



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

The influence of fireworks noise on the urban acoustic environment in Buenos Aires city, Argentina

Bori, G.¹; Vergara, R.O.²; Lombera, E.N.^{1,2}

¹ Universidad Nacional de Tres de Febrero, Departamento de Ciencia y Tecnología. Sáenz Peña, Argentina. elombera@untref.edu.ar

² Laboratorio de Acústica y Percepción Sonora, Universidad Nacional de Quilmes, CONICET, R. S. Peña 352, Bernal, Argentina.

Abstract

Fireworks are central and historical elements in different celebrations around the world. During the last years, there has been a growing awareness of their use due to the different environmental pollutants they produce. Legislation in different countries tends to evolve in this regard; therefore scientific evidence is essential in the development of public policies for this purpose. The available literature focuses mainly on characterization of individual pyrotechnics articles, and quantifying the noise level variation between festive and non-festive days. However, to date, no similar studies were conducted in Argentina. This investigation characterizes the environmental noise levels produced by fireworks use during 2020 Christmas and New Year celebrations. From 24 measurement systems distributed among the metropolitan area of Buenos Aires, a set of acoustic descriptors were obtained that reflect the noise levels during these festivities. Results were analyzed and contrasted with the usual environmental noise levels in the city, and with the noise levels during Santiago de Chile New Year's pyrotechnics show, where general citizens does not have access to individual fireworks. Results indicate that during festive days, noise levels increased an average of 15 dB when fireworks were used. When statistically contrasted with environmental noise levels of non-festive days, significant differences are observed considering Sound Exposure Level, a parameter that correctly quantifies the presence of impulsive noise. Finally, when comparing the results with Santiago de Chile celebration, the absence of random or isolated explosions is evident, while no significant differences are found at a distance of approximately 1.1 km from the event site.

Keywords: Environmental noise, fireworks, pyrotechnics, impulsive noise.

PACS: 43.50.Qp, 43.50.Rq, 43.28.Hr

La influencia de los fuegos artificiales en el ruido ambiental de la ciudad de Buenos Aires, Argentina

Resumen

Los fuegos artificiales son elementos centrales e históricos en diferentes celebraciones alrededor del mundo. Durante los últimos años ha habido una creciente concientización sobre su uso debido a los diferentes contaminantes ambientales que producen. La legislación en diferentes países tiende a evolucionar en este sentido; por lo que la evidencia científica es fundamental en el desarrollo de políticas públicas con este fin. La literatura disponible se centra principalmente en la caracterización de artículos pirotécnicos individuales y en la cuantificación de la variación del nivel de ruido entre días festivos y no festivos. Sin embargo, hasta la fecha no se han realizado estudios similares en Argentina. Esta investigación caracteriza los niveles de ruido ambiental producidos por el uso de fuegos artificiales durante las celebraciones de Navidad y Año Nuevo 2020. A partir de 24 sistemas de medición distribuidos por el área metropolitana de Buenos Aires, se obtuvo un conjunto de descriptores acústicos que reflejan los niveles de ruido durante estas festividades. Los resultados fueron analizados y contrastados con los niveles de ruido ambiental habituales en la ciudad, y con los niveles de ruido durante el espectáculo pirotécnico de Año Nuevo en Santiago de Chile, donde la ciudadanía en general no tiene acceso a fuegos artificiales individuales. Los resultados indican que, durante los días festivos, los niveles de ruido aumentaron un promedio de 15 dB cuando se utilizaron fuegos artificiales. Al contrastarlo estadísticamente con los niveles de ruido ambiental de los días no festivos, se observan diferencias significativas considerando el Nivel de Exposición Sonora, parámetro que cuantifica correctamente la presencia de ruido impulsivo. Finalmente, al comparar los resultados con la celebración de Santiago de Chile, se evidencia la ausencia de explosiones aleatorias o aisladas, mientras que no se encuentran diferencias significativas a una distancia aproximada de 1,1 km del lugar del evento.

