

## ESTUDIO ACÚSTICO DE LA CIUDAD DE BAHÍA BLANCA MEDIANTE UN MODELO COMPUTACIONAL

Martín E. Sequeira<sup>a,b</sup> y Víctor H. Cortínez<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> *Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada (CIMTA), Universidad Tecnológica Nacional (FRBB), 11 de abril 461, 8000, Bahía Blanca, Argentina, <http://www.frbb.utn.edu.ar/>*

<sup>b</sup> *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Argentina, <http://www.conicet.gov.ar/>*

**Palabras claves:** ruido urbano, ruido industrial, propagación sonora, impacto acústico.

**Resumen.** El objetivo de este trabajo es presentar un enfoque computacional práctico de predicción del impacto sonoro en la ciudad de Bahía Blanca. En particular, se exhibe la caracterización sonora en dos zonas bien diferenciadas de la ciudad: el sector céntrico y el sector residencial-industrial. Para modelar el sector céntrico se contempla como única fuente sonora al tráfico rodado y se establece el flujo de tráfico considerando una jerarquía preliminar de las calles y una clasificación de la tipología de vehículos existentes. Por su parte, los niveles de las fuentes industriales son estimados a partir de mediciones “in situ” de niveles de presión sonora y la posterior aplicación de un método de cálculo similar al desarrollado en la norma ISO 8297. Finalmente, se muestra que el enfoque propuesto permite contemplar distintos tipos de fuentes sonoras y se puede utilizar para estudiar la posible implementación de diferentes tratamientos a fin de lograr un ambiente acústico acorde a la legislación local.

## 1 INTRODUCCIÓN

En la sociedad moderna, el ruido se ha convertido en un serio problema. En efecto el aumento en la densidad de población, la multiplicación de actividades, incluyendo las industriales, el aumento del flujo vehicular en las ciudades, han incrementado en forma notable las fuentes de ruido en ambientes habitados. Su solución no es simple y requiere en general medidas costosas tanto en lo económico como en lo social, involucrando acciones de ingeniería y arquitectura, pudiendo llegar a requerir, inclusive, modificación de hábitos y costumbres (Gerges and Arenas, 1998). Por tal motivo, el control de este tipo de contaminación se ha convertido en un tema central en el planeamiento urbano (González, 2000; Girón et al., 2005). Por su parte, la legislación es cada vez más rigurosa en estos aspectos, fijando límites de permanencia en ambientes cerrados ruidosos y al mismo tiempo valores máximos tolerables en ambientes exteriores.

Una de las tareas relacionadas con la investigación del ruido ambiental es la determinación de los niveles sonoros en distintos sectores de una ciudad, los que luego son volcados para su visualización en mapas acústicos. Estos mapas se utilizan para asociar los diversos parámetros geográficos de una ciudad y establecer las adecuadas planificaciones urbanas, planes de control de las fuentes sonoras (tránsito vehicular, industrias, etc.), así también como una ayuda para la generación y aplicación de reglamentaciones municipales.

El Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada (CIMTA), viene realizando distintos trabajos de investigación referentes a la problemática de ruido urbano e industrial en la ciudad de Bahía Blanca desde el año 1996. En particular, se han realizado diversas campañas de medición directa de los niveles acústicos presentes en diferentes zonas de la ciudad, principalmente concentradas en el sector céntrico y en las aéreas urbanas aledañas a su polo industrial (Cortínez et al., 2005). En el año 2004, se desarrollaron las primeras fórmulas predictivas de ruido urbano generado por tráfico para la zona céntrica (Azzurro, 2004). Dichas fórmulas contemplan parcialmente la composición del tráfico de automóviles. Posteriormente, se actualizaron y perfeccionaron los modelos de ruido generados por el tráfico rodado logrando clasificar con mayor detalle el flujo vehicular (Cortínez et al., 2006). En el año 2008, se presentaron los primeros mapas acústicos del sector céntrico e industrial de la ciudad, basados en mediciones sonoras directas e implementados en un ambiente GIS (Sequeira et al., 2008).

El objetivo del presente trabajo se centraliza en la actualización y ampliación de la caracterización acústica de la ciudad de Bahía Blanca a partir de la utilización de una herramienta computacional de simulación. Para dicha tarea se divide la ciudad en dos zonas bien diferenciadas: el sector puramente urbano, conformado por el micro y macro centro de la ciudad y la zona periférica a éste y un sector mixto conformado por un complejo industrial petroquímico adyacente a una zona residencial urbana. En el sector urbano, se determinan los mapas acústicos para distintas franjas horarias y se verifica el modelo a partir de mediciones sonoras reales. Posteriormente, se cotejan los resultados con la normativa local mediante la inclusión de mapas de conflicto. Adicionalmente, se realiza un estudio complementario en el sector céntrico a fin de lograr una mayor caracterización del ambiente acústico. En la zona mixta se determinan, en primer lugar, las potencias sonoras de las fuentes industriales mediante la implementación de una metodología de medición directa. A partir de esto, se implementa una técnica simple para estimar los niveles de potencia sonora de las fuentes más importantes, a partir de un número mínimo de mediciones, y se evalúa el orden de magnitud de las fluctuaciones de dichos niveles mediante un modelo de propagación sonora calibrado.

Este artículo presenta un compendio unificado y ampliado de trabajos realizados previamente por los autores para caracterizar acústicamente, y de manera independiente, la

zona céntrica (Sequeira et al., 2010) y la zona residencial-industrial de la ciudad (Cortínez et al., 2011).

## 2 ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO

### 2.1 Características de la ciudad de Bahía Blanca

La ciudad de Bahía Blanca está localizada al sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, con una población aproximada de 350000 habitantes. Posee condiciones estratégicas particulares, como la de contar con un nudo comunicacional - carretero consolidado, un puerto de aguas profundas y una zona industrial importante, que brindan un marco adecuado para el desarrollo de la economía rural y urbana. El carácter de una ciudad prestadora de servicios de una amplia región, hacen que operen numerosas compañías vinculadas con el transporte pesado de mercancías. Las empresas se localizan diseminadas por distintos sectores urbanos, en superposición con otras actividades provocando incompatibilidades de usos (Plan Estratégico de la ciudad de Bahía Blanca, 2000). Por su parte, la zona de Ing. White, a sólo 5 km del centro de la ciudad, está conformada por un área netamente urbanizada, con viviendas de una o dos plantas y por una zona industrial que concentra un grupo importante de empresas, denominada Polo Petroquímico.

### 2.2 Zonas de estudio

Las zonas bajo estudio están diferenciadas en función del tipo de fuente de ruido predominante en cada una de ellas. El sector céntrico y periférico (conformando la zona urbana de la ciudad) presenta como principal contaminante sonoro al tráfico vehicular. Por otro lado, la principal fuente de ruido en la zona mixta (residencial-urbana) es de origen industrial. En cada una de las zonas mencionadas se realizaron mediciones directas en distintos puntos receptores a fin de validar los modelos de simulación acústica utilizados. En la Figura 1 se observa una imagen satelital de la ciudad de Bahía Blanca donde se demarcan las zonas bajo estudio.

#### 2.2.1 Zona céntrica y periférica

La zona céntrica está conformada por los sectores micro y macro centro con su punto central establecido por la Plaza Rivadavia (centro geográfico de la ciudad). Dicha zona es ligeramente trapezoidal y conforma un anillo de circunvalación interno, incluyendo un sistema de avenidas y un entramado de calles internas con un área aproximadamente 6.5 Km<sup>2</sup>, alojando aproximadamente el 60% de la población de la ciudad (Plan Estratégico de la ciudad de Bahía Blanca, 2000). Además, nuclea la mayor cantidad de actividades comerciales y administrativas públicas y privadas y es donde se concentra la edificación en altura.

El sector periférico está conformado entre el anillo interno y el anillo de circunvalación externo de la ciudad y contempla la mayoría de los barrios adyacentes a la zona céntrica, donde coexisten diferentes usos del terreno en función de las zonificaciones dispuestas por el Código de Planeamiento Urbano de la ciudad (Código de Planeamiento Urbano, 1993).

En las Figuras 2 y 3 se observan la zona céntrica y periférica, respectivamente, con los puntos receptores utilizados para la validación. La caracterización acústica en estas zonas se realizó contemplando lo estipulado por la normativa de ruidos molestos en la ciudad (Ordenanza Municipal N° 13032, 2004).

