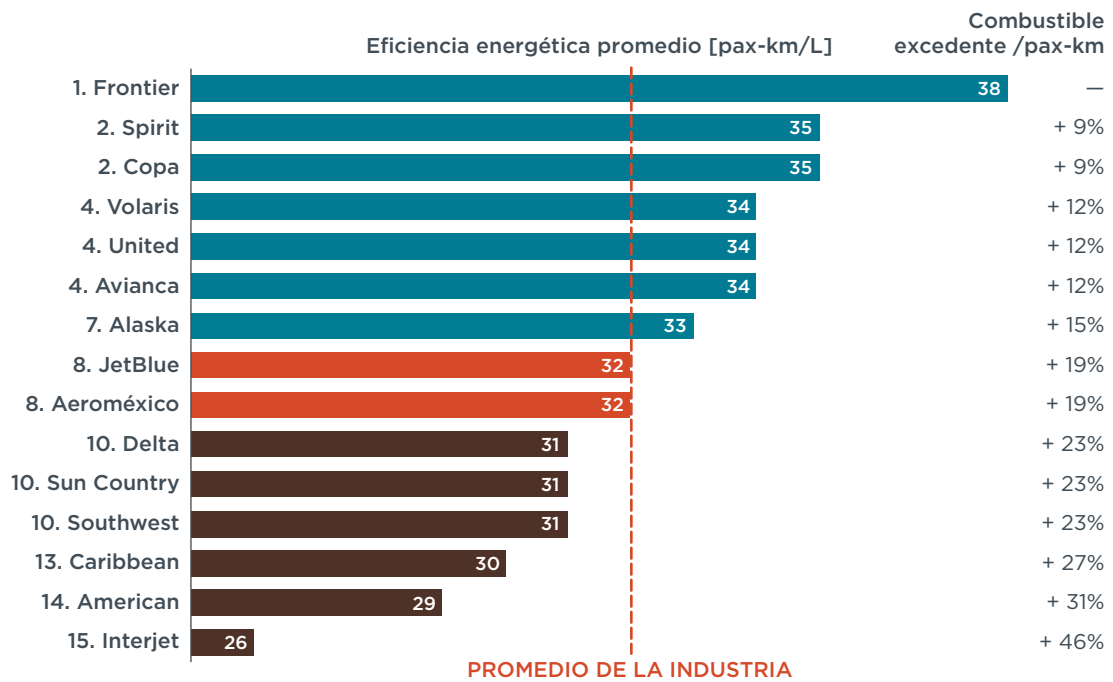
<sup>10</sup> Las aerolíneas estadounidenses son Alaska Airlines, American Airlines, Delta Air Lines, Frontier Airlines, JetBlue Airways, Southwest Airlines, Spirit Airlines, Sun Country Airlines y United Airlines. En la validación se incluyeron únicamente tipos de aeronaves con más de 500 salidas al año.

De los resultados de esta validación se desprende que nuestro método de modelado es sólido y adecuado a efectos de comparar la eficiencia energética relativa de las operaciones entre EE. UU. y América Latina. Aunque el modelo sobreestima la eficiencia energética en comparación con los datos de consumo de combustible entregados en alrededor de un 20 %, se observó una buena coincidencia lineal ( $R^2$  de 0.54). Además, los resultados de esta validación se condicen en gran medida con los del informe titulado *Aviation and the Global Atmosphere* ("La aviación y la atmósfera mundial") del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.<sup>11</sup> Por lo tanto, es poco probable que se produzcan cambios importantes en los rankings si se modifican los parámetros de modelado.

