



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A165

Caracterización de ruido urbano en la ciudad de Bahía Blanca

Martín Sequeira^(a),
Cecilia Stoklas^(a),
Adrián Azzurro^(a),
Pablo Girón^(a),
Víctor Cortínez^{(a)(b)}.

(a) Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca. 11 de Abril 461, B8000LMI Bahía Blanca, Argentina. E-mail: vcortine@frbb.utn.edu.ar

(b) CONICET.

Abstract

This work presents the results of a new measurements campaign of acoustic levels performed in Bahía Blanca city in the period 2007-2008. Noise maps are shown for the most important areas from the acoustic point of view. Moreover, conflict maps are established. From the new measurements, an acoustic prediction formula for traffic noise is developed. On the other hand stabilization times are determined in order to have a better efficiency for performing future measurements campaign.

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de una nueva campaña de medición de niveles sonoros realizados durante el período 2007-2008 en la ciudad de Bahía Blanca. Se muestran los mapas acústicos obtenidos para diferentes momentos del día. Además se establecen mapas de conflicto. A partir de los datos obtenidos se desarrolla una fórmula para la predicción del ruido generado por el tráfico urbano. También se determinan los tiempos de estabilización para lograr mayor eficiencia en próximas campañas de medición para actualizar los presentes datos.

1 Introducción

El Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada (CIMTA) viene realizando investigaciones en la problemática de ruido urbano en la ciudad de Bahía Blanca desde el año 1996. En particular, se han realizado campañas de medición directa de los niveles acústicos presentes en diferentes zonas de la ciudad, siendo las más completas las desarrolladas en los años 1996, 2000, 2002 y 2004 [1]. Como resultado de tales estudios se ha logrado el conocimiento de las zonas de mayor impacto acústico así como el nivel acústico medio de las mismas.

El presente trabajo pretende documentar los resultados obtenidos en una nueva campaña de medición realizada en el período 2007-2008. La presente campaña se abocó a la actualización y ampliación de la base de datos de indicadores de ruido y su representación mediante mapas acústicos para diferentes momentos del día, implementados en ambiente GIS (Geographical Information System). En particular, se han establecido mapas de conflicto que muestran las zonas donde los niveles acústicos existentes superan los valores admisibles máximos determinados por la normativa acústica de la ciudad.

A partir de dichos mapas es posible analizar el ambiente acústico urbano a los efectos de guiar posibles acciones de planificación. Es importante mencionar que la utilización del ambiente GIS es muy apropiada para correlacionar aspectos acústicos con otros parámetros del problema urbano (topografía, tipos de edificación, tipo de actividad, otras formas de polución, etc.).

Los valores registrados han permitido nuevos ajustes de fórmulas predictivas de ruido generado por tráfico vehicular con el objetivo de mejorar su precisión.

Por otra parte, se han determinado, para diferentes localizaciones dentro de la ciudad, los tiempos de estabilización necesarios para lograr valores representativos de los indicadores acústicos. Tales magnitudes serán de utilidad para futuras campañas de medición con el propósito de actualizar o ampliar la presente base de datos. Además tal información puede resultar relevante para analizar la metodología de aplicación de la ordenanza de ruidos molestos actualmente vigente.

2 Tareas desarrolladas y metodología

El estudio efectuado consistió en la determinación mediante medición directa de los indicadores de ruido ambiental recomendados por las normas internacionales. Estos indicadores fueron monitoreados en 76 puntos o estaciones de medición. Simultáneamente se tomaron registros de velocidad y dirección del viento, flujo vehicular y composición (vehículos medianos, pesados y de dos ruedas). Todas las mediciones correspondieron a días hábiles.

Se ubicó la mayor cantidad de estaciones de medición en la zona céntrica y sub-céntrica (abarcando aproximadamente una superficie de 3 x 2 Km centrada en la Plaza Rivadavia, centro geográfico de la ciudad).

Debe notarse además, que dicha cobertura abarcó diferentes áreas de zonificación según el código de planeamiento urbano de la ciudad.

Las ubicaciones de las estaciones de medición, junto a la zonificación del Código de Planeamiento Urbano de la ciudad, pueden apreciarse en la Figura 1.

Se consideró conveniente, a los propósitos de las determinaciones de los niveles sonoros, dividir al día en tres franjas horarias:

- a) Horario Matutino (7 a 13 hs), horario de medición de 9 a 12 hs.
- b) Horario Vespertino (13 a 22 hs), horario de medición de 15 a 18 hs.

c) Horario Nocturno (22 a 7 hs), horario de medición de 0 a 4 hs.
Se ha evitado realizar mediciones en horarios pico (traslados masivos desde o hacia los hogares) ya que tales situaciones requieren un análisis particular.