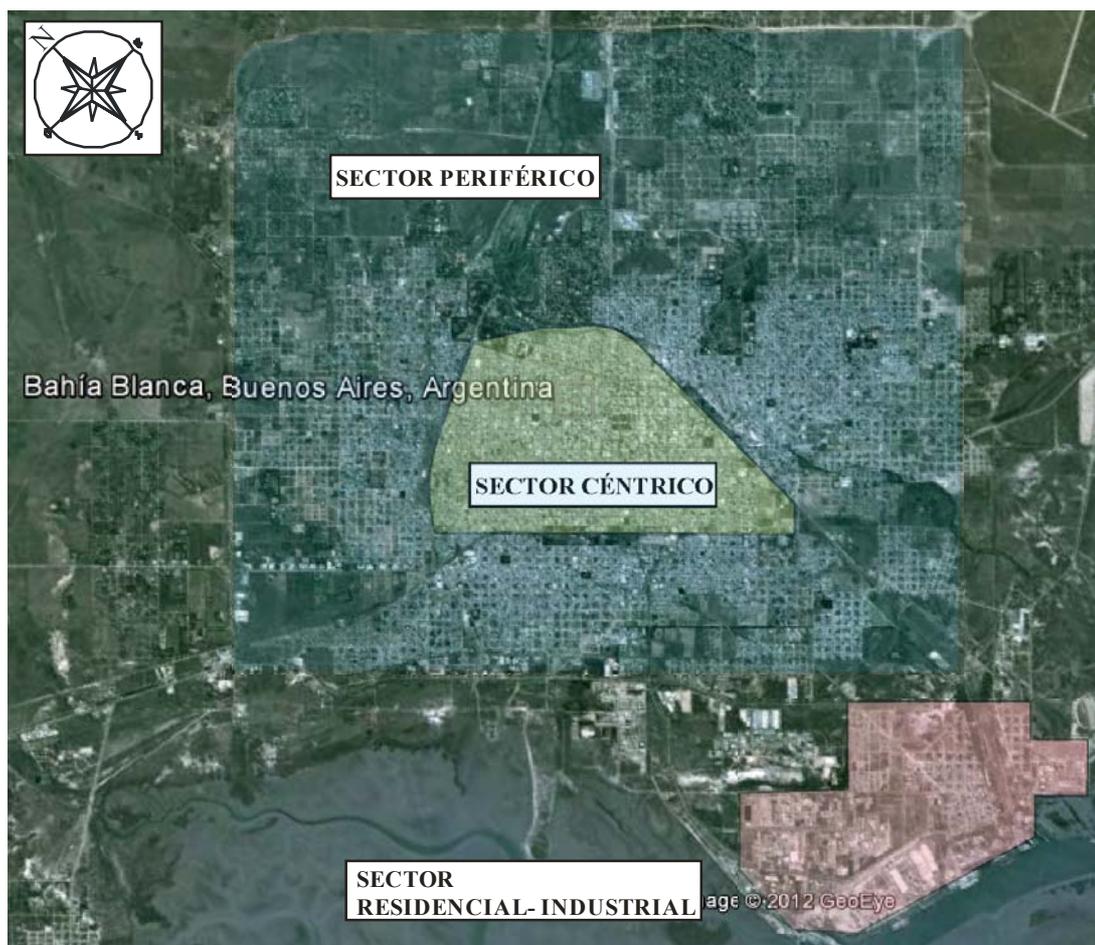


Figura 1: Mapa de la ciudad de Bahía Blanca y zonas de estudio

### 2.2.2 Zona mixta (residencial-industrial)

La zona mixta, ubicada en la localidad de Ing. White, está constituida por un área puramente industrial y otra urbana lindera y presenta diferencias sustanciales a partir del uso de la tierra y de los niveles de ruido permitidos desde el punto de vista de la aplicación de la legislación vigente. Esto genera un problema ocupacional importante debido principalmente a que no existe una franja de transición apropiada, que permita una adecuada atenuación de los niveles sonoros generados por la actividad industrial.

La zona industrial está conformada por una serie de plantas multi-fuente de proceso continuo. Los 11 complejos seleccionados para caracterizar acústicamente son: a) PBB-Polisur S.A. (principal productor en Argentina de etileno y polietileno, conformado por las plantas LHCI, LHCII, HDPE, LDPE, EPE y LLDPE); b) Air Liquid S.A. (planta que se dedica a la elaboración de gases industriales); c) Profertil S.A. (planta que produce amoníaco y fertilizantes); d) Cargill S.A.C.I. (empresa concentradora de cereales conformada por las plantas de Aceitera, Elevadores y Maltería); e) Central Piedrabuena S.A. (central termoeléctrica de generación de electricidad de 320 MW) (Puliafito et al., 2009).

En la Figura 4 se presenta la zona comentada, diferenciando el sector urbanizado, las distintas industrias y la ubicación de los puntos receptores utilizados en el estudio. Las ubicaciones de los puntos de medición se eligieron en función de distintos aspectos del trabajo. En particular, los puntos 5, 7, 8, 9 y 10 corresponden a receptores pre-establecidos

por el Comité Técnico Ejecutivo (CTE), organismo municipal dedicado al control y monitoreo del medio ambiente en la zona, utilizados para realizar controles periódicos de los niveles sonoros.

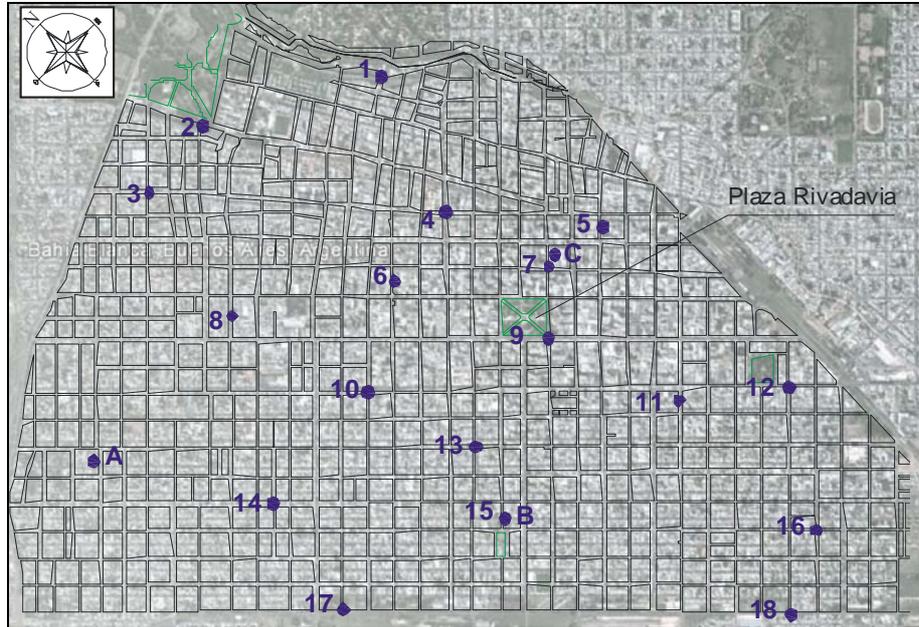


Figura 2: Zona céntrica de la ciudad y puntos receptores de validación

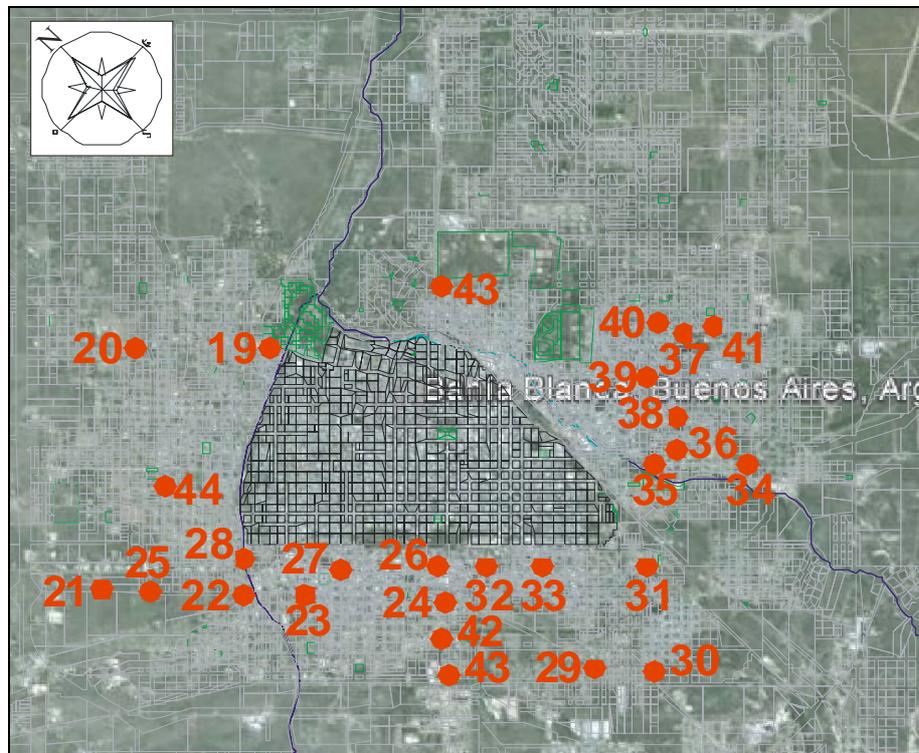


Figura 3: Zona periférica de la ciudad y puntos receptores de validación



Figura 4: Zona mixta de la ciudad diferenciando la zona urbana e industrial, las plantas multi-fuentes consideradas y los puntos receptores de medición

### 3 METODOLOGIA: MODELOS ACÚSTICOS

Las distintas simulaciones acústicas se realizaron empleando el software comercial SoundPlan® v 6.3. Esta herramienta está basada en el método de trazado de rayos (Braunstein + Berndt GmbH, 2004) y contempla las principales normativas internacionales para realizar los distintos cálculos de acuerdo al tipo de ruido que se quiera analizar (ej. ruido industrial, ferroviario, vehicular ó aeronáutico). Además, permite obtener valores estadísticos del impacto acústico sobre la población a partir de indicadores preestablecidos.

A partir de lo estipulado por la normativa de ruidos molestos en la ciudad (Ordenanza Municipal N° 13032, 2004), se evaluaron, de manera independiente, los niveles sonoros considerando dos franjas horarias: el período diurno (7 a 22 horas) y el nocturno (22 a 7 horas), utilizando como indicador de valoración el nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A [Leq(A)]. Esta magnitud es la más adecuada como escala de medida de la exposición prolongada al ruido variable y representa el nivel de ruido constante que, en el mismo intervalo de tiempo, contiene la misma energía total que el ruido fluctuante que se ha medido de manera puntual.

En la zona periférica solo se consideró el período diurno debido principalmente a que los niveles sonoros no presentan valores de magnitud importante durante la noche (salvo en algunos sector particulares, como en las cercanías a centros de espaciamiento nocturno, donde sería necesario realizar un análisis particular).

A continuación se presenta toda la información inherente al procesamiento de datos implementado para la caracterización acústica de las zonas previamente establecidas.

#### 3.1 Datos referentes a la fuente de ruido urbano (zona céntrica y periférica)

Se consideró al tráfico rodado como la única fuente de ruido en la zona urbana. Para la implementación de la simulación acústica, se decidió utilizar el modelo Francés de emisión de ruido (Wallstrom, 2003). Los motivos de su elección se deben principalmente a que dicho modelo ha mostrado un buen comportamiento en ciudades sudamericanas (Ausejo, 2009).

Asimismo, algunas comparaciones preliminares (no presentadas en este trabajo) entre la normativa Francesa y un modelo de ruido de tráfico desarrollado para la zona céntrica (Cortínez et al., 2006), han mostrado una adecuada similitud.

