



RRA - 1109

Mapas georeferenciados de ruido espectral. Un caso de estudio usando software libre de información geográfica

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, Argentina. Riobamba 245 bis, Rosario, Argentina. E-mail: fmiyara@fceia.unr.edu.ar

(b) Grupo Ruido. FAPUD. Universidad Nacional de Rosario, Argentina. Riobamba 245 bis, Rosario, Argentina. E-mail: myanitel@fceia.unr.edu.ar

Abstract

Exposure-response relationships have been widely studied using $L_{eq,A}$ measured outdoors. Low frequencies predominate even indoors for some salient sources (such as road traffic) but are minimized by A-weighting network. The spread of exposure-response relationships can be reduced by relating people response to the noise spectrum inside buildings instead of the outer $L_{eq,A}$. The indoor spectrum for each building can be estimated from outdoor spectral maps if the data of façades and interior properties were also available. Herein an outdoors georeferenced spectral map is developed using free software.

Resumen

Las relaciones dosis-respuesta han sido ampliamente estudiadas usando el nivel de presión sonora ponderado A ($L_{eq,A}$) en exteriores. Las componentes de frecuencias bajas son minimizadas por la red de filtrado A, cuando en realidad son predominantes, incluso en interiores. El intervalo de confianza de las respuestas se podría reducir relacionándolas con niveles espectrales en interiores en lugar de hacerlo con $L_{eq,A}$ en exteriores. Los espectros en interiores se podrían estimar a partir de los espectros en exteriores si se dispusiera además de los datos de fachadas e interiores. En este artículo se desarrolla un mapa georeferenciado de una parte de la ciudad de Rosario, Argentina, usando software libre.

1 Introducción

Las relaciones dosis-respuesta han sido ampliamente estudiadas usando el nivel de presión sonora ponderado A ($L_{eq,A}$) medido en exteriores en contraste con encuestas de campo (Schultz, 1978; Miedema, 2007). Más aún, actualmente el descriptor $L_{eq,A}$, determinado para un año entero en Europa y para un intervalo temporal no especificado de largo plazo en Buenos Aires, se usa como herramienta de diagnóstico para el desarrollo de planificaciones para reducir el ruido cuando es necesario mediante simples ajustes para la tarde y noche (EU Directive 2002/49/EC, 2002; Ley 1540 Bs As, 2005). El $L_{eq,A}$ corregido se llama nivel sonoro día-tarde-noche (L_{den}) o nivel sonoro día noche (L_{dn}) cuando se contemplan ajustes para la tarde y noche o sólo para la noche, respectivamente (ISO 1996-1, 2003). La corrección para el período del día (7-19 hs.) es 0 dB, para la tarde (19-23 hs.) es 5 dB y para la noche (23-7 hs.) es 10 dB. El L_{den} es el promedio energético ponderado de todos estos períodos corregidos.

Los métodos actuales disponibles y en desarrollo para el cálculo de los mapas de ruido usan información espectral para describir las fuentes de ruido y también los caminos de propagación (FHWA TNM, 2008; ISO 9613-2, 1996; JRC Reference Report CNOSSOS, 2010). Particularmente el método de cálculo CNOSSOS se encuentra en etapa de desarrollo en respuesta a la directiva europea 2002/49/EC, y la directiva establece que los mapas deberían ser presentados en términos de descriptores $L_{eq,A}$ pero que la información espectral usada para componer tal mapa, siguiendo el modelo CNOSSOS, no se puede recuperar del propio mapa de $L_{eq,A}$. Usando estos métodos de cálculo, no sería técnicamente difícil presentar los datos espectrales como salida relevante. Más aún, el mapa $L_{eq,A}$ se puede componer en servidores de Sistemas de Información Geográficos (GIS) o inclusive en los clientes si se diseñan herramientas de software adecuadas usando datos espectrales geo-referenciados como entrada a fin de presentarlos a la comunidad como se recomienda en WG-AEN, 2008.