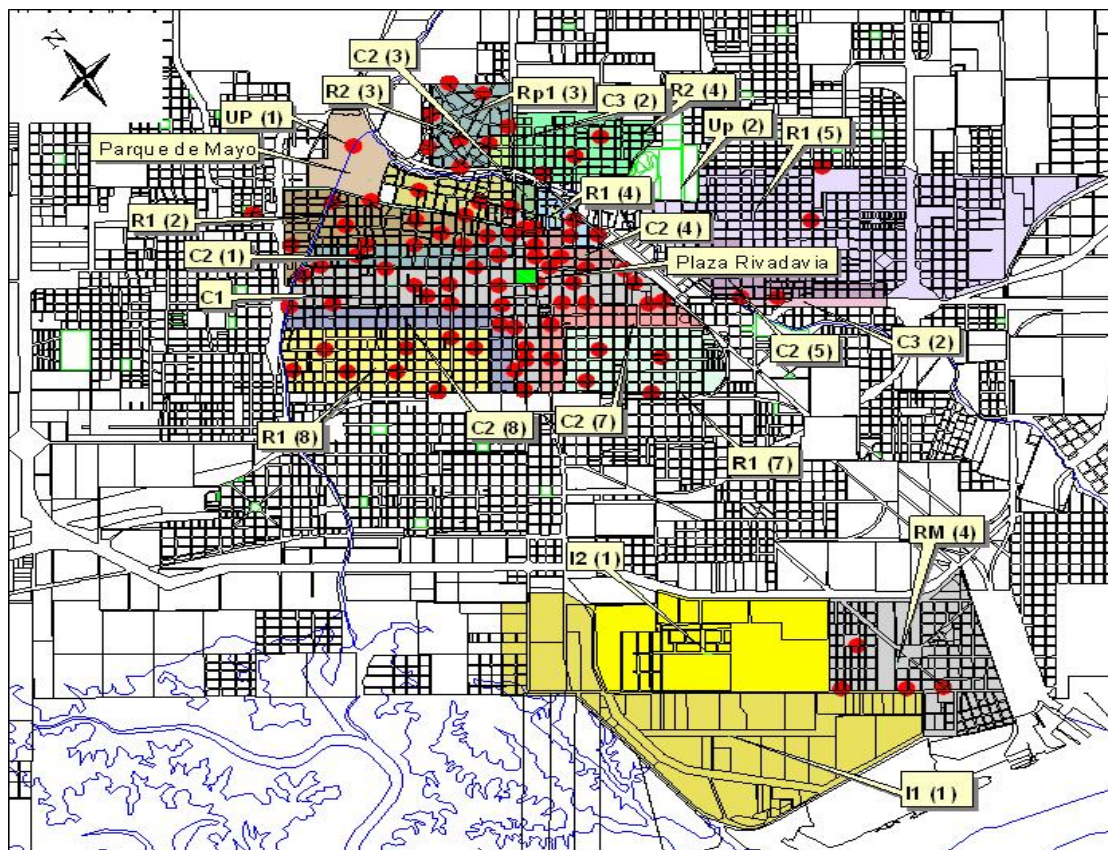


Figura 1. Mapa de zonificación de la ciudad de Bahía Blanca según el Código de Planeamiento Urbano y ubicación de las estaciones de medición.

Para la metodología específica de cada sesión de medición, se han adoptado recomendaciones de la normas ISO (International Standardization Organization (ISO) 1996 - 1/2/3. Acoustic Description and Measurement of Enviromental Noise, 1982) y de la Primera Reunión Nacional de Ruido Urbano (Actas de la Primera Reunión de Ruido Urbano. Universidad del Museo Social Argentino. Buenos Aires. Noviembre 1995).

Para la realización de las tareas se utilizó el siguiente equipo:

- Un Sonómetro integrador marca "Quest Technologies"; modelo 2900. Tipo 2.
- Un Sonómetro integrador marca "CESVA"; modelo SC160. Tipo 2.
- Software "Quest Suite" para la transmisión y análisis de los datos.
- Software "Capture Studio" para comunicaciones, permitiendo la transmisión en tiempo real de los datos medidos por el sonómetro a un ordenador.
- Un anemómetro marca PROVA, modelo AVM-01.

Con los datos obtenidos se elaboraron mapas acústicos, mediante el software ArcView 9.2, el cual es una herramienta GIS con la que se puede visualizar, analizar, crear y gestionar información geográfica.

3 Mapas Acústicos

A continuación se presentan los mapas acústicos, a partir del indicador Leq (nivel sonoro continuo equivalente), para la zona centro de la ciudad y la zona de Ing. White (zona industrial-portuaria).

Cada una de estos mapas abarca las siguientes áreas según el Código de Planeamiento Urbano (para la zona centro: C1 (Área central-centro direccional), C2 (Macro-Centro), y R1 (Residencial densidad media alta); para la zona de Ing. White: RM (Residencial mixta) y I (Industrial)).

La Figura 2 muestra el mapa acústico correspondiente a la zona céntrica de la ciudad de Bahía Blanca para el horario vespertino. Dicho mapa no presenta mayores variaciones con el correspondiente al horario matutino.

Como se observa en dicha Figura, los niveles sonoros equivalentes en la zona estudiada son del orden de 70 a 75 dBA, apreciándose niveles mayores a 75 dBA en las inmediaciones de la Plaza Rivadavia (centro geográfico de la ciudad) con mayor tendencia a la zona sudeste del centro la ciudad. Hacia el sector norte se aprecia cierta disminución de los niveles [60 a 70 dBA], debido principalmente a que en esta área se encuentran concentrados los espacios verdes (Parque de Mayo y paseos recreativos).