### 3.1.1 Clasificación vehicular

Dentro del tráfico rodado el algoritmo utilizado sólo permite distinguir entre vehículos ligeros y pesados. Sin embargo, existen otras categorías, como por ejemplo las motos, que son consideradas (en particular en países latinoamericanos) una importante fuente de ruido a partir de la energía sonora que generan (González, 2000). Por tal motivo, y considerando las potencias acústicas de las cinco categorías vehiculares previamente establecida para la ciudad (Cortínez et al., 2006), se establecieron distintas equivalencias para incluir los vehículos medianos, motocicletas y motos dentro de las dos clases establecidas por la Norma Francesa. De esta manera se considera el aporte energético determinado por la totalidad del flujo vehicular. En la [Tabla 1](#) se muestran las equivalencias para los vehículos livianos y pesados en función de las categorías consideradas.

Equivalencias según las categorías vehiculares establecidas para la ciudad						
		Liviano (autos, camionetas livianas)	Mediano (camionetas, combis, furgones)	Pesado (camiones, colectivos o equipo pesado)	Ciclomotor (cilindrada igual a 110 cm <sup>3</sup> )	Moto (cilindrada > a 110 cm <sup>3</sup> )
Categorías según modelo francés	Liviano	1	1		3	4
	Pesado			1		

Tabla 1: Equivalencia vehicular entre las categorías establecidas para la ciudad y la normativa Francesa.

### 3.1.2 Jerarquización de calles

A fin de establecer una clasificación representativa de las calles, se consideró una jerarquía de las distintas vías de comunicación en función de la cantidad de vehículos y tipos de categoría que circulan, la velocidad media y la importancia en cuanto a la distribución del tráfico dentro del sector, además de otros datos asociados. En la [Tabla 2](#) se puede observar la clasificación adoptada junto con los correspondientes aforos para las dos clases de vehículos que presenta el modelo. Para obtener dicha jerarquía se utilizaron los datos inherentes al tráfico rodado relevados mediante visitas in situ en diferentes vías de las zonas analizadas, realizándose un análisis de equivalencia de tráfico para las vías adyacentes no medidas. Por otro lado, se adoptó una velocidad media para los vehículos livianos de 60 Km/h en avenidas y de 40 Km/h en el resto de las calles, mientras que para los vehículos pesados se utilizó una velocidad media de 40 y 35 Km/h para avenidas y el resto de las calles, respectivamente.

### 3.1.3 Densidad y flujo de tráfico

Se consideraron para cada tipo de vía los datos horarios de aforos de los vehículos livianos y el valor promedio de los vehículos pesados expresados en tanto por ciento con respecto a la densidad horaria. El tipo de flujo de tráfico, parámetro complementario de la velocidad, se definió como continuo fluido, para el período nocturno, y continuo en pulsos para el período diurno. Este último flujo, presenta ciertas características (flujo con una proporción

significativa de vehículos en transición, inestable en el tiempo, etc.) las cuales se corresponden con el tipo de flujo de calles de centros urbanos. Por último, se estableció el tipo de superficie de todas las calles como asfalto liso (convencional).

Tipo de calle	Cantidad (máxima / mínima) de vehículos livianos por hora		Cantidad (máxima / mínima) de vehículos pesados por hora	
	Día	Noche	Día	Noche
Avenida	2000 / 1000	500 / 350	70 / 30	15 / 8
Calle principal	1700 / 800	400 / 250	40 / 15	9 / 4
Calle secundaria	800 / 300	250 / 80	15 / 6	4 / 2
Calle terciaria	< 300	< 80	< 6	< 2

Tabla 2: Clasificación de las calles según el tráfico rodado.

### 3.1.4 Consideraciones particulares en la zona periférica

La zona periférica está conformada básicamente por distintos barrios, los cuales presentan diversos entramados de calles internas que repiten un patrón típico en toda su extensión. Asimismo, distintas calles de mayor jerarquía se encargan de comunicar los barrios entre sí y con el resto de las zonas de la ciudad. A partir de la configuración mencionada y en función de la vasta extensión que esta zona presenta, se decidió contemplar las emisiones acústicas sólo de aquellas vías que comunican los distintos barrios entre sí ó permiten el ingreso y/o egreso a la ciudad (avenidas y calles principales). El ruido producido por el flujo vehicular que circula dentro de cada barrio (calles terciarias ó internas) se consideró como un ruido constante (ruido de fondo) que se adiciona al producido por los vehículos que circulan en las vías de mayor jerarquía. Esta estrategia implica una importante simplificación en cuanto al relevamiento necesario para obtener los distintos datos acústicos y características viales y permite reducir el tiempo de cálculo empleado durante la implementación del modelo computacional.

### 3.2 Datos referentes a la fuente de ruido industrial

A fin de caracterizar las potencias sonoras de las plantas multi-fuente involucradas en la zona mixta, se realizaron distintas mediciones adoptando los lineamientos establecidos en la normativa ISO 8297 (ISO 8297,1994). Básicamente, el método consiste en trazar una trayectoria de forma cerrada (contorno de medición) que rodea el área de la planta. Luego se procede a medir el nivel de presión sonora en posiciones aproximadamente equidistantes del micrófono a lo largo del contorno y, posteriormente, se calcula el nivel de presión sonora promedio. Las correcciones se realizan por proximidad, direccionalidad del micrófono y absorción del aire. Este método es aplicable en áreas industriales donde la mayoría de los equipos operan en el exterior y está limitada por el largo de la planta multi-fuente considerada (ISO 8297,1994). Dicha restricción generó un problema en el caso de estudio presentado ya que algunas de las instalaciones poseen dimensiones mayores que la establecida como límite por la norma. Para solucionar este inconveniente, se decidió generar sub-zonas de medición, en aquellas plantas industriales que no cumplen con lo estipulado por la normativa.

La incertidumbre principal de esta metodología, se basa en la relación entre la distancia promedio entre el contorno de medición y los límites de la planta, y la raíz cuadrada del área de la planta. El error debido a esto no excede los 3 dBA. Sin embargo, esta norma no establece las incertidumbres que se pueden presentar debidas a las variaciones de las emisiones de ruido de las fuentes y durante la propagación del ruido (ej, variación de los

efectos meteorológicos) en el período de tiempo considerado. Esta última incertidumbre depende fundamentalmente de la distancia fuente-receptor y es influyente a partir de los 1000 metros (ISO 8297,1994). En la Tabla 3, se muestran los niveles de potencias sonoras equivalentes calculados, en bandas de octava, para todas las fuentes industriales consideradas.

Cabe mencionar que debido a que no se pudieron realizar las correspondientes mediciones sonoras en el complejo industrial “Central Termoeléctrica”, el aporte de energía sonora de dicho establecimiento se determinó mediante un enfoque de identificación directa, el cual se explicará posteriormente.

Planta Industrial	Nivel de potencia sonora $L_w$ por banda de octava [dB]								$L_w$ total [dB(A)]	
	63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1000 [Hz]	2000 [Hz]	4000 [Hz]	8000 [Hz]		
Air Liquid	122.05	119.92	118.26	115.77	109.52	101,87	94.12	88.85	116.18	
Profertil	132.26	129.16	126.16	123.88	122.02	123,42	119.27	114.07	128.89	
LDPE	122.39	125.16	122.02	120.20	115.82	115,79	116.57	113.71	123.89	
EPE	119.75	118.48	114.84	113.34	110.07	109,38	109.80	106.36	117.30	
HDPE	118.27	115.64	115.97	113.82	109.98	110,20	111.27	105.09	117.87	
LHCI	Sector 1	127.21	123.58	121.82	120.18	120.34	121,25	123.50	122.98	129.05
	Sector 2	123.09	120.29	118.84	113.96	108.37	106,93	107.12	104.22	116.78
LHCII	Sector 1	124.15	120.98	118.78	116.17	118.35	116,46	116.38	116.28	123.98
	Sector 2	121.73	117.53	111.98	105.91	104.28	105,01	107.20	105.75	113.48
LLDPE	120.74	119.17	117.77	127.96	120.29	111,20	108.70	108.73	126.53	
Cargill	Aceitera	123.19	119.42	113.73	110.68	106.88	103,81	102.25	99.61	113.50
	Maltería	117.99	114.02	111.18	109.79	106.31	102,84	99.48	95.13	111.86
	Elevadores	124.65	121.79	120.54	119.10	113.92	108,94	105.96	101.69	120.01
C. Termoeléctrica									118.00	

Tabla 3: Niveles de potencias sonoras equivalentes de cada planta industrial.

### 3.3 Modelo de propagación sonora

El modelo de propagación sonora utilizado corresponde al establecido en la normativa ISO 9613 (ISO 9613–2, 1993). Dado que las zonas analizadas de la ciudad no presentan grandes desniveles, el terreno se modeló como una superficie plana.

En la zona urbana se eliminó la separación entre las edificaciones que conforman una misma manzana y se unificaron las alturas. Se realizaron algunas pruebas para validar esta simplificación, las cuales arrojaron resultados satisfactorios. Esta metodología, aplicada en un trabajo reciente para un sector de la ciudad de Buenos Aires (Ausejo, 2009), permite optimizar los tiempos de simulación y mantener la precisión original. Se consideró una altura de 10 metros para las edificaciones en la zona cercana a la plaza central y para el resto de los edificios se estableció una altura de 6 metros. Esto es posible ya que las características edilicias en el micro centro de la ciudad presentan una aglomeración reducida de edificios de una altura de 4 plantas o más, mientras que el resto corresponde a casas de 1 o 2 pisos.

En el caso de la zona mixta, no se consideraron efectos de barrera entre las fuentes industriales y los receptores ya que no existen obstáculos importantes en el camino de propagación.

## 4 REPRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Verificación del modelo acústico para las distintas zonas

A fin de validar los modelos de emisión y propagación sonora, se realizaron

comparaciones entre los niveles sonoros simulados y medidos “in situ” en las zonas de estudio. En el sector urbano se adoptaron un total de 43 puntos receptores, 18 de éstos distribuidos en la zona céntrica y los 25 restantes en la zona periférica (ver Figuras 2 y 3). En la zona mixta, y dado que solo se pretende evaluar el ruido proveniente del sector industrial, las mediciones sonoras se realizaron en puntos ubicados en cercanía de cada planta, donde la influencia de otras fuentes fuera mínima o nula y el efecto de direccionalidad, despreciable. Los niveles sonoros medidos en estos puntos (puntos de referencia), se obtuvieron bajo las mismas condiciones de operación que aquellos utilizados para determinar las potencias acústicas equivalentes de cada industria. Los puntos seleccionados son: 2, 4, 6, 11, 12, 13, 14 y 15 (ver Figura 4). Todas las mediciones se realizaron bajo las condiciones descritas en la normas ISO 1996 (ISO 1996–2, 1987), contemplando una altura de 1.5 metros y utilizando un tiempo de medición de 15 minutos.

