

Los mapas espectrales geo-referenciados como herramientas para el control y la gestión del ruido urbano

Ernesto Accolti^(a,b),
Federico Miyara^(a,b),
Fernando A. Marengo Rodriguez^(a,b),
Pablo Miechi^(a,b),
Ezequiel Mignini^(a,b),
Vivian Pasch^(b),
Marta Yanitelli^(b),
Susana Cabanellas^(b)

(a) Laboratorio de Acústica y Electroacústica. FCEIA. Universidad Nacional de Rosario
E-mail: fmiyara@fceia.unr.edu.ar

(b) Grupo Ruido. FAPyD. Universidad Nacional de Rosario
E-mail: myanitel@fceia.unr.edu.ar

Resumen

Las relaciones dosis-respuesta entre el ruido existente en ambientes urbanos y los efectos producidos en las personas han sido ampliamente estudiadas usando el nivel de presión sonora ponderado A, $L_{eq,A}$, en exteriores, parámetro que minimiza las componentes de baja frecuencia cuando en realidad son predominantes en muchos casos.

En la actualidad los niveles sonoros por bandas de frecuencia se pueden calcular fácilmente con diversos métodos sin perder la posibilidad de determinar el $L_{eq,A}$. Estos espectros permiten el cálculo de niveles atenuados físicamente por barreras o bien posibilitan determinar el aislamiento necesario a fin de obtener un nivel sonoro específico en un receptor de interés. También permiten la determinación de descriptores tales como la *sonoridad* y la *agudeza*, necesarios para una aproximación a un nuevo paradigma de evaluación de ruido conocido denominado Paisaje Sonoro.

En este trabajo se presenta un caso de estudio en el que se emplea una metodología de bajo costo para determinar los niveles espectrales y se aplican técnicas para incorporarlos en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se exponen también algunas alternativas para presentar estos tipos de datos utilizando software SIG de uso y código libres.

1 Introducción

Tradicionalmente el indicador que se utiliza en los mapas de ruido es el nivel sonoro equivalente ponderado A, $L_{eq,A}$, o indicadores derivados de éste como el nivel día-noche, L_{dn} , o el nivel día-tarde-noche, L_{den} . Los mismos se conservan como indicadores estandarizados

en base a su difusión y a cuestiones económicas, a pesar de que se reconoce su insuficiencia para caracterizar los distintos tipos de ruido, e incluso que son inapropiados cuando existen componentes tonales o de baja frecuencia (Berglund et al., 1999; Kogan, 2004).

En el ruido de tránsito, que constituye la fuente sonora más significativa en la mayoría de las ciudades, predominan los sonidos de bajas frecuencias. Éstas son menos atenuadas que las componentes medias o altas por efectos físicos como la atenuación del aire, la divergencia geométrica, la atenuación de fachadas y de barreras, elementos existentes en el camino de propagación del sonido.

Por lo tanto las componentes de bajas frecuencias son de gran importancia tanto en exteriores como en interiores, donde las personas pasan la mayor parte del tiempo, a pesar de que el sistema auditivo presenta menor sensibilidad en frecuencias y niveles bajos.

En consecuencia, los métodos actuales disponibles y en desarrollo para la elaboración de mapas de ruido utilizan información espectral para describir las fuentes de ruido y los caminos de propagación (FHWA TNM, 2008; ISO 9613-2, 1996; JRC Reference Report CNOSSOS, 2010). Una ventaja de los niveles espectrales es que si se emplean como datos de entrada, conociendo las características de la fachada y del ambiente interior, permiten obtener una buena estimación de los niveles interiores. Así, los profesionales involucrados en el planeamiento urbano podrían usar los mapas espectrales exteriores geo-referenciados para determinar el aislamiento acústico de fachadas necesario a fin de alcanzar un nivel sonoro en interiores adecuado a los requerimientos establecidos.

El paradigma clásico de control de ruido, basado en la reducción del nivel cuando se exceden ciertos límites, está transformándose paulatinamente en una aproximación más holística denominada *Paisaje Sonoro*, que contempla el trasfondo cultural asociado con las fuentes sonoras y su entorno, tratando al sonido como un recurso en lugar de un contaminante (Brown, 2011). Algunos descriptores de interés relacionados con Paisaje Sonoro, tales como la *sonoridad* (ISO 532, 1975; ANSI S3.4, 2007) y la *agudeza* (Zwicker y Fastl, 2007), se pueden determinar usando información espectral.

