



HAL
open science

Comparación de metodologías para el monitoreo continuo de ruido y detección de aeronaves en las proximidades de aeropuertos

Alejandro Osses, Max Glisser, Christian Gerard, Ricardo Guzmán

► To cite this version:

Alejandro Osses, Max Glisser, Christian Gerard, Ricardo Guzmán. Comparación de metodologías para el monitoreo continuo de ruido y detección de aeronaves en las proximidades de aeropuertos. Congreso Internacional de Acústica y Audio Profesional INGEACUS, Nov 2011, Valdivia, Chile. hal-03870900

HAL Id: hal-03870900

<https://hal.science/hal-03870900>

Submitted on 25 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Comparación de metodologías para el monitoreo continuo de ruido y detección de aeronaves en las proximidades de aeropuertos

A. Osses^a, M. Glisser, C. Gerard^b, R. Guzman^c

^a Laboratorio de Metrología Acústica, Sociedad Acustical S.A., +56 2 2699318, Villaseca 21, Of. 505, Ñuñoa, Santiago, Chile, aosses@acustical.cl

^b Departamento de Ingeniería, Gerard Ingeniería Acústica SpA, +56 2 8920370, Villaseca 21, Of. 505, Ñuñoa, Santiago, Chile, mglisser@controlacustico.cl, cgerard@controlacustico.cl

^c Dirección General de Aeronáutica Civil, +56 2 2904659, Santiago, Chile, rguzman@dgac.cl

Resumen

El propósito del presente estudio es comparar la eficiencia y eficacia de dos metodologías de análisis de los niveles de ruido emitidos por aeronaves comerciales en las proximidades de aeropuertos. Las mediciones presentadas fueron realizadas en un punto sensible cercano al Aeropuerto Internacional de Santiago Arturo Merino Benítez. Ambas metodologías utilizan el historial temporal de Niveles de Presión Sonora ponderados en A, diferenciándose en el criterio de detección de las aeronaves. En el primer método, la identificación del ruido de aeronaves se realiza aplicando una media móvil a los niveles registrados seguidos por una detección por umbral. El segundo método caracteriza los eventos de ruido de acuerdo a la relación matemática entre descriptores acústicos (Leq, Lmax y SEL) en periodos de un minuto. Los resultados son comparados con la correlación manual de datos entre los niveles de ruido y las correspondientes bitácoras de vuelo.

Conceptos Claves: Ruido de aeronaves, Descriptores acústicos, Detección de eventos.

1. Introducción

El presente estudio evalúa dos metodologías para el proceso de los niveles de ruido medidos por sistemas de monitoreo continuo localizados en las proximidades de aeropuertos y en ausencia

de información no acústica (RADAR, bitácoras de vuelo, tipo de aeronave, etc.). Para conseguir este objetivo se presentan dos métodos automatizados que consideran la relación entre descriptores acústicos, la tasa de cambio (de crecimiento y decrecimiento) y el uso de umbrales para la detección y clasificación del ruido de aeronaves.

La investigación fue dividida en dos etapas: (a) Medición de los niveles de ruido a través de la realización de un monitoreo continuo de niveles de ruido en un área residencial y (b) Proceso de datos usando las metodologías en evaluación. Esta última etapa cuantifica la eficiencia y eficacia de ambos métodos contextualizados en entornos que poseen la presencia de otras fuentes de ruido como ladridos de perros, ruido vehicular y otras actividades de la vida cotidiana.

2. Plan de Monitoreo de Ruido

Las mediciones se realizaron en las proximidades del Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez (SCL¹) de Santiago de Chile. Actualmente el aeropuerto posee un sistema compuesto por 3 terminales de monitoreo de ruido. El monitoreo continuo de ruido presentado en este artículo fue realizado utilizando la infraestructura de uno de estos terminales, en un área residencial localizada 11,3 Km al sur del Aeropuerto SCL, en la comuna de Maipú. En esta ubicación y considerando condiciones normales de operación del aeropuerto SCL, sólo es posible detectar operaciones de despegue.

El instrumento utilizado corresponde a un sonómetro integrador Clase 1 de acuerdo al estándar internacional IEC 61672-1:2002 iec (2002), el cual fue configurado para tener una resolución de datos de 8 muestras por segundo.

