

MODELO COMPUTACIONAL PARA CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE ZONA RESIDENCIAL ALEDAÑA AL POLO INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE BAHÍA BLANCA

COMPUTATIONAL MODEL FOR THE ACOUSTIC CHARACTERIZATION OF A RESIDENTIAL AREA ADJACENT TO THE INDUSTRIAL POLE OF THE CITY OF BAHÍA BLANCA

Martín E. Sequeira^a, Lucas E. Di Giorgio^a, Adrián P. Azzurro^a y Víctor H. Cortínez^{a,b,c}

^aCentro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada, Universidad Tecnológica Nacional,
Facultad Regional Bahía Blanca, 11 de Abril 461, Bahía Blanca, Argentina,
martins@frbb.utn.edu.ar, ldigiorgio@frbb.utn.edu.ar, azzurro@frbb.utn.edu.ar,
vcortine@frbb.utn.edu.ar, <http://www.frbb.utn.edu.ar>

^b Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Av. Alem 1253, Bahía Blanca,
Argentina.

^c Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnica, CONICET

Palabras clave: Fuentes industriales, Contaminación sonora, Modelo de propagación sonora.

Resumen. En este trabajo se presenta una actualización de la caracterización acústica de una zona residencial adyacente al grupo de complejos industriales multifuente que integran el Polo Petroquímico de la ciudad de Bahía Blanca, considerando a éste como fuente principal de ruido. Los niveles de emisión de las fuentes se verifican a partir de mediciones in situ en puntos característicos asociados a cada planta industrial, donde la influencia de cada una es predominante. Luego se calibra un modelo de propagación sonora, basado en la norma ISO 9613-2 e implementado numéricamente mediante la técnica de trazado de rayos, utilizando registros sonoros de mediciones discretas y de estaciones de monitoreo continuo ubicadas en el área residencial. Finalmente se evalúa en detalle el ambiente acústico del sector en distintas tablas y salidas gráficas.

Keywords: Industrial sources, Noise pollution, Sound propagation model.

Abstract. This paper presents an update of the acoustic characterization of a residential area adjacent to the group of multi-source industries that integrate the Petrochemical Pole of the city of Bahía Blanca, considering the latter as the main source of noise. The emission levels of the sources are verified from in situ measurements in particular points associated to each industrial plant where the influence of each one is predominant. A sound propagation model is then calibrated, based on the ISO 9613-2 standard and implemented numerically by means of the ray tracing method, from discrete measurements and continuous monitoring stations located in the residential area. Finally, the acoustic environment of the sector is evaluated in detail in different tables and graphical outputs.

1 INTRODUCCIÓN

La ciudad de Bahía Blanca, localizada al sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), presenta condiciones estratégicas particulares que brindan un marco adecuado para el desarrollo de la economía rural y urbana, y la consolidan como una ciudad prestadora de servicios de una amplia región. La zona de Ingeniero White, a sólo 5 km del centro de la ciudad, está conformada por un área netamente urbanizada, con viviendas de una y dos plantas, lindera a una zona industrial que concentra un grupo importante de empresas, denominada Polo Petroquímico. La cercanía entre ambas zonas y la diferencia en los usos de suelo generan un problema importante desde el punto de vista del paisaje sonoro. En este contexto, la confección de mapas de ruido a partir de simulaciones numéricas, combinadas con mediciones directas para ajustar las predicciones, es un enfoque típico para evaluar en detalle la situación acústica de las zonas cercanas a las fuentes de ruido (Casas et al., 2014; Bozkurt y Demirkale, 2017).

En el año 2011, a partir de un estudio realizado entre el Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada (CIMTA-UTN-FRBB) y el Comité Técnico Ejecutivo (CTE) del municipio de la ciudad, se estimaron los niveles de potencia de las fuentes industriales más importantes a partir de mediciones directas según los lineamientos de la norma ISO 8297 (ISO 8297, 1994). Con esta información, se alimentó un modelo de propagación sonora simplificado, basado en la norma ISO 9613-2 (ISO 9613-2, 1996), que permitió determinar el impacto acústico en la zona residencial y establecer los puntos característicos asociados a cada planta industrial donde la influencia de cada una es predominante (Cortínez et al., 2011). En un estudio posterior (año 2017), se verificaron los niveles de emisión de las fuentes industriales a partir de los niveles de presión sonora medidos en los puntos característicos asociados (Sequeira et al., 2017). Esto permitió reajustar el mapa acústico del sector y simular algunos escenarios de interés como la generación de eventos ruidosos de una de las plantas industriales y la influencia del viento sobre la distribución espacial de los niveles sonoros.