En resumen, dado que en la actualidad existen métodos que permiten obtener los niveles espectrales en forma sencilla con la tecnología disponible, la tendencia se orienta a confeccionar mapas de ruido que contengan información espectral, la cual permite obtener otros indicadores y parámetros sin perder la posibilidad de determinar el $L_{eq,A}$.

En este trabajo se presenta un caso de estudio en el que se emplea una metodología de bajo costo para determinar los niveles espectrales y se aplican técnicas para incorporarlos en un Sistema de Información Geográfica. Se exponen también algunas alternativas para presentar estos tipos de datos usando software SIG de uso y código libres.

2 Metodología

2.1 Sitio en estudio

La ciudad de Rosario sigue un diseño urbanístico en damero caracterizado por el trazado de sus calles en forma de grilla rectangular. Se seleccionó como área en estudio una zona con características homogéneas en cuanto a morfología, uso de suelo, tipo de pavimento, ancho de calzada, etc. (Fig. 1). El área es de cuatro cuadras de lado y está delimitada por las calles Italia y Corrientes en dirección Este-Oeste y las calles Córdoba y Tucumán en dirección Sur-Norte. El centro del área posee las siguientes coordenadas: 60° 38' 54,6" de longitud oeste y 32° 56' 22,2" de latitud sur.

El área de estudio es residencial y posee algunos pequeños comercios. Las calles son asfaltadas y el tránsito está controlado por semáforos en algunas de las intersecciones. El tránsito está compuesto en mayor proporción por vehículos livianos y motocicletas y también por ómnibus y vehículos pesados.

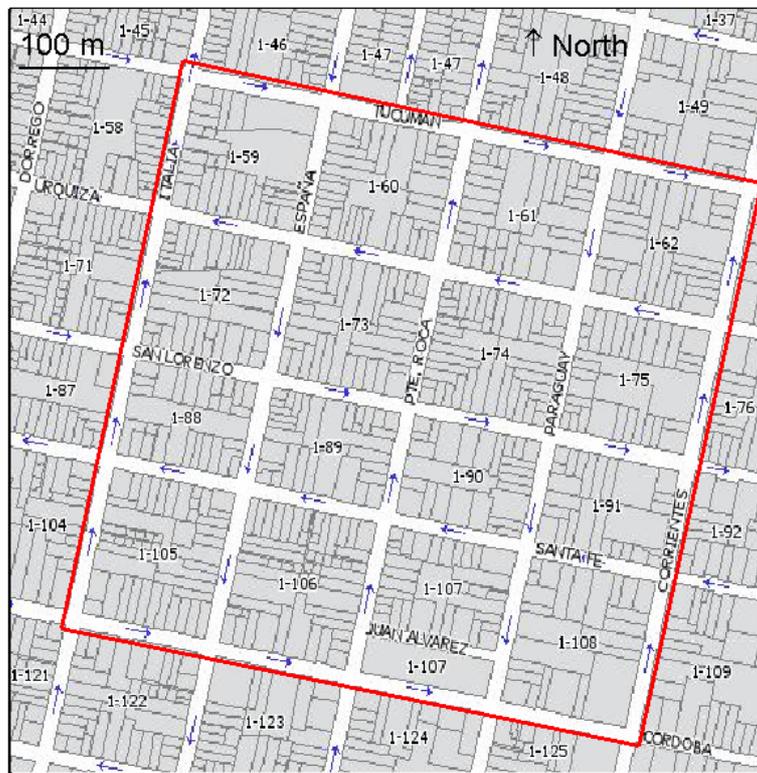


Figura 1: Área en estudio.

2.2 Medición

Se desarrolló un protocolo de medición basado en el registro sonoro en conexión con la recolección de datos de flujo de tránsito por cada categoría de vehículo.

Los datos espectrales para cada punto de medición se obtuvieron a partir de las señales registradas en formato de audio, usando herramientas confiables y validadas de calibración y análisis. A fin de establecer el tiempo de estabilización, parámetro necesario para definir el período mínimo de medición, se analizaron previamente los niveles de bandas de tercios de octava del ruido de tránsito (Miyara et al., 2008). Como resultado del citado estudio, se fijó para las mediciones en campo un período de quince minutos verificándose, luego del post-procesamiento de datos, que cada banda de medición se encontraba estabilizada.