Palabras claves: Ruido ambiental, fuegos artificiales, pirotecnia, ruido impulsivo



1. INTRODUCCIÓN

Los fuegos artificiales se utilizan en todo el mundo para celebrar ocasiones especiales como navidad, año nuevo, festividades religiosas, días nacionales, ceremonias de apertura y cierre de espectáculos deportivos, de entretenimiento, entre otras. Aunque estos productos brindan placer y son interesantes de ver, no solo generan ruidos impulsivos de alta intensidad, sino también contaminan el aire. De hecho, en muchos países, la exhibición de fuegos artificiales es un asunto organizado por el Estado y las personas presencian estos eventos desde una distancia segura, disminuyendo los niveles de contaminación a los que están expuestos. Sin embargo, en países como Argentina, en la mayoría de las ocasiones, los fuegos artificiales son utilizados por la sociedad en general (mayores de 16 años) lo que genera una directa exposición a la contaminación acústica y una aleatoriedad impredecible (en tiempo y espacio) de explosiones en cualquier ciudad del país.

La cuantificación del impacto acústico de la pirotecnia en los niveles de ruido ambiental ha sido ampliamente estudiada. En general se compara la variación de los niveles de ruido durante festividades con los niveles de ruido ambiental en condiciones normales. Por ejemplo, en [1] realizaron mediciones de ruido durante la noche de Año Nuevo (de 23:00 a 01:00 horas) en los alrededores de la capital de Eslovenia. Los niveles registrados aumentaron el nivel de ruido de fondo 20 dB durante el día, y 50 dB durante la noche como consecuencia del uso de pirotecnia. Investigaciones similares se realizaron en distintas ciudades del mundo, especialmente en India donde el uso de fuegos artificiales es una actividad muy extendida y habitual en la población. Analizando el impacto acústico en los niveles de ruido en dos ciudades de dicho país, se informó un aumento del nivel de ruido promedio de 29,6% y 18,1%, comparando los niveles entre días festivos y días sin estas actividades [2]. En otra ciudad se han informado aumentos de nivel sonoro continuo equivalente ($L_{eq,A}$) en áreas residenciales que van desde 57 a 69 dBA para días no festivos, y 76 a 80 dBA para días festivos [3, 4]. Resultados similares se

obtuvieron en un estudio realizado en Irak, donde los niveles de ruido promedio en un día festivo mostraron un aumento de más del 20% en comparación con un día no festivo [5]. En [6] relevaron los niveles a los que el público y los trabajadores estaban expuestos durante el desarrollo de cinco festivales en Portugal. Los resultados obtenidos muestran niveles entre 87 y 100 dB para $L_{eq,A}$ y aunque los niveles máximos ($L_{max,A}$) cumplían los criterios adoptados por la normativa de la Unión Europea, los autores aseguraron que los niveles pico pueden generar daño auditivo en los participantes de este tipo de eventos. Un estudio similar fue conducido en Japón durante una exhibición de fuegos artificiales [7]. En este caso, los autores concluyeron que los técnicos de pirotecnia estaban expuestos a niveles superiores a 133 dB en el punto de lanzamiento (152 dB considerando el rango 1 Hz – 80 Hz), por lo que estos niveles deberían reducirse en al menos 35 dB. En Cracovia, Kukulski et al. [8] realizaron mediciones en áreas urbanas durante la noche de Año Nuevo (de 23:30 a 00:30). En dos de los tres puntos evaluados, todos los descriptores analizados presentaron niveles excesivos, con diferencias en el rango de 50 – 60 dB para los niveles típicos en ese horario.

Como se observa, la influencia de la pirotecnia utilizada en días festivos ha sido ampliamente estudiada en diversas ciudades del mundo. Sin embargo, el impacto acústico que estos productos producen durante las celebraciones festivas no ha sido estudiado en Argentina. La presente investigación pretende reportar cuál es la incidencia que el uso de fuegos artificiales tiene en los niveles de ruido durante los festejos de Navidad y Año Nuevo, específicamente en el año 2020. Para ello, se toma como caso de estudio la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) y alrededores. Además, se realiza una comparación de estos niveles con la capital chilena, Santiago de Chile, cuya legislación difiere con la Argentina dado que el espectáculo de fuegos artificiales es propiciado por el gobierno y no ejecutado por la ciudadanía.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación y selección de los puntos de medición