Los sonidos de bajas frecuencias son predominantes en las fuentes sonoras más presentes en la mayoría de las ciudades (es decir, el ruido de tránsito) y son menos atenuadas, en comparación con componentes de frecuencias medias o altas, por efectos físicos como la atenuación del aire, divergencia acústica, la atenuación de fachadas usadas frecuentemente, barreras, paredes y otros objetos en el camino de propagación del sonido. Entonces, no sólo en exteriores, sino también en interiores, donde las personas pasan la mayor parte del tiempo las componentes de bajas frecuencias son de gran importancia. A pesar que el sistema auditivo responde con menos amplitud en frecuencias y niveles bajos, esto no es así niveles altos. El problema bien conocido de la red de ponderación A es que subestima las frecuencias bajas dando una ventaja al nivel sonoro espectral sin ponderaciones.

Otra ventaja de los niveles espectrales es que si se usan como datos de entrada, sabiendo las características de la fachada y del ambiente interior, permite hacer una buena estimación de los niveles interiores. Sin embargo, esto no se puede realizar a partir del $L_{eq,A}$, en lugar de los niveles espectrales. Presumiblemente el intervalo de confianza de las relaciones dosis-respuesta se podría reducir relacionando la respuesta de la gente con los niveles espectrales en interiores en lugar de hacerlo con el $L_{eq,A}$. Más aún, urbanistas y profesionales involucrados en el planeamiento urbano pueden usar los mapas espectrales exteriores geo-referenciados para determinar la aislación sonora adecuada de fachadas para nuevos proyectos a fin de obtener un nivel sonoro en interiores previamente establecido. La determinación de la aislación sonora requerida no se puede hacer usando mapas basados en $L_{eq,A}$ sin información espectral previa.

El paradigma clásico, basado en la reducción de ruido cuando se exceden ciertos límites, se está transformando paulatinamente en una aproximación más holística llamada Paisaje Sonoro, el cual contempla el trasfondo cultural asociado con las fuentes sonoras y su entorno tratando el sonido como un recurso en lugar de un desperdicio (Brown, 2011). Actualmente se está desarrollando una norma para la aproximación de Paisaje Sonoro (ISO 12913-1). Algunos descriptores de interés para la aproximación de Paisaje Sonoro tal como la Sonoridad (ISO 532, 1975; ANSI S3.4, 2007) y la agudeza (Sharpness) (Zwicker and Fastl, 2007) se pueden determinar usando información espectral y no usando el $L_{eq,A}$.

En resumen, los niveles sonoros por bandas de frecuencia se pueden calcular fácilmente con métodos disponibles y se pueden presentar de esa forma sin perder la posibilidad de determinar el $L_{eq,A}$. Estos espectros contemplan la energía de bajas frecuencias (predominantes en muchos casos) y permiten el cálculo de niveles atenuados físicamente o de características de aislación sonora para materiales a fin de obtener un nivel sonoro determinado en un receptor de interés. También permiten la determinación de descriptores tal como la Sonoridad y la Agudeza de interés para la aproximación de Paisaje Sonoro.

En este artículo se presenta un caso de estudio usando recursos económicos para determinar los niveles espectrales y algunas 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 de estudio

La ciudad de Rosario, Argentina sigue un diseño urbanístico hipodámico caracterizado por el trazado de sus calles en forma de grilla rectangular. Se eligió como área de estudio una zona con características homogéneas (ver Anexo A). El área es de cuatro cuadras de cada lado y está delimitada por las calles Italia y Corrientes en la dirección este-oeste, y las calles Córdoba y Tucumán en la dirección sur-norte. El centro del área de estudio 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 todas asfaltadas y el tránsito está controlado por semáforos en algunas de las intersecciones de calles. El tránsito está compuesto en primer término por vehículos livianos y motocicletas, y en segundo término por ómnibus y finalmente por camiones y vehículos pesados.

2.2 Medición

Se desarrolló un protocolo de medición basado en el registro sonoro en conexión con recolección de datos de flujo de tránsito instantáneo por cada categoría de vehículo usando recursos económicos. El método y las diversas técnicas fueron presentados en otros artículos, pero se presentan en este artículo en forma resumida a modo de que este sea autocontenido. Este estudio piloto se llevó a cabo dentro de la zona de estudio.