El trabajo de campo se llevó a cabo grabando el sonido captado por los micrófonos de dos sonómetros clase 1 conectados a sendos grabadores portátiles. Los sonómetros fueron configurados con ponderación plana y se ubicaron a 1,5 m y a 4 m de altura, alejados de la fachada en cada punto de medición (ver Fig. 2). Los grabadores fueron previamente evaluados a fin de asegurar su idoneidad para ser empleados en mediciones acústicas (Miyara et al., 2010). Se optó por medir en un solo punto por cada calle debido a que los parámetros relevantes —flujo de tránsito y perfil de la masa construida— se asumieron constantes a lo largo de las mismas. La posición de cada punto de medición respondió a

una secuencia de números aleatorios con distribución uniforme entre 0 % y 100 % de la longitud de calle analizada.



Figura 2: Ubicación de los equipos de medición.

Se midió en cada punto el flujo de tránsito instantáneo con un contador electrónico manual de diseño propio que permite contar cuatro categorías de vehículos: vehículos livianos, motocicletas, vehículos pesados y ómnibus (Fig. 3). Este tipo de contador es fácilmente programable para funcionar con cualquier dispositivo portátil de cómputo —netbooks, tablets o teléfonos móviles—. En este caso, fue programado para emitir tonos de diferentes frecuencias según el tipo de vehículo, a un grabador digital H4. En el post-procesamiento de los tonos grabados se obtuvo un vector con instantes y categorías de cada evento registrado a los efectos de asociarlo a las grabaciones obtenidas en campo.

Luego del trabajo de campo se determinaron los niveles en bandas de tercios de octava para cada punto de medición. El método consiste en calcular para cada banda, la energía total de las líneas espectrales que se encuentran dentro de la banda de frecuencia de interés. Se utilizó un algoritmo de diseño propio desarrollado previamente y validado por comparación con un instrumento normalizado de clase 1 (Miyara et al., 2009; Accolti y Miyara, 2009, 2010).



Figura 3: Contador electrónico de vehículos y grabador digital H4.

2.3 Geo-referenciando mediante sistemas de información geográfica

Los datos geo-referenciados en Sistemas de Información Geográfica (GIS) pueden ser generalmente de dos tipos: raster o datos vectoriales. Los datos raster son proporcionados como un archivo de imagen en el cual cada pixel representa una pequeña superficie del espacio terrestre. Los datos vectoriales pueden ser puntos, líneas o superficies referenciadas a puntos descritos en sistemas de referencias geográficos.

La infraestructura de datos espaciales (IDE) se define como varios GIS institucionales alineados, para dar soporte a múltiples aplicaciones GIS y promover su uso (ej.: IDE Rosario, IDE Santa Fe, IDERA en la República Argentina). Generalmente proveen un servidor y herramientas online que retornan datos útiles en respuesta a consultas de clientes usando estas herramientas IDE u otras tales como el Matlab Mapping Toolbox (The MathWorks, 2011) o el software GvSIG (2010).

En los mapas espectrales geo-referenciados se han reportado los valores de dos tipos de variables: las relacionadas con el geo-referenciamiento y los niveles de bandas de frecuencias. Estas variables deben ser discretizadas, siendo el tamaño del intervalo empleado en cada escala lo que fijará su resolución.

En el caso del espacio, los datos discretizados en unidades de distancia, en este caso en metros, pueden ser luego interpretados en unidades angulares (ej.: radianes) para describir las coordenadas geográficas.

El grupo de trabajo para la evaluación de la exposición al ruido de la Agencia de Medioambiente Europea (Assessment of Exposure to Noise of the European Environment Agency) recomienda una grilla común de 10 m que puede ser modificada hasta llegar a 100 m para algunos casos de ruido de aeronaves o, hasta 2 m en casos en que las edificaciones se enfrentan a través de rutas angostas (WG-AEN, 2006).

La versión 1987 de la norma ISO 1996-2 presenta una definición de colores asociada con un intervalo de 5 dB de L_{eq} desde menos de 35 dB hasta 85 dB (WG-AEN, 2008). A pesar de que se suprimió la definición de colores desde la versión 2007 de la misma, su utilización es actualmente difundida. La escala de pasos de 5 dB es acorde a las recomendaciones de la directiva EU 2002/49/EC (2002).

