

## **Estudio comparativo entre rutas ATS y RNAV para vuelos entre principales aeropuertos de cabotaje de Argentina**

**Nahuel Tomassini, Edwin Alejandro Puebla Neira, Mariano Eduardo Bonopera**

UIDET GTA, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

[tomassininahuel@gmail.com](mailto:tomassininahuel@gmail.com), [alejandro87.puebla@gmail.com](mailto:alejandro87.puebla@gmail.com),  
[mariano.bonopera@gmail.com](mailto:mariano.bonopera@gmail.com)

### **Abstract**

El continuo crecimiento de la aviación origina sucesivos aumentos en la capacidad de la infraestructura del aeropuerto, como así también, la necesidad de optimización del espacio aéreo. Al mismo tiempo, la navegación aérea ha ido evolucionando en el tiempo con la inclusión de nuevos equipamientos (y por ende nuevos procedimientos), permitiendo así a las aeronaves un vuelo más seguro y eficiente. Con la llegada de tecnologías basadas en posicionamiento satelital (GNSS), se ha logrado la operación con una precisión cada vez mayor, permitiendo de esta manera optimizar las rutas de vuelo (ICAO, 2005). Esto implica reducción de tiempos de vuelo (Nakamura & Royce, 2008), consumo de combustible, emisiones gaseosas, impacto acústico (Hogenhuis, Hebly & Visser, 2008), carga de trabajo para los controladores y pilotos (Sprong, Haltli, DeArmon & Suzanne, 2005).

La mejora de la eficiencia operativa derivada de la aplicación de navegación de área (RNAV), y los requisitos que se definen en términos de exactitud, integridad, disponibilidad, continuidad y funcionalidad, necesarios para las operaciones propuestas en el contexto de un concepto de espacio aéreo en particular (ICAO, 2008), permiten un uso más eficiente del espacio aéreo, sin afectar la seguridad de las operaciones aéreas.

El presente trabajo se desarrolla dentro del marco de referencia que componen organismos internacionales de referencia respecto de cambio climático (IPCC, 2014; Naciones Unidas, 1992) y aviación (ICAO, 1999), comprometidos con el desarrollo armonizado y económicamente viable de la actividad.

Es dentro de este marco, que se plantea en el presente trabajo; calcular las distancias recorridas por aeronaves en rutas seleccionadas, determinar el consumo de combustible promedio en vuelo normal y sin novedades en base a criterio de consumo de la EEA (2013), y en base a esto determinar la cantidad de

HC, CO y NO<sub>x</sub> por ruta. Asimismo, se plantea realizar un análisis comparativo para los destinos seleccionados en rutas ATS y RNAV.

En base al movimiento de aeronaves se toma como aeropuerto de origen al Aeroparque "Jorge Newbery" de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y como aeropuertos de destino a los aeropuertos de Córdoba, Iguazú, Mendoza, Bariloche y Salta.

Mediante el uso de Cartas de Navegación, Manual de Operación de la aeronave y una metodología establecida por la EEA (2013) se cuantifican las distancias recorridas, tiempo de vuelo, consumo de combustible y emisiones gaseosas asociadas, generadas en el normal funcionamiento y uso de aerovías comerciales regulares por parte de la aeronave seleccionada para así comparar con las rutas RNAV.

Se utilizará para el desarrollo de este trabajo una aeronave del tipo Boeing B737-800, considerando, tanto para el despegue como la aproximación, trayectorias con un ángulo de elevación constante, situación que refleja con suficiente precisión los procedimientos estándares utilizados actualmente.

**Palabras clave:** Ruta ATS; RNAV; Medio ambiente; Beneficios; Aerolíneas.

## 1. Introducción

Actualmente la aviación civil comercial en Argentina presenta un sostenido crecimiento, grabando valores positivos que acompañan a los observados en el resto de la región. Según datos de la Asociación Latinoamericana y del Caribe de Transporte Aéreo (ALTA) el tráfico de pasajeros creció un 5,4% en 2014, y en el primer semestre del año en el país se observó un alza en la cantidad de pasajeros transportados del 5%.