En las Tablas 4 y 5 se muestran las comparaciones entre los niveles sonoros simulados y medidos para la zona céntrica y periférica, respectivamente. En la zona céntrica, se aprecia una adecuada similitud en ambos períodos horarios, aunque existe una mayor discrepancia durante la noche. En ambos casos las diferencias se mantienen dentro de los 3 dB(A) salvo en un punto receptor nocturno (Terrada y Chancay) donde dicha diferencia es de 4 dB(A). Este receptor en particular presenta una variabilidad sonora acentuada por la heterogeneidad del tráfico presente en dicho lugar (por momentos el flujo vehicular disminuye notablemente), pudiendo ser ésta la causa de la diferencia encontrada.

Al analizar la zona periférica, se observa una mayor variabilidad en las diferencias encontradas. En primer lugar se muestra que los valores estimados tienden a ser menores a los medidos. Esto es apropiado ya que el modelo computacional solo considera el ruido proveniente del tráfico vehicular y los niveles sonoros medidos pueden estar influenciados por distintos ruidos anómalos (personas hablando, animales, bocinas, frenadas o aceleraciones bruscas, etc.). Por otro lado, existen varios puntos donde se observa una sobreestimación por parte del modelo computacional. Esto puede deberse a la incertidumbre del modelo computacional cuando el flujo vehicular es demasiado bajo.

Por su parte, en la Tabla 6 se presentan las comparaciones entre los valores simulados y medidos en los puntos de referencia de cada planta industrial para la zona mixta. Se observa un buen ajuste, con diferencias menores a los 2 dB(A).

## 4.2 Mapas acústicos y de conflicto para la zona céntrica

Para la simulación de los mapas acústicos se utilizó una malla de  $30 \times 30$  metros, posicionada a una altura de 1.5 metros. El mallado empleado ofrece una buena definición del campo de niveles sonoros calculados en función de la superficie analizada.

En la Figura 5 se muestra el mapa acústico de la zona urbana (centro y periferia) para el período diurno. Se observa que los valores mínimos rondan los 40 a 45 dB(A) y los máximos los 70 a 75 dB(A). Estos últimos se dan sólo en algunas intersecciones muy congestionadas del sector céntrico mientras que los primeros se dan mayormente en las zonas de los barrios limítrofes. En particular, los niveles sonoros de mayor magnitud dentro de la zona periférica se encuentran en aquellas zonas cercanas a las vías de comunicación encargadas de articular los distintos barrios entre sí o con otras partes de la ciudad (avenidas o calles principales). Estas calles generan un nivel sonoro de emisión relativamente alto que presenta una variabilidad importante durante el período diurno.

N° receptor	Locación (intersección ó calle)	Leq(A) simulado Día	Leq(A) medido Día	Diferencia Día	Leq(A) simulado Noche	Leq(A) medido Noche	Diferencia Noche
1	Urquiza y Casanova	71,0	71,6	0,6	64,7	64,1	-0,7
2	Alem y Córdoba	73,5	70,5	-3,0	68,0	66,7	-1,3
3	Zapiola y Aguado	66,4	68,8	2,4	60,4	62,3	1,9
4	Zapiola y 19 de Mayo	70,4	72,4	2,0	64,6	66,3	1,7
5	Las Heras	68,7	68,5	-0,2	59,2	60,2	1,1
6	Caronti	66,1	67,6	1,5	60,1	62,0	1,9
7	Alsina y Soler	74,7	75,5	0,8	69,0	69,0	0,0
8	San Juan	68,8	69,7	0,9	64,2	62,9	-1,2
9	Chicla y Alsina	75,4	76,8	1,4	70,4	70,9	0,5
10	Vieytes y Patricios	72,4	73,9	1,5	67,3	66,9	-0,4
11	Undiano	69,2	70,7	1,6	65,8	66,4	0,6
12	Brown y Pedro Pico	74,7	76,0	1,3	69,8	71,5	1,7
13	Castelli y Rondeau	71,2	73,2	2,0	65,4	65,5	0,1
14	Terrada y Chancay	64,1	66,4	2,3	54,3	58,3	-4,0
15	Moreno	69,6	68,9	-0,6	63,4	61,6	-1,8
16	Italia y Misiones	69,2	71,8	2,6	61,8	59,4	-2,4
17	Sixto Laspiur y Holdich	71,8	71,1	-0,7	66,3	63,9	-2,4
18	Chile y Misiones	69,5	72,1	2,6	65,1	63,5	-1,6
<b>Promedio</b>		70,6	71,5	0,9	64,9	64,4	-0,5
<b>Desvío Standard</b>		2,8	2,6	1,5	3,2	3,8	1,7

Tabla 4: Comparación entre los niveles sonoros simulados y medidos en distintos receptores ubicados en la zona céntrica.

N° receptor	Locación (intersección o calle)	Leq(A) simulado Día	Leq(A) medido Día	Diferencia Día
19	Alem y 1° de Marzo	67,9	71,0	3,1
20	Alem (entre Varela y El Resero)	73,9	70,1	-3,8
21	Don Bosco (entre Bolivar y Suiza)	70,0	74,0	4,0
22	Don Bosco 1700	76,9	75,9	-1,0
23	Don Bosco (entre Brasil y Paraná)	71,0	71,5	0,5
24	Don Bosco (entre Moreno y Av. Colón)	70,2	71,5	1,3
25	Malvinas (entre Av. Colón y Moreno)	68,4	67,5	-0,9
26	Malvinas (entre Charlone y Mendoza)	68,8	64,6	-4,2
27	Malvinas 1700	61,3	58,0	-3,3
28	Av. Arias (entre Ing. Luiggi y Pedro Pico)	65,8	64,7	-1,1
29	Av. Arias (entre Honduras y México)	68,2	66,6	-1,6
30	Brickman y Honduras	68,2	67,8	-0,4
31	Brickman (entre Ing. Luiggi y 25 de Mayo)	66,7	67,4	0,7
32	Brown (entre Juncal y La Pinta)	68,9	69,0	0,1
33	Brown (entre Ecuador y Morelos)	70,8	74,3	3,5
34	Drago (entre Drago y Fournier)	73,7	73,6	-0,1
35	Necochea (entre Lainez y Rincón)	74,0	70,3	-3,7
36	Necochea (entre Cap. Montero y Chicla y Alsina)	71,4	71,4	0
37	Sócrates (entre Matheu y Parera)	68,8	69,7	0,9
38	Lainez (entre P. Alta y Fournier)	71,2	67,7	-3,5
39	Lainez (entre Crammer y C. M. Paroissien)	71,4	70,4	-1,0
40	Av. Colón (entre Catamarca y Jujuy)	75,5	76,3	0,8
41	Av. Colón (entre P. Central y Saenz Peña)	73,7	71,3	-2,4
42	Castelli (entre Av. Perez y Mesquiu)	72,4	67,8	-4,6
43	Sarmiento (entre F.P. Argentina y Rojas)	67,7	71,5	3,8
<b>Promedio</b>		69,6	69,7	0,2
<b>Desvío Standard</b>		3,8	4,0	2,8

Tabla 5: Comparación entre los niveles sonoros simulados y medidos en distintos receptores ubicados en la zona periférica.

Punto de referencia	Nivel sonoro Leq(A)							
	2	4	6	11	12	13	14	15
Valores medidos	61,2	58,1	62,2	62,4	62,6	58,2	63,4	67,1
Valores simulados	63,1	58,4	60,7	61,7	61,3	59,2	63,9	68,2
Diferencia absolutas	1,9	0,3	1,5	0,7	1,3	1	0,5	1,1

Tabla 6: Comparación entre los niveles sonoros medidos y simulados en los puntos de referencia de cada planta.

En la [Figura 6](#) se exhiben los respectivos mapas sonoros del sector céntrico para los dos períodos horarios establecidos. Se observa que los niveles sonoros máximos se encuentran, en general, en las inmediaciones de la Plaza Rivadavia (centro geográfico de la ciudad) y son generados principalmente por el flujo de las vías de comunicación más importantes del sector (avenidas). Dichos niveles presentan cierta tendencia a la disminución hacia el sector noroeste del sector, donde se encuentran los espacios verdes más característicos de la ciudad. En términos generales no existen grandes variaciones en la distribución de los niveles sonoros, debido principalmente a la homogeneidad del flujo vehicular.

En el horario nocturno, se aprecia una distribución de los niveles sonoros, en general, análoga a la encontrada durante el día. Se observa que los máximos niveles se encuentran en las inmediaciones de la Plaza Rivadavia, de igual manera que para el horario diurno, con valores que oscilan entre 70 y 65 dB(A). Es decir, se produce una disminución de alrededor de 5 dB(A) con respecto al horario diurno. Esto se debe, principalmente, a la reducción en la cantidad de vehículos pesados durante este período. A partir de este punto, cabe señalar que el mapa acústico para el período nocturno, se confeccionó considerando los datos acústicos y características vehiculares para la franja horaria de 22 a 1 hs. Esto se debe a que los relevamientos nocturnos se realizaron principalmente durante dicha franja.

Al considerar la normativa local de ruidos molestos ([Ordenanza Municipal N° 13032, 2004](#)), la zona céntrica corresponde a una zona tipo IV “Área ruidosa” cuyos valores límites permisibles son de 70 dB(A) para el período diurno y 60 dB(A) para el nocturno. En tal sentido, se confeccionaron los mapas de conflicto, presentados en la [Figura 7](#), los cuales indican la cantidad de superficie expuesta a niveles sonoros mayores que los permitidos. Se observa que el valor máximo es superado en mayor proporción y con mayores diferencias durante el período nocturno. Durante el período diurno, salvo en la zona aledaña a la Plaza central, los niveles sonoros permanecen, en general, por debajo de lo estipulado por la normativa.