3 Resultados

Los resultados parciales incluyen el protocolo para recolección de datos espectrales y conteo de vehículos expuestos en la metodología. En la Figura 4 se muestra el resultado del análisis espectral para un punto dado. En todos los casos se verificó que el nivel sonoro continuo equivalente sin ponderar fuera el mismo usando el audio grabado que el medido directamente usando el sonómetro.

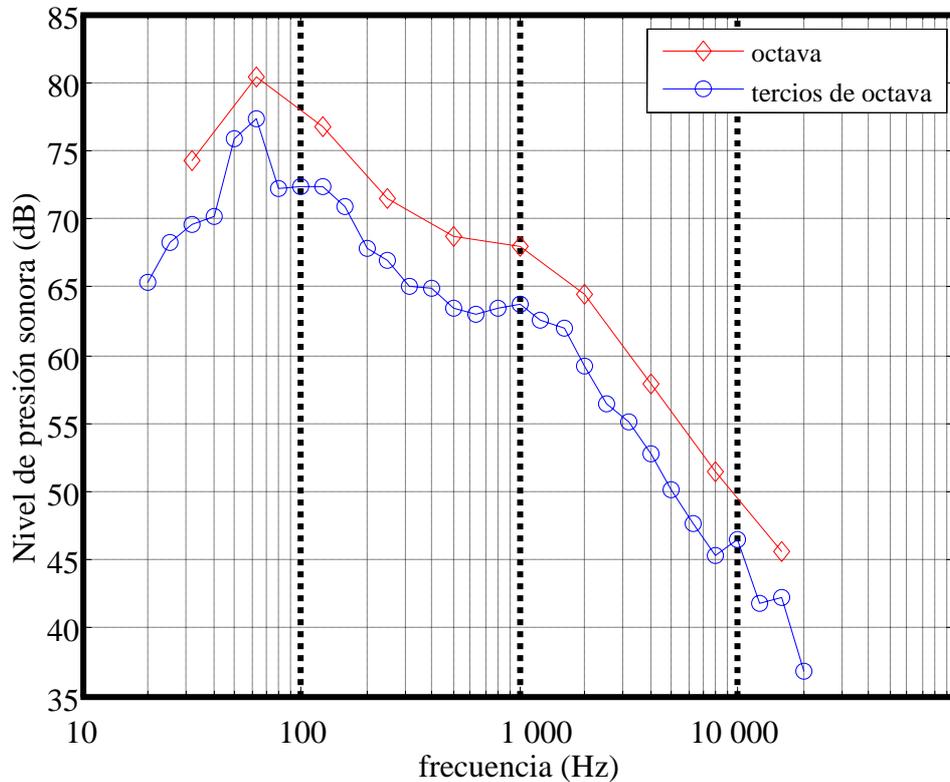


Figura 4: Espectro de bandas retornado para un punto localizado en la calle Presidente Roca.

A pesar que la palabra “mapa” se asocia mentalmente con una imagen, la salida de los Mapas Espectrales Geo-referenciados es simplemente la estructura de datos previamente procesados. En esta sección se presenta una salida gráfica pero la salida verdadera consiste en los datos estructurados, en este caso, siguiendo el protocolo Shapefile.

El resultado de este caso de estudio es el mapa espectral exterior de una parte de la ciudad de Rosario que admite múltiples formas de ser visualizado e interpretado. Así, por ejemplo, pueden mostrarse treinta y un mapas por bandas de tercio de octava, nueve mapas por bandas de octava (ver Fig. 5) o tres mapas: uno de frecuencias bajas, uno de frecuencias medias y otro de frecuencias altas (Accolti et al., 2011).