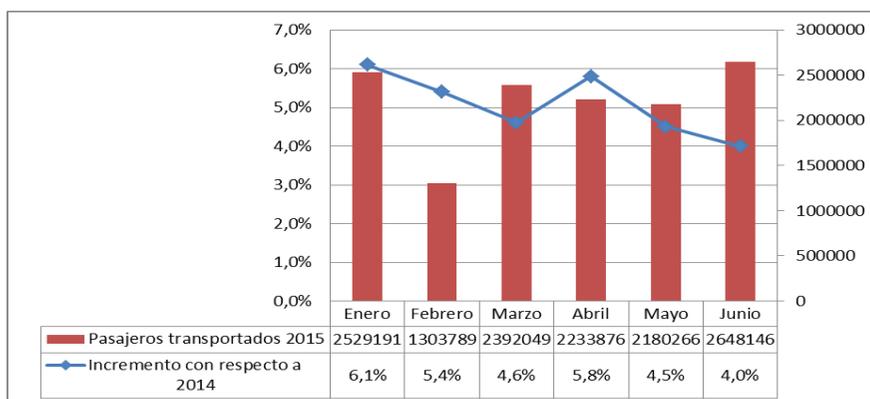


Gráfico 1. Transporte de pasajeros en Argentina durante el primer semestre de 2015

Por otro lado, la puesta en marcha de nuevo material de vuelo produce un salto cualitativo en la prestación de servicios de transporte aerocomercial, pero a su vez optimiza las operaciones debido al uso de nuevas tecnologías. Por ejemplo, Aerolíneas Argentinas el principal operador de cabotaje del país incrementó significativamente su flota pero a su vez redujo la edad promedio de la misma de 25 años a los actuales 8,5 ([www.airleets.net](http://www.airleets.net)).

Este continuo crecimiento de la aviación origina sucesivos aumentos en la capacidad de la infraestructura aeroportuaria, como así también, la necesidad de optimización del espacio aéreo. Al mismo tiempo, la navegación aérea ha ido evolucionando en el tiempo con la inclusión de nuevos equipamientos (y por ende nuevos procedimientos), permitiendo así a las aeronaves un vuelo más seguro y eficiente. Con la llegada de tecnologías basadas en posicionamiento satelital (GNSS), se ha logrado la operación con una precisión cada vez mayor, permitiendo de esta manera optimizar las rutas de vuelo (ICAO, 2005). Esto implica reducción de tiempos de vuelo (Nakamura & Royce, 2008), consumo de combustible, emisiones gaseosas, impacto acústico (Hogenhuis et al., 2008), carga de trabajo para los controladores y pilotos (Sprong et al., 2005).

La mejora de la eficiencia operativa derivada de la aplicación de navegación de área más conocida por su sigla en inglés RNAV, y los requisitos que se definen en términos de exactitud, integridad, disponibilidad, continuidad y funcionalidad, necesarios para las operaciones propuestas en el contexto de un concepto de espacio aéreo en particular (ICAO, 2008), permiten un uso más eficiente del espacio aéreo, sin afectar la seguridad de las operaciones aéreas.

El presente trabajo se desarrolla dentro del marco de referencia que componen organismos internacionales de referencia respecto de cambio climático (IPCC, 2014; Naciones Unidas, 1992) y aviación (ICAO, 1999), comprometidos con el desarrollo armonizado y económicamente viable de la actividad.

Es dentro de este marco, que se plantea en la presente publicación; calcular las distancias recorridas por aeronaves en rutas seleccionadas, determinar el consumo de combustible promedio en vuelo normal y sin novedades en base a criterio de consumo de la EEA (2013), y en base a esto determinar la cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) e hidrocarburos no quemados por ruta. Asimismo, se plantea realizar un análisis comparativo para los destinos seleccionados en rutas ATS y RNAV tomando los parámetros antes mencionados.

