

# **RUIDO AERONÁUTICO EN OPERACIONES AEROPORTUARIAS UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULACIÓN**

**Gastón Santoiani<sup>a</sup>, Juan I. D'Iorio<sup>a</sup>, Alejandro Di Bernardi<sup>a</sup>**

*<sup>a</sup>Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Argentina, [gta@ing.unlp.edu.ar](mailto:gta@ing.unlp.edu.ar), <http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/>*

**Palabras Clave:** Ruido, Aerocomercial, Motores, Aeropuerto, Ambiente

**Resumen.** Se ha llevado a cabo una serie de simulaciones mediante el software Integrated Noise Model (INM) a partir de datos de tráfico aéreo de la República Argentina. El fin es estudiar diferentes alternativas para mejorar la situación actual con respecto a la contaminación sonora que se produce en algunos de los aeropuertos de nuestro país.

En primera instancia se analizaron las huellas obtenidas con la métrica DNL. La misma es la que se utiliza para certificar análisis de ruido aeroportuario. Tiene en cuenta las operaciones diarias a lo largo de un año y se ponderan los niveles de ruido en función de varios parámetros, a saber: potencia, tipo de motor, horario de la operación, configuración de la aeronave en despegue y aterrizaje, etc.

Luego, para obtener un parámetro de comparación directa con el ruido ambiente, se hicieron corridas para aeronaves críticas de distintos aeropuertos utilizando la métrica SEL.

Una vez conocidas las huellas, se cambiaron diferentes condiciones que sirven de entrada para así intentar obtener un indicio de cuáles son los más significativos a la hora de reducir el impacto sobre el medio ambiente. De esta manera se obtiene una especie de matriz de elementos sensibles que puede ser utilizada para el diseño de las mejoras citadas.

## 1 ACRÓNIMOS Y SÍMBOLOS UTILIZADOS

INM: Integrated Noise Model

FAA: Federal Aviation Administration

DNL: Day-Night Sound Level (Nivel Día-Noche)

SEL: Sound Exposure Level (Nivel de exposición de sonido)

mn: millas náuticas

dB: decibeles

SID: Standard Instrumental Departure

OACI: Organización de Aviación Civil Internacional

MTOW: Maximum Take-Off Weight (Peso máximo de despegue)

## 2 INTRODUCCIÓN

Las métricas de ruido (medición del sonido) consisten en tres diferentes bloques: nivel de presión de ruido, medido en decibeles [dB], frecuencia o paso del sonido y el tiempo. Los niveles de presión del sonido para varias frecuencias para un tiempo dado son combinados usualmente en un espectro de frecuencias. Así surgen las diferentes clases de métricas:

- Niveles de ruido máximo de un evento aislado.
- Dosis de energía de un evento aislado.
- Métricas de energía promedio acumulada.
- Métricas de tiempo acumulado.

En este caso se utilizaron dos métricas: la DNL, que es la métrica estándar especificada por FAA para determinar la exposición acumulada al ruido en el entorno aeroportuario ([AC 150/5020-1](#)); y la SEL, que es una métrica utilizada para medir un evento particular (dosis de energía).

La métrica DNL fue desarrollada para predecir los efectos en la población a la exposición al ruido a largo plazo. Tiene en cuenta la duración y magnitud del mismo, integrado durante un período de 24 horas. Se divide este en 3 etapas: diaria, de 7 a 19; tarde, de 19 a 22; y noche, de 22 a 7. Se le agrega a esta última una corrección al valor obtenido de 10 dB para contemplar la incomodidad adicional que implica en la población.

En el caso de la métrica SEL, es una medida de la duración y magnitud de un solo evento, determinada como nivel de ruido corregido para reducir la influencia de bajas y altas frecuencias (A-weighted). Se mide por sobre un nivel de umbral especificado que es al menos 10 dB por debajo del valor máximo. Se presenta a continuación en la **Figura 1**, un gráfico comparativo con valores de ruido:

W/m <sup>2</sup>		db
10	Motor a reacción	130
1	Nivel de dolor	120
10 <sup>-1</sup>	Banco de prueba de motores	110
10 <sup>-5</sup>	Tráfico gran ciudad	70
10 <sup>-6</sup>	Conversación ordinaria	60
10 <sup>-9</sup>	Oficina privada	30
10 <sup>-11</sup>	Murmullo de hojas	10
10 <sup>-12</sup>	Umbral de audición de un joven 1000 hz	0

Figura 1 – Valores comparativos de niveles de ruidos

### 3 DESARROLLO

Este estudio se realizó partiendo de la base del análisis de ruido del Aeropuerto Internacional de Ezeiza “Ministro Pistarini”.

#### 3.1 Generalidades

Para el análisis de ruido se tuvieron en cuenta los siguientes datos de entrada e hipótesis de trabajo:

- Temperatura y presión estándar, o sea 15 °C y 1013,2 hPa.
- Viento de proa de 8 nudos (valor estándar para el INM).
- Se analizaron todos los movimientos por la pista 11 únicamente.
- Se asignaron los motores disponibles en el INM para cada aeronave.
- Aproximación: proyección recta de 10 mn a partir del umbral de la pista.
- Salida: proyección de la SID hasta las 10 mn.

A continuación se presentan dos gráficos con las proyecciones de la aproximación y de la salida utilizadas en las simulaciones, además de la marcación de puntos específicos donde se calcularon valores de ruido en dB. En la **Figura 2** se puede observar las proyecciones completas hasta una distancia de 10 nm de radio. En la **Figura 3** se observa una ampliación de **Figura 2** la en el entorno aeroportuario, donde se visualizan de mejor manera los puntos en las inmediaciones del mismo.

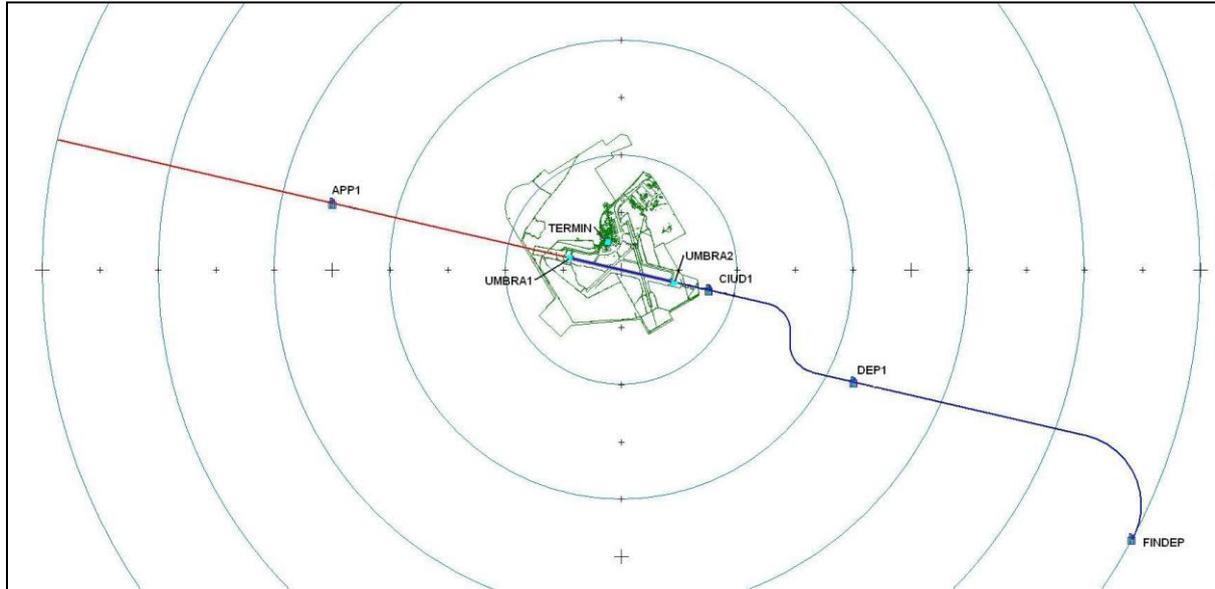


Figura 2 - Puntos de medición de ruido, aproximaciones y salidas.