Los resultados presentados en este artículo fueron medidos entre el 18 y 20 de febrero de 2011, no obstante estos datos son un extracto del período total de monitoreo, el cual se extendió por casi 2 semanas.

3. Metodología

En esta sección se presentan los 2 métodos escogidos para el proceso de los niveles de ruido registrados en el punto de monitoreo seleccionado.

3.1. Método 1

Esta metodología se basa en la relación típica entre el Nivel de Exposición Sonora (*SEL*) y el Nivel de Presión Sonora Máximo (*L_{max}*) durante un determinado tiempo de integración.

¹Código internacional IATA asociado al Aeropuerto Arturo Merino Benítez. Todos los aeropuertos citados a lo largo de este artículo se identificarán con su respectivo código IATA.

Es conocida la caracterización de fuentes de ruido usando el SEL y el L_{max} Van der Heijden (2001) Glisser and Gerard (2010), particularmente considerando la diferencia entre esos descriptores Glisser and Gerard (2010). En la Tabla 3.1 se muestran algunos ejemplos: la explosión de un petardo, el sobrevuelo de una aeronave y el ruido del paso de un tren. Los 3 mencionados ejemplos poseen la misma cantidad de energía acumulada o SEL .

Evento	Duración de Evento [s]	SEL [dB]	L_{max} [dB]	L_{eq} [dB]	$ SEL - L_{max} $ [dB]
Petardo	0,3	100	102	105	2
Sobrevuelo de Aeronave	70	100	90	82	10
Paso de un tren	900	100	72	71	28

Tabla 3.1: Comparación de diferentes fuentes de ruido con igual Nivel de Exposición Sonora (SEL)

Para el caso de ruido de aeronaves el valor específico para la diferencia entre SEL y L_{max} depende del punto escogido para el monitoreo, sin embargo, esta diferencia corresponde a un valor en torno a los 10 dB.

En la práctica, la diferencia entre descriptores es afectada por los sonidos residuales presentes en el punto de monitoreo. También puede ser afectada por la aproximación al considerar períodos de integración fijos. Esta situación podría producir el truncamiento de eventos, es decir, si el período de integración es de un minuto, podría captarse una aeronave en los últimos 15 segundos de un período y registrarse el resto del evento en el siguiente período de integración. Por este motivo, tanto la duración del período de integración para la determinación de los valores de SEL , L_{max} y/o L_{eq} como el rango de valores para la diferencia $SEL - L_{max}$ que nos permitirán el reconocimiento de aeronaves debe ser determinado empíricamente Van der Heijden (2001), Glisser and Gerard (2010). En el artículo de Van der Heijden Van der Heijden (2001), el rango utilizado fue entre 7 y 13 dB.

Este método podría resumirse a través de la Ecuación 3.1.

$$x < SEL - L_{max} < y \quad (3.1)$$

Donde x e y son valores en dB y SEL y L_{max} están expresados en dB(A).

Además, el nivel de exposición sonora debe exceder un umbral determinado z , también expresado en dB(A), tal como se muestra en la Ecuación 3.2.

$$SEL > z \quad (3.2)$$

La metodología descrita ha sido utilizada en las evaluaciones de impacto ambiental de algunos aeropuertos y aeródromos chilenos, dentro de los que destacan: Aeropuerto Mataverí de Isla de Pascua (IPC), Aeropuerto Carriel Sur de Concepción (CCP) y Aeropuerto El Tepual de Puerto Montt (PMC), además del mismo Aeropuerto Arturo Merino Benítez (SCL).

3.2. Método 2

Este método realiza la detección de aeronaves a través de un algoritmo de gatillado por múltiples umbrales. Para realizar esta tarea se analiza la variabilidad de los descriptores acústicos a lo largo de su historial temporal a través de una tasa de cambio entre el valor actual $a(t)$ y un valor previo en h muestras $a(t-h)$, la cual es definida en la Ecuación 3.3.

$$\frac{\partial a(t)}{\partial t} \approx \frac{a(t) - a(t-h)}{h} \quad (3.3)$$

Donde el valor positivo h determina el llamado período de derivación y $a(t)$ es un descriptor acústico determinado. Este método usualmente requiere que el muestreo de datos se realice con una resolución mayor a 1 segundo (muestreo en fracciones de 1/8, 1/16 o 1/100 de segundo). Para dar mayor claridad al método se entenderá el parámetro h como expresado en segundos, de manera que, por ejemplo, un valor de h igual a 20 segundos analizará la variación de un determinado descriptor acústico entre la muestra actual y la 160va muestras antes, entendiendo que se tiene una resolución de 8 muestras por segundo.