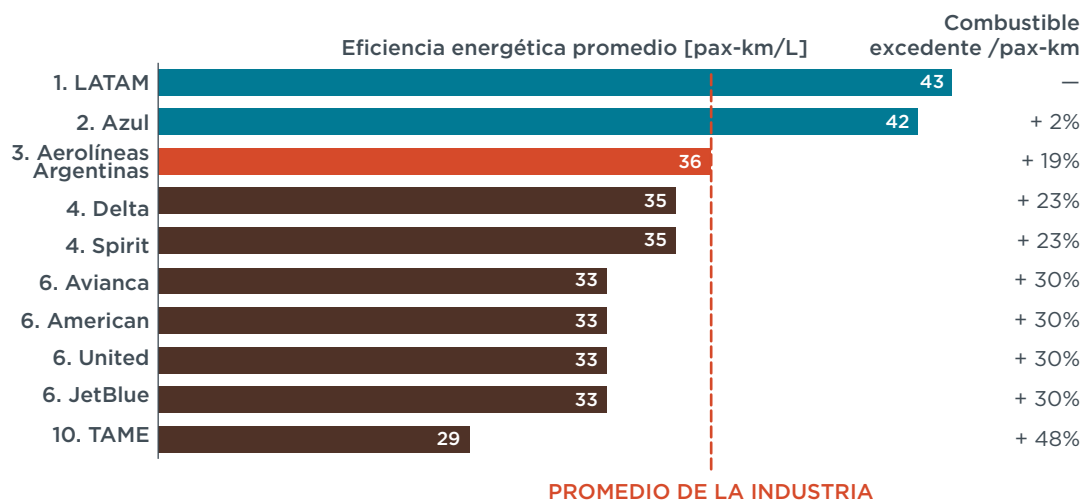
---

11 "La suposición de grandes trayectos ortodrómicos redundan en una subestimación de la distancia recorrida en vuelo. La combinación de los factores [p. ej., desviación de la distancia ortodrómica, retraso, deterioro de turbina, entre otros] se traduce en una subestimación sistémica del consumo total de combustible en torno a un 15-20 % en el caso de las operaciones nacionales". (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 1999)

## APÉNDICE B: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MERCADO EE. UU.-AMÉRICA LATINA EN 2017



**Gráfico B1a.** Eficiencia energética de 15 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-MCC, 2017.



**Gráfico B1b.** Eficiencia energética de 10 grandes aerolíneas del mercado EE. UU.-Sudamérica, 2017.

En el gráfico B1a se muestran los promedios de eficiencia energética de 15 grandes aerolíneas que operaron rutas entre EE. UU. y MCC en 2017. La eficiencia promedio de consumo de combustible de la industria se situó en 32 pax-km/L. La aerolínea estadounidense Frontier realizó los vuelos más eficientes entre EE. UU. y el segmento MCC, con un promedio de eficiencia energética de 38 pax-km/L, un 19 % más que el promedio de la industria. Interjet se ubicó en último lugar al consumir en promedio un 46 % más de combustible por pasajero-kilometro que Frontier. Esta brecha se estrechó considerablemente en 2018, tal como se describió en el apartado 3.1.

En el gráfico B1b se muestran los promedios de eficiencia energética de 10 grandes aerolíneas que operaban rutas entre EE. UU. y Sudamérica en 2017, donde el promedio

de la industria se situó en 36 pax-km/L. El grupo chileno LATAM encabezó el ranking de eficiencia energética en este mercado con un promedio de 43 pax-km/L, un 19 % más que el promedio de la industria. Azul le siguió de cerca con una eficiencia energética promedio de 43 pax-km/L. En tanto, la aerolínea ecuatoriana TAME ocupó el último lugar del ranking con un consumo promedio de combustible por pasajero-kilometro un 48 % mayor que el de Azul.