2.1.1 Puntos de medición en días festivos en CABA

El criterio de medición adoptado para la presente investigación tuvo en consideración los estudios previos antes mencionados. El intervalo de medida fue de 23:00 – 01:00 horas, tanto en Navidad como en Año Nuevo, para los días 24/12/2020 y 31/12/2020 respectivamente. En cuanto a la selección de los puntos de medición, fue planificada con el objetivo de lograr la mayor cantidad de muestras posibles, distribuidas en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) y alrededores. La Figura 1a y 1b presenta los puntos de medición evaluados. En total, se lograron coordinar 12 puntos muestrales para ambas fechas. Las locaciones fueron variadas pero principalmente concentradas en el área de interés, manteniéndose constantes en los dos eventos evaluados: en Navidad se evaluaron 9 puntos en CABA (75%) y 3 en alrededores (25%), mientras que para Año Nuevo fueron 10 (83%) y 2 (17%), respectivamente. En todos los casos, los sistemas fueron montados en domicilios particulares.

El posicionamiento de los sistemas de medición fue determinado en función de las distintas ubicaciones disponibles y las características constructivas del tipo de vivienda a utilizar, casa o departamento. En el caso de las viviendas unifamiliares, los sistemas se ubicaron en los patios. Esta condición fue más difícil de cumplir en el caso de edificios multifamiliares, dado que de existir jardines, en general son zonas de uso común para todos los residentes. En consecuencia, estos puntos fueron ubicados en las terrazas del edificio, y de no ser posible, en los balcones de la propiedad. En todos los casos, el micrófono de medición debía estar a una distancia suficiente (mayor a 10 m) de la fuente de ruido más cercana para evitar su influencia en los niveles de ruido registrados. En la noche de Navidad, el 58% de los sistemas fue ubicado en terrazas, el 25% en

balcones y el 17% en patios, mientras que en Año nuevo fue 42% y 41% para las primeras dos ubicaciones y 17% para la última.

2.1.2 Puntos de medición en días no festivos en CABA

Con el fin de comparar resultados de ruido ambiental en un día festivo, en comparación con los niveles de ruido ambiental en condiciones normales, se realizó una solicitud de información al organismo competente - Agencia de Protección Ambiental de CABA (APrA) - para obtener los niveles de ruido en el horario de 23:00 – 01:00 horas de aquellos puntos geográficos más cercanos a los puntos evaluados.

La Figura 1c presenta los puntos de medición (rojo) y aquellos proporcionados por el APrA (violeta), siguiendo la nomenclatura de la Figura 1a y 1b. El pedido de información tuvo como criterio el tipo de vía de circulación (calle o avenida) y la cercanía al punto de medición evaluado. Por ejemplo, si el punto de medición estaba ubicado en una calle, y su correspondiente más cercano se encontraba en una avenida, se solicitaron aquellos puntos de mayor cercanía ubicados en calles para considerar las diferencias en el caudal de circulación vehicular. En dichos casos, el valor utilizado para la comparación corresponde al promedio energético del conjunto de puntos aledaños. Cada punto propiciado por la APrA cuenta con medidas que varían entre 21 y 30 días, los mismos fueron promediados según el horario bajo análisis.

2.1.2 Puntos de medición en días festivos en la Ciudad de Santiago de Chile

Se realizó una colaboración con el Departamento de Ruido, Lumínica y Olores del Departamento de Medio Ambiente de dicho país. Allí, para la celebración de Año Nuevo se realizó un show pirotécnico de 20 minutos de duración en la Torre Entel (edificio de 127 m de altura), en donde se ejecutaron un total de 16 toneladas de artículos pirotécnicos, equivalente a 16 mil detonaciones a 300 m de altura aproximadamente. Los datos suministrados corresponden al horario 23:00 –



01:00 hs del año 2019. La información pertenece a la Red de Monitoreo de Ruido Ambiental que dicho organismo posee en la ciudad de Santiago de Chile. La Figura 1d presenta la distribución geográfica de los puntos de evaluación suministrados por el organismo y una vista de la Torre Entel, lugar del evento. Se observa que la distancia transductor – fuente no es constante para los cuatro puntos (las posiciones más próximas al

evento presentaran valores superiores), por lo que se decide realizar el análisis considerando esta condición. A partir de la geo localización de las estaciones de monitoreo, se deduce que la distancia al lugar del evento para los puntos 1-2 y 3-4 es de 0,6 y 1,1 km, respectivamente. En consecuencia, además del promedio energético del total de puntos, se utiliza el promedio según distancia a la fuente, nombradas como “Cercanas” y “Lejanas”.