Con los datos registrados en formato de audio, usando herramientas confiables y validadas de calibración y análisis se obtuvieron los datos espectrales para cada punto de medición. Para ello se analizaron los niveles de bandas de tercios de octava para el ruido de tránsito, a fin de establecer el tiempo de estabilización (Miyara et al., 2008) y con ello se definió un período mínimo de medición. Como resultado de estudio del citado artículo, se fijó para las mediciones en campo un período de medición de quince minutos y luego del post-procesamiento de datos se verificó 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 para no ponderar las mediciones (ponderación plana o Z). Los micrófonos fueron situados a 1.5 metros de altura y 1 metro de distancia de la vereda en cada punto de medición. Se grabó también un tono puro de 1 kHz de 94 dB para tener una referencia de la señal acústica y también para calibrar las señales grabadas. Los grabadores fueron previamente evaluados para asegurar su idoneidad para ser empleados en mediciones acústicas (Miyara et al., 2010). Se optó por medir solo un punto por cada calle, porque los parámetros relevantes (es decir, el flujo de tránsito y su perfil) se asumen constantes a través de la longitud de las calles. La posición de cada punto responde a una secuencia de números aleatorios con distribución uniforme entre 0 % y 100 % de la longitud de calle analizada. Las características asumidas del flujo de tránsito y del perfil de la calle son adecuadas para los propósitos de este estudio pero deberían ser revisadas para otras actividades tales como diagnóstico y planes de acción.

Luego, para cada punto de medición se calcularon los niveles en bandas de tercios de octava. El método consiste en calcular para cada banda, usando el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier, 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 previamente desarrollado y validado por comparación con un instrumento normalizado de clase 1 (Miyara et al., 2009; Accolti y Miyara, 2009 y 2010).

Se midió en cada punto el flujo de tránsito instantáneo usando un contador electrónico manual de diseño propio que permite contar cuatro categorías diferentes de vehículos: 1. vehículos livianos, 2. motocicletas, 3. vehículos pesados, 4. ómnibus. Se puede programar fácilmente esta clase de contadores para cualquier dispositivo portátil de cómputo tal como net-book, tablet-pc o incluso teléfonos móviles. En nuestro caso de estudio, programamos el contador para emitir, a un grabador digital H4, tonos de diferentes frecuencias según el tipo de categoría. Luego, se obtuvo por post-procesamiento de los tonos grabados, un vector con instantes y categorías de cada evento registrado, que se puede asociar a las grabaciones obtenidas en campo. Cabe agregar que se está desarrollando un dispositivo para detectar y registrar datos temporales y geográficos correspondientes a eventos discretos como los antes mencionados.

2.3 Geo-referenciando usando 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 dados 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 descriptos en sistemas de referencias geográficas.

La infraestructura de datos espaciales (IDE o SDI en inglés) se define como varios GIS institucionales alineados para dar soporte a múltiples aplicaciones GIS y promover su uso (por ej. IDE Rosario, IDE Santa Fe o 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 herramientas para clientes tales como el Matlab Mapping toolbox (The MathWorks, 2011) o el software GvSIG (GvSIG, 2010).

2.3.1 Datos raster y servicio de mapeo web

El servicio de mapeo web (en inglés, Web Mapping Service o WMS) es un protocolo estándar definido por el Consorcio Geoespacial Abierto (en inglés, Open Geospatial Consortium o OGC)¹ para comunicación GIS. Este protocolo permite la gestión de datos por capas (por ej. la capa 1 corresponde a las calles, la capa 2 corresponde a las edificaciones) usando datos de tipo raster. El almacenamiento de los datos del vector se puede realizar en diferentes formatos de imagen tal como TIFF, GIF, PCX, etc. o bien mediante protocolos más específicos tal como GeoTIFF, ADRG, ESRI grid, etc.

Se utilizó el protocolo WMS mediante el software GvSIG para acceder a los datos de la capa de parcelas, nombres de calles y dirección de calle en la zona de estudio tal como se expone en el Anexo A. Los datos tipo raster usados fueron provistos por el servidor de la IDE Rosario².

El proceso para obtener las imágenes se llevó a cabo con dos consultas. La primera consulta fue enviada al servidor, el cual retornó las capas disponibles. En la segunda consulta, se eligieron algunas capas y se definió una región espacial para el área de estudio. También retorna el tipo de sistema de referencia en los metadatos asociados, a fin de utilizar para reportar los otros datos en el mismo sistema (EPSG 22185).