En este trabajo se actualizan y verifican los niveles de emisión de las principales plantas industriales de interés a partir de mediciones directas realizadas en las inmediaciones de cada una. Luego, se implementa numéricamente un modelo de propagación sonora basado en la norma ISO 9613-2, a partir del algoritmo de trazado de rayos utilizando el programa SoundPLAN, y se estima el campo acústico en el sector. El modelo resultante de predicción se contrasta con niveles sonoros registrados en estaciones de monitoreo continuo ubicadas en la zona residencial vecina a fin de analizar el ajuste respecto a la situación actual. Finalmente se analiza cuantitativamente el impacto de los niveles de baja frecuencia emitidos por las fuentes industriales en la zona urbana y se estudia un escenario específico donde una de las industrias exhibe un aumento del nivel de emisión debido a una situación particular de operación. Este trabajo es una continuación del estudio del año 2017 realizado entre el CIMTA y el CTE.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Zona de estudio y puntos de medición

La zona industrial concentra un gran número de plantas multifuente de las cuales se contemplaron aquellas ubicadas más próximas al sector urbano y que presentan procesos de producción continuo. Los complejos industriales seleccionados son: PBB-Polisur S.A. (principal productor en Argentina de etileno y polietileno, conformada, entre otras plantas, por LHCI, LHCII y HDPE); Air Liquide (empresa cuya principal actividad es la producción y distribución de gases industriales); Profertil S.A. (planta que produce amoníaco y fertilizantes) y Termoeléctrica Piedrabuena S.A. (central térmica de generación de

electricidad de 320 MW). En la **Figura 1** se muestra la zona de estudio, remarcando el área residencial, el emplazamiento de las plantas industriales, y la ubicación de los puntos de medición. Los puntos a, b, c, d, e y f se corresponden con receptores característicos de medición discreta utilizados para identificar los niveles de emisión de las fuentes industriales. Los puntos de medición EMAC 1, 2 y 3 son estaciones de monitoreo continuo (sonómetros B&K 2270 clase I, ubicados a 5 m de altura) instaladas por personal del CTE con la finalidad de registrar y controlar los niveles sonoros en el sector.

Las mediciones en los puntos característicos se realizaron con un sonómetro SVANTEK (Svan 958) con respuesta lenta y ubicado a una altura de 1,5 m, contemplando una situación de operación normal de las plantas y evitando el registro de cualquier ruido ajeno al industrial. Se efectuaron 5 mediciones por punto, en días hábiles durante el mes de junio de 2023 y en la franja horaria de 19 a 22 h. El tiempo de medición por muestra fue de 5 minutos. Respecto a las condiciones meteorológicas, las mediciones se realizaron con velocidades de viento inferiores a 5 m/s y los valores de temperatura y humedad promedio registrados fueron de 10°C y 70% respectivamente. En particular, durante la campaña de medición, se identificó un aumento de los niveles de presión sonora (específicamente, en frecuencias medias) debido a una situación particular de operación en la planta LHCI. Esta situación se analiza más adelante.