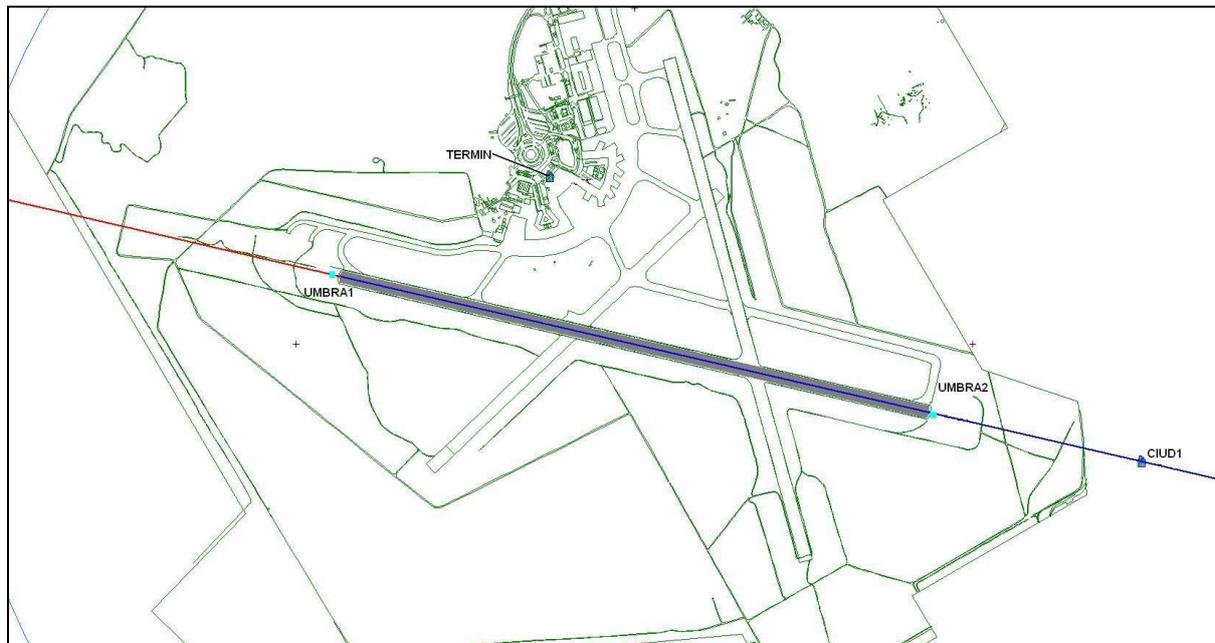


Figura 3 - Puntos de medición de ruido, aproximaciones y salidas.

En los diagramas anteriores se observan, además, varios puntos específicos con nombre. En estos se han calculado los valores específicos de ruido para cada una de las corridas de las distintas métricas, para luego realizar una comparación cuantitativa de la atenuación lograda con la manipulación de cada una de las variables sensibles.

### 3.2 Análisis con métrica DNL

Se obtiene un promedio anual con este tipo de métrica. A continuación se presentan las variables sensibles las cuales fueron modificadas para obtener las diferentes huellas de ruido:

- Peso de despegue.
- Operaciones diurnas y nocturnas.
- Tipo de procedimiento de despegue.

Se muestra a continuación en la **Tabla 1** resumen con los movimientos del día pico mencionado (no se muestra el tipo de operación y horario, aunque se tuvieron en cuenta para el análisis):

Aeronave	Operaciones	Aeronave	Operaciones
<b>Fokker 100</b>	8	<b>ATR 72</b>	3
<b>Airbus A310-300</b>	3	<b>Beechcraft Baron</b>	2
<b>Airbus A319</b>	4	<b>Pilatus BN-2A/B</b>	2
<b>Airbus A320</b>	45	<b>Cessna 560</b>	2
<b>Airbus A321</b>	2	<b>Cessna Citation S/II</b>	2
<b>Airbus A330-200</b>	2	<b>Embraer 110 Bandeirante</b>	1
<b>Airbus A340-200</b>	2	<b>Gulfstream II</b>	2
<b>Airbus A340-300</b>	2	<b>Gulfstream IV</b>	1
<b>Airbus A340-600</b>	4	<b>Lear Jet 35</b>	1
<b>Boeing 727-200</b>	2	<b>MD82</b>	2
<b>Boeing 737-200</b>	5	<b>MD83</b>	1
<b>Boeing 737-300</b>	4	<b>PA-31 Cheyenne</b>	1
<b>Boeing 737-500</b>	36	<b>PA-31-310 Navajo</b>	3
<b>Boeing 737-800</b>	8	<b>PA-34-200T Seneca II</b>	7
<b>Boeing 737-700</b>	16	<b>Metro III</b>	2
<b>Boeing 747-200</b>	1	<b>Metro IV</b>	2
<b>Boeing 747-400</b>	8	<b>ATR 72</b>	3
<b>Boeing 767-300</b>	30	<b>Beechcraft Baron</b>	2
<b>Boeing 777-200</b>	13		

Tabla 1 - Movimientos del día pico

El programa contempla tres distintos procedimientos de despegue: estándar, OACI A y OACI B. Las diferencias entre ellos radican en la configuración de la potencia, flaps/slats, velocidades y tasa de ascenso.

A continuación se observan las graficas con las huellas de ruido obtenidas para cada una de las corridas realizadas para este tipo de métrica.