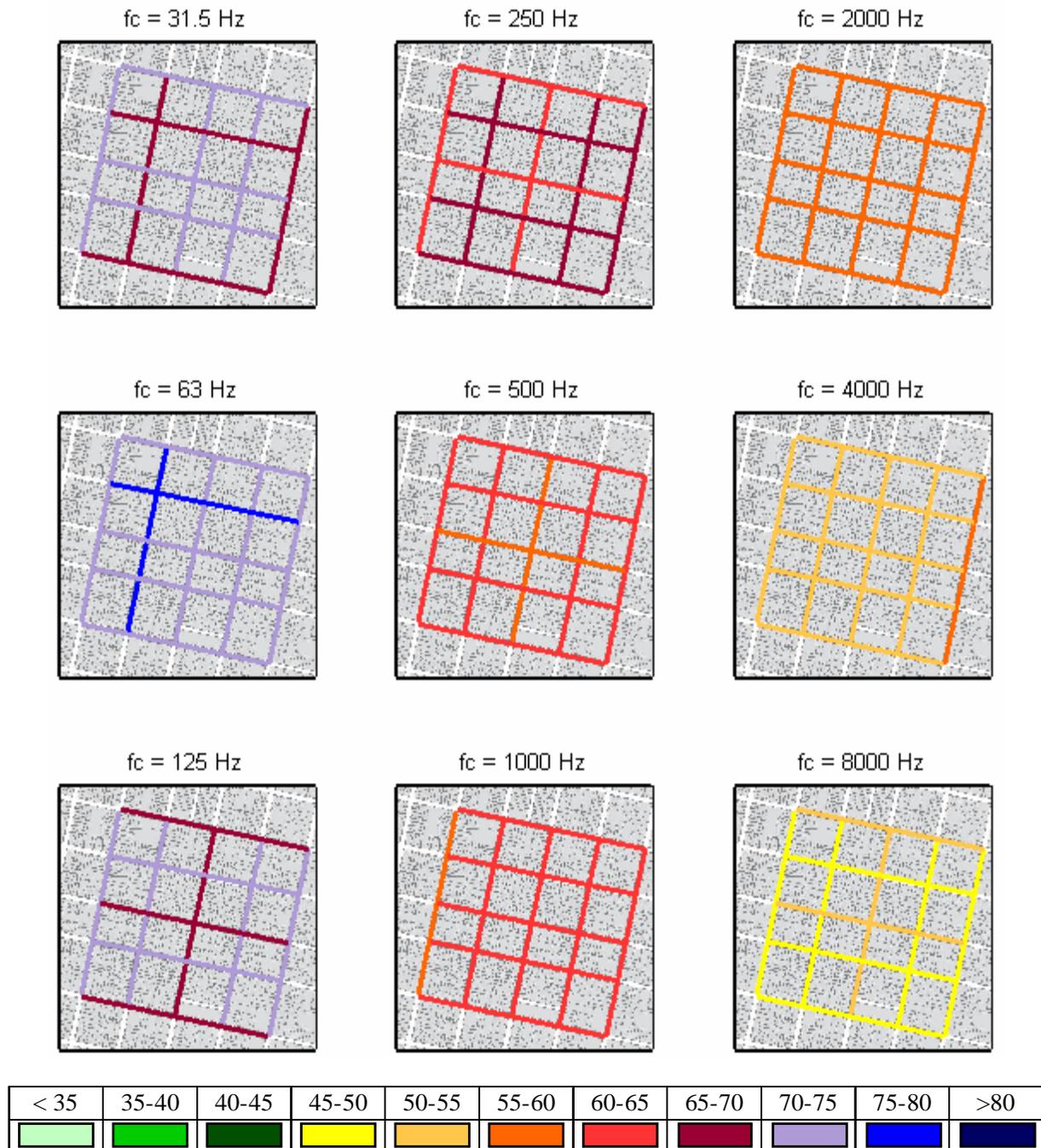


Figure 5: Mapa de ruido en bandas de octava.

4 Conclusiones

Los mapas de ruido por bandas de octava resultan más adecuados para la visualización en comparación con los de tercios de octava ya que permiten una primera evaluación más rápida que aquellos que tienen de mayor grado de detalle. No obstante, y dado que el resultado obtenido es un conjunto de datos sobre la distribución espectral del ruido en puntos de una grilla y no sólo los visualizados, existe la posibilidad de proporcionar información más específica o detallada bajo demanda para algún punto en particular.

Una ventaja del trabajo con mapas espectrales es que permite calcular el espectro en interiores a partir de los datos geo-referenciados de las fachadas y de parámetros acústicos del ambiente receptor, lo que resulta útil en la etapa de proyecto de los edificios para determinar las características acústicas adecuadas que deberían tener fachadas e interiores a fin de proporcionar condiciones de habitabilidad prefijadas.