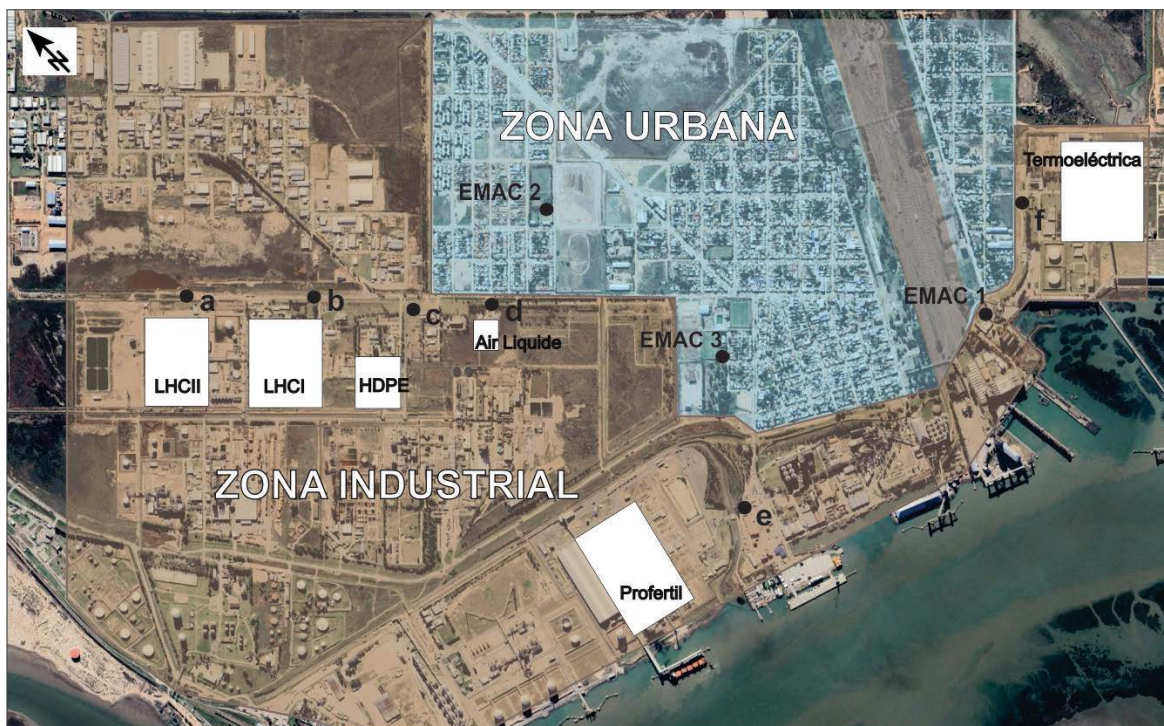


Figura 1: Zona de estudio.

2.2 Niveles de potencia acústica

Cada complejo industrial multifuente se representó acústicamente como una fuente puntual omnidireccional equivalente y se la asoció a un punto receptor característico (puntos a - f) en el campo lejano (Cortínez et al., 2011). De esta manera, se considera que los niveles sonoros medidos en dichos puntos provienen mayoritariamente de la fuente más próxima. Luego, los niveles de potencia se estimaron a partir de los niveles sonoros medidos mediante la utilización de un modelo de propagación que considera la atenuación por divergencia geométrica, la absorción atmosférica y el efecto de suelo (ver sección 2.3). En particular, dada

la cercanía entre las fuentes industriales LHCI, LHCII, HDPE y Air Liquide, donde cada nivel de emisión puede influir sobre los puntos característicos de las plantas colindantes, se procedió a utilizar un enfoque inverso para la identificación de los niveles de potencia contemplando simultáneamente los niveles de presión sonora medidos en los puntos característicos y la correspondiente atenuación en los caminos de propagación (Lu y Hong, 2005).

2.3 Modelo de propagación acústica

El modelo de propagación utilizado está basado en el método de cálculo establecido en la norma ISO 9613-2. Se contemplaron los efectos de divergencia geométrica (A_{div}), absorción atmosférica (A_{atm}) y atenuación debido al suelo (A_{gr}). Para este último caso, las características del suelo de las diferentes zonas fueron modeladas mediante el factor G , el cual puede adoptar valores entre 0 (suelo acústicamente duro) y 1 (suelo acústicamente blando). La zona de estudio se representó con un factor $G = 0$, a excepción de los sectores específicos del área urbana donde existe suelo recubierto con vegetación.

El nivel sonoro equivalente en la posición del receptor debido al nivel de potencia L_w de la fuente j para cada banda de octava bf se obtiene a partir de la expresión:

$$L_{eq,j,bf} = L_{w,j,bf} - A_{bf}, \quad (1)$$

siendo A_{bf} el término que contempla la contribución de las distintas atenuaciones en el camino de propagación. Todos los términos citados están expresados en dB. Finalmente, el nivel sonoro equivalente global en cada punto receptor se obtiene a partir de sumar logarítmicamente la contribución del nivel sonoro calculado de acuerdo con la expresión (1), para cada fuente sonora y para cada banda de octava:

$$L_{eq} = \sum_{j=1}^N \sum_{bf=1}^M 10^{\left(\frac{L_{eq,j,bf}}{10}\right)}, \quad (2)$$

siendo N y M el número total de fuentes y bandas de octava respectivamente. Para obtener el nivel global con las ponderaciones A y C de la expresión (2), es necesario afectar $L_{eq,j,bf}$ por el factor de corrección correspondiente a cada curva. En las simulaciones se contemplaron las bandas de octava de 63 Hz a 2000 Hz a los efectos de analizar niveles de inmisión de origen industrial en el rango de baja y media frecuencia.