#### 4.2.1 Estudio complementario en la zona céntrica basado en mediciones adicionales

A los efectos de caracterizar con mayor detalle la zona céntrica, se efectuó un análisis particular en 5 de los receptores utilizados para la validación (puntos 5, 6, 8, 11 y 15 de la [Figura 2](#)). Se realizaron mediciones para distintos días de la semana (de Lunes a Viernes) y en 7 franjas horarias para cada día, correspondiendo 5 de éstas al período diurno y las 2 restantes al nocturno, haciendo un total de 70 mediciones.

La finalidad de este estudio consistió en constatar equivalencias semanales e identificar aquellas franjas horarias donde la variabilidad sonora presenta una considerable amplitud. Se adoptaron las franjas de 7 a 9 hs, de 9 a 11:30 hs, de 11:30 a 14 hs, de 14 a 19 hs y de 19 a 22 hs, para el período diurno y de 22 a 1 hs y de 1 a 7 hs, para el período nocturno.

En la [Tabla 7](#) se muestran los niveles sonoros promediados en los 5 puntos de medición, durante los 5 días de la semana y en las correspondientes franjas horarias. Se observa una diferencia de 6.7 dB(A) entre los valores diurnos y nocturnos, siendo esta diferencia similar a

la encontrada en los resultados de los mapas acústicos. Durante el período diurno se aprecia que el desvío estándar es bajo, permitiendo suponer que existe una equivalencia acústica entre días hábiles de la semana. Durante la noche, dado que existen mayores desviaciones de los niveles sonoros, esta equivalencia no es tan clara.

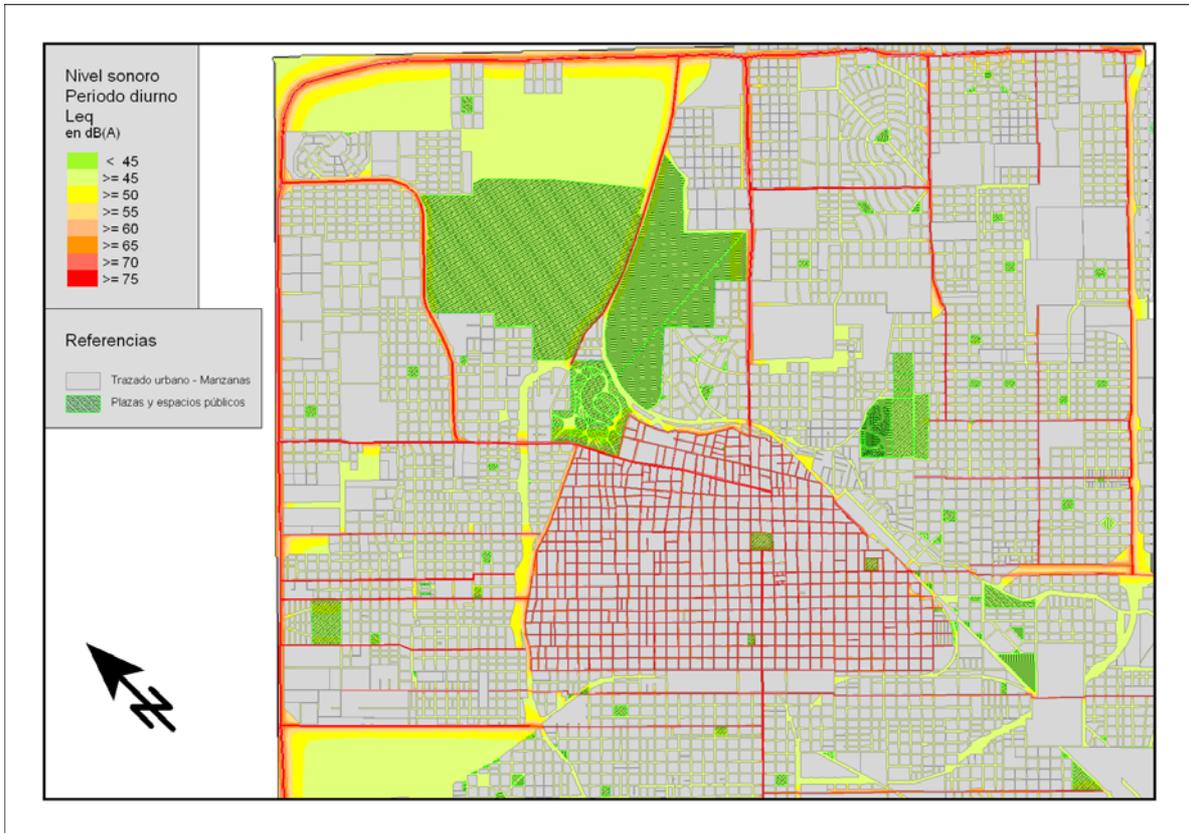


Figura 5: Mapa acústico de la zona urbana para el período diurno



Figura 6: Mapas acústicos para el período diurno (izquierda) y nocturno (derecha)

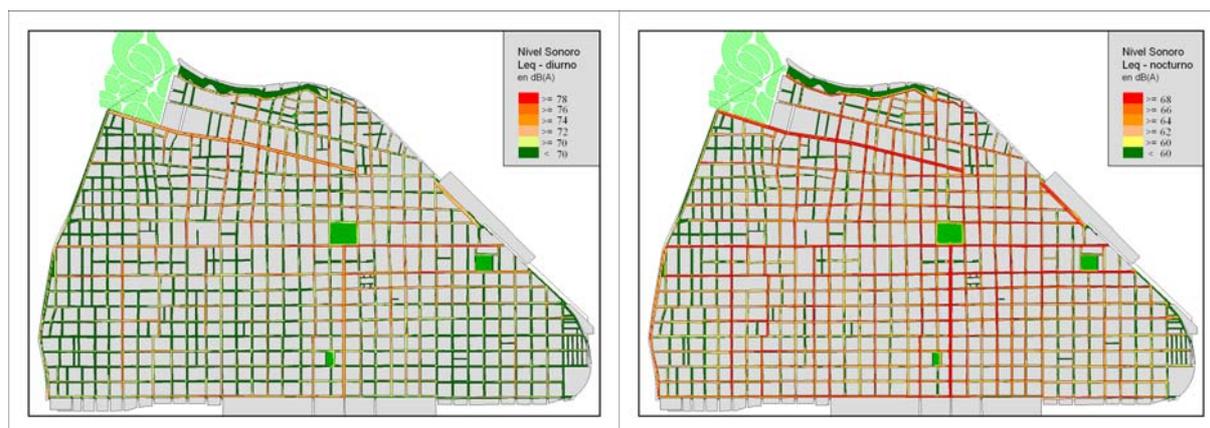


Figura 7: Mapas de conflicto para el período diurno (izquierda) y nocturno (derecha)

	Leq(A) promedio	
	Período diurno	Período nocturno
<b>Promedio total</b>	70.3	63.6
<b>Desvío estándar total</b>	1.5	4.5

Tabla 7: Niveles sonoros promediados en los 5 puntos receptores.

En la [Tabla 8](#) se observan los niveles promediados en cada franja horaria a partir de las mediciones en cada uno de los 5 puntos receptores y para cada día de la semana. Durante el día, no se aprecian diferencias significativas de los valores entre las distintas franjas, salvo en el horario de 14 a 19 hs, donde el desvío presenta un valor cercano a 3 dB(A).

Durante la noche, se observa una diferencia de aproximadamente 6 dB(A) entre los valores de las franjas, determinando la existencia de características acústicas diferentes. Asimismo los desvíos son altos indicando que este período presenta una gran variabilidad sonora, debida principalmente, a la gran fluctuación del tráfico vehicular.

	Franja horaria	Leq(A) promedio	Desvío estándar
<b>Período diurno</b>	7 a 9 hs	70,51	1,74
	9 a 11:30 hs	70,74	1,64
	11:30 a 14 hs	70,96	1,76
	14 a 19 hs	70,17	2,94
	19 a 22 hs	70,16	2,05
<b>Período nocturno</b>	22 a 1 hs	66.6	3
	1 a 7 hs	60.7	4.76

Tabla 8: Niveles sonoros para las franjas horarias elegidas promediados entre cada día de la semana en los 5 puntos receptores.

Por último, se eligieron 3 puntos adicionales (A, B y C), ubicados a una altura de 5 metros (ver [Figura 2](#)), para realizar mediciones de 24 horas a fin de evaluar la variabilidad sonora en forma continua. Estas locaciones presentan configuraciones urbanas similares a las encontradas en los puntos receptores previamente analizados. Las mediciones se realizaron en distintos días de la semana (martes, miércoles y jueves).

En la [Figura 8](#) se presenta, para los 3 puntos elegidos, la variación sonora cada 15 minutos durante las 24 horas y el Leq(A) promedio para cada período horario. Se aprecia que, en

general, durante el día una medición de 15 minutos del nivel sonoro se mantiene dentro de una franja de +/- 3 dB(A) respecto al  $L_{eq}(A)$  promedio. Durante la noche, se observa que la variación es mucho más notoria, debiéndose considerar un tiempo de medición mayor para lograr una correcta representatividad del nivel de ruido a evaluar. Asimismo, se pueden apreciar con mayor claridad las dos franjas distintivas mencionadas en el análisis anterior (22 a 1 hs y de 1 a 7 hs). A partir de esto, se puede establecer que el mapa acústico nocturno, confeccionado con los datos relevados durante la franja horaria de 22 a 1 hs, representa la cota superior de los niveles sonoros encontrados durante el período nocturno.

Cabe aclarar que el punto receptor A presenta, durante la franja de 1 a 7 hs, un registro sonoro muy elevado causado, posiblemente, por un evento anómalo como la aceleración brusca de algún vehículo automotor. Por otro lado, se observa una variación sonora menos marcada, entre las franjas de 22 a 1 y de 1 a 7 hs, el punto receptor C. Esto se debe al incremento del flujo vehicular que experimenta ese lugar (aproximadamente a partir de las 5 hs) debido al comienzo de las actividades laborales (en el área circundante a dicho punto se encuentran situados los principales locales comerciales y edificios de oficinas administrativas de la ciudad).