Para este estudio se consideró el descriptor $a(t)$ como el nivel continuo equivalente ponderado en un segundo $L_{eq,1s}$ expresado en dB(A). Los eventos que poseen una duración menor a h segundos no son detectados. Por este motivo es necesario poseer conocimiento del tipo de eventos que se desean evaluar.

3.2.1. Coeficiente de suavización

En presencia de ruidos imprevistos, se podrían detectar falsos eventos de ruido. Para evitar esta situación es que se puede aplicar un filtro digital (filtro IIR de primer orden), de acuerdo a la Ecuación 3.4.

$$y_n = \alpha x_n + (1 - \alpha)y_{n-1} \quad (3.4)$$

Donde α es el llamado coeficiente de suavización el cual adquiere valores entre 0 y 1, x_n es la entrada e y_n es la salida del filtro digital. En la Figura 3.1 se muestra un evento de ruido, usando coeficientes de suavización α de 0; 0,50 y 0,95.

Para detectar un evento, el coeficiente de suavización debe ser aplicado a la derivada de los niveles de ruido y el inicio y el fin del evento debe ser configurado definiendo tres umbrales: T_h , T_{L1} y T_{L2} , como se muestra en el ejemplo de la Figura 5.2.

Los parámetros T_h , T_{L1} y T_{L2} dependen del descriptor acústico que se esté registrando durante el monitoreo continuo, por ejemplo niveles en dB(A) o dB(Z), además de depender de la naturaleza del evento.

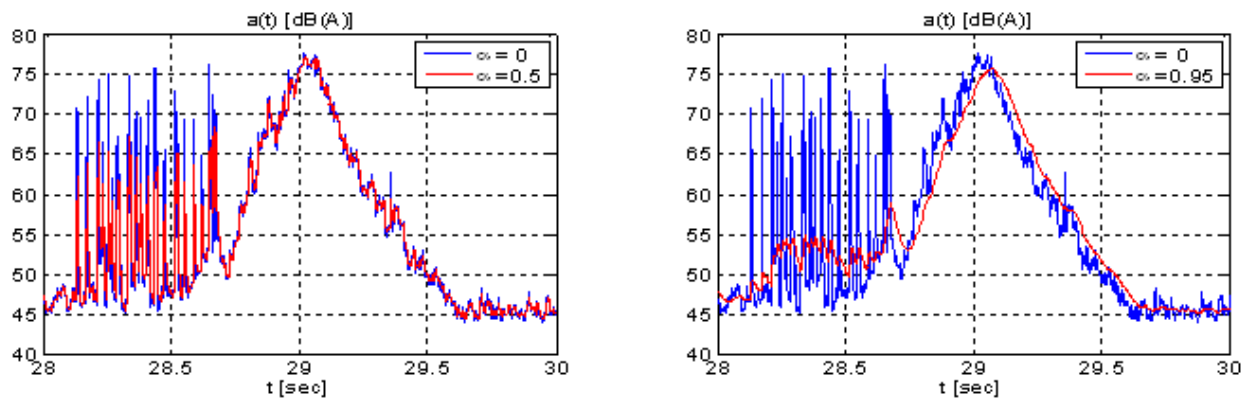


Figura 3.1: Paso de una aeronave precedida por ruidos impulsivos (ladrillos de perros). Se muestra la curva resultante al aplicar diferentes coeficientes de suavización.

4. Método de referencia: Identificación manual de eventos de aeronaves

Este método es usado para validar las metodologías 1 (Sección 3.1) y 2 (Sección 3.2). Tal como se presenta en el estándar ISO 20906:2009, el procesamiento de datos para un sistema de monitoreo de ruido automático que permita la detección de eventos de ruido de aeronaves tiene que cumplir 3 criterios: (a) La incerteza del nivel de exposición acumulativo para todos los eventos de ruido de aeronaves no debe exceder los 3 dB; (b) Al menos el 50% de las operaciones aéreas efectivas deben ser correctamente clasificadas; (c) El número de falsas detecciones de ruido de aeronaves no debe superar el 50% de las operaciones aéreas efectivas.