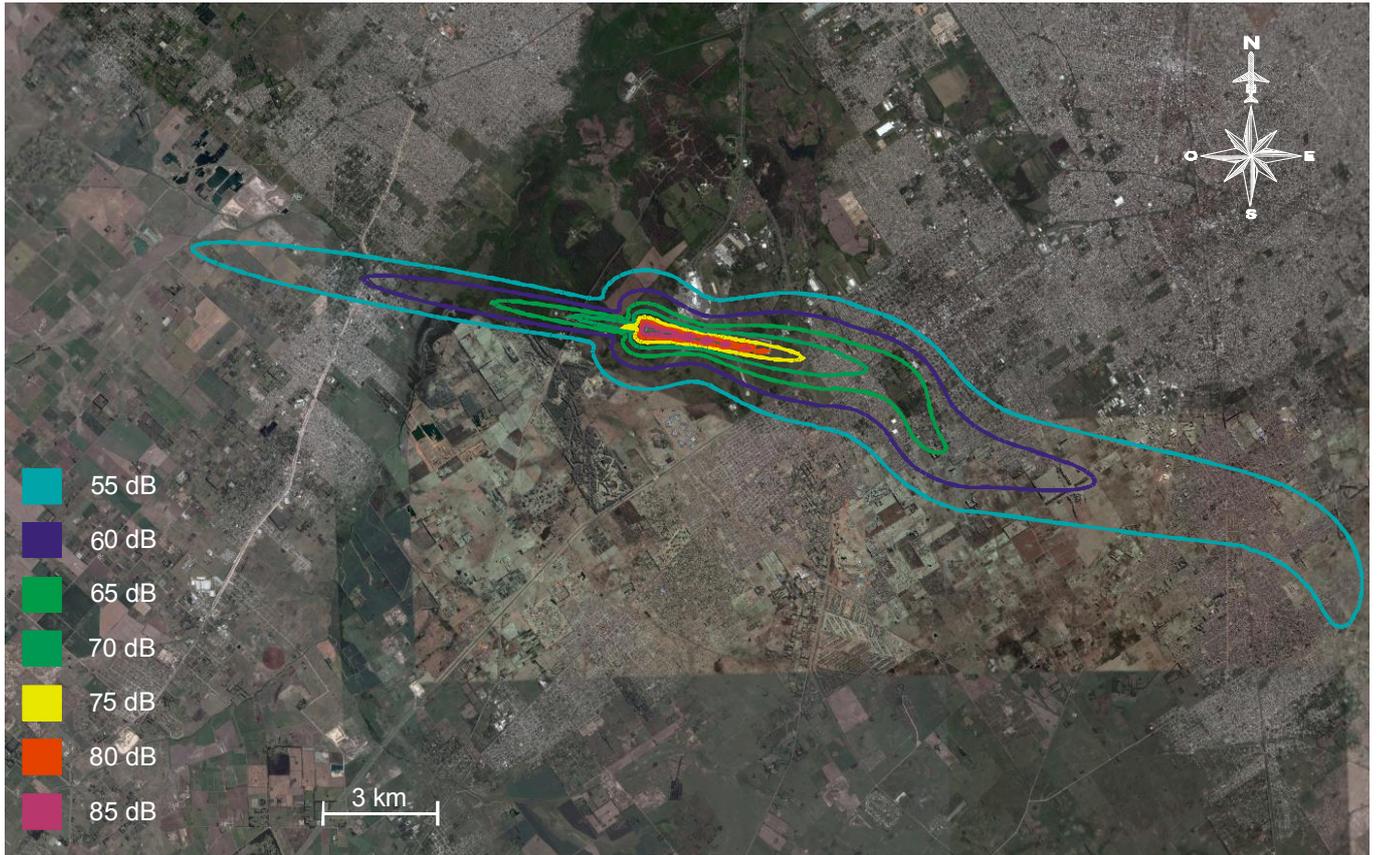


Figura 4 - MTOW, operaciones diurnas y nocturnas y procedimiento estándar

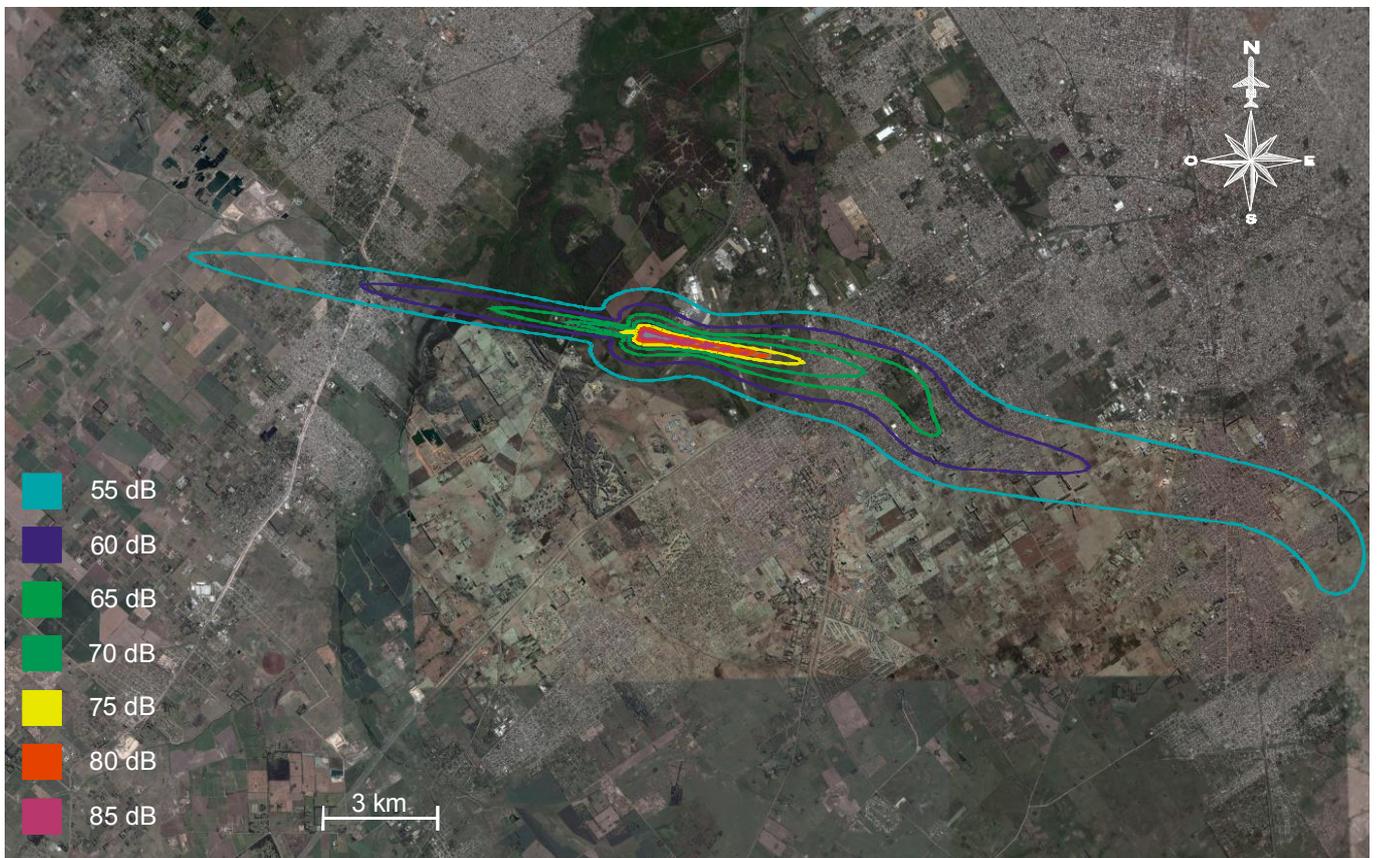


Figura 5 - MTOW, operaciones diurnas y nocturnas y procedimiento OACI A

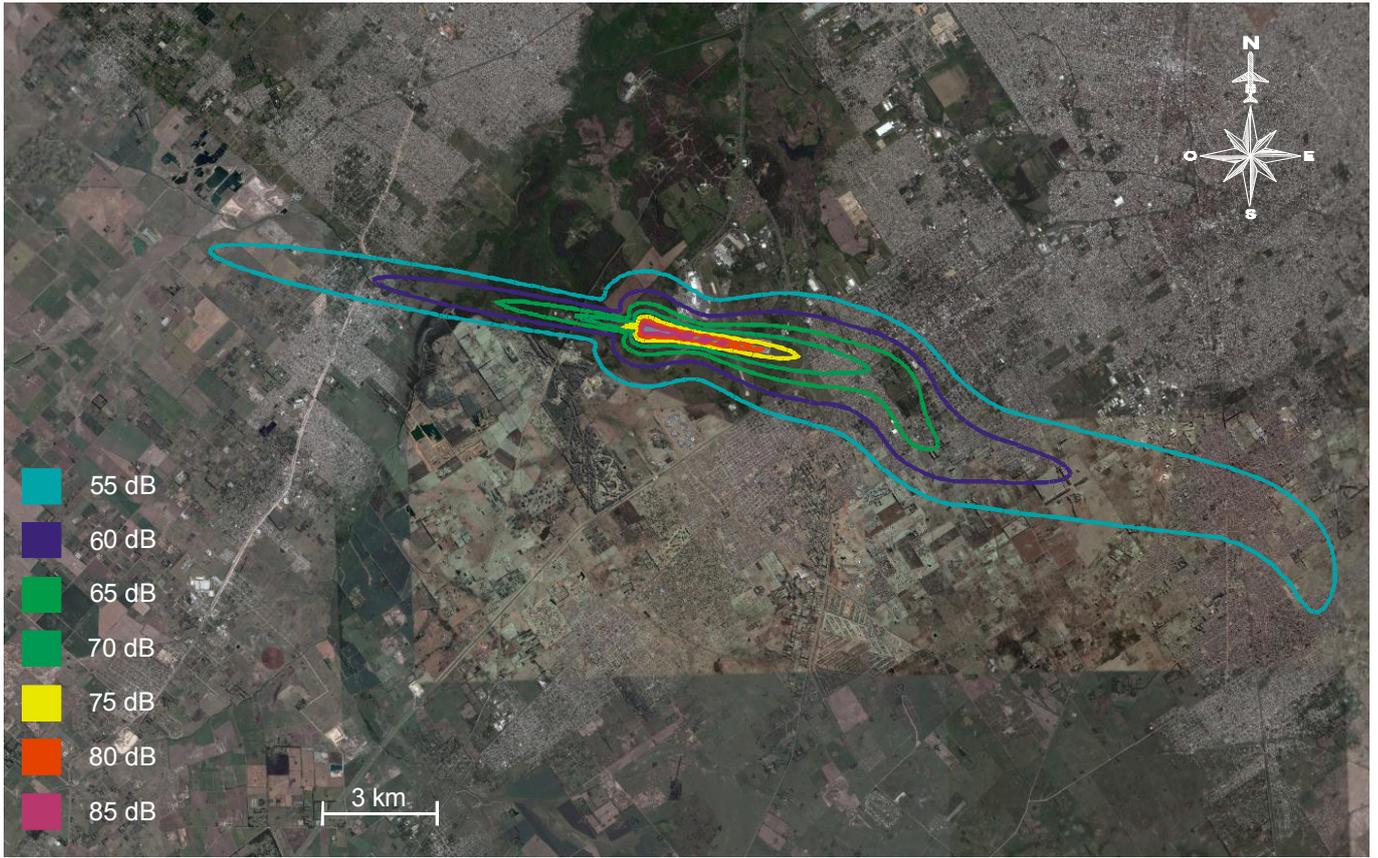


Figura 6 - MTOW, operaciones diurnas y nocturnas y procedimiento OACI B

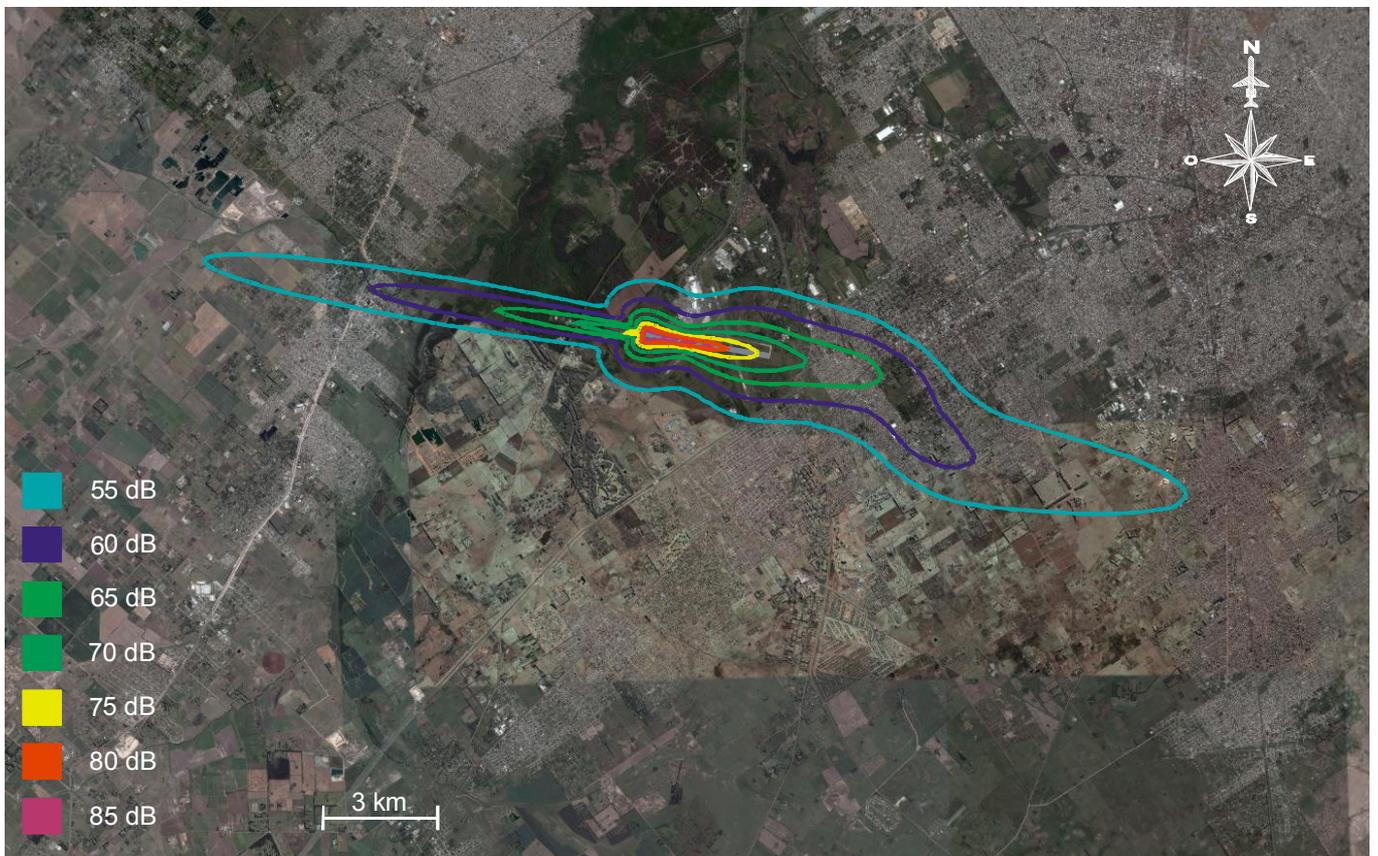


Figura 7 - Limitación peso de despegue, operaciones diurnas y nocturnas y procedimiento estándar

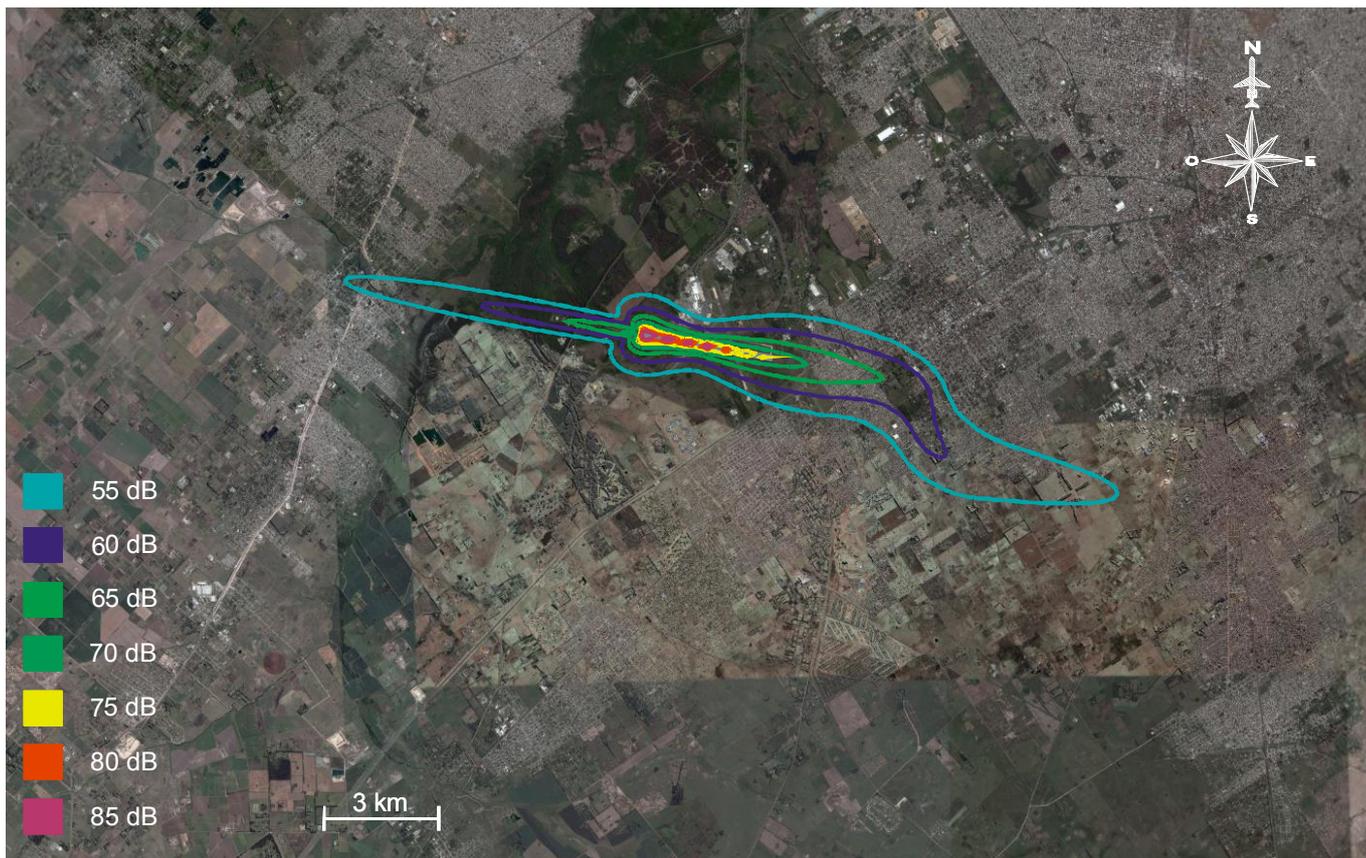


Figura 8 - MTOW, operaciones diurnas y procedimiento estándar

Finalmente se presenta en la **Tabla 2** tabla comparativa de los valores de ruido en dB en cada punto específico y para cada una de las corridas.

DNL Ezeiza - Día Punta (Db)					
Punto	MTOW - Estandar Diurno y nocturno	MTOW - OACI A Diurno y nocturno	MTOW - OACI B Diurno y nocturno	Limitacion peso - Estandar Diurno y nocturno	MTOW - Estandar Diurno
APP1	59.6	59.6	59.6	59.6	55
CIUD1	73.5	74	74.1	69.6	69.1
DEP1	62.1	62.2	62.3	59.5	57.8
FINDEP	54.3	55	54.6	51.5	49.6
TERMIN	59.7	59.5	59.5	59	54.6
UMBRA1	111	111.5	111.5	111.4	106.4
UMBRA2	79	79.4	79.5	73.8	74.2

Tabla 2 - Valores de ruido en los puntos calculados para métrica DNL

### 3.3 Análisis con métrica SEL

Al utilizarse la métrica DNL, se obtiene un valor promedio diario; en este caso no se reflejan los valores de ruido de las operaciones puntuales. Es por ello que se decidió realizar un análisis con la métrica SEL para las operaciones de las aeronaves de mayor porte y con más cantidad de operaciones. Las mismas son: Boeing 747-400 y Airbus A340-200. Los datos de operaciones fueron obtenidos de la mezcla de tráfico anual del año 2007. El total de operaciones fue de 71.000; el 747-400 tiene el 3,5% y el A340-200 el 2,1% de las mismas.

Las variables a modificar son:

- Peso de despegue.
- Tipo de procedimiento de despegue.

Como para el caso de la métrica DNL, se realizaron corridas para los tres distintos procedimientos de despegue: estándar, OACI A y OACI B. A continuación se observan las graficas con las huellas de ruido obtenidas para el despegue del Boeing 747-400 y del Airbus A340-200 con métrica de tipo de evento unitario SEL.