Figura 1: Arriba: Distribución geográfica de los puntos de medición evaluados, según festividad: a) Navidad, b) Año Nuevo. c) Distribución de puntos evaluados: mediciones de Navidad y Año Nuevo (color rojo, número blanco - amarillo, respectivamente), mapa de ruido de CABA proporcionados por el APrA (color violeta). d) Distribución geográfica de los puntos de medición proporcionados por el Departamento de Ruido, Lumínica y Olores del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Chile. Vista de Torre Entel.

2.2 Protocolo e instrumental de medición

El protocolo de medición fue el descrito en la ISO 1996. En todos los puntos los sistemas fueron montados utilizando trípodes y pies de micrófono, garantizando una altura entre 1,6 y 2,5 m respecto al suelo y una distancia mínima de 1,5 m de superficies reflectantes para minimizar reflexiones. El intervalo de alturas se determinó en función de la ubicación disponible, intentando cumplir siempre el máximo valor posible. En las terrazas y patios

traseros esta condición fue cumplida en la totalidad de casos. En los balcones, si las dimensiones lo permitían, se utilizó el mismo criterio; caso contrario, la altura utilizada fue 1,6 m para evitar que el transductor quede a una distancia menor a 1,5 m respecto al techo. En todos los casos se utilizó pantalla antiviento para minimizar el efecto del viento.

Los instrumentales de medición utilizado se componen principalmente por una interfaz de audio, micrófono de medición omnidireccional

calibrado (94dBA – 1kHz) y una computadora para la adquisición de datos. En total se utilizaron 10 de estos sistemas, distribuidos según la Figura 1 (puntos 1 -10). El punto 11 fue relevado con una estación de monitoreo 01dB DUO Clase 1, mientras que para el punto 12 se utilizó un sonómetro CESVA SC310 Clase 1.

2.3 Procesamiento de datos

En total se obtuvieron 24 registros de dos horas de duración, 12 correspondientes a la noche del 24 de diciembre y 12 a la noche del 31 de diciembre, ambas fechas en el horario de 23:00 a 01:00 horas. Del total de mediciones, se obtuvieron 20 archivos en formato Wav (48 kHz, 24 bits) de los sistemas de medición, mientras que los cuatro registros restantes corresponden a la estación de monitoreo y el sonómetro Clase 1. Los datos de estos últimos fueron procesados por el respectivo software de cada instrumental y exportados en formato CSV (comma separated values). Se realizó un análisis exploratorio para la identificación de eventos anómalos que puedan alterar los niveles de ruido de cada medición, entendiendo estas anomalías como ruidos eléctricos por movimiento de cables, voces o gritos cercanos a la capsula del micrófono (generalmente provenientes de conversaciones del operador o de su entorno), viento, entre otros. El proceso adoptado consistió en ajustar el nivel de dicho suceso al nivel promedio de una porción del audio con ruido ambiente. A partir de este análisis, se descartaron dos puntos de medición (Punto 12 en ambas celebraciones) en los que los niveles registrados correspondían principalmente a música de alto nivel de un vecino cercano.

El cálculo y obtención de los descriptores acústicos se realizó a partir del desarrollo de un código en entorno Matlab R2019a. Previo al procesamiento del conjunto de señales obtenidas, el script desarrollado fue validado utilizando una señal de ruido rosa registrada con un sonómetro Svan959 clase 1. Se calcularon dos descriptores de ruido a evaluar: Nivel continuo equivalente ponderado A (Leq,A) y Nivel de exposición sonora (SEL). Se consideraron tres intervalos de tiempo, con

el objetivo de evaluar las diferencias de los mismos durante la medición. Los intervalos según su condición y horario son (hh:mm):

- Sin pirotecnia
 - 60 min (23:00 - 23:59)
 - 30 min (23:30 - 23:59)
 - 15 min (23:45 - 23:59)
- Con pirotecnia
 - 60 min (00:00 - 01:00)
 - 30 min (00:00 - 00:30)
 - 15 min (00:00 - 00:15)

3. RESULTADOS

La tabla 1 presenta los resultados globales según cada intervalo de integración, tipo de condición y celebración de los descriptores LeqA y SEL. La Figura 2 presenta el promedio energético de todos los puntos considerados para el análisis, correspondientes a la celebración de Navidad y Año Nuevo del año 2020 (la posición 12 en ambas celebraciones fueron excluidas). Para la celebración de Navidad, el nivel continuo equivalente ponderado A promedio de todo el intervalo de medición fue equivalente a 70,4 +/- 2,6 dBA, mientras que para Año Nuevo fue equivalente a 68 +/- 2,7 dBA. Ambos resultados se destacan con la línea de color rojo.