En base al movimiento de aeronaves se toma como aeropuerto de origen al Aeroparque "Jorge Newbery" de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y como aeropuertos de destino a los aeropuertos de Córdoba, Iguazú, Mendoza, Bariloche y Salta.

Mediante el uso de Cartas de Navegación, Manual de Operación de la aeronave y una metodología establecida por la EEA (2013) se cuantifican las distancias recorridas, tiempo de vuelo, consumo de combustible y emisiones gaseosas asociadas, generadas en el normal funcionamiento y uso de aerovías comerciales regulares por parte de la aeronave seleccionada para así comparar con las rutas RNAV.

Se utilizará para el desarrollo de este trabajo una aeronave del tipo Boeing B737-700, considerando, tanto para el despegue como la aproximación, trayectorias con un ángulo de elevación constante, situación que refleja con suficiente precisión los procedimientos estándares utilizados actualmente.

## 2. Desarrollo

Las rutas RNAV entraron en plena vigencia el año 2007 (Disposición CRA, 2007), por lo que llevar adelante un estudio cuantitativo sobre la diferencia entre el esquema actual y el futuro en términos del aporte contaminante será útil para visualizar un escenario futuro en términos de la actividad aeronáutica en el país.

Al ser ésta una evaluación cuantitativa no se tomará en cuenta las frecuencias, sino que se van a contrastar vuelo a vuelo obteniendo de allí los valores buscados.

Mediante el uso de Cartas de Navegación, Manual de Operación de la aeronave y una metodología establecida por la EEA (2013) se cuantifican las distancias recorridas, tiempo de vuelo, consumo de combustible y emisiones gaseosas asociadas, generadas en el normal funcionamiento y uso de aerovías comerciales regulares por parte de la aeronave seleccionada para así comparar con las rutas RNAV.

### 2.1 Selección de la aeronave

Podemos dividir al mercado de cabotaje local en dos grupos: aerolíneas con vuelos regulares y aerolíneas con vuelos no regulares en sus programaciones. En el primer conjunto de operadores aéreos encontramos a Aerolíneas Argentinas, Austral, LAN Argentina, Sol, Andes y SAPSA. Por otro lado, cuando hablamos de aerolíneas con vuelos no regulares podemos mencionar a Mac Air y LAPSA, este último grupo de compañías aéreas no será considerado en el análisis por su escasa contribución al esquema de vuelos regulares en el país. A continuación, mostramos un resumen de la flota activa que opera en Argentina sirviendo a los vuelos de cabotaje de forma regular.

La aeronave con mayor presencia en el mercado es a su vez miembro de la flota de la compañía con mayor cantidad de vuelos ofrecidos. Estas dos cualidades inclinan la balanza a favor del Boeing 737-700 motorizado con dos CFM567B. Una vez obtenida nuestra aeronave representativa con una planta de poder asociada podemos dar paso al análisis de las rutas propuestas para el estudio.

| Compañía              | Aeronave                | Cantidad | Planta Motriz |
|-----------------------|-------------------------|----------|---------------|
| Aerolíneas Argentinas | Boeing 737-700          | 24       | CFM567B       |
| Aerolíneas Argentinas | Boeing 737-800          | 14       | CFM567B       |
| Austral Líneas Aéreas | Embraer 190             | 22       | GE CF34-10E6  |
| LAN Argentina         | Airbus 320-200          | 12       | IAE V2527E-AE |
| Andes Líneas Aéreas   | McDonnell Douglas MD-80 | 3        | JT8D-217C     |

Tabla 1. Distribución de flota de cabotaje regular en Argentina

## 2.2 Selección de Rutas

Los destinos fueron seleccionados en función de la cantidad de pasajeros y movimientos de aeronaves que operan en los aeropuertos nacionales. Para ello se emplearon estadísticas del año 2014 publicadas en la web del Organismo Regulador del Sistema Nacional Aeroportuario (ORSNA).