3 RESULTADOS

3.1 Predicción de los niveles sonoros

A partir de la actualización de las potencias sonoras industriales e implementando numéricamente el modelo de propagación mencionado en el programa SoundPLAN, se elaboró el mapa acústico del sector que se observa en la Figura 2. En la Tabla 1 se muestra la comparación entre los niveles sonoros simulados y medidos en los distintos puntos de medición. Los niveles sonoros promedio de las EMACs y los puntos característicos corresponden a registros de los mismos días y franjas horarias con el fin de mantener la representatividad. Puede observarse un buen ajuste entre los niveles medidos y simulados, con diferencias globales del orden de 1 dB, a excepción de la EMAC 2, donde el modelo computacional presenta una subestimación del nivel sonoro a partir de la banda de 250 Hz. Esta subestimación puede atribuirse al aporte adicional de ruido de fondo generado por la actividad urbana del sector, el cual comienza a enmascarar la contribución de las fuentes

industriales en el rango de frecuencias medias. Una situación similar se percibe en las EMAC 1 y 3, pero en una banda superior (2000 Hz), ya que las mismas se encuentran en una mejor ubicación respecto de las fuentes industriales.

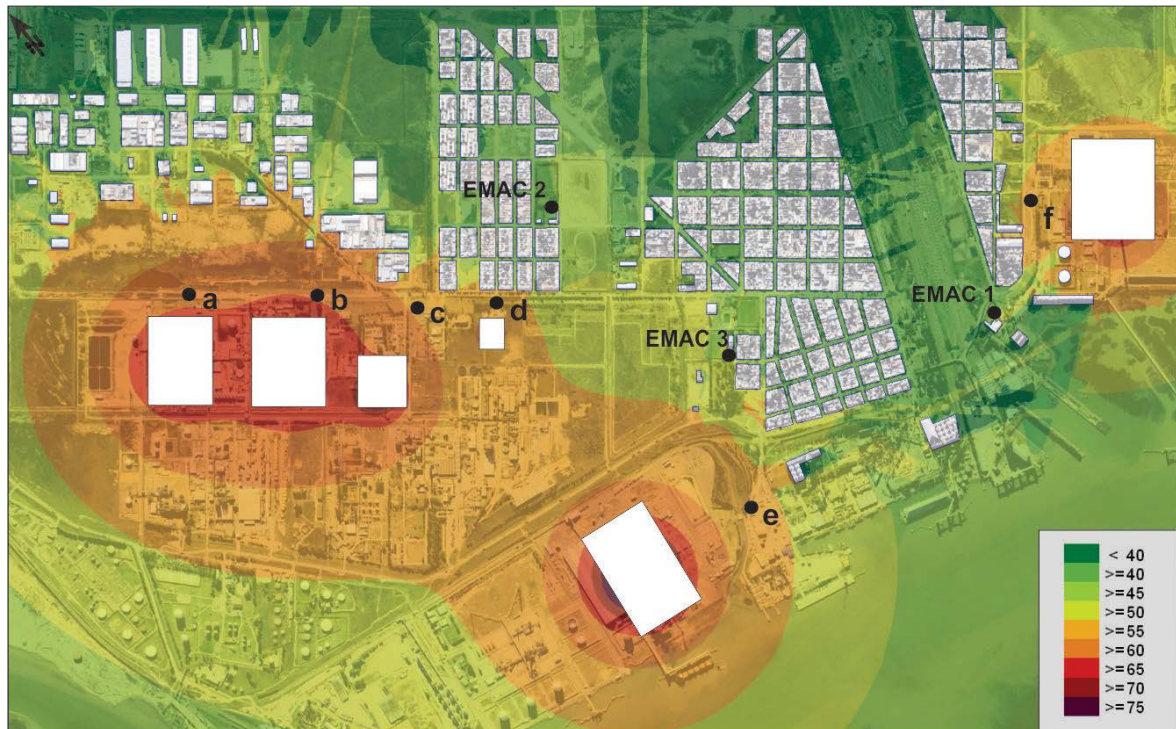


Figura 2: Mapa de niveles sonoros globales (dBA).