Para el horario nocturno, en la Figura 3, se observa una gran heterogeneidad de los niveles sonoros debido principalmente a la discontinuidad del flujo vehicular para este período. Se aprecia que los máximos niveles sonoros se encuentran en las inmediaciones de la Plaza Rivadavia, de igual manera que para el horario diurno, con niveles que oscilan entre 70 y 75 dBA. Es decir, se produce una disminución de alrededor de 5 dBA con respecto al horario diurno.

Nuevamente, como se observó anteriormente, las zonas menos ruidosas se encuentran ubicadas en el sector noroeste de la ciudad con niveles entre 50 dBA y 65 dBA.

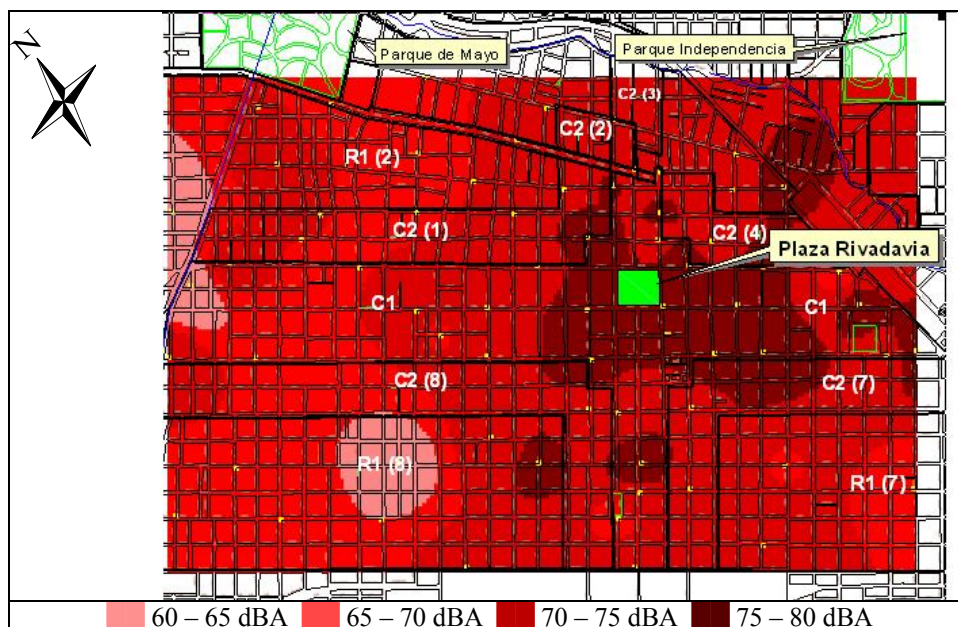


Figura 2. Mapa acústico [Leq en dBA] de la zona centro de Bahía Blanca (Horario vespertino).

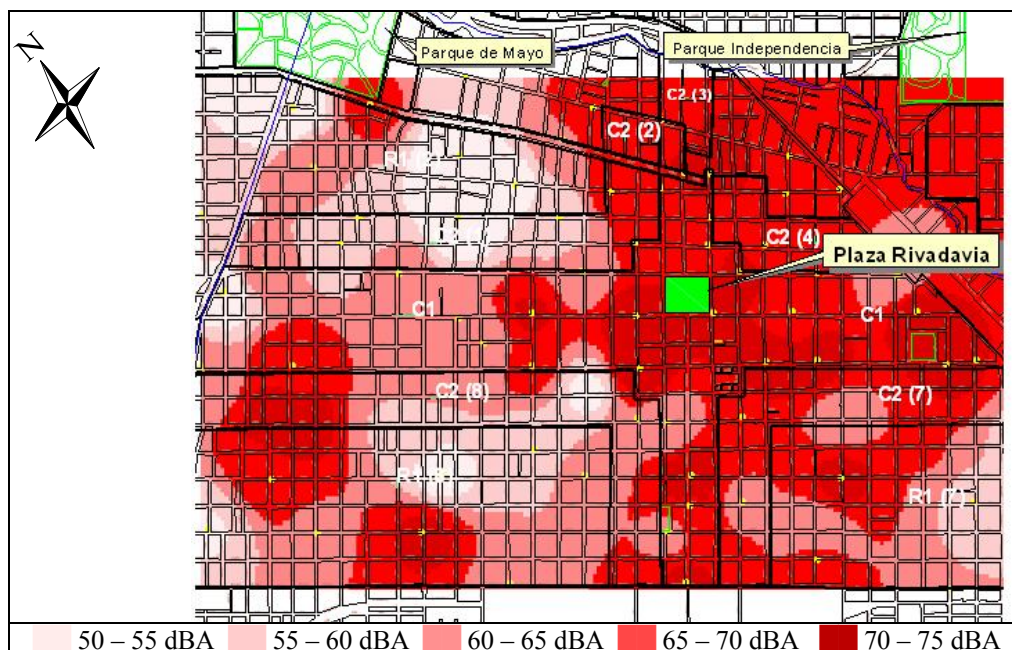


Figura 3. Mapa acústico [Leq en dBA] de la zona centro de Bahía Blanca (Horario nocturno).

La zona portuaria de la ciudad presenta características especiales, desde el punto de vista acústico, ya que en ella se compatibilizan áreas de vivienda (zona residencial) con una serie de industrias pesadas que conforman el Polo Petroquímico de la ciudad.