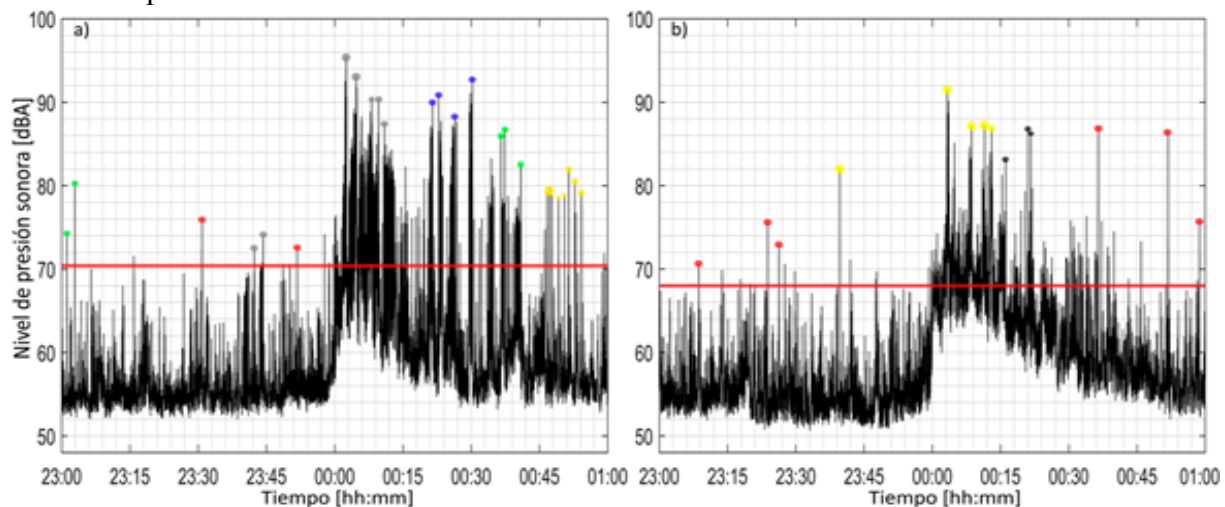
Previo a las 00:00 hs, se pueden visualizar algunos eventos que corresponden a explosiones aisladas registradas en las cercanías de los puntos de medición, produciendo niveles máximos claramente detectables a partir del análisis individual de cada posición. En particular, en el caso de Navidad (Figura 2a), esta condición se observa en los horarios 23:01 y 23:03 (punto 2, destacado en color verde), 23:31, 23:43, 23:44 y 23:52 (puntos 6 y 7 destacados en color rojo y gris, respectivamente). Pasadas las 00:00 hs, también es posible detectar picos puntuales, aunque la multiplicidad y simultaneidad de explosiones dificulta la identificación con claridad; esto se puede ejemplificar observando los picos que tienen lugar en el horario 00:02 y 00:12, atribuibles a explosiones próximas al punto 7. En este caso, no se trata de eventos aislados ya que únicamente predominan por sobre el resto de explosiones que suceden durante el festejo.

**Tabla 1:** Descriptores de ruido globales según intervalo de integración, tipo de condición y celebración [dBA].

Condición	Descriptor	Sin pirotecnia			Con pirotecnia		
		60 min	30 min	15 min	60 min	30 min	15 min
Navidad	Leq	57.5 ± 1.5	58.4 ± 1.8	58 ± 1.6	73.3 ± 2.7	75.7 ± 2.7	77.5 ± 2.7
	SEL	93.1 ± 1.5	91 ± 1.8	87.6 ± 1.6	108.9 ± 2.7	108.3 ± 2.7	107.1 ± 2.7
Año Nuevo	Leq	56.6 ± 2.4	56.4 ± 2.4	56.4 ± 2.4	70.8 ± 2.6	73.6 ± 2.6	76.1 ± 2.9
	SEL	92.2 ± 2.5	89 ± 2.5	85.9 ± 2.5	106.4 ± 2.7	106.1 ± 2.8	105.6 ± 3