Se asumió el cumplimiento del primer criterio debido a que se utilizó un sonómetro integrador Clase 1, el ruido inducido por el viento en la cápsula se mantuvo con un nivel inferior a 65 dB(A) y las condiciones climáticas se mantuvieron favorables durante el monitoreo continuo (no se presentaron precipitaciones y las temperaturas oscilaron entre 0° y 31° C).

Los porcentajes correspondientes a los criterios (b) y (c) deben considerar el número total de eventos de ruido presentados durante el monitoreo continuo de acuerdo a la correlación manual con la información estipulada en las bitácoras de vuelo. Las bitácoras de vuelo fueron provistas por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

5. Resultados y análisis

Los métodos 1 y 2 son comparados con la metodología de referencia. En la Tabla 5.1 se presentan los datos obtenidos al correlacionar manualmente la información de ruido con el número total de vuelos comerciales (despegues) para los horarios seleccionados.

Medición Nº	Fecha	Hora	Nº Despegues	L_{Aeq} dB(A)		
				Aeronave	Residual	Total
1	18/02/2011	13:00 - 13:59	7	52,2	59,9	60,6
2	18/02/2011	23:00 - 23:59	10	61,5	61,1	64,3
3	19/02/2011	00:00 - 00:59	1	50,6	56,6	57,5
4	19/02/2011	07:00 - 07:59	10	55,9	50,0	56,9
5	20/02/2011	15:00 - 15:59	9	59,2	63,6	64,9
6	20/02/2011	16:00 - 16:59	9	55,8	55,8	58,8
Total			46	57,4	59,6	61,7

Tabla 5.1: Resultados de la metodología de referencia (a partir del análisis de las bitácoras de vuelo).

Los parámetros seleccionados para la detección de eventos de ruido de aeronaves fueron determinados empíricamente para ambos métodos. En el Método 1, el umbral del descriptor SEL fue configurado a 75 dB(A) mientras que la diferencia entre el SEL y el Nivel máximo L_{max} fue considerada entre 10 y 13 dB(A).

Para el Método 2, los parámetros T_h , T_{L1} y T_{L2} fueron configurados a 0,50; -0,45 y 0,30 respectivamente. Finalmente las variables α y h se configuraron en 0,95 y 20 segundos.

En las Tablas 5.2 y 5.3 se muestran los resultados finales de cada método.

Medición Nº	Método 1		Método 2	
	L_{Aeq} dB(A)		L_{Aeq} dB(A)	
	Aeronave	Residual	Aeronave	Residual
1	59,2	55,0	57,1	58,1
2	56,1	63,6	61,5	61,1
3	52,0	56,1	50,8	56,5
4	52,4	55,0	56,1	49,5
5	62,2	61,5	61,0	62,6
6	51,5	57,9	56,1	55,4
Total	57,50	59,54	58,37	58,89
Referencia	57,40	59,61	57,40	59,61
Diferencia	0,10	-0,07	0,97	-0,72

Tabla 5.2: Resultados para las Metodologías 1 y 2.

Considerando un total de 46 vuelos comerciales durante 6 horas de observación, se requiere que cada método detecte correctamente por lo menos 23 aeronaves (más que el 50%) y no más de 23 falsas aeronaves (menos que el 50%).

Como puede apreciarse en la Tabla refTabla:efic12, el Método 1 detectó correctamente 28 eventos de ruido de aeronaves, lo que corresponde al 61 % del total de operaciones de despegue registra-

Medición Nº	Método 1		Método 2	
	$L_{Aeq}dB(A)$		$L_{Aeq}dB(A)$	
	Aeronave	No Aeronave	Aeronave	No Aeronave
1	4	0	7	1
2	8	0	9	0
3	1	3	1	0
4	5	0	10	1
5	7	1	8	4
6	3	0	8	0
Total	28	4	43	6
%	61%	9%	93%	13%

Tabla 5.3: Eficiencia en la detección de aeronaves para las Metodologías 1 y 2.

das, mientras que los eventos no acústicos incorrectamente clasificados como aeronaves representan un 9% (4 eventos). Ambos porcentajes satisfacen los requerimientos del estándar ISO 20906:2009.