### 4.3 Mapa acústico para la zona mixta

En la [Figura 9](#) se presenta el mapa acústico de la zona residencial-industrial generado a partir de la implementación del modelo computacional. Se observa, adicionalmente, la cantidad de superficie expuesta a niveles superiores a 50 dB(A) (como ejemplo de un valor indicativo permisible ó de molestia al vecindario).

#### 4.3.1 Determinación de puntos característicos para cada industria

En esta sección, se propone una metodología simple para estimar los niveles de las potencias sonoras de las fuentes industriales más importantes, considerando un número mínimo de mediciones. La principal ventaja de este método es evitar realizar una numerosa cantidad de mediciones, como lo establece el método utilizado en la sección 3.2, para estimar la potencia sonora de una planta industrial multi-fuente cada vez que produce una variación en las condiciones de operación. Por lo tanto, se analizaron los niveles sonoros en cercanías de cada planta contemplando todas las fuentes actuando en forma conjunta y cada una por separado. A partir de esto, se pudieron establecer puntos particulares para cada industria donde la influencia de cada una es predominante e independiente del resto. En la [Tabla 9](#) se muestran dichos puntos característicos con los niveles simulados obtenidos al considerar todas las fuentes actuando en simultáneo (nivel sonoro total) y de manera individual (nivel sonoro parcial). Se observa que la máxima diferencia encontrada entre ambas configuraciones es de 1.5 dB(A), salvo en el caso de las fuentes HDPE, EPE y LDPE donde se alcanzan diferencias apreciables. Consecuentemente, es posible identificar directamente la potencia sonora emitida por la mayoría de las fuentes industriales, mediante la evaluación del nivel sonoro en los puntos característicos asociados, empleando la siguiente fórmula ([ISO 9613, 1993](#))

$$L_{wf} = L_{pf} + A_f + C_f, \quad (1)$$

donde  $L_{wf}$  es la potencia sonora de la fuente,  $L_{pf}$  es el nivel de presión sonora en la posición del punto característico,  $A_f$  es un término que considera la contribución de las distintas atenuaciones en el camino de propagación y el subíndice  $f$  indica la banda de octava analizada. El término  $C_f$  corresponde a una corrección determinada a partir de la diferencia

encontrada entre los niveles sonoros totales y parciales de los puntos característicos de cada planta industrial. La utilización de este término permite una identificación más ajustada a partir de los valores simulados. Finalmente, para obtener el nivel de potencia total en cada planta se debe sumar las contribuciones de todas las bandas de frecuencia consideradas. La potencia sonora de la fuente Central Termoeléctrica, indicada en la [Tabla 3](#), se determinó a partir de la expresión (1), considerando el nivel sonoro correspondiente al punto característico de dicha planta.

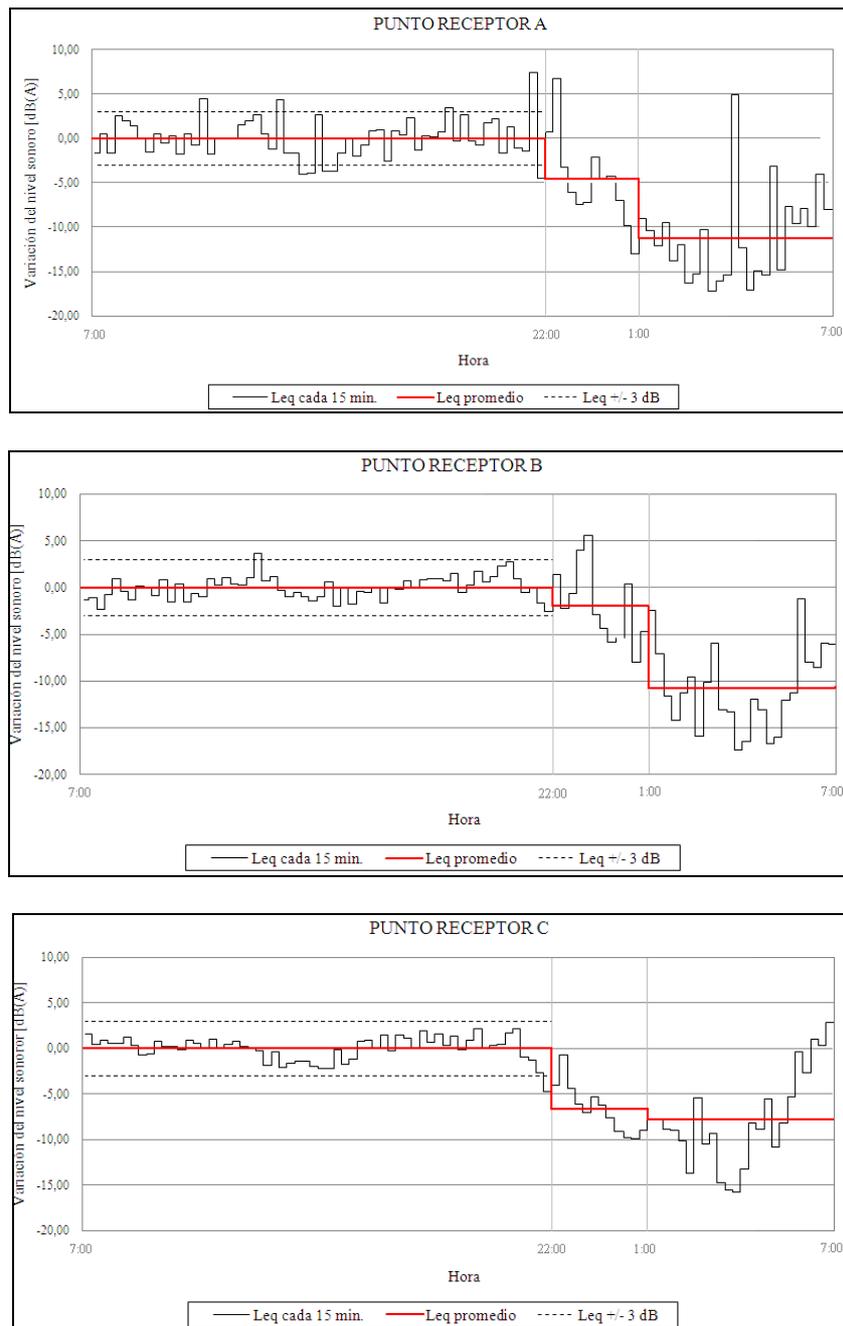


Figura 8: Variación sonora cada 15 minutos durante las 24 hs y Leq(A) promedio para ambos periodos horarios en los puntos receptores A, B y C



Figura 9: Mapa acústico de la zona bajo estudio. La línea roja determina la curva de nivel de 50 dB(A) adoptada (a modo de ejemplo) como valor límite permisible.

Fuente industrial	Punto característico	Niveles sonoros simulados [dB(A)]		
		Total	Parcial	Dif.
LHCII	1	59,7	58,2	1,5
LHCI	3	62,7	61,8	0,9
HDPE	4	58,4	49,7	8,7
Air liquid	6	60,7	59,8	0,9
Cargill	9	59,2	58,6	0,6
Termoeléctrica	10	53,4	52,5	0,9
EPE	11	61,7	54,8	6,9
LDPE	12	61,3	58,9	2,4
Profertil	13	59,2	58,1	1,1
LLDPE	15	68,2	68,1	0,1

Tabla 9: Comparación entre los niveles sonoros simulados considerando todas las fuentes actuando de manera conjunta e individual en los puntos característicos de cada planta.

Por su parte, la fuente HDPE tiene una influencia determinante en la variación de los niveles sonoros en la zona urbanizada. Asimismo, dicha planta se encuentra retirada de la calle que limita la zona industrial y residencial y muy próxima a los dos complejos industriales adyacentes (LHCI y Air Liquid). Por tal motivo, no es posible caracterizarla fácilmente (al menos de una manera directa como con el resto de las plantas) y es necesario establecer una técnica de identificación particular, la cual se detalla en la siguiente sección. De la misma manera, es posible utilizar esta técnica para determinar las potencias sonoras de las plantas EPE y LDPE (las cuales también presentan dificultades en su caracterización directa), pero dado que el aporte sonoro de las mismas no es significativo en la zona

residencial (a partir de la gran distancia que separa ambos sectores), no se tendrán en cuenta en el enfoque presentado.

A partir de la determinación de las potencias de cada fuente industrial, se puede establecer el aporte individual de cada una de ellas y determinar cuáles (actuando de manera aislada) producen un nivel sonoro en la zona urbana superior a cierto valor límite fijado. A modo de ejemplo, en la [Figura 10](#) se muestran los distintos mapas acústicos de cada planta actuando de manera independiente junto con la cota de 50 dB(A) adoptada como valor límite. Se observa, en particular, que los niveles generados independientemente por las plantas EPE y LDPE no sobrepasan los 50 dB(A) en la zona residencial.

#### 4.3.2 Caracterización particular de la fuente industrial HDPE

Para identificar la potencia sonora emitida por la fuente HDPE, se formuló un procedimiento de identificación considerando las potencias de las fuentes industriales adyacentes LHCI y Air Liquid, previamente identificadas mediante la expresión (1), y el nivel de presión sonora en el punto receptor 4  $L_{pPUNTO4f}$  (punto característico adoptado para planta HDPE). A partir de esto, la potencia desconocida se determina mediante la siguiente expresión

$$L_{wHDPEf} = 10 \log_{10} \left\{ 10^{(L_{pPUNTO4f}/10)} - \sum_{j=1}^2 \left[ 10^{(L_{wjf} - A_{jf})/10} \right] \right\} + A_{HDPEf}, \quad (2)$$

donde  $L_{wHDPEf}$  corresponde al nivel de potencia sonora calculado de la fuente HDPE, para la bandas de octava  $f$ , que depende del nivel sonoro medido en el punto 4, del nivel de potencia sonora  $L_{wjf}$  de las 2 fuentes adyacentes y de la atenuación  $A_{jf}$  en el camino de propagación entre cada fuente involucrada  $j$  y el punto 4.