Posterior a las 00:15 hs, la totalidad de niveles máximos observados son atribuibles al uso de fuegos artificiales: los picos presentes en los intervalos 00:21 – 00:31, 00:36 – 00:42 y 00:46 – 00:53 corresponden a los puntos 5 (color azul), 2 (color verde) y 1 (color amarillo), respectivamente. Debido a que el comportamiento de la curva continúa con una tendencia decreciente, no se puede definir con certeza si estos eventos son o no aislados del resto, ya que aún suceden explosiones con menor periodicidad. En Año Nuevo (Figura 2b), la evolución de la curva resulta semejante a la obtenida para la celebración de Navidad.

Aunque en menor cantidad que durante Navidad, también tienen lugar eventos aislados correspondientes a explosiones cercanas a los puntos de evaluación. En particular, los picos de los horarios 23:08, 23:24 y 23:26 corresponden al punto 7 (color rojo), mientras que el del horario 23:40 pertenece al punto 1 (color amarillo). Posterior a las 00:00 hs, el conjunto de picos observados en el intervalo 00:03 – 00:13 también corresponden al punto 1, los del intervalo 00:16 -00:22 al punto 6 (color gris) y los últimos al punto 7. En todos los casos, los eventos mencionados son atribuibles a fuegos artificiales.

**Figura 2:** Promedio energético y LeqA global: a) Navidad. b) Año Nuevo

Para estimar las asociaciones entre el descriptor LeqA, las dos condiciones evaluadas (con y sin pirotecnia) en función de los intervalos de integración definidos (factor tiempo: 60 min, 30 min y 15 min) y la fecha (Navidad y Año Nuevo), se ajustaron Modelos Lineales de Efectos Mixtos (LMEM, por sus siglas en inglés).

Luego de ajustar un modelo con fecha como efecto fijo, se confirma que existen diferencias significativas entre Navidad y Año Nuevo ($\beta =$

-2.74 dBA, IC 95% = $[-6.45, 0.2]$ dBA, $p < 0.001$). Este resultado sugiere que durante la celebración de Navidad hubo niveles de ruido ambiental mayores que en Año Nuevo. Por otro lado, en línea con lo esperado, se observan diferencias significativas entre condiciones con y sin pirotecnia ($\beta = -11.5$ dBA, IC 95% = $[-15.2, -7.74]$ dBA, $p < 0.001$). En relación al factor Tiempo, no se encontraron diferencias significativas, lo que puede atribuirse a que el modelo considera el factor en su conjunto sin diferenciar entre condiciones. Por lo tanto, al

observar los diferentes intervalos de observación en el periodo 23:00 - 00:00 hs, no hay variaciones importantes en los niveles de ruido. El modelo no encontró diferencias significativas en ninguna interacción (ni segundo ni tercer orden).

3.1 Comparación con niveles normales de ruido ambiental de CABA.

La Tabla 2 presenta el nivel continuo equivalente ponderado A de 23:00 a 01:00 de cada punto de medición y su correspondiente del mapa de ruido de CABA, además de la diferencia absoluta entre ambos. Se excluyen los puntos mencionados anteriormente, además de los puntos ubicados en los alrededores (Provincia de Buenos Aires) al no contar con datos previos. De los resultados obtenidos para cada posición individual, se observan diferencias en el rango de 3 - 5 dB o inferiores, mientras que en otros casos esta aumenta significativamente. La máxima diferencia - de 21.4 dB - corresponde al punto 9 de Año Nuevo, donde no se registraron explosiones importantes cercanas al punto de medición. En general, aquellos puntos en donde el uso de pirotecnia fue considerable, la comparación entre ambos niveles muestra diferencias menores. Un caso particular es el punto 7 de Navidad, en el que como ya se mencionó, se registraron eventos de pirotecnia cercanos al sistema de medición, superando ampliamente los niveles sonoros medidos por el organismo.