Se observa en la Figura 4 para el horario vespertino (en el horario matutino las características del mapa acústico son similares) que los niveles máximos se encuentran distribuidos en la zona industrial (sector sur) con valores entre los 70 y 75 dBA, mientras que en la zona residencial, se aprecia niveles menores (entre 50 y 65 dBA), con cierta tendencia a aumentar hacia la zona sudeste del barrio (valores entre 65 y 70 dBA).

En la Figura 5 se aprecia el mapa acústico para la misma zona en el horario nocturno. Se observa una gran disminución de los niveles sonoros, en comparación con el horario diurno, apreciándose en la zona residencial niveles de entre 50 y 60 dBA.

Los niveles más altos se aprecian en el sector industrial (zona sur) y hacia la zona noroeste donde se encuentra el acceso principal para el tráfico pesado que se dirige al sector industrial (niveles entre 65 y 70 dBA).

4 Mapas de conflicto

Seguidamente se muestran los mapas de conflicto, generados a partir de los mapas acústicos presentados anteriormente, señalando los lugares donde los niveles sonoros superan los valores límites máximos permisibles determinados por la Ordenanza Municipal de ruidos molestos. Se observa, en la Figura 6, que el valor límite máximo establecido por la reglamentación (70 dBA) es superado, aproximadamente, en la mitad de la superficie analizada para la zona céntrica de la ciudad en el horario diurno.

Para el horario nocturno (Figura 7), se observa un incremento de la superficie expuesta a valores mayores a los límites máximos permisibles determinados por la reglamentación (60 dBA).

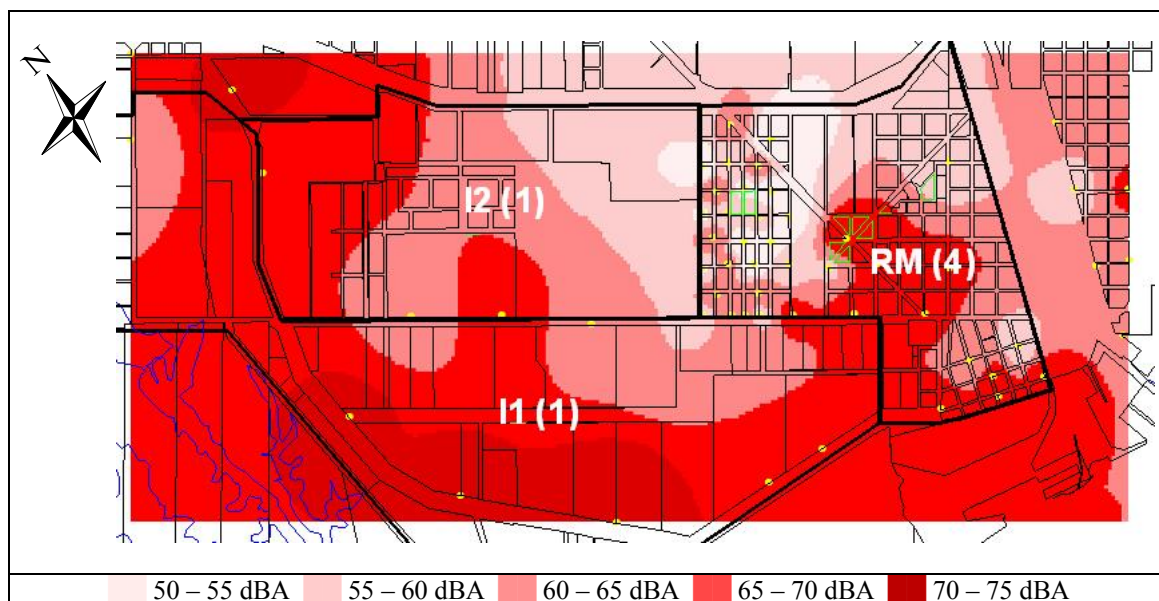


Figura 4. Mapa acústico [Leq en dBA] de la zona de ing. White (Horario vespertino).