A modo de ejemplo, en la [Tabla 10](#) se muestra el cálculo del nivel de potencia de la fuente industrial HDPE, para la banda de octava de 1000 Hz. Es claro que el mismo procedimiento se puede realizar para cada una de las bandas restantes y luego obtener el nivel de potencia sonora total sumando las distintas contribuciones.

#### 4.3.3 Estudio de fluctuaciones en los niveles de potencia de las fuentes industriales

Mediante la utilización del enfoque de identificación previamente descrito, se determinaron las variaciones de los niveles sonoros medidos en algunos puntos característicos bajo diversas condiciones de operación de las plantas asociadas. En la [Tabla 11](#) se muestran los niveles sonoros medidos, en algunos puntos de referencia, bajo diversas condiciones de operación y el nivel de potencia sonora calculado a partir de los procesos de identificación.

A fin de determinar la potencia de la fuente HDPE, asociada a la variación sonora encontrada en el punto 4, se consideraron fijas las potencias de las fuentes adyacentes (LHCI y Air Liquid).

Se observa que el orden de magnitud de las fluctuaciones de los niveles de potencia globales emitidos por las plantas varía, aproximadamente, entre 3 y 19 dB. Además, se muestra que, en algunos casos, las variaciones en los niveles sonoros podrían ser atribuibles a anomalías o eventos claramente detectables en las fuentes (puntos 1 y 3), mientras que en otras situaciones no es tan claro el origen de dicha perturbación (puntos 4 y 6).

En una situación de este tipo (con incrementos de niveles sonoros de alguna/s de las fuentes/s consideradas), será necesario reajustar todo el modelo computacional a partir de un nuevo conjunto de mediciones verificando los puntos característicos de cada planta.

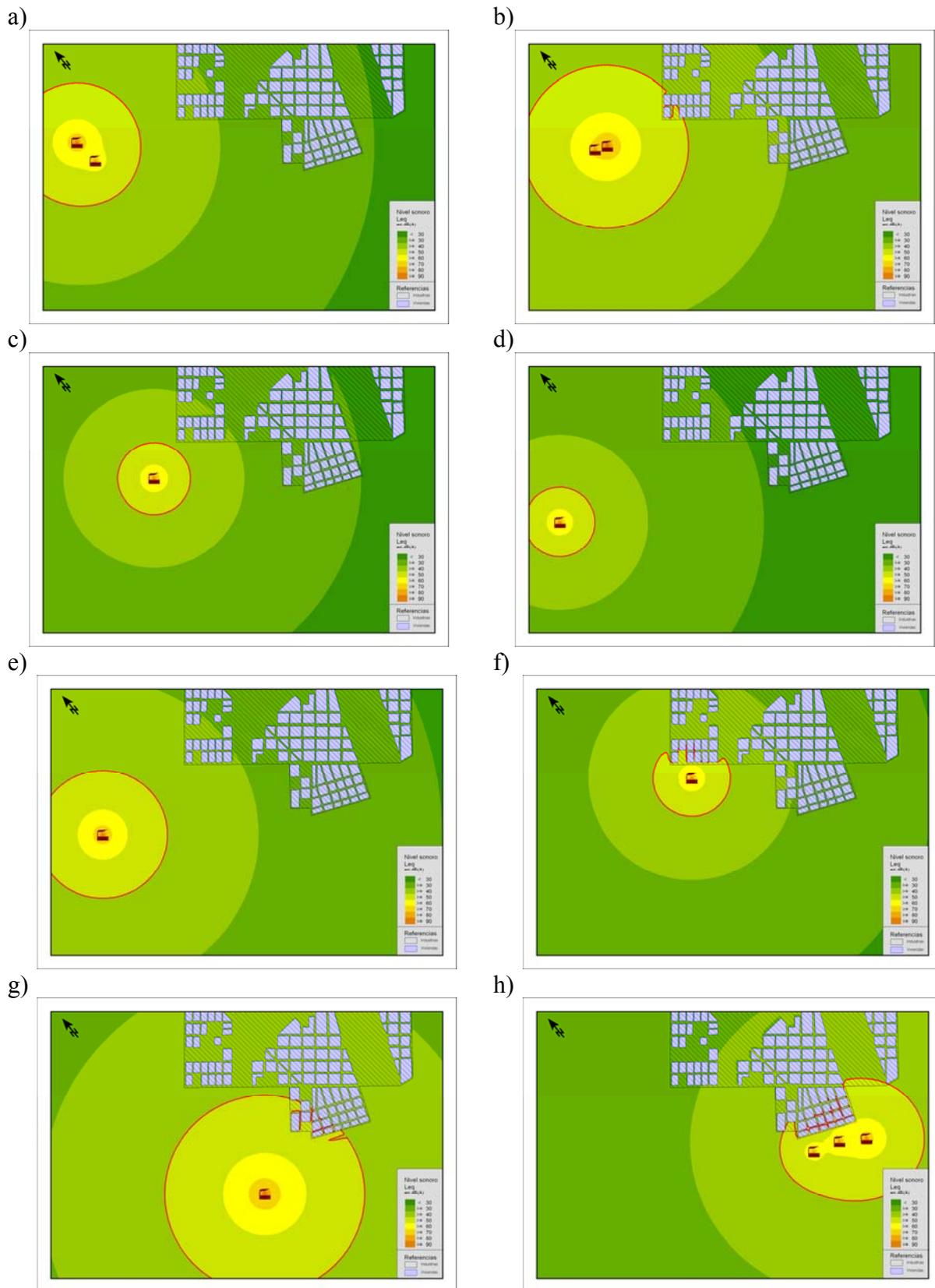


Figura 10: Mapas acústicos de la zona generados a partir del aporte individual de los niveles de potencia sonora de cada planta: a) LHCII. b) LHCI. c) HDPE. d) EPE. e) LDPE. f) Air Liquid. g) Profertil. h) Cargill.

Datos [dB(A)]	
Nivel de presión sonora en el punto 4 ( $L_{pPUNTO4}$ )	52,3
Nivel de potencia sonora en la fuente LHCI, sector 1 ( $L_{wLHCI S1}$ )	120,3
Nivel de potencia sonora en la fuente LHCI, sector 2 ( $L_{wLHCI S2}$ )	108,4
Nivel de potencia sonora en la fuente Air Liquid ( $L_{wAirLiquid}$ )	109,5
Atenuación entre la fuente LHCI, sector 1, y el punto 4 ( $A_{LHCI S1}$ )	70
Atenuación entre la fuente LHCI, sector 2, y el punto 4 ( $A_{LHCI S2}$ )	72,4
Atenuación entre la fuente Air Liquid y el punto 4 ( $A_{AirLiquid}$ )	65,2
Atenuación entre fuente la HDPE y punto 4 ( $A_{HDPE}$ )	66,5
Resultados [dB(A)]	
Nivel de potencia sonora <i>calculada</i> en la fuente HDPE ( $L_{wHDPE (CALC.)}$ )	<b>111,4</b>
Nivel de potencia sonora <i>medida</i> en la fuente HDPE ( $L_{wHDPE (MED.)}$ )	<b>109,9</b>
Diferencia	<b>1,3</b>

Tabla 10: Identificación de la potencia sonora de la planta HDPE para la banda de 1000 Hz.

Punto característico	$L_p$ medido [dB(A)]	$L_w$ total calculado [dB(A)]	Diferencias entre los $L_w$ totales calculados [dB(A)]	Fuente considerada	Condición de operación
1	55,8	128,2	13,5	LHCII	normal
	61,8	141,7			Horno en decoque
3	63,8	139,5	5,9	LHCI	normal
	66,3	145,4			Horno en decoque
4	58,1	119,3	18,9	HDPE	normal
	64,9	138,2			normal
6	57,1	114,4	5	Air liquid	normal
	62,2	119,4			normal

Tabla 11: Comparación entre valores simulados y medidos bajo diversas condiciones operativas en las plantas.

#### 4.3.4 Influencia del viento sobre la distribución espacial de los niveles sonoros

En esta sección, se evalúa la incidencia del viento sobre la variación de los niveles sonoros en los puntos característicos. Para ello, se consideraron los lineamientos generales, sobre correcciones meteorológicas, establecidos en la norma CONCAWE ([Conservation of clear air and water in Europe, 1981](#)). Dicha metodología establece un término de atenuación sonora debida a los efectos meteorológicos para cada banda de octava según la clasificación de las condiciones ambientales presentes en el camino de propagación de la onda sonora y la magnitud del vector de viento medido al nivel del suelo (componente en dirección fuente–receptor). En el presente análisis, se adopta como condición ambiental una estabilidad atmosférica neutra o estable y una velocidad del viento promedio de 10 m/s con dirección predominante del sector NO. Estos valores fueron establecidos a partir de relevamientos en la zona de estudio.

En la [Tabla 12](#) se muestran los niveles sonoros simulados en los puntos característicos para la situación normal (sin efectos meteorológicos) y para dos situaciones con condiciones meteorológicas particulares. La primera situación (pero caso: F → R) corresponde a la condición ficticia más desfavorable donde se considera la dirección del viento desde cada una de las fuentes hacia cada receptor (esta situación representa la cota máxima de incremento sonoro sobre cada receptor para la velocidad establecida). En el segundo caso, se contempla la dirección del viento predominante en la zona (NO). En ambas situaciones, al modelo de

propagación sonora se le adiciona el aporte del término de atenuación debido a los efectos meteorológicos. Se observa que las diferencias máximas encontradas, entre las condiciones con y sin viento, son del orden de 4 dB(A).

Es necesario aclarar que la metodología implementada permite obtener valores aproximados de las variaciones de los niveles sonoros debida a la refracción del sonido en presencia de distintas velocidades de viento y gradientes de temperatura. En tal sentido, sería necesario estudiar, no solo teóricamente sino experimentalmente, el efecto del viento bajo distintas condiciones adicionales (por ejemplo en situaciones de turbulencia locales) a fin de conocer su influencia de una manera más objetiva.