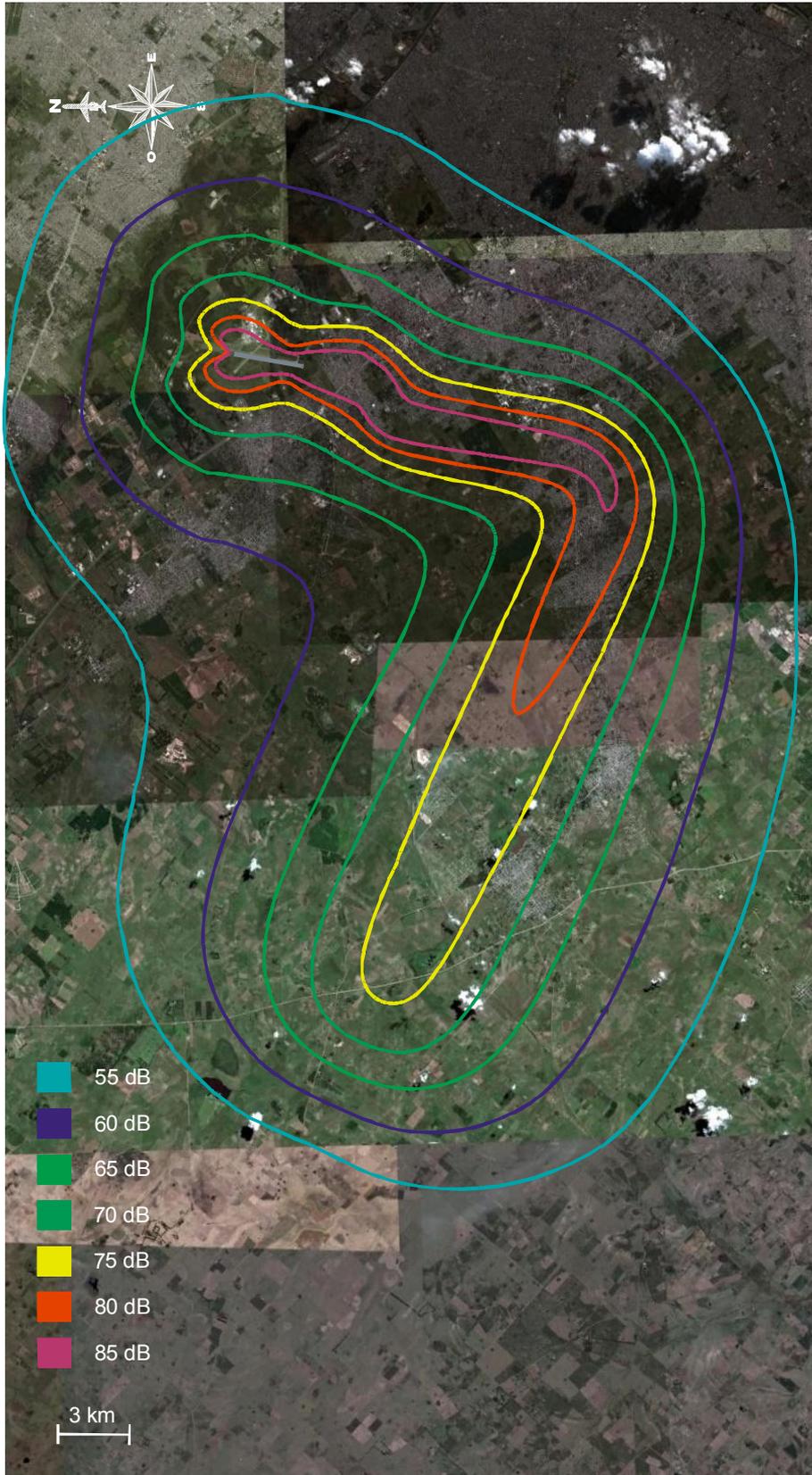


Figura 9 - Boeing 747-400, MTOW y procedimiento estándar

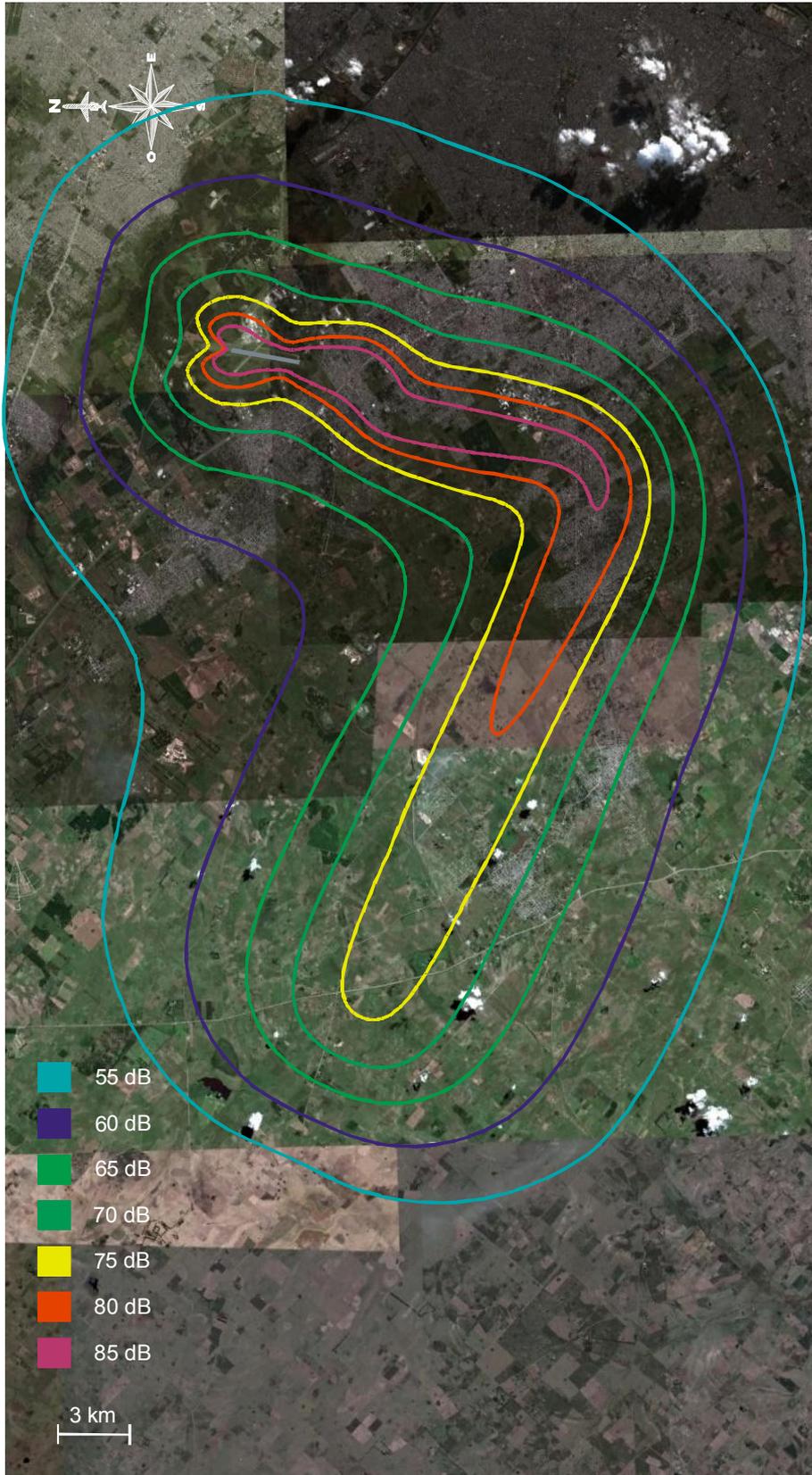


Figura 10 - Boeing 747-400, MTOW y procedimiento OACI A

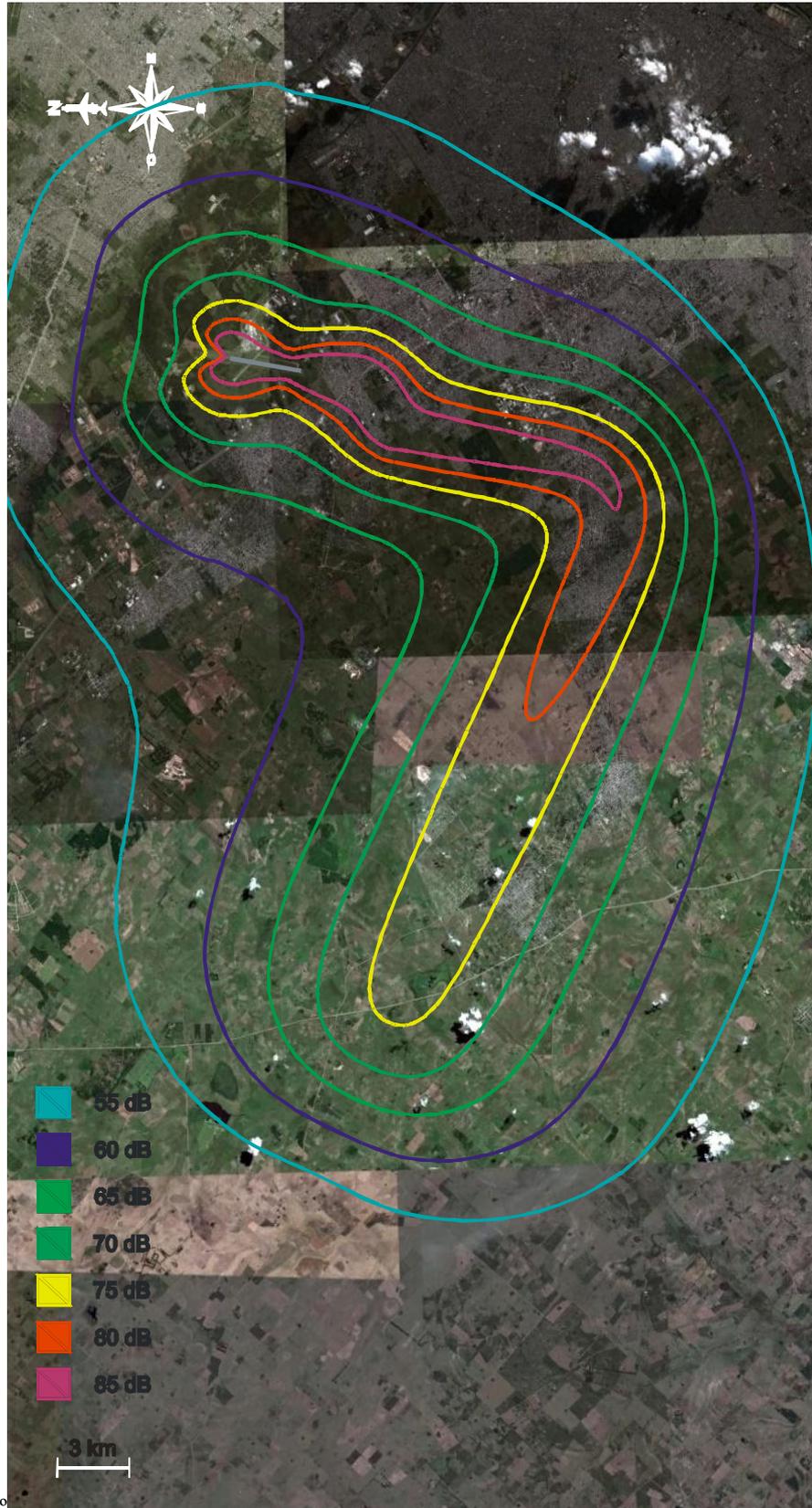


Figura 11 - Boeing 747-400, MTOW y procedimiento OACI B

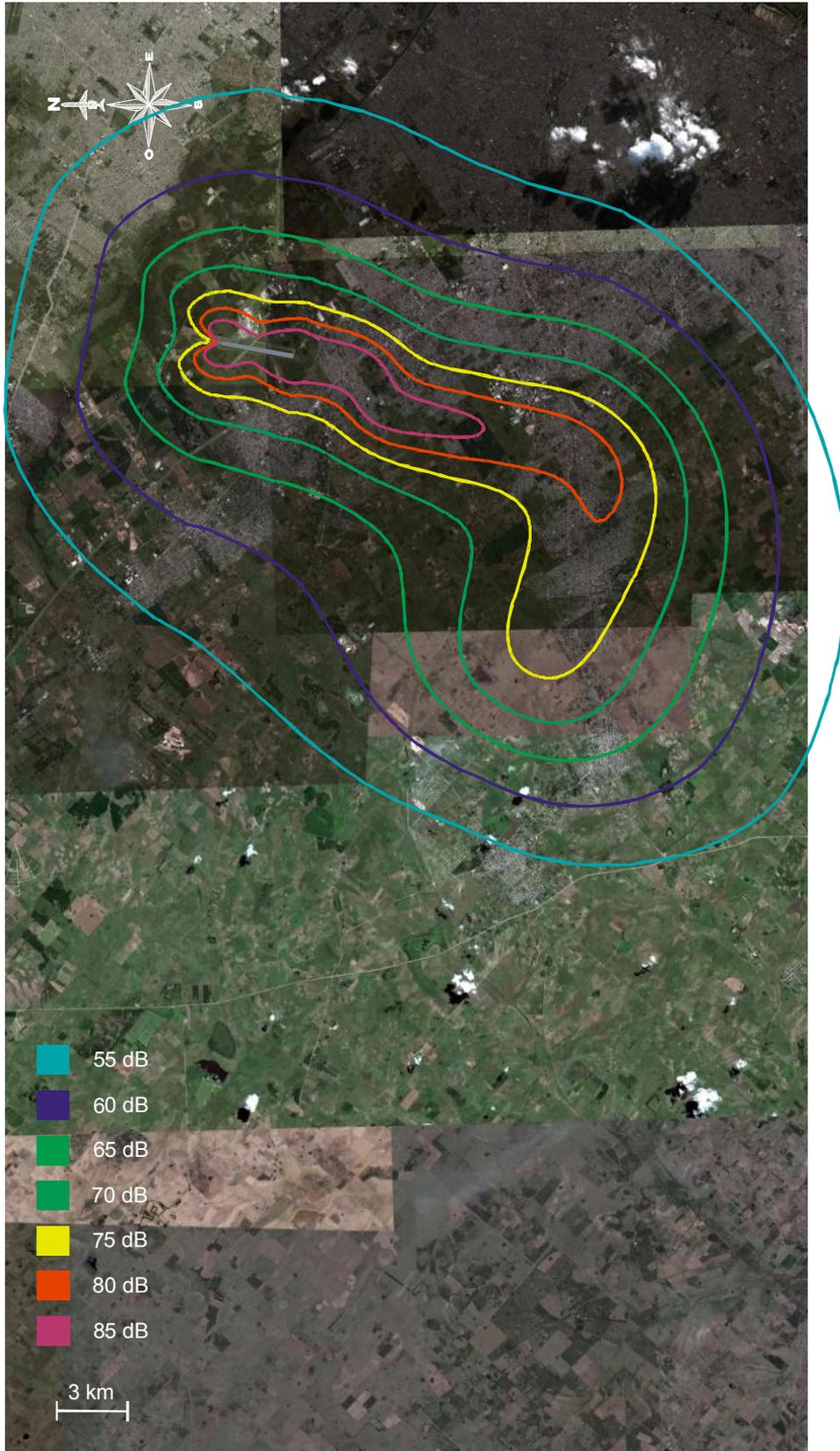


Figura 12 - Boeing 747-400, limitación peso de despegue y procedimiento estándar

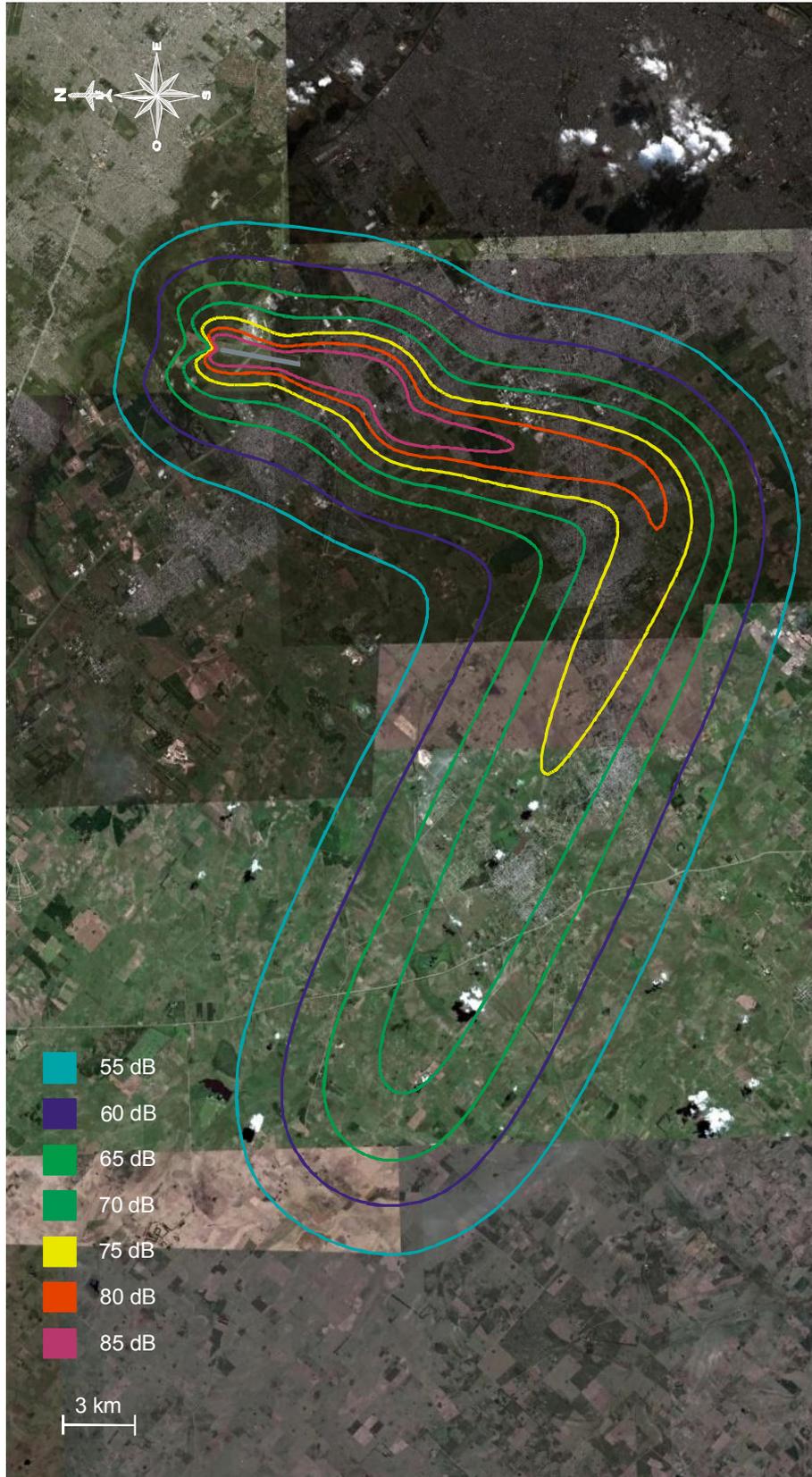


Figura 13 - Airbus A340-200, MTOW y procedimiento estándar

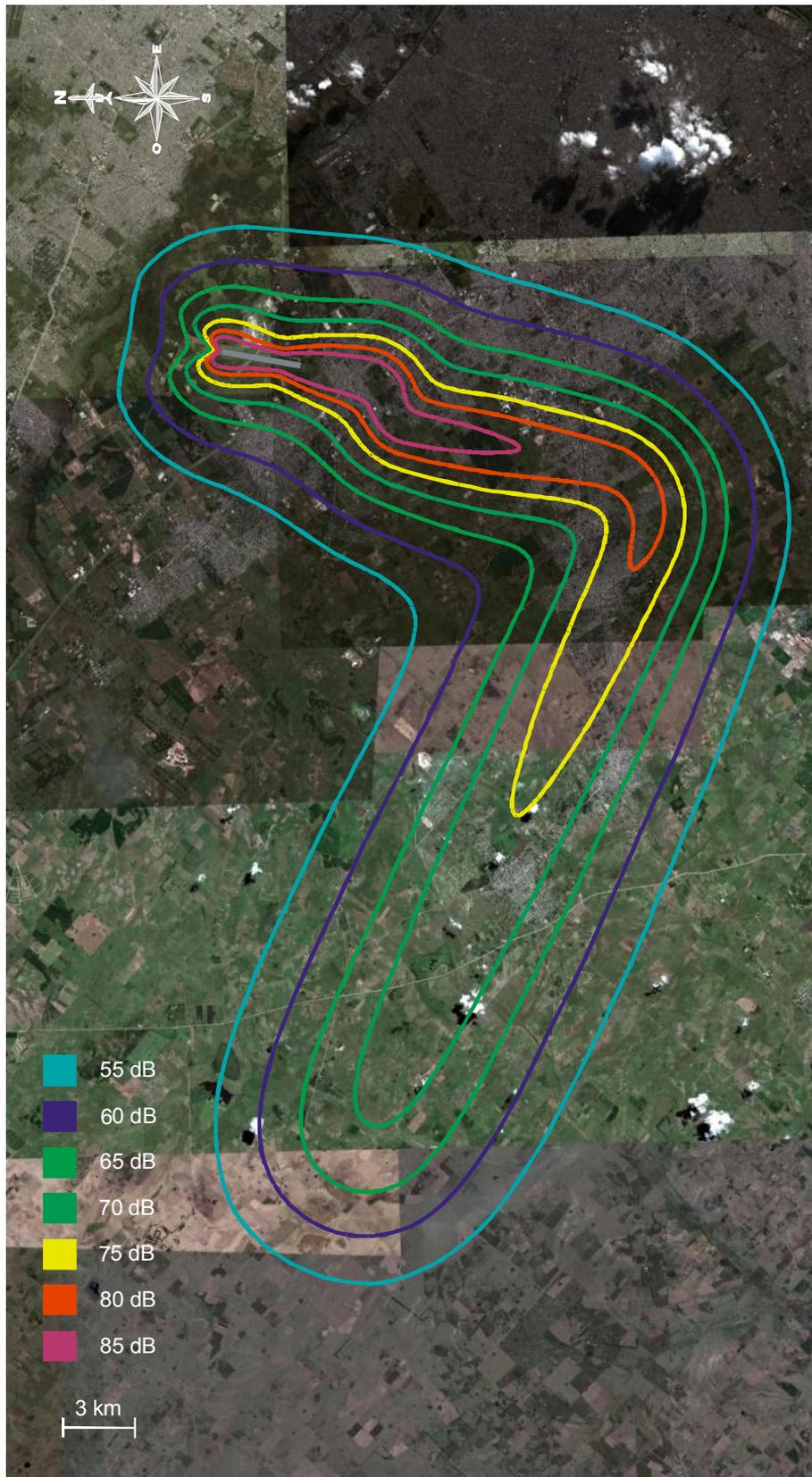


Figura 14 - Airbus A340-200, MTOW y procedimiento OACI A

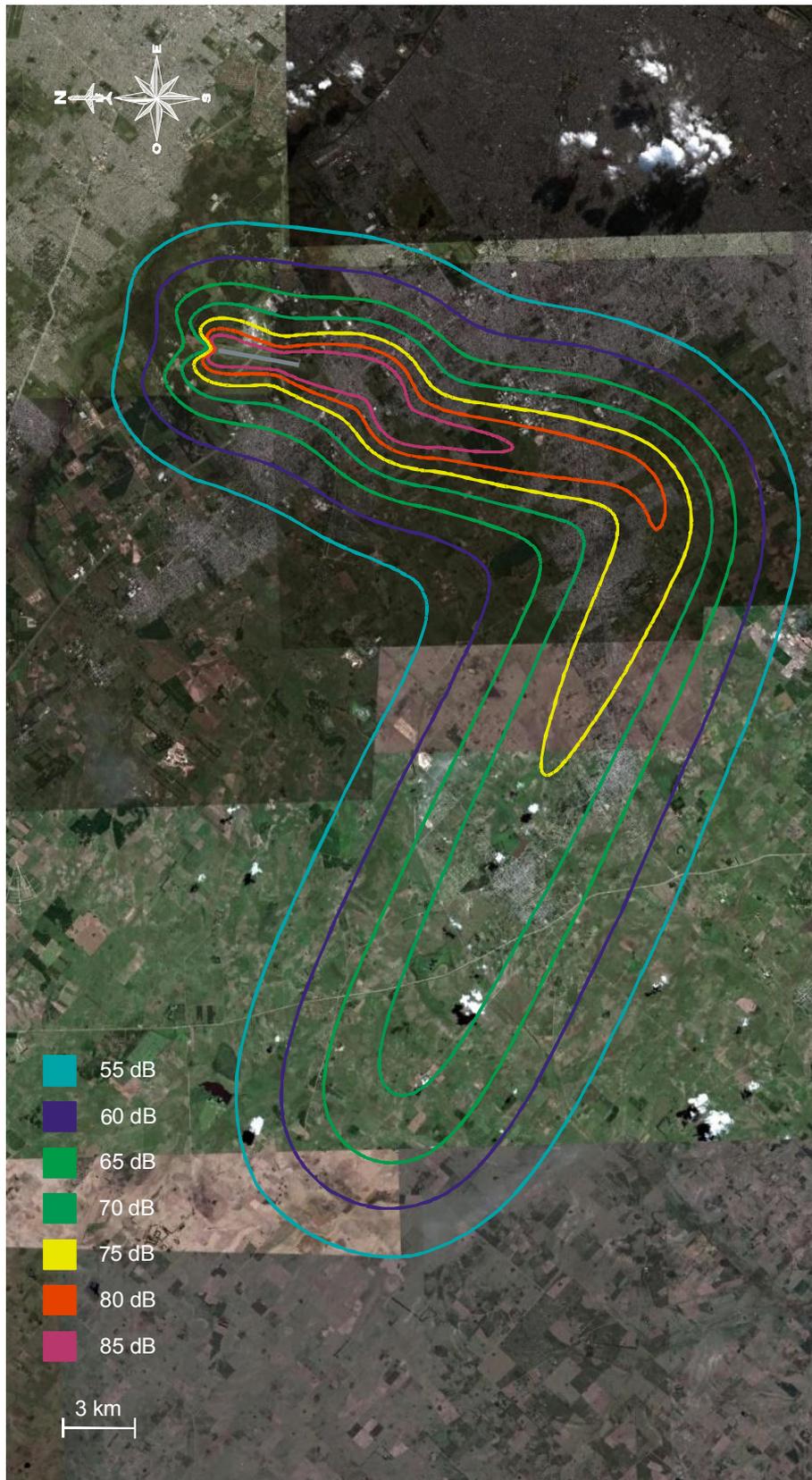


Figura 15 - Airbus A340-200, MTOW y procedimiento OACI B

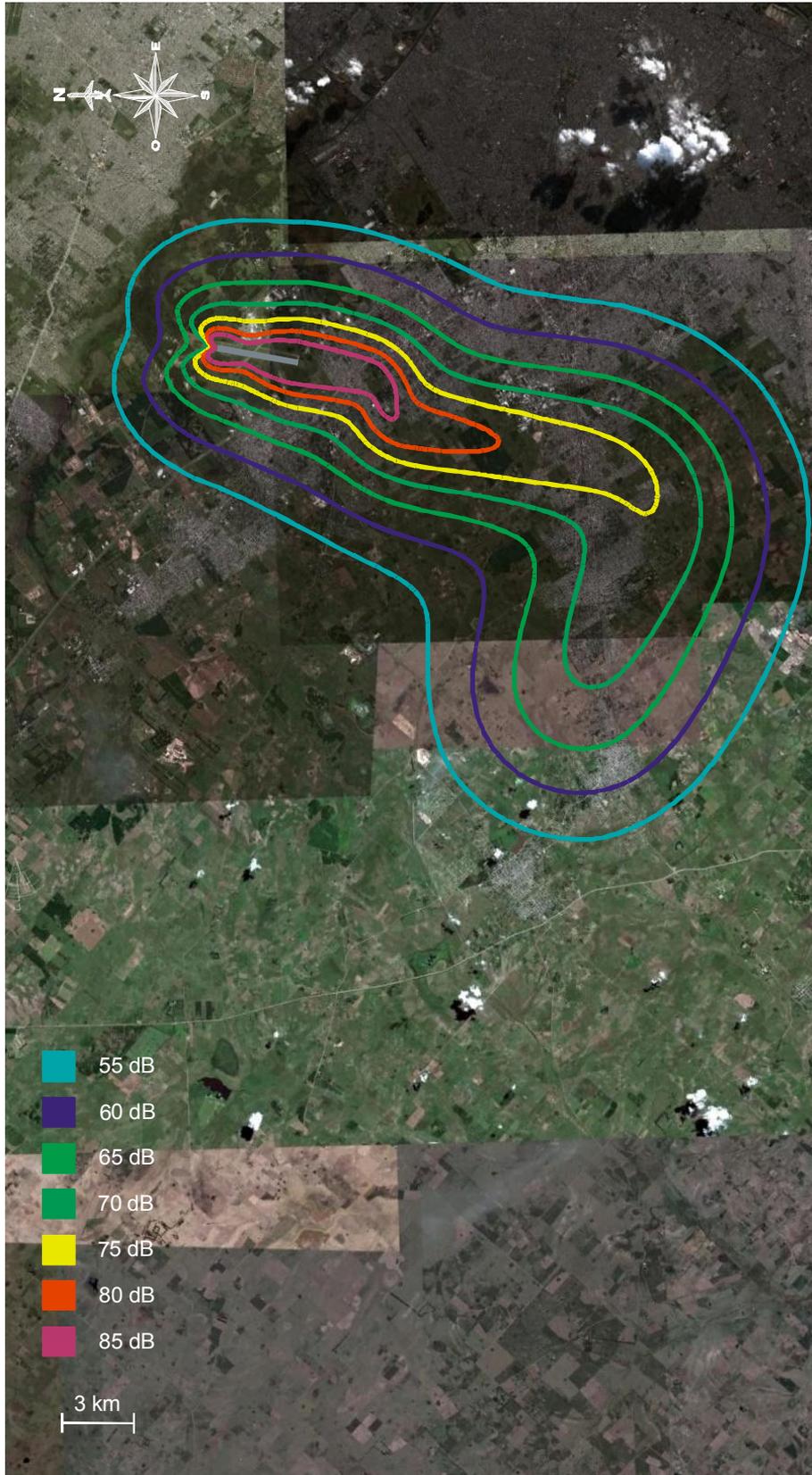


Figura 16 - Airbus A340-200, limitación peso de despegue y procedimiento estándar

A continuación se presentan en las **Tabla 3** y **Tabla 4** los valores de ruido en dB en cada punto específico para el despegue del 747-400 y del A340-200.