Tabla 2: LeqA global (23:00 – 01:00) y diferencia absoluta entre los puntos de evaluación y sus correspondientes provistos por el APrA en dBA.

Navidad				Año Nuevo		
Pos.	Med.	APrA	Dif.	Med.	APrA	Dif.
1	66.5	64.9	1.6	73	64.9	8.1
2	60.4	67.8	7.4	60.4	67.8	7.4
3	58.4	67.8	9.3	62.7	67.8	5.1
4	58.2	61.5	3.3	57	61.5	4.5
5	74.6	64.7	9.9	55.4	64.7	9.3
6	67.4	64.2	3.2	65.9	64.2	1.7
7	77.9	61	16.9	67.1	68.1	1
8	49.5	66.2	16.6	47.2	63.7	16.5
9	-	-	-	46.9	68.3	21.4
Mean	71.1	65.4	5.8	65.6	66.2	0.6
SD	8.7	2.4		8.3	2.3	
SEM	3.1	0.8		2.8	0.8	

Pos.: Posición / Med.: Medicion / Dif.: Diferencia absoluta

Para determinar si el impacto acústico que genera la pirotecnia durante las festividades son significativos en los niveles de ruido ambiental, se realizaron pruebas de hipótesis (t-test) pareada de dos colas comparando los resultados promedios para cada condición, intervalo y fecha en relación con los datos otorgados por la APrA. La Tabla 3 presenta un resumen con las diferencias significativas obtenidas para el conjunto de descriptores mencionados.

Tabla 3: Resultados obtenidos para las pruebas de hipótesis pareadas de dos colas comparando los datos medidos con los otorgados por la APrA.

Fecha	Condición	Tiempo de integración [min]	Leq A	SEL
Navidad	Sin pirotecnia	60	***	***
		30	***	***
		15	***	***
	Con pirotecnia	60		
		30		
		15		*
Año Nuevo	Sin pirotecnia	60	***	***
		30	***	***
		15	***	***
	Con pirotecnia	60		
		30		*
		15		**

***: $p < 0.001$; **: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$

3.2 Comparación con la celebración de santiago de chile

La Tabla 4 muestra los descriptores calculados según condición e incluye las diferencias obtenidas considerando los puntos “Cercanos” y “Lejanos”, y los correspondientes a la celebración de Año Nuevo en Capital Federal. Considerando los resultados globales, los niveles de ruido se mantienen relativamente constantes, resultando en un LeqA de 69,4 +/- 1,1 dBA durante la primera hora de observación. Los niveles de ruido varían considerablemente al inicio de la celebración, resultando en un LeqA de 82,8 +/- 2,4 dBA para dicho intervalo, lo que representa un aumento energético de 13,4 dB respecto al



LeqA inicial. A partir de la finalización del evento, los niveles de ruido disminuyen tendiendo al nivel promedio inicial. La gran energía sonora concentrada durante el show pirotécnico produce que el LeqA global para el intervalo de medición completo sea de $80,1 \pm 2,2$ dBA, una diferencia de 10,7 dB superior respecto al nivel de ruido promedio previo a los festejos.

El total de parámetros obtenidos durante los festejos en Santiago de Chile, sin importar el intervalo de observación, son superiores a los de la presente investigación, lo que es consistente ya que los niveles de ruido ambiental son en promedio 12 dB superiores. Esta condición se puede minimizar a partir de un análisis de las diferencias relativas entre intervalos, es decir la variación en magnitud según condición con - sin pirotecnia, permitiendo evaluar el impacto acústico

resultante de las celebraciones. Considerando la peor condición, es decir las posiciones más próximas al lugar del evento, para ciertos descriptores la diferencia entre intervalos es superior en las mediciones de la presente investigación. Este es el caso del nivel continuo equivalente LeqA, superior en Capital Federal para la totalidad de intervalos, a excepción del intervalo de 60 min en las cercanías del evento que es 0.6 dB mayor en favor de la ciudad de Chile. Al analizar el intervalo de 15 min - en el que tiene lugar el show pirotécnico - este descriptor es superior en 0,9 y 7,1 dB en favor de CABA, para los puntos cercanos y lejanos respectivamente. Por otro lado, para el Nivel de Exposición Sonora SEL, se observa la misma evolución lo que es consistente dada la relación entre ambos descriptores.