Analizando dicha información, se observa que los aeropuertos con mayor actividad son: Aeroparque, Córdoba, Mendoza, Iguazú y Salta. Además, se tiene en cuenta la configuración de las rutas aéreas en el país, donde se aprecia que existe una centralización hacia la ciudad de Buenos Aires, por lo que se resalta la conveniencia de plantear el análisis tomando como centro tipo “hub” al Aeropuerto Internacional Jorge Newbery.

El esquema de rutas actual fue consultado en el sitio web de la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC) donde se encuentran las cartas de navegación y aerovías actualizadas.

## 2.3 Definición de niveles de vuelo

En las rutas argentinas, los niveles de vuelo que se utilizan para los trayectos dependen del radial seleccionado en el que se desarrollará el vuelo. De esta manera, si el mismo tiene dirección entre 0 y 179 grados se utilizan los niveles de vuelo impares, y si tiene dirección entre 180 y 359 grados, se utilizan los niveles de vuelo pares.

En la Imagen 1 podemos observar en resumen lo mencionado anteriormente tanto para vuelos RVSM como los que no lo son.

A su vez, se realiza una comparación de optimización de los niveles de vuelo, donde para la aeronave seleccionada se realiza una búsqueda del nivel de vuelo óptimo para vuelo RNAV, dependiendo de la distancia entre los aeropuertos que tiene que recorrer la aeronave. Para ello se emplea la Tabla adjunta en el anexo [anexo que corresponde] la cual es (que Tabla es y de donde sale) obteniendo entonces valores más cercanos a los seleccionados para cumplir los verdaderos trayectos.

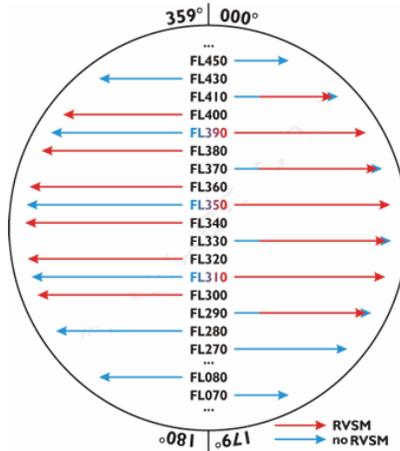


Imagen 1. Definición de niveles de vuelo según radial seleccionado

Obtenemos entonces la siguiente Tabla:

| Origen | Destino | Dirección (grados) | Distancia (nm) | Niveles de vuelo |
|--------|---------|--------------------|----------------|------------------|
| SABE   | SACO    | 310                | 355.5          | 260-280          |
| SABE   | SARI    | 17                 | 567.7          | 370-390          |
| SABE   | SAME    | 275                | 530.4          | 380              |
| SABE   | SAZS    | 236                | 723.8          | 380              |
| SABE   | SASA    | 314                | 703.1          | 380              |
| SACO   | SABE    | 123                | 352.2          | 270              |
| SARI   | SABE    | 198                | 567.7          | 380              |
| SAME   | SABE    | 102                | 530.4          | 370-390          |
| SAZS   | SABE    | 58                 | 723.8          | 370-390          |
| SASA   | SABE    | 149                | 703.1          | 370-390          |

Tabla 2. Niveles de vuelo de las rutas seleccionadas

Para aquellos vuelos que poseen dos valores en sus niveles de vuelo se seleccionará el menor.

## 2.4 Distancia recorrida en rutas ATS y RNAV

A través del uso de las cartas aeronáuticas, publicadas por la Autoridad Aeronáutica local (ANAC), y software de obtención de rutas se las distancias recorridas en las rutas propuestas. Los niveles de vuelo determinados en el punto anterior son de importancia para obtener la trayectoria total recorrida por la aeronave en la etapa de despegue, ascenso, vuelo crucero, descenso y aproximación final para rutas ATS y RNAV. Se empleó la herramienta de acceso

libre Route Finder para establecer los puntos de verificación que vectorizan las aerovías en cuestión. Previamente se verificó la utilidad de esta herramienta web comparando sus valores con aerovías conocidas nacionales y de la región.