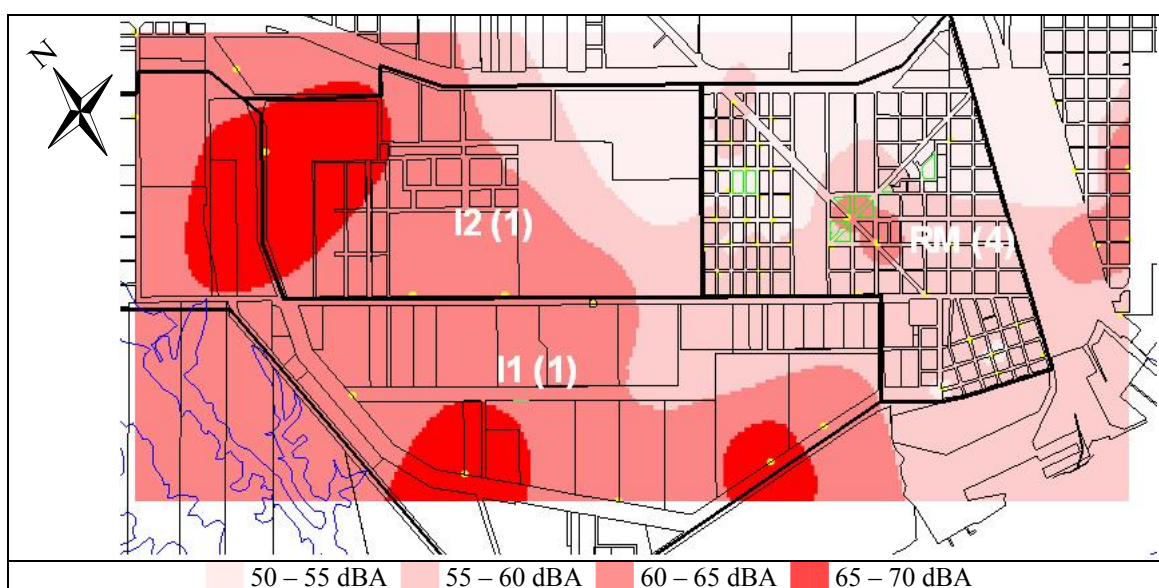


Figura 5. Mapa acústico [Leq en dBA] de la zona de ing. White (Horario nocturno).

Para la zona portuaria se observa para el período diurno que los niveles máximos permisibles según reglamentación son superados en la mayoría de la superficie expuesta y solo una pequeña área, perteneciente a la zona residencial, poseen niveles sonoros por debajo de los valores máximos permisibles (Figura 8). Durante la noche toda la zona considerada viola los límites impuestos por la ordenanza municipal.

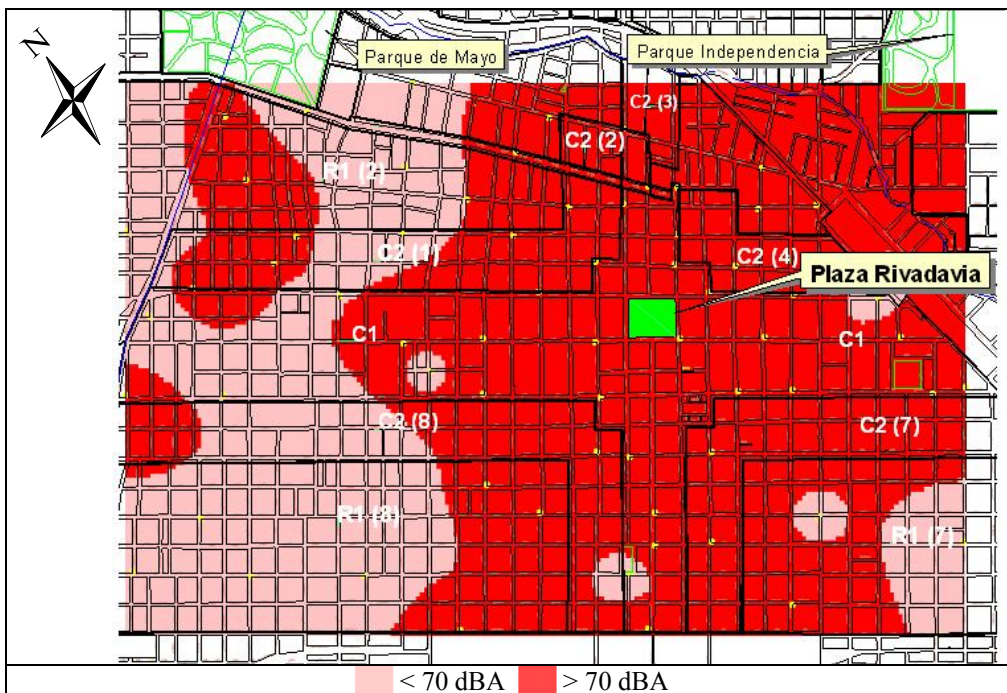


Figura 6. Mapa de conflicto [Leq en dBA] de la zona centro de Bahía Blanca (Horario vespertino).