3.2 Contenido de baja frecuencia

Con el objetivo de verificar cuantitativamente el impacto del ruido de baja frecuencia procedente de las fuentes industriales, se evaluó el indicador $L_{Ceq}-L_{Aeq}$ el cual muestra la cantidad de energía de baja frecuencia en el ruido considerando el filtro de ponderación C y el filtro de ponderación A (Ascari et al., 2015). Cuando la diferencia es superior a 15 dB, existe la posibilidad de que se produzca un problema de molestia debido al contenido baja frecuencia (Silva et al., 2021). Desde el punto de vista de la legislación local para la evaluación de ruidos (IRAM 4062, 2016), el criterio de valoración exhibe penalizaciones para valores de $L_{Ceq}-L_{Aeq}$ entre 10 y 15 dB, y superiores a 15 dB. Aunque la norma citada no contempla explícitamente la evaluación del nivel de ruido en ambientes exteriores, aquí se utiliza dichos rangos de manera indicativa a efectos de examinar las componentes de baja frecuencia.

En la Figura 3 se muestra la distribución de $L_{Ceq}-L_{Aeq}$ en la zona de estudio. Se observa que, salvo en sectores aledaños a las fuentes industriales, el indicador presenta valores entre 10 y 15 dB en gran parte de la zona urbana, superando los 15 dB en un sector de residencias cercano a la Termoeléctrica. Esto último señala la existencia de una potencial situación de molestia de baja frecuencia debido al espectro de emisión de esta fuente y requerirá una estrategia de análisis más profunda para obtener resultados precisos, por ejemplo, combinando mediciones simultáneas del ruido interior y exterior en las viviendas ubicada en la zona de influencia (Tombolato et al., 2022). En la Tabla 1, se muestra un ajuste aceptable entre los valores de $L_{Ceq}-L_{Aeq}$ medidos y simulados en los puntos-fijos, con un error máximo de 2 dB en la EMAC 2 debido a la subestimación de los niveles simulados en las frecuencias medias.

Receptor		L_{eq} (dB) por banda de octava (Hz)						L_{Aeq} (dB)	L_{Ceq} (dB)	$L_{Ceq}-L_{Aeq}$ (dB)
		63	125	250	500	1000	2000			
EMAC1	medido	61,0	57,9	53,2	50,1	45,2	41,8	51,7	63,0	11,3
	simulado	61,1	58,2	52,0	48,9	44,9	37,4	50,7	63,0	12,3
	diferencia	-0,1	-0,3	1,2	1,2	0,3	4,4	1,1	0,0	-1,0
EMAC2	medido	56,7	53,3	50,9	46,8	44,5	39,9	49,4	59,1	9,6
	simulado	56,2	52,3	47,7	43,1	41,8	33,2	46,1	57,8	11,7
	diferencia	0,5	1,0	3,2	3,7	2,7	6,7	3,3	1,2	-2,1
EMAC3	medido	61,7	56,8	54,4	51,1	46,8	41,9	52,6	63,3	10,7
	simulado	61,8	56,7	53,5	49,9	46,3	38,1	51,6	63,2	11,6
	diferencia	-0,1	0,1	0,9	1,2	0,5	3,8	1,0	0,1	-0,9
a	medido	68,6	65,0	61,0	56,7	59,9	57,8	63,5	70,9	7,4
	simulado	68,6	65,0	60,9	56,6	59,9	57,8	63,5	70,9	7,4
	diferencia	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
b	medido	69,5	66,5	63,1	59,4	60,3	57,3	64,2	72,1	7,9
	simulado	69,5	66,3	61,5	59,4	60,3	57,3	64,0	71,9	7,9
	diferencia	0,0	0,2	1,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1
c	medido	68,9	61,7	56,4	55,5	57,2	50,8	59,8	69,7	9,9
	simulado	68,9	62,5	57,8	55,4	56,6	50,7	59,7	69,9	10,2
	diferencia	0,0	-0,8	-1,4	0,1	0,6	0,1	0,1	-0,2	-0,3
d	medido	66,4	60,9	54,4	52,3	51,6	48,7	56,0	67,4	11,3
	simulado	66,5	61,1	55,3	52,3	52,4	48,7	56,5	67,6	11,1
	diferencia	-0,1	-0,2	-0,9	0,0	-0,8	0,0	-0,4	-0,2	0,2
e	medido	65,0	60,9	58,8	54,4	51,3	46,6	56,7	67,0	10,3
	simulado	65,1	60,9	58,4	54,4	51,2	46,6	56,6	67,0	10,4
	diferencia	-0,1	0,0	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,1
f	medido	69,0	62,3	56,3	53,6	50,2	44,8	55,7	69,6	13,8
	simulado	69,2	62,5	56,5	53,7	50,4	45,0	55,9	69,7	13,9
	diferencia	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0

Tabla 1: Niveles sonoros medidos y simulados.