A continuación, se muestra a modo resumen la Tabla que contiene las distancias recorridas para cada uno de los vuelos seleccionados para el presente estudio:

| Origen | Destino | Distancia ATS [nm] | Distancia RNAV [nm] | Diferencia ATS/RNAV [nm] | Porcentaje de incremento ATS/RNAV |
|--------|---------|--------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| SABE   | SACO    | 355.5              | 355.5               | 0                        | 0.00%                             |
| SABE   | SARI    | 603.1              | 567.7               | 35.4                     | 5.87%                             |
| SABE   | SAME    | 531.5              | 530.4               | 1.1                      | 0.21%                             |
| SABE   | SAZS    | 776.5              | 723.8               | 52.7                     | 6.79%                             |
| SABE   | SASA    | 727.8              | 703.1               | 24.7                     | 3.39%                             |
| SACO   | SABE    | 352.2              | 352.2               | 0                        | 0.00%                             |
| SARI   | SABE    | 594.3              | 567.7               | 26.6                     | 4.48%                             |
| SAME   | SABE    | 602.5              | 530.4               | 72.1                     | 11.97%                            |
| SAZS   | SABE    | 747.5              | 723.8               | 23.7                     | 3.17%                             |
| SASA   | SABE    | 745.3              | 703.1               | 42.2                     | 5.66%                             |

Tabla 3. Distancias recorridas por vuelo

Podemos observar disminuciones en los recorridos cercanos al 12% en los vuelos de cabotaje planteados, cuestión no menor si consideramos las frecuencias propias de cada compañía que efectúan dichos tramos. El ahorro en combustible y por ende la baja en el aporte de emisiones acústicas y gaseosas serán finalmente los factores que señalen la importancia de este avance en cuanto a la performance de vuelo.

Existen rutas donde la diferencia es 0% y esto se debe a que la ruta RNAV diseñada no sufrió modificaciones con respecto a la original ATS.

## 2.5 Consumo de combustible

A partir de determinar la distancia de vuelo para cada una de las rutas, se realiza el cálculo de consumo de combustible asociado a cada una de ellas. Para ello se emplea el método de la European Environmental Agency (EEA) el cual luego de estudiarlo en profundidad se concluyó su validez para el ámbito nacional, debido a que muchos de los vuelos que se utilizaron para evaluar y determinar su metodología de cálculo tienen rasgos similares a los trayectos seleccionados para la elaboración del presente trabajo.

Por lo tanto, para la aeronave elegida, los consumos de combustible son los que se muestran en la siguiente Tabla:

| Origen / destino | Distancia ATS [nm] | Consumo de combustible ATS | Distancia RNAV [nm] | Consumo de combustible RNAV |
|------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| SABE/SACO        | 355,5              | 1741,9                     | 355,5               | 1741,9                      |
| SABE/SARI        | 603,1              | 2926,8                     | 567,7               | 2757,4                      |
| SABE/SAME        | 531,5              | 2584,1                     | 530,4               | 2578,9                      |
| SABE/SAZS        | 776,5              | 3756,5                     | 723,8               | 3504,3                      |
| SABE/SASA        | 727,8              | 3523,5                     | 703,1               | 3405,3                      |
| SACO/SABE        | 352,2              | 1726,1                     | 352,2               | 1726,1                      |
| SARI/SABE        | 594,3              | 2884,6                     | 567,7               | 2757,4                      |
| SAME/SABE        | 602,5              | 2923,9                     | 530,4               | 2578,9                      |
| SAZS/SABE        | 747,5              | 3617,8                     | 723,8               | 3504,3                      |
| SASA/SABE        | 745,3              | 3607,2                     | 703,1               | 3405,3                      |

Tabla 4. Consumos de combustible por tramos

De forma comparativa se expone el siguiente gráfico donde podemos apreciar la disminución del combustible debido a la utilización de las rutas RNAV. En promedios generales, y en aquellos tramos en los que existe diferencia, la diferencia en el consumo es alrededor del 6.5%.