2.3.2 Datos vectoriales y protocolo Shapefile

El protocolo Shapefile se halla bien documentado y se compone por un conjunto de al menos tres archivos. El propietario es la compañía ESRI (ESRI 1998) pero permite la traducción de datos provenientes de otras compañías y en la actualidad es una norma de facto entre los softwares y agentes GIS. Este protocolo permite el almacenamiento de datos vectoriales. En este caso de estudio, las características eran puntos y los atributos eran los niveles de bandas de tercios de octava.

Se usó este protocolo vía Matlab Mapping Toolbox para componer los resultados asignando una referencia geográfica a los niveles determinados. Se compuso algunas capas geográfica asociadas a los niveles espectrales usando una capa previa que contiene los puntos centrales de cada calle (ver Accolti et al., 2011). Cada una de las capas corresponde a distintos niveles de discretización que, luego en GvSIG, se programan para ser mostrados en función de la escala geográfica usada. Para la escala 1:4000 se programó una grilla de 50 metros que se deja de visualizar cuando la escala llega a 1:2000 donde se usa una grilla de 100 metros y para 1:8000 que se usa una grilla de 10 metros.

2.3.3 Resolución para la presentación de resultados

Se reportaron en mapas espectrales georeferenciados los valores de dos tipos de variables: las relacionadas con el georeferenciamiento y las variables nivel de bandas de frecuencias. Por supuesto que se debe discretizar estas variables y el tamaño de intervalo usado en cada escala 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 (por ejemplo en radianes) para describir las coordenadas geográficas.

El Working Group en la Evaluación de 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, ó, en sentido contrario, hasta 2 metros en casos donde las edificaciones se enfrentan entre sí a través de rutas angostas (WG-AEN, 2006).

La versión 1987 de la norma ISO 1996-2 presenta una definición de colores asociada con una banda de 5 dB de L_{eq} desde menos de 35 dB hasta 85 dB (WG-AEN, 2008). A pesar que se suprimió la definición de colores desde la versión 2007 de ISO 1996-2, su utilización actualmente se difunde y recomienda. La escala de pasos de 5 dB es acorde a las recomendaciones de la directiva EU Directive 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 1 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 fue el mismo usando el audio grabado que el medido usando el sonómetro.

¹ <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>

² www.rosario.gov.ar/sitio/alias/ide/index.html

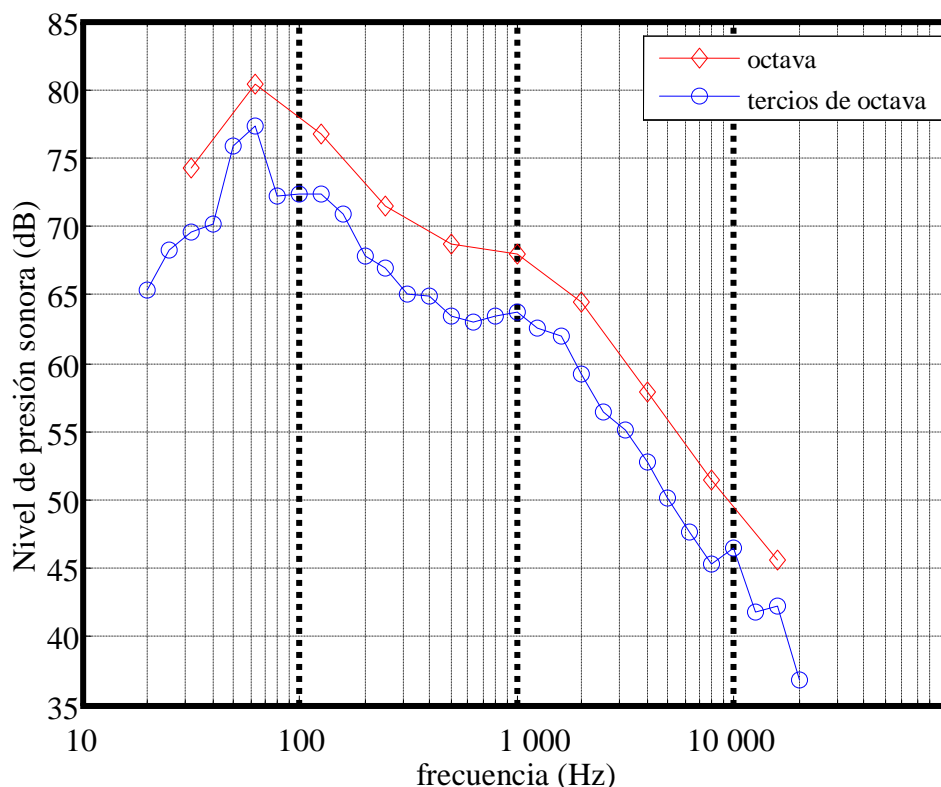


Figura 1: Espectro de bandas retornado para un punto localizado en la calle Presidente Roca.