**Tabla B1a.** Parámetros operacionales de aeronaves en el mercado EE. UU.-MCC, 2017.

Categoría	Aerolínea	Coefficiente de ocupación de pasajeros	Proporción de transporte de carga sobre total de toneladas-km	Densidad de asientos total (asientos/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Consumo de combustible <sup>b</sup>
1	Frontier	81 %	0 %	1.71	+7 %
T2	Spirit	81 %	0 %	1.68	+4 %
T2	Copa	86 %	3 %	1.50	+5 %
T4	Volaris	78 %	0 %	1.66	+2 %
T4	United	84 %	1 %	1.54	+4 %
T4	Avianca	85 %	3 %	1.41	+6 %
7	Alaska	81 %	0 %	1.54	+10 %
T8	JetBlue	83 %	0 %	1.43	+4 %
T8	Aeroméxico	77 %	4 %	1.48	+3 %
T10	Delta	86 %	2 %	1.49	+10 %
T10	Sun Country	74 %	0 %	1.59	+5 %
T10	Southwest	80 %	0 %	1.73	+5 %
13	Caribbean	71 %	3 %	1.48	+5 %
14	American	79 %	1 %	1.43	+6 %
15	Interjet	69 %	0 %	1.41	+7 %
<b>Promedio de la industria</b>		<b>81 %</b>	<b>1 %</b>	<b>1.51</b>	<b>+6 %</b>

<sup>a</sup>Asientos por metro cuadrado de FGR. Véase la nota 7 en pie de página para obtener más detalles.

<sup>b</sup>Margen promedio de la aeronave en relación con el estándar de emisiones de CO<sub>2</sub> de la OACI. Véase la nota 7 en pie de página para obtener más detalles.

**Tabla B1b.** Parámetros operacionales de aeronaves en el mercado EE. UU.-Sudamérica, 2017.

Categoría	Aerolínea	Coefficiente de ocupación de pasajeros	Proporción de transporte de carga sobre total de toneladas-km	Densidad de asientos total (asientos/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Consumo de combustible <sup>b</sup>
1	LATAM	87 %	29 %	1.09	-1 %
2	Azul	93 %	33 %	1.04	+2 %
3	Aerolíneas Argentinas	82 %	24 %	1.13	+3 %
T4	Delta	87 %	17 %	1.08	+4 %
T4	Spirit	84 %	0 %	1.65	+5 %
T6	Avianca	84 %	14 %	1.12	+2 %
T6	American	78 %	21 %	0.98	+5 %
T6	United	80 %	22 %	1.00	+4 %
T6	JetBlue	86 %	0 %	1.40	+4 %
10	TAME	80 %	0 %	1.18	+1 %
<b>Promedio de la industria</b>		<b>83 %</b>	<b>22 %</b>	<b>1.06</b>	<b>+3 %</b>

<sup>a</sup>Asientos por metro cuadrado de FGR. Véase la nota 7 en pie de página para obtener más detalles.

<sup>b</sup>Margen promedio de la aeronave en relación con el estándar de emisiones de CO<sub>2</sub> de la OACI. Véase la nota 7 en pie de página para obtener más detalles.

Entre 2017 y 2018, el consumo promedio de combustible de una aeronave entre rutas de EE. UU. y el segmento EE. UU.-MCC disminuyó (mejoró) de un 5.6 % a un 4.8 %, según mediciones realizadas en función del estándar de emisiones de CO<sub>2</sub> de la OACI. Durante es periodo, los valores promedio del coeficiente de ocupación de pasajeros, la densidad de asientos y la proporción del transporte de carga se mantuvieron relativamente constantes. Volaris y Delta fueron las aerolíneas que más mejoraron su flota durante estos dos años.

En el caso del mercado EE. UU.-Sudamérica, no se observaron grandes variaciones en los coeficientes de ocupación de pasajeros, la densidad de asientos y la proporción del transporte de carga entre 2017 y 2018, exceptuando una disminución significativa del coeficiente de ocupación de determinadas aerolíneas, tal como se señaló anteriormente. Por último, se observa una mejora muy modesta en la diferencia por exceso entre las emisiones promedio de CO<sub>2</sub> del mercado EE. UU.-Sudamérica con respecto al estándar de la OACI, que bajó de un 2.9 % en 2017 a un 2.8% en 2018, debido a que no hubo grandes iniciativas de modernización de flotas durante el período.