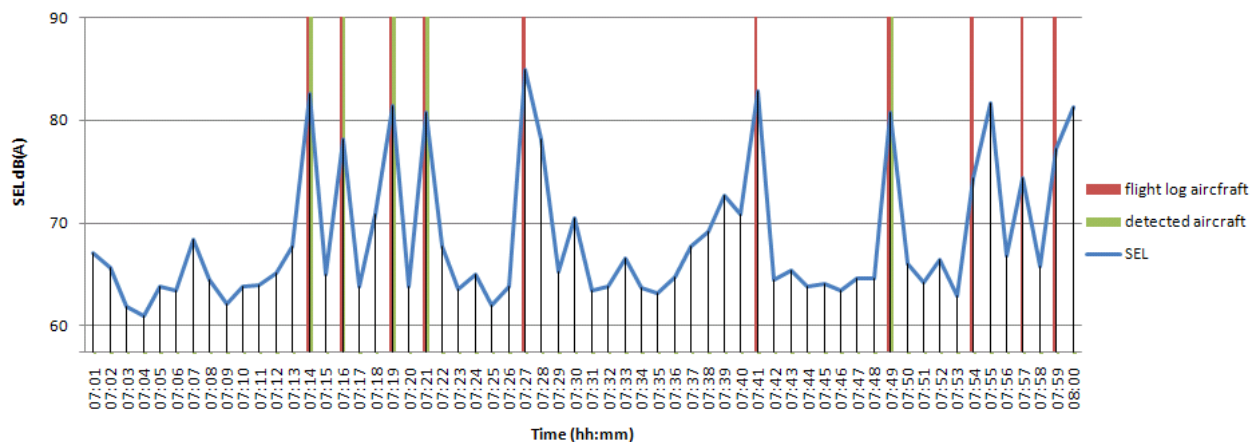


Figura 5.1: Detección de eventos usando el Método 1 en la medición Nº 4 (Sábado 19 de febrero de 2011, de 7:00 a 7:59 Hrs.). 5 eventos son correctamente clasificados y 0 eventos incorrectamente detectados.

En el Método 1 la cantidad de aeronaves detectadas es relativamente limitada (detección de 6 de cada 10 despegues), sin embargo, los valores globales para el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente $L_{eq,1Hr}$ obtenidos son muy cercanos a los resultados presentados por la metodología de referencia, con una diferencia de apenas 0,1 dB.

Como se muestra en la Tabla 5.3, el Método 2 tiene un mejor rendimiento detectando correctamente el 93% de las operaciones aéreas (43 de 46 despegues), mientras que los eventos clasificados incorrectamente aumentaron levemente hasta un 13% (6 eventos). Este método también cumplió con los requerimientos del referenciado estándar ISO iso (2009).

Pese a la alta cantidad de aeronaves detectadas correctamente, las diferencias entre los niveles

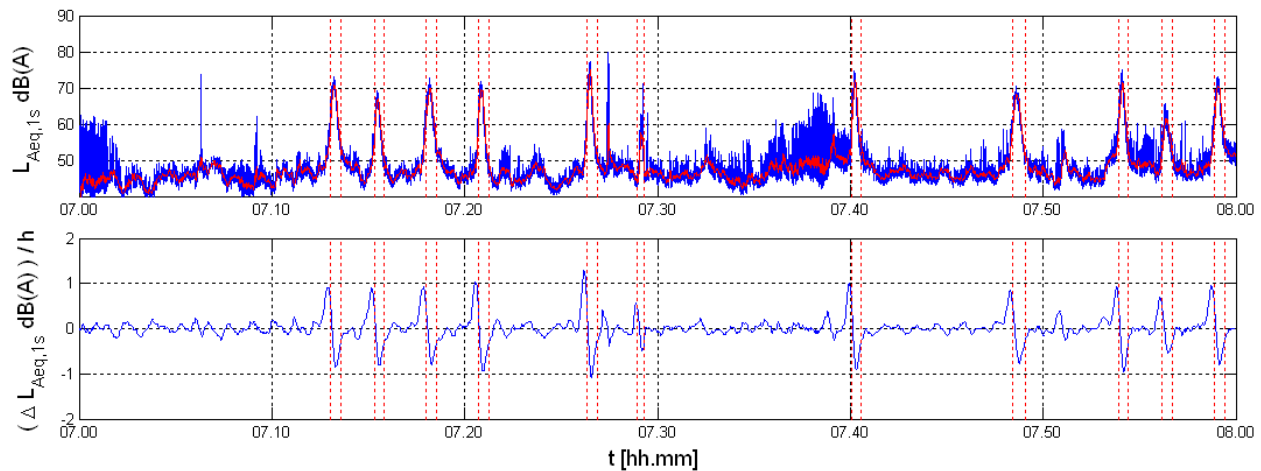


Figura 5.2: Detección de eventos usando el Método 2 en la medición N^o 4 (Sábado 19 de febrero de 2011, de 7:00 a 7:59 Hrs.). 10 eventos son correctamente clasificados y 1 incorrectamente detectado.