3.3 Análisis de evento ruidoso generado por LHCI

Durante la campaña de medición se detectó una situación atípica en la planta LHCI producto de un proceso de limpieza denominado “decoque”, el cual consiste en hacer circular vapor de alta presión en los hornos del reactor de etileno para quitar los residuos de coque y evitar su obturación. Utilizando los datos registrados en los puntos de medición donde la influencia del evento es significativa (puntos a, b, c y d), se procedió a una identificación del nivel de potencia de LHCI para esta situación particular de máxima siguiendo la metodología descrita anteriormente. El nivel de potencia sonora global resultante presenta un aumento respecto a la situación de operación normal del orden de 2 dB (con incrementos del orden de 4 y 6 dB para las bandas de 1000 y 2000 Hz respectivamente) y manteniendo prácticamente iguales los niveles en las frecuencias inferiores. De esta manera, el nuevo espectro de emisión está caracterizado por una mayor cantidad de energía en el rango de frecuencias medias. Con esta información se simuló los niveles de ruido en el sector y se confeccionó un mapa acústico (Figura 4) que muestra la diferencia respecto a la situación de operación normal presentada en la Figura 1. El incremento del nivel sonoro global se percibe mayoritariamente en el sector residencial lindero a la planta LHCI y es del orden de 2 dBA.



Figura 3: Mapa del indicador $L_{Ceq}-L_{Aeq}$.

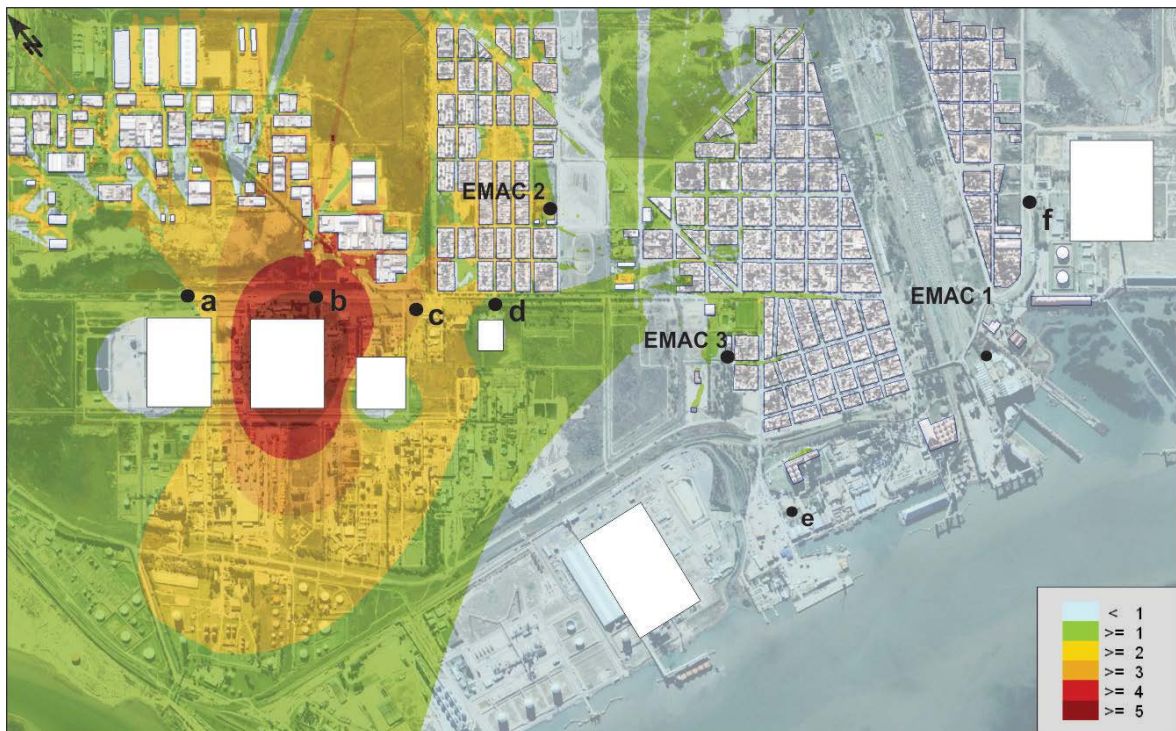


Figura 4: Mapa de diferencia (dBA) entre situación de emisión máxima de la fuente LHCI y situación normal.