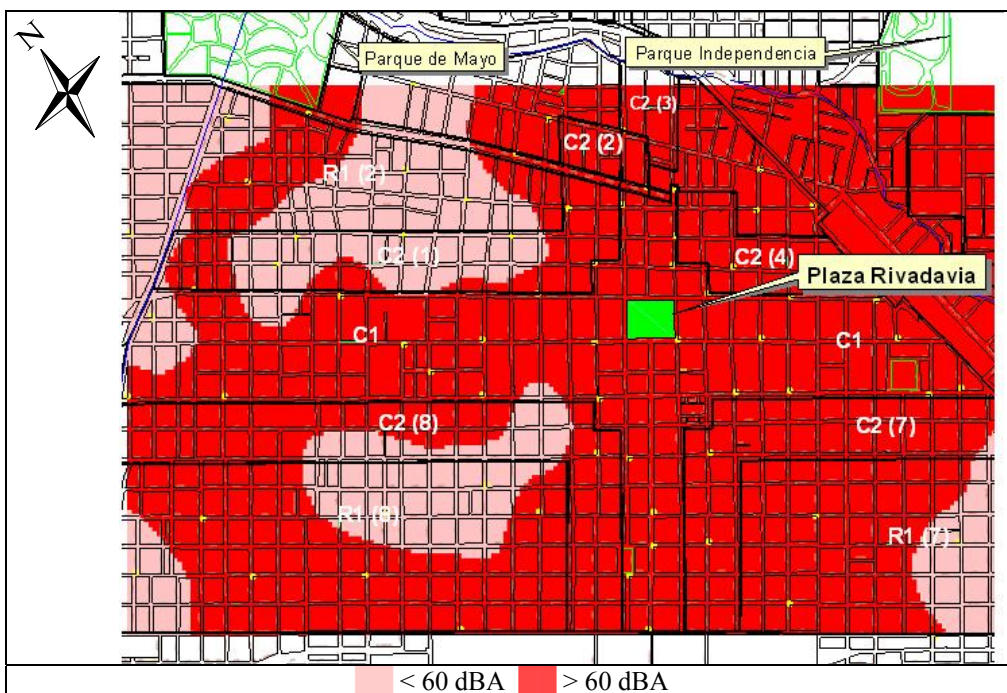


Figura 7. Mapa de conflicto [Leq en dBA] de la zona centro de Bahía Blanca (Horario nocturno).

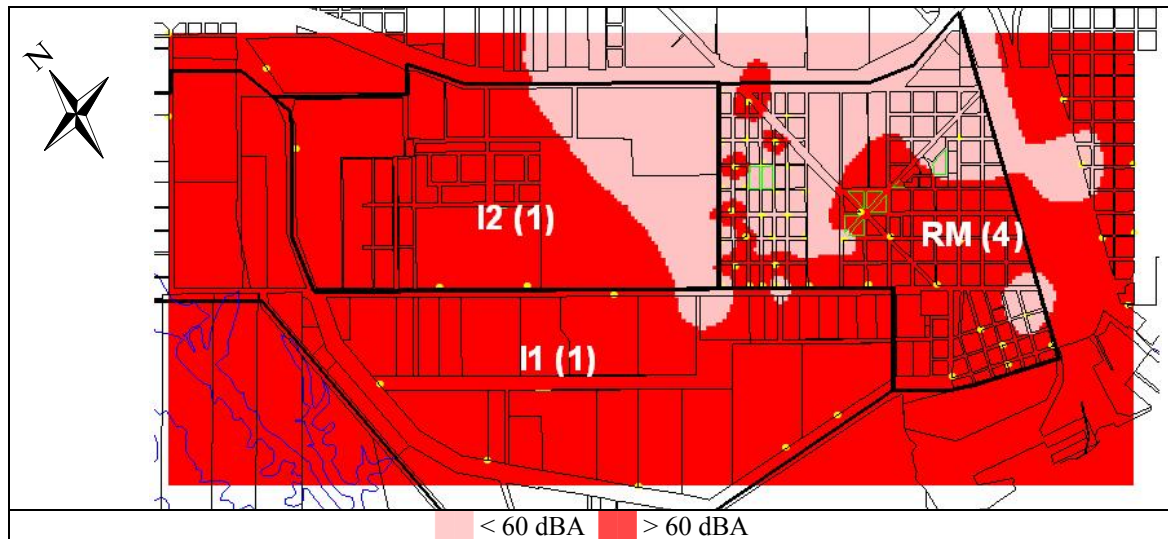


Figura 8. Mapa de conflicto [Leq en dBA] de la zona de Ing. White (Horario vespertino).

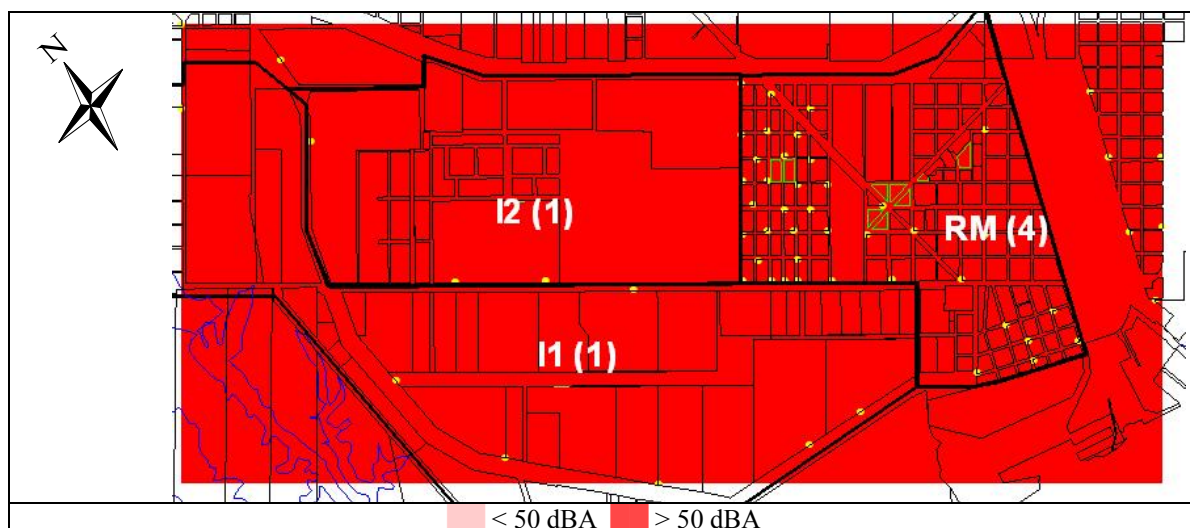


Figura 9. Mapa de conflicto [Leq en dBA] de la zona de Ing. White (Horario nocturno).