de ruido asociados a la metodología de referencia fueron afectados negativamente incrementando en casi 1 dB el nivel equivalente asociado a las operaciones aeroportuarias mientras que el ruido de fondo fue desestimado en -0,8 dB.

El método es altamente robusto a fuentes de ruido impulsivas, tal como lo son los ladridos de perros, típicos en las zonas residenciales.

6. Trabajos futuros

Para el análisis en el Método 1 ($SEL - L_{max}$) se utilizó un tiempo de integración de 1 minuto, asumiendo que casi todas las operaciones aéreas se detectarían dentro de este período de tiempo, sin embargo, es necesario comparar la eficiencia del método usando otros tiempos de integración, por ejemplo, 30 segundos o 2 minutos.

Para el Método 2, presentado en Wright and Goulamhousen (2010), propone el uso de un gatillado múltiple (múltiples umbrales) para la detección simultánea de diferentes tipos de eventos de ruido, lo que puede ser complementado con el uso de bandas de frecuencia específicas de 1/1 o 1/3 de octava, lo que permitiría mejorar el porcentaje de eventos deseados correctamente clasificados. Debido a la naturaleza del ruido emitido por aeronaves, se podría contemplar el uso una o más bandas de frecuencia entre 125 y 250 Hz en dB(Z), de manera complementaria a los niveles globales en dB(A).

7. Conclusiones

El propósito del presente artículo fue evaluar dos metodologías de análisis de ruido de aeronaves no dependientes de variables no acústicas como lo son la información de RADAR o las trayectorias de vuelo. Se mostró que la información autocontenida en los niveles de ruido ponderados en A, dB(A), son suficientes para satisfacer los requerimientos establecidos en la norma ISO 20906:2009. El Método 1 (basado en SEL y L_{max} , presentó una mejor precisión sin obtener la mejor exactitud, debido a que detectó las operaciones más relevantes (las más ruidosas). Pese a lo anterior, el método es muy sensible a las variaciones en el ruido de fondo. En el caso del Método 2, se obtuvo un alto porcentaje de correlación con la información contenida en las bitácoras de vuelo, además de ser un método robusto contra las variaciones del ruido de fondo del entorno. Para disminuir el sesgo en sus resultados podría complementarse su criterio de detección con algún otro criterio simple de detección por umbral considerando, por ejemplo, ciertas bandas de baja frecuencia.

8. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo prestado por la Dirección General de Aeronáutica Civil, DGAC, por permitirnos el acceso al Terminal de Monitoreo de Ruido y a las bitácoras oficiales de vuelo.

Los agradecimientos se hacen extensibles a los señores Richard Wright y Guillaume Goulamhousen, de *Cirrus Research plc*, quienes desarrollaron el Método 2 e invirtieron parte de su tiempo en explicarnos muchos detalles acerca de su metodología.

Esta publicación fue financiada por las empresas Sociedad Acustical S.A. y Control Acústico, quienes en el afán de contribuir al desarrollo de la acústica ambiental chilena han hecho un esfuerzo para divulgar este estudio tanto a nivel nacional como internacional.

Referencias

- (2002). *IEC 61672-1. Sound Level Meters*. International Electrotechnical Commission, IEC.
- (2009). *ISO 20906. Acoustics - Unattended monitoring of aircraft sound in the vicinity of airports*. International Organization for Standardization.
- Glisser, M. and Gerard, C. (2010). Results and methodologies of airport noise studies. *J. Acoust. Soc. Am.*, 128:2420.
- Van der Heijden, J. (2001). Recognition and quantification of aircraft noise events inside dwellings. *Internoise 2001*.
- Wright, R. and Goulamhousen, G. (2010). Improvements in source identification from unattended sound level measurements using threshold-triggered audio recording. *Internoise 2010*.