Aunque algunos de los modelos más difundidos de mapas sonoros trabajan internamente con datos espectrales (NORD2000, CNOSSOS-EU) finalmente sólo muestran indicadores de número único; generando una capa GIS con los datos espectrales se dispondría fácilmente de esa información a partir de la cual podrían generarse, por ejemplo, mapas de $L_{eq,A}$, de sonoridad o de agudeza.

En síntesis, la metodología de bajo costo propuesta permite evitar las desventajas del uso del $L_{eq,A}$ como único indicador de la situación acústica ambiental, en concordancia con los nuevos enfoques de valoración del ruido urbano.

Agradecimientos

El primer autor es becario doctoral tipo II del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas CONICET, se agradece por el soporte. Este trabajo fue financiado en parte por el proyecto PICT N° 38109 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

Referencias

- Accolti Ernesto, Miyara Federico. "Herramientas para el estudio de la percepción, valoración y efectos en el ser humano en relación al contenido espectral y envolvente temporal del ruido" 1^{as} Jornadas Regionales de Acústica AdAA Rosario, Argentina. A026, 2009.
- Accolti, E.; Miyara, F. "Tools for studying noise effects based on spectral and temporal content" Proceedings of the 39th INTER-NOISE congress. Lisbon, Portugal. Invited Paper, 51, 2010.
- Accolti, E.; Miyara, F; Marengo-Rodriguez, F. A.; Miechi, P.; Mignini, E.; Pasch, V.; Cabanellas, S. Yanitelli, M. "Georeferenced spectral maps. An improved instrument for action planning on environmental noise mitigation" Tecnicústica 2011.
- ANSI S3.4-2007 Procedure for the Computation of Loudness of Steady Sounds.
- Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D., "Guías para el ruido urbano. Organización Mundial de la Salud"; 1999.
- Bown Lex. "Acoustic Design of Outdoor Space" Axelsson, Ö. (Ed.). Designing Soundscape for Sustainable Urban Development. Stockholm, Sweden. 13–16, 2011.
- EU Directive 2002/49/EC of the European parliament and the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. Official Journal of the European Communities L 189/12, 2002.
- FHWA. Federal Highway Administration "Traffic Noise Model" Department of transportation USA, 2008.
- GvSIG Association "GvSIG Desktop 1.11 Manual de usuario" 2010.
- Kogan, P., "Análisis de la eficiencia de la ponderación A para evaluar efectos del ruido en el ser humano" Tesis de grado Licenciatura en Acústica. Universidad Austral de Chile; 2004.
- ISO 1996-1-2003 Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures
- ISO 532-1975. Acoustics - Method for calculating loudness level.

- ISO 9613-2-1996 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation.
- JRC Reference Report. "Common Noise Assessment Methods in EU" Draft Version 2d, 2010.
- Miyara, F.; Cabanellas, M.; Pasch, V.; Yanitelli, S.; Accolti, E.; Miechi, P. "Contrastación de algoritmos de análisis de espectro sonoro con un instrumento normalizado" 1^{as} Jornadas Regionales de Acústica AdAA, Rosario, Argentina. A032, 2009.
- Miyara, F.; Miechi, P. Pasch, V.; Cabanellas, S.; Yanitelli, M.; Accolti, E. "Estabilización del espectro del ruido de tránsito" VI Congreso Iberoamericano de Acústica (FIA2008), Bs As, Argentina, A033, 2008.
- Miyara F.; Accolti, E.; Pasch, V., Cabanellas S., Yanitelli M., Miechi P., Marengo-Rodriguez F., Mignini E. "Suitability of a consumer digital recorder for use in acoustical measurements" Proceedings of the 39th INTER-NOISE congress. Lisbon, Portugal. 933, 2010.
- The MathWorks, Inc. "Mapping Toolbox™ User's Guide" 2011.
- WG-AEN European Environment Agency Working Group on the Assessment of Exposure to Noise. "Position paper: Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure" 2006.
- WG-AEN European Environment Agency Working Group on the Assessment of Exposure to Noise. "Position paper: Presenting noise mapping information to the public" 2008.
- Zwicker, E.; Fastl, H. "Psychoacoustics: Facts and Models" Springer, Berlin, 2007.