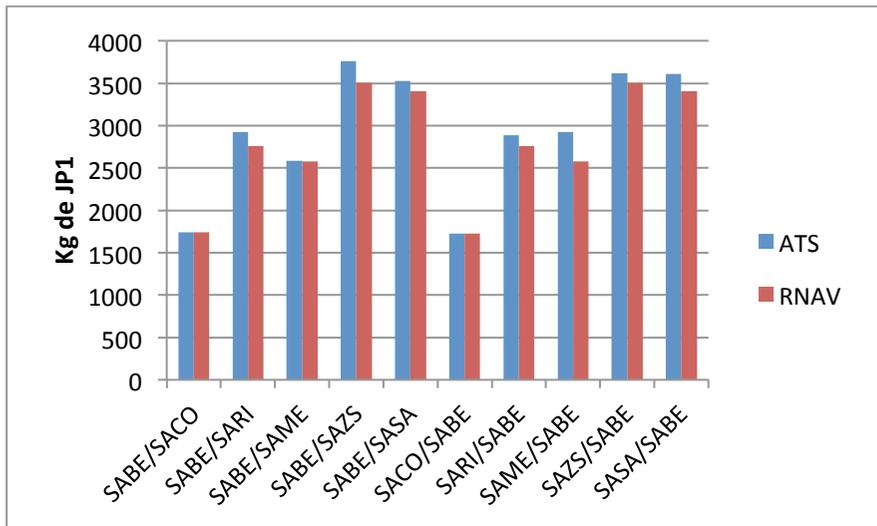


Gráfico 2. Diferencias en consumo ATS vs. RNAV

## 2.6 Emisiones Gaseosas

Finalmente, nos abocaremos a desarrollar el indicador que permite obtener un panorama respecto a emisiones gaseosas en cada ruta seleccionada y su posterior contrastación propuesta inicialmente.

Pasamos entonces a mostrar en la siguiente Tabla los valores finales de emisiones contaminantes para los gases más representativos y a los cuales más atención se les debe prestar con el objetivo de reducirlos: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y HC.

| Origen / destino | ATS     |          |                      | RNAV    |          |                      |
|------------------|---------|----------|----------------------|---------|----------|----------------------|
|                  | HC [Kg] | Nox [Kg] | CO <sub>2</sub> [Kg] | HC [Kg] | NOx [Kg] | CO <sub>2</sub> [Kg] |
| SABE/SACO        | 0,3     | 20,8     | 5487,1               | 0,3     | 20,8     | 5487,1               |
| SABE/SARI        | 0,5     | 34,8     | 9219,5               | 0,5     | 32,8     | 8685,8               |
| SABE/SAME        | 0,5     | 30,7     | 8140,2               | 0,5     | 30,7     | 8123,6               |
| SABE/SAZS        | 0,7     | 44,6     | 11833,3              | 0,6     | 41,6     | 11038,9              |
| SABE/SASA        | 0,7     | 41,8     | 11099,2              | 0,6     | 40,4     | 10726,9              |
| SACO/SABE        | 0,3     | 20,6     | 5437,4               | 0,3     | 20,6     | 5437,4               |
| SARI/SABE        | 0,5     | 34,3     | 9086,8               | 0,5     | 32,8     | 8685,8               |
| SAME/SABE        | 0,5     | 34,8     | 9210,4               | 0,5     | 30,7     | 8123,6               |
| SAZS/SABE        | 0,7     | 43,0     | 11396,2              | 0,6     | 41,6     | 11038,9              |
| SASA/SABE        | 0,7     | 42,8     | 11363,0              | 0,6     | 40,4     | 10726,9              |

Tabla 5. Emisiones gaseosas resultants

Luego, de forma comparativa se expone en el siguiente gráfico las emisiones totales por vuelo de dióxido de carbono, tanto para rutas ATS como RNAV:

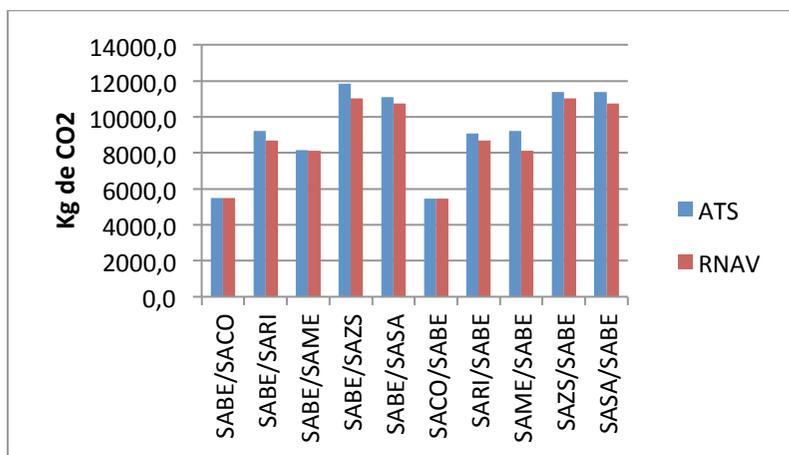


Gráfico 3. Diferencias en emisiones gaseosas ATS vs. RNAV

### 3. Conclusiones

La premisa de la implementación de las RNAV es la disminución en el consumo, Y por ende el descenso en la carga contaminante debido a la actividad aerocomercial. Aquí podemos ver en magnitudes tales ideas que incentivan a utilizar este tipo de tecnología en los espacios aéreos controlados de las naciones.

El decremento en la quema de hidrocarburos se encuentra en torno al 6.5%, un logro que a los fabricantes de aeronaves les llevaría años de innovación en cuanto a nuevos materiales, aerodinámica y performance de vuelo. Obteniendo entonces la industria un salto sustancial en el ahorro económico que ello significa, a su vez colaborando con las actuales políticas de mitigación de emisiones acústicas y gaseosas.

Es sabido que instalar este tipo de rutas en el país demanda un gran esfuerzo por parte de los explotadores de aeronaves y las autoridades competentes en cuanto a instalar nuevos sistemas de ayuda a la navegación y capacitar al personal. Esfuerzos que tendrán su recompensa futura por los beneficios que ya fueron mencionados. Además, este cambio en cuanto a la configuración del espacio aéreo controlado y la forma en la cual se desarrollan los vuelos en los cielos Argentinos es un paso más en la búsqueda de niveles de emisiones de gases efecto invernadero tan bajos como los propuestos por OACI en escenarios futuros.

### 4. Referencias

ANAC <http://www.anac.gov.ar/anac/web/index.php/2/311/informacion-aeronautica/aip>

Disposición CRA N° 55/2007]

EEA European Environmental Agency. (2013). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Hogenhuis, R., Hebly, S., Visser, H. (2008). *Optimization of RNAV noise abatement arrival trajectories*. ICAS 2008, 1-9.

<http://rfinder.asalink.net/free/>

ICAO (1999). *Environmental Protection*. Recuperado el 16 de Junio de 2015, de ICAO: <http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/default.aspx>

ICAO (2005). *Doc. 9849 AN/457: Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual*. Quebec: ICAO.

ICAO (2008). *Doc. 9613 Performance based Navigation (PBN) Manual*. Quebec: ICAO.

IPCC (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: IPCC.

Naciones Unidas (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. NY: Naciones Unidas .

Nakamura, D., Royce, W. (2008). Operational Benefits of Performance-Based Navigation. *Aeromagazine*, 13-21.

ORSNA [http://www.orsna.gov.ar/estadisticas/Estad%C3%ADstica\\_2014.pdf](http://www.orsna.gov.ar/estadisticas/Estad%C3%ADstica_2014.pdf)

Sprong, K., Haltli, B., DeArmon, J., Suzanne, B. (2005). *Improving flight efficiency through terminal area RNAV*. Virginia: The MITRE Corporation.

[www.airleets.net](http://www.airleets.net)