4 CONCLUSIONES

En este trabajo se actualizaron los niveles de presión sonora en la zona residencial lindera al Polo Petroquímico de Ingeniero White contemplando las principales fuentes industriales. El modelo numérico de predicción contempla una situación de operación normal de las fuentes en ausencia de viento. Dicho modelo se validó con mediciones directas realizadas en una

campana reciente y utilizando registros de estaciones de monitoreo continuo ubicadas en el sector urbano. El modelo resultante permitió analizar, de manera indicativa, el contenido de baja frecuencia de origen industrial en el área residencial, mostrando una superficie importante expuesta a una posible molestia por baja frecuencia. En este sentido, y a efectos de obtener conclusiones más precisas, es necesario profundizar el estudio en las zonas comprometidas. Asimismo, se analizó un escenario acústico particular ocasionado por el aumento de la emisión sonora de una de las plantas debido a un cambio temporario en las condiciones de operación. Esto permitió estimar el impacto sonoro en la zona residencial de influencia. El modelo de predicción presentado constituye una herramienta fundamental para estudiar potenciales situaciones acústicas en el sector y sirve como referencia para la toma de decisiones por parte de las autoridades a la hora de determinar medidas para mitigar la contaminación sonora.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional y del personal del Comité Técnico Ejecutivo de la Municipalidad de Bahía Blanca por el suministro de los registros sonoros y el intercambio de experiencias.

REFERENCIAS

- Ascari, E., Licitra, G., Teti, L., and Cerchiai, M., Low frequency noise impact from road traffic according to different noise prediction methods, *Science of the total environment*, 505:658-669, 2015.
- Bozkurt, T.S., and Demirkale, S.Y., The field study and numerical simulation of industrial noise mapping, *Journal of Building Engineering*, 9:60-75, 2017.
- Casas, W.J.P., Cordeiro, E.P., Mello, T.C., and Zannin, P.H.T., Noise mapping as a tool for controlling industrial noise pollution, *Journal of scientific & industrial research* [recurso eletrônico], New Delhi, Vol. 73, no. 4, 262-266, 2014.
- Cortínez, V., Sequeira, M., Azzurro, P., Pons, F., y Rey Saravia, F., Desarrollo y calibración de un modelo acústico para una zona Residencial-Industrial, Publicado en Actas del III Congreso del Proyecto Integrador para la Mitigación de la Contaminación Atmosférica (PROIMCA), 2011.
- IRAM 4062, Ruidos molestos al vecindario. Método de medición y calificación, 2016.
- ISO 8297, Acoustics – Determination of Sound Power Levels of Multisource Industrial Plants for Evaluation of Sound Pressure Levels in the Environment, 1994.
- ISO 9613-2, Acoustics – Attenuation of Sound During Propagation Outdoors – Part 2: General Method of Calculation, 1996.
- Lu, S.Y., and Hong, Y.J., Least square error method to estimate individual power of noise sources under simultaneous operating conditions, *International journal of industrial ergonomics*, 35(8):755-760, 2005.
- Sequeira M., Cortínez V., Azzurro A, Stoklas C, y Pons F., Estudio de ruido industrial en la localidad de Ingeniero White (Bahía Blanca) a partir de un modelo computacional, Publicado en Actas del VI Congreso del Proyecto Integrador para la Mitigación de la Contaminación Atmosférica (PROIMCA), 2017.
- Silva, L.T., Magalhães, A., Silva, J.F., and Fonseca, F., Impacts of low-frequency noise from industrial sources in residential areas, *Applied Acoustics*, 182:108203, 2021.
- Tombolato, A., Bonomini, F., and Di Bella, A., Methodology for the evaluation of low-frequency environmental noise: A case-study, *Applied Acoustics*, 187:108517, 2022.