<b>SEL Ezeiza - Boeing 747-400</b>				
<b>Punto</b>	<b>MTOW Estándar</b>	<b>MTOW OACI A</b>	<b>MTOW OACI B</b>	<b>Limitación de peso Estándar</b>
<b>APP1</b>	57.8	59	59	59
<b>CIUD1</b>	95.9	103.7	103.7	103.7
<b>DEP1</b>	88.2	90.8	92.2	91.2
<b>FINDEP</b>	80.2	84.8	84.6	84.2
<b>TERMIN</b>	85	86.4	86.4	86.4
<b>UMBRA1</b>	139.4	139.3	139.3	139.3
<b>UMBRA2</b>	101.7	111.2	111.1	111.1

Tabla 3 - Valores de ruido en los puntos calculados para el Boeing 747 con métrica SEL

<b>SEL Ezeiza - Airbus A340-200</b>				
<b>Punto</b>	<b>MTOW Estandar</b>	<b>MTOW OACI A</b>	<b>MTOW OACI B</b>	<b>Limitación de peso Estandar</b>
<b>APP1</b>	45.6	45.8	45.6	45.4
<b>CIUD1</b>	99.6	99.7	99.6	94
<b>DEP1</b>	89	87.6	89	82.5
<b>FINDEP</b>	79.6	80.9	79.6	74.2
<b>TERMIN</b>	80.4	80.4	80.4	79.8
<b>UMBRA1</b>	133	133	133	132.6
<b>UMBRA2</b>	107.1	107.1	107.1	96.8

Tabla 4 - Valores de ruido en los puntos calculados para el Airbus A340 con métrica SEL