Fuente industrial	Punto característico	Niveles sonoros simulados [dB(A)]					
		Sin efectos meteorológicos	Con efectos Meteorológicos (peor caso: F → R)	Dif	Con efectos Meteorológicos (dir.: NO)	Dif.	
LHCH	1	59,7	63,6	3,8	63,6	3,8	
LHCI	3	62,7	66,6	3,9	58,5	-4,2	
HDPE	4	58,4	62,6	4,2	56,7	-1,7	
Air liquid	6	60,7	62,3	1,6	59,5	-1,2	
Cargill	9	59,2	61,4	2,2	60,0	0,8	
Termoeléctrica	10	53,4	57,1	3,7	57,1	3,7	
EPE	11	61,7	65,2	3,5	63,8	2,1	
LDPE	12	61,3	64,9	3,7	59,7	-1,6	
Profertil	13	59,2	63,2	4,0	56,9	-2,3	
LLDPE	15	68,2	69,9	1,7	64,6	-3,6	

Tabla 12: Comparación entre los niveles sonoros simulados para las situaciones con y sin el efecto de viento considerando todas las fuentes actuando de manera conjunta.

## 5 CONCLUSIONES

A partir de la utilización de un modelo computacional, se ha caracterizado adecuadamente el ambiente sonoro en distintos sectores de la ciudad de Bahía Blanca. A continuación se presentan, en función de la zona analizada, un compendio de las tareas desarrolladas conjuntamente con las conclusiones más significativas.

- Zona urbana (sector céntrico y periférico de la ciudad):
- Se amplió la base de datos de los indicadores sonoros y características del flujo vehicular en la zona del micro y macro centro de la ciudad, permitiendo vincular, con mayor congruencia, las características del tránsito vehicular con los niveles sonoros.
- Se han caracterizado las principales vías de comunicación en la zona periférica, a partir del relevamiento de los distintos indicadores acústicos y datos del flujo vehicular.
- Se validaron los modelos acústicos empleados mediante la comparación con mediciones directas en un conjunto de puntos receptores distribuidos en la ciudad. En la zona céntrica, las diferencias encontradas no superan, en general, los +/- 3 dB(A). La validación en la zona periférica, arrojó resultados aceptables pero con mayores discrepancias. En esta zona, sería necesario efectuar algunos estudios adicionales contemplando con mayor detalle las variaciones espaciales en las distintas arterias principales y realizar el análisis correspondiente durante el período nocturno, el cual no fue contemplado en este trabajo.
- Se elaboraron los mapas acústicos para ambas zonas, considerando como única fuente de

ruido al tráfico rodado y adoptando el modelo Francés para la correspondiente simulación. En la zona céntrica, se pudo constatar que no existe una gran variabilidad de la distribución espacial de los niveles sonoros en las franjas horarias establecidas pero se aprecia una diferencia entre ambas de aproximadamente 5 dB(A). Se observa una variación sonora temporal acentuada en el período nocturno, mostrando diferencias promedios del orden de 6 dB(A).

- Se confeccionaron mapas de conflicto en la zona céntrica, a partir de los valores máximos permisibles establecidos por la normativa local de ruidos molestos, observándose que durante la noche existe una mayor superficie expuesta a niveles sonoros mayores que los permitidos. Asimismo el nivel permisible es superado con mayor diferencia en comparación con el día.
- Zona mixta (sector residencial-industrial):
  - Se desarrolló una metodología simple para la identificación de las potencias sonoras de las fuentes industriales en condiciones normales de operación y se propuso una estrategia de medición para evaluar objetivamente los niveles de potencia en función de las fluctuaciones encontradas.
  - Se evaluó la incidencia acústica generada por las fuentes de ruido industrial sobre la zona urbanizada lindera a partir de la comparación entre los niveles sonoros simulados y medidos, siendo el error máximo obtenido inferior a los 2 dB(A).
  - Se estudiaron distintos escenarios ambientales (incluyendo la presencia del viento) a fin de poder determinar las variaciones en los impactos acústicos generados en el área de influencia, discriminando entre las actividades industriales y las fluctuaciones de las condiciones meteorológicas presentes.

La implementación de un modelo computacional, como el presentado, ha demostrado ser una herramienta eficiente para identificar los problemas de contaminación acústica en distintos ambientes. Sin embargo, para lograr una adecuada representación del efecto físico que se quiere modelar, es preciso un conocimiento previo de los parámetros más representativos que servirán como base para la caracterización. En tal sentido, la correcta simulación de las fuentes de ruido consideradas, tanto urbanas como industriales, representa el factor más importante para lograr resultados genuinos.

En particular, el modelo de tráfico utilizado en la caracterización sonora urbana, presenta cierta incertidumbre cuando el flujo vehicular es demasiado bajo (< 300 vehículos/hora). Esto lleva a considerar cuidadosamente los resultados en aquellas zonas de bajo flujo y estudiar la posibilidad de interactuar con otro modelo.

En el caso de ruido industrial, sería importante realizar un programa de seguimiento de emisiones sonoras óptimo por medio de la implementación de una red de monitoreo continuo de ruido correctamente diseñada (Gusmán, 2006), a partir de la selección de un conjunto mínimo de puntos receptores. Esto permitiría cuantificar el impacto acústico y determinar las variaciones sonoras de las plantas industriales a lo largo de las 24 horas a fin de evaluar objetivamente el aporte energético durante los distintos períodos horarios.

Es interesante destacar que la utilización de modelos computacionales para abordar problemas de contaminación sonora permite la interacción con otros modelos que contemplen diferentes aspectos del problema general de contaminación ambiental. En tal sentido, es posible combinar modelos de tránsito con modelos de contaminación atmosférica (Domínguez et al., 2009) de manera tal de involucrar todos los aspectos del problema y

brindar mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del proyecto “Modelos Matemáticos en Ingeniería Ambiental: Problemas Directos e Inversos” (Código: 25/B027, Director: Dr. V.H. Cortínez, Secyt, Universidad Tecnológica Nacional). Asimismo forma parte del trabajo de tesis desarrollado por M.E. Sequeira, bajo la dirección de V.H. Cortínez, para obtener el título de Dr. en Ingeniería en el departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. La participación de M.E. Sequeira en este trabajo se ha llevado a cabo gracias a una beca de posgrado otorgada por CONICET.

## REFERENCIAS

- Ausejo Prieto, M., Estudio de la valoración, errores e incertidumbres en la elaboración de mapas de ruido. Tesis Doctoral. Universidad politécnica de Madrid, España, 2009.
- Azzurro, A.P., Dos modelos predictivos de ruido urbano para la ciudad de Bahía Blanca. Tesis de maestría, Universidad nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 2004.
- Braunstein + Berndt GmbH/ SoundPLAN LLC. SoundPLAN User's manual, 2004. (<http://www.soundplan.com>).
- Código de Planeamiento Urbano de la ciudad de Bahía Blanca, 1993 (<http://www.bahiablanca.gov.ar/obras/codigoplaneamiento/>).
- Conservation of clear air and water in Europe (CONCAWE):1981, The Propagation of Noise from Petroleum and Petrochemical Complexes to Neighboring Communities. Report N° 4/81.
- Cortínez, V.H., Girón, P.G., Azzurro, A.P., Tonini, M. and Sequeira, M.E., An urban noise study in the city of Bahía Blanca, Argentina. *Internoise*, Río de Janeiro, Brasil, 2005.
- Cortínez, V.H., Stoklas, C., Girón, P.G., Azzurro, A.P. y Ercoli, L., Modelos de Predicción de Ruido de Tránsito para la Ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *V Congreso Iberoamericano de Acústica (FIA)*. Santiago de Chile, Chile, 2006.
- Cortínez, V.H., Sequeira, M.E., Azzurro, P.A., Pons, F. y Rey Saravia, F., Desarrollo y calibración de un modelo acústico para una zona Residencial-Industrial. *III Reunión Anual del Proyecto Integrador para la Mitigación de la Contaminación Atmosférica*, ISBN: 978-950-42-0119-9, 2011.
- Domínguez, P.; Vidal, M. y Cortínez, V., Diseño óptimo de redes de transporte urbano considerando aspectos medioambientales. *Mecánica Computacional*, Vol. XXVIII, 2599–2624, 2009.
- Gerges, S.Y. and Arenas, J. P., *Fundamentals and Control of noise and vibrations*, NR Editora, Florianópolis, 2004.
- Girón, P.G., Sequeira, M.E., Azzurro, A.P. y Cortínez, V.H., Control de ruido industrial mediante un modelo computacional: estudio de caso. *Mecánica Computacional*, Vol. XXIV, 2325–2341, 2005.
- González, A., 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, 2000.
- Gusmán Garcés. A., Implementación de una red de monitoreo continuo de ruido en Enap refinerías Bio Bio. Tesis de Licenciatura en Acústica. Universidad Austral. Valdivia, Chile, 2006.
- ISO 1996–2:1987, Description and measurement of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use.

- ISO 9613-2:1993, Attenuation of Sound During Propagation Outdoors – Part 2: General Method of Calculation.
- ISO 8297:1994, Determination of Sound Power Levels of Multisource Industrial Plants for Evaluation of Sound Pressure Levels in the Environment.
- Ordenanza Municipal N° 13032:2004, Régimen de Ruidos Molestos. Ciudad de Bahía Blanca. Buenos Aires, Argentina.
- Plan Estratégico de la ciudad de Bahía Blanca. Etapas de Formulación. Municipalidad de Bahía Blanca. Buenos Aires, Argentina, 2000.
- Puliafito, E., Rey Saravia, F., Pereyra, M. y Pagani, M., Calidad del aire en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca. *II Reunión Anual del Proyecto Integrador para la Mitigación de la Contaminación Atmosférica*, ISBN: 978-950-42-0119-9, 2009.
- Sequeira, M.E., Stoklas, C., Azzurro, A.P., Giron, P.G. y Cortínez, V.H., Caracterización de ruido urbano en la ciudad de Bahía Blanca. *VI Congreso Iberoamericano de Acústica (FIA)*. Buenos Aires, Argentina, 2008.
- Sequeira, M.E., Azzurro, P.A., Cortínez, V.H., Arauzo, J. y Pérez, R., Actualización del mapa acústico de la ciudad de Bahía Blanca mediante un modelo computacional. *II Congreso Internacional de Acústica*, Buenos Aires, 2010.
- Wallstrom, M., Guidelines on the revised interim computation methods for industrial noise, aircraft noise, road traffic noise and railway noise, and related emission data. *Official Journal of the European Union*, 2003.