5 Determinación del tiempo de estabilización

El tiempo de estabilización indica el tiempo mínimo de muestreo que asegura un resultado de medición del nivel sonoro continuo equivalente con una variabilidad menor a un límite de tolerancia pre-establecido.

El análisis para su determinación [2] se realizó sobre un total de 164 sesiones de medición de ruido (ubicadas en distintos puntos de la zona céntrica de la ciudad) realizadas en los períodos horarios citados previamente, con una duración de una hora cada una de ellas. Se obtiene mediante la comparación del Leq global de cada medición con el Leq del primer minuto de medición, de los dos primeros acumulados, de los tres primeros minutos acumulados, y así sucesivamente.

Si a partir del minuto n de medición, el Leq acumulado y el Leq global de la medición comienzan a diferir en menos de un cierto ε (valor de tolerancia), entonces se dice que n es el tiempo de estabilización del instrumento. El valor de ε que se considere, condicionará los resultados. Consecuentemente se tiene:

$$\left| 10 \times \log \left(\frac{1}{N_t} \sum_1^n 10^{0.1L_i} \right) - 10 \times \log \left(\frac{1}{n} \sum_1^n 10^{0.1L_i} \right) \right| < \varepsilon \tag{1}$$

siendo N_t el número total de minutos de la muestra o medición.

A los efectos de determinar una recomendación para el tiempo de estabilización adecuado, se adopta el criterio de considerar el mínimo valor de tiempo que asegure que el 90% de las mediciones queden estabilizadas con la tolerancia deseada.

Se han considerado, a los efectos de definir el tiempo de estabilización, intervalos de 15 min teniendo en cuenta un aspecto práctico. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Tiempos de estabilización en función de distintos valores de tolerancia para periodos diurno y nocturno (para un intervalo de confianza de 90%).

ε (valor de tolerancia)	Período Diurno	Período Nocturno
1	45 min	60 min
2	30 min	45 min
3	15 min	30 min

6 Reajuste de modelos predictivos de ruido generado por tráfico vehicular

En las referencias [3] y [4] se desarrollaron fórmulas predictivas cuya expresión general está fundamentada en razonamientos teóricos con coeficientes que fueron ajustados utilizando las mediciones de la campaña realizada en lka zona céntrica de la ciudad en el año 2002. Los datos registrados en esta última campaña han permitido un mejor ajuste de los mismos y una ampliación de la zona geográfica de aplicabilidad. Consecuentemente se propone la siguiente fórmula predictiva de ruido de tráfico aplicable principalmente en las zonas céntricas y subcéntricas de la ciudad (ver Figura 2):

$$Leq = 10 \log \frac{d\pi}{v} + 10 \log [\bar{a}_a(Q_a) + \bar{a}_c(Q_c) + \bar{a}_m(Q_m)] \tag{2}$$

donde Q_a, Q_c y Q_m corresponden a los flujos de tránsito correspondientes a vehículos livianos y furgones, camiones y transportes colectivos, y motos respectivamente, d es igual a 3.5 metros, v es la velocidad media de las arterias (40 Km/h para calles y 60 Km/h) para avenidas. Por otra parte los coeficientes a_i se definen de la siguiente manera

$$\bar{a}_i = 10^{\frac{L_{p_{\max i}} + 3.3}{10}}, \quad (i = a,c,m) \tag{3}$$

siendo L_{p_{max a}} = 74.44 dBA, L_{p_{max c}} = 81.44 dBA, L_{p_{max m}} = 85.5 dBA

El error medio cuadrático de esta expresión es de 3 dBA

7 Algunos comentarios sobre la aplicación de Ordenanza Municipal N° 13032 “Régimen de Ruidos Molestos”

La metodología de medición y evaluación de una fuente sonora supuestamente molesta en Bahía Blanca, se realiza actualmente por medio de la Ordenanza Municipal N° 13.032/04 “Régimen de Ruidos molestos” [5], la cual establece la evaluación del ruido mediante el criterio de *valores límites permisibles* (basados en normativas internacionales, valores límites sonoros de confort determinados por la OMS, tipos de actividades y base de datos municipales de mediciones acústicas), teniendo en cuenta distintos horarios de referencia y distintas zonas acústicamente equivalentes tanto para ambientes exteriores como para interiores.

El procedimiento de evaluación de una fuente molesta, según la Ordenanza, se realiza midiendo el nivel sonoro continuo equivalente (Leq) de la fuente supuestamente molesta y se aplica a éste una corrección por ruido de fondo para luego comparar el nivel de evaluación así resultante (LE) con el valor límite permisible para la zona en el horario de referencia establecido, determinando, de esta manera, si el ruido es molesto o no.

La corrección por ruido de fondo se realiza para excluir la contribución de dicho nivel sobre el valor obtenido con la fuente molesta operando. En los casos donde el ruido de fondo supera a los valores máximos permisibles, se adopta dicho valor de fondo como valor límite para evaluar el impacto de la fuente molesta y en los casos en que el ruido de fondo no puede ser medido directamente, se lo determina con el percentil L90.