A pesar que la palabra “mapa” se asocia mentalmente con una imagen, la salida de los Mapas Espectrales Georeferenciados es simplemente la estructura de datos previamente procesados. En esta sección se presentan 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. En el artículo Accolti et al., 2011 se evalúan distintas formas de presentación de resultados, treinta y un mapas por bandas de 1/3 de octava, nueve mapas por bandas de 1/1 octava o por tres mapas; uno de frecuencias bajas, uno de frecuencias medias y otro de frecuencias altas. En el presente artículo se agrega otra posibilidad que es directamente mostrar los espectros de 1/3 de octava en puntos discretos de un solo mapa como los mostrados en el Anexo A.

Notar que en el Anexo A la escala es de 1:4000 por lo tanto la resolución de la grilla es de 50 metros ya que las capas correspondientes a la grilla de 100 metros y de 10 metros no son visibles.

4 Conclusiones

Los mapas de 1/1 resultan más adecuados para la visualización en comparación con los de 1/3 ya que permiten una primera evaluación en forma más rápida que mapas de mayor detalle. El mapa del Anexo A ofrece una visión mucho más rápida de la forma del espectro pero carece de detalles. De todas formas el contar con una capa de datos ofrece la posibilidad de contar con muchos más detalles bajo demanda para algún punto en particular.

Una gran ventaja del trabajo con mapas espectrales es que el espectro en interiores puede ser calculado si se dispone de datos georeferenciados de las fachadas e interiores beneficiando a la planificación urbana para determinar las adecuadas características acústicas que deberían tener fachadas e interiores de los nuevos proyectos.

No sería costoso evitar las desventajas del uso indiscriminado del $L_{eq,A}$ para representar la situación acústica ambiental en el caso de modelos conocidos de mapas que trabajan internamente con datos espectrales (NORD2000, CNOSSOS-EU) pero que finalmente no son mostrados. Simplemente se debería generar una capa GIS con los datos espectrales antes de convertirlos en $L_{eq,A}$. Luego, trabajos futuros pueden incluir el diseñar herramientas para software GIS de uso libre que calculen un mapa de $L_{eq,A}$ de sonoridad o de agudeza por ejemplo.

Agradecimientos

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

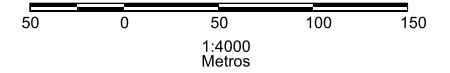
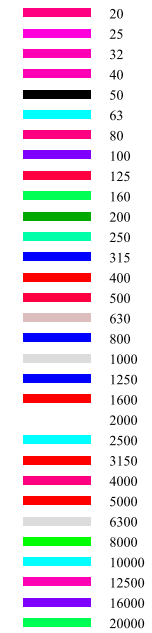
Referencias

- 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" *Tecniacústica* 2011 (En prensa).
- ANSI S3.4-2007 Procedure for the Computation of Loudness of Steady Sounds.
- Bown Lex. "Acoustic Design of Outdoor Space" Axelsson, Ö. (Ed.). *Designing Soundscape for Sustainable Urban Development*. Stockholm, Sweden. 13-16, 2011.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute, Inc., "Shapefile Technical Description" 1998.
- 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.
- ISO 12913-1 Acoustics - Soundscape - Part 1: Concept, evaluation and application. Not published.
- 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.
- Ley 1540 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Control de la Contaminación Acústica en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Boletín Oficial 2111, 2005.
- Miedema H. "Annoyance Caused by Environmental Noise: Elements for Evidence-Based Noise Policies" *Journal of Social Issues*, 63(1): 41-57, 2007.
- 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.
- Schultz, T. "Synthesis of social surveys on noise annoyance" *Journal of the Acoustic Society of America* 64(2): 377-405, 1978.
- 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.

Mapa de Ruido Espectral

Entre Calles:
Italia-Corrientes y
Córdoba-Tucumán
Rosario, Argentina.

Niveles en bandas de 1/3 de Octava



Laboratorio de Acústica y
Electroacústica