#### 4 CONCLUSIONES

Puede observarse en las gráficas y tablas obtenidas para el análisis DNL que el factor más importante para la reducción de las huellas de ruido es el peso de despegue. Obviamente, es una variable difícil de modificar, ya que las aerolíneas deben intentar utilizar el máximo de ocupación en las aeronaves con el fin de que las operaciones representen la mejor rentabilidad.

Las operaciones nocturnas pueden ser restringidas. Esto puede llevarse a cabo mediante una negociación entre las aerolíneas y los organismos responsables de la aviación civil del país. Sería la segunda variable en importancia con respecto a la reducción de ruido en la métrica DNL.

En última instancia, se pueden modificar los procedimientos de salida: aunque estos sean la variable con menor peso en la reducción de ruido, son los más factibles de cambio, ya que no influyen significativamente en la rentabilidad de las aerolíneas y dependen únicamente del organismo regulador. En función de esto, se desarrollarán procedimientos específicos para la reducción de las huellas de ruido; se estudiarán a continuación los beneficios que representan y con ello la factibilidad de su aplicación.

Con respecto a la métrica SEL, se observan similares resultados; la diferencia obtenida modificando los procedimientos es mayor que para el análisis DNL, ya que se corresponde con un caso puntual.

Analizando los datos obtenidos y en base a lo citado anteriormente, se continuarán realizando simulaciones modificando diferentes variables, con el objetivo de desarrollar una matriz de ponderación de variables, en donde se tenga en cuenta el peso relativo de cada uno

de los indicadores de ruido; mediante su uso se pretende simplificar el análisis y establecer un método para ello.

## **REFERENCES**

Advisory Circular 150/5020-1, Noise Control and Compatibility Planning for Airports, FAA, 1983.

Newman, J. and Beattie, K., Aviation Noise Effects, Report No. FAA-EE-85-2, FAA, 1985.

OACI Anexo 16 – Protección del Medio Ambiente, Volúmen I, Ruido de las Aeronaves, 2005.