En cuanto al tiempo necesario para realizar la medición del ruido, la reglamentación establece un procedimiento que abarca un total de 9 min para ruidos uniformes, 15 min para ruidos variables y fluctuantes y 3 min para ruidos esporádicos (realizando en cada caso 3 mediciones de 3,5 min y 1 min respectivamente y promediando para obtener el nivel sonoro final). La clasificación previamente comentada se refiere a la medición del ruido de la fuente presuntamente molesta. Por otra parte a los efectos de obtener el nivel de evaluación resultante es necesario determinar el ruido de fondo, lo que se realiza de la misma manera. Sin embargo atendiendo al estudio del tiempo de estabilización comentado en la Sección 5, los valores de ruido de fondo correspondientes a mediciones exteriores deberían registrarse considerando tiempos de medición de por lo menos 15 min (para una tolerancia de +/- 3dBA).

Esta dificultad está relacionada con otro aspecto referido a la determinación del ruido de fondo como el nivel percentil L90, en los casos en los que no sea posible medirlo directamente. El problema con tal hipótesis es que se ha encontrado en el curso del presente estudio [6] que tal indicador no coincide necesariamente con el nivel sonoro continuo equivalente que se obtendría mediante medición directa.

Estos inconvenientes plantean la necesidad de estudiar el procedimiento establecido por la ordenanza a los efectos de esclarecer su grado de precisión.

8 Conclusiones

Se ha ampliado la base de datos de mediciones de ruido urbano en diferentes zonas de la ciudad de Bahía Blanca, en particular la zona céntrica comercial y la zona portuaria industrial.

Se han generado mapas acústicos para distintas franjas horarias en ambiente GIS (lo que permite la correlación de tales datos con otras magnitudes de interés en la planificación urbana). La distribución de niveles sonoros continuos equivalentes ha mostrado una gran heterogeneidad debida principalmente al tráfico vehicular.

Se han obtenido tiempos de estabilización que indican los tiempos mínimos de muestreo necesarios para obtener resultados con un grado de precisión determinado. Esto resultará de utilidad para el desarrollo de futuras campañas de medición. Asimismo, a la luz de los

tiempos de estabilización obtenidos se ha detectado una posible inconsistencia en el procedimiento para la medición de ruido de fondo según la Ordenanza Municipal de ruidos molestos de la ciudad de BB, ya que los tiempos de muestreo indicados resultan menores. Además se ha detectado que el nivel percentil L_{90} que es utilizado en tal ordenanza, cuando no es posible medir en forma directa el ruido de fondo, no coincide necesariamente con éste (entendiendo como tal al nivel sonoro continuo equivalente que se mediría en ausencia de la fuente presuntamente molesta). Estos hechos indican la necesidad de estudiar la manera más adecuada de medir o estimar los niveles de ruido de fondo para la aplicación correcta de la ordenanza.

En los mapas de conflicto pueden apreciarse zonas amplias donde los niveles sonoros existentes superan a los máximos permisibles dados por la Ordenanza Municipal. En tal sentido esto indica que tales límites no serán de relevancia para evaluar la presunta molestia de fuentes sino que en estos casos deberá utilizarse como límite, al nivel de ruido de fondo (de acuerdo a lo establecido en la ordenanza). Consecuentemente en tales zonas es más acuciente la necesidad de definir claramente como medir o estimar tal magnitud. Por otra parte debe observarse que algunas de las zonas de conflicto detectadas indican, de acuerdo a los niveles límites adoptados, que en algunos casos se sobrepasan los 70 dBA durante el día y los 60 dBA durante la noche. Tales valores coinciden con los valores que indica la OMS como ruidos perjudiciales a la salud [7]. Consecuentemente, las zonas de conflicto de estas características deberían ser estudiadas desde el punto de vista del planeamiento urbano a los efectos de mitigar la situación o al menos evitar su agudización.

Por otra parte se han desarrollado modelos que predicen los niveles de ruido debidos al tráfico vehicular con razonable precisión.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido auspiciado por la Secretaría de Ciencia de la Universidad Tecnológica Nacional y por la CIC, Pcia. de Bs. As.

Referencias

- [1] Cortínez V., Girón P., Azzurro A., Tonini M., Sequeira M. Ercoli L. (2005) "An Urban Noise Study in the City of Bahía Blanca, Argentina". *Internoise*, Río de Janeiro, Brasil.
- [2] González, A. (2000) "Contaminación Sonora en Ambiente Urbano: Optimización del tiempo de muestreo en Montevideo y desarrollo de un modelo predictivo en un entorno atípico". Tesis de Doctorado, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.
- [3] A. Azzurro. (2004) Dos modelos predictivos de ruido urbano para la ciudad de Bahía Blanca. Tesis de maestría, Universidad nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- [4] Cortínez, Víctor; Stoklas, Cecilia; Girón, Pablo; Azzurro, Adrián y Ercoli, Liberto. (2006) "Modelos de Predicción de Ruido de Tránsito para la Ciudad de Bahía Blanca, Argentina". V Congreso Iberoamericano de Acústica, FIA, Santiago de Chile.
- [5] Ordenanza Municipal N° 13.032/04, Régimen de Ruidos Molestos.
- [6] M. E. Sequeira, P. Girón, A. Azzurro y L. Ercoli. "Estudio de ruido de fondo en la ciudad de Bahía Blanca". *Revista de Ciencia y Tecnología de la UTN* (Aceptado para publicar).
- [7] Berglund, Birgitta; Lindvall, Thomas y Schwela, Dietrich. "Guidelines for community noise". Organización Mundial de la Salud.