Tabla 4: Descriptores de ruido globales según intervalo de integración, tipo de condición y celebración. Año Nuevo Chile – Argentina [dBA]. Diferencias relativas entre intervalos según condición con – sin pirotecnia, celebración Año Nuevo Santiago de Chile (“Cercanas” - “Lejanas”) - Argentina (CABA), [dBA].

Año Nuevo - Santiago de Chile - Chile									
Descriptor	Sin pirotecnia			Con pirotecnia			Global		
	60	30	15	60	30	15			
LeqA	69.4 ± 1.1	69.8 ± 1.2	69.6 ± 1.3	82.8 ± 2.4	85.5 ± 2.6	87.2 ± 3.2	80.1 ± 2.2		
SEL	104.9 ± 1.1	102.4 ± 1.2	99.1 ± 1.3	118.3 ± 2.4	118.1 ± 2.6	116.8 ± 3.2	118.7 ± 2.2		
Año Nuevo - Capital Federal - Argentina									
Descriptor	Sin pirotecnia			Con pirotecnia			Global		
	60	30	15	60	30	15			
LeqA	56.6 ± 2.4	56.4 ± 2.4	56.4 ± 2.4	70.8 ± 2.6	73.6 ± 2.6	76.1 ± 2.9	68 ± 2.7		
SEL	92.2 ± 2.5	89 ± 2.5	85.9 ± 2.5	106.4 ± 2.7	106.1 ± 2.8	105.6 ± 3	106.5 ± 2.7		
Diferencias obtenidas considerando los puntos “Cercanos” y “Lejanos”									
Descriptor	Cercanas: Puntos 1 - 2			Lejanas: Puntos 3 - 4			CABA		
	60	30	15	60	30	15	60	30	15
LeqA	14.8	16.8	18.8	8.4	11.0	12.6	14.2	17.2	19.7
SEL	14.8	16.8	18.8	8.4	11.0	12.6	14.2	17.1	19.7

Esto sugiere que, aún en la condición más desfavorable, el total de energía sonora entre ambas ciudades es similar, con una diferencia inferior a 1 dB durante el tiempo de mayor uso de artículos pirotécnicos.

Al realizar pruebas de hipótesis comparando el intervalo de tiempo de 20 minutos correspondiente únicamente al evento (00:00 – 00:20 hs), se encuentran diferencias significativas entre los niveles de ruido ambiental para los parámetros acústicos (LeqA

y SEL). Sin embargo, al realizar este análisis discerniendo por ubicación, solo los puntos “Cercanos” presentan diferencias para todos los parámetros analizados.

4. DISCUSIÓN

Al analizar el promedio energético, las diferencias son considerablemente menores, resultando en una variación de 5.8 dB durante la celebración de Navidad. En este caso, los niveles de ruido promedio fueron superiores a los valores típicos de ruido ambiental (sin

festividades); lo inverso sucede durante Año Nuevo, con una diferencia de 0.6 dB. Considerando estos valores, puede asumirse que la similitud en los descriptores evaluados es únicamente atribuible a los niveles generados por pirotecnia. Durante estas fechas y en el horario analizado, en los que la circulación vehicular se reduce considerablemente y en consecuencia el ruido ambiente (como se observa en la primer hora de medición de la Figura 2), el uso de artículos pirotécnicos y los niveles de ruido producidos por estos durante la celebración generan que en promedio los niveles sean comparables con aquellos correspondientes con un flujo habitual de circulación. Si la comparación se realiza considerando únicamente la primer hora de medición (23:00 – 00:00 hs), excluyendo los festejos, los niveles de ruido promedio fueron 7.4 dB y 6.5 dB para Navidad y Año Nuevo, respectivamente, inferiores a los proporcionados por el organismo, confirmando el análisis anterior.

Por otro lado, el mayor grado de dispersión en los niveles correspondientes a días festivos pone de manifiesto la aleatoriedad en el uso de artículos pirotécnicos: el número de detonaciones en función del tiempo no es homogéneo y es función del punto geográfico considerado. Esta condición supone una gran diferencia respecto a las fuentes de ruido predominantes, en general ruido de tránsito, registradas durante las mediciones proporcionadas por el APrA.

Al realizar pruebas de hipótesis comparando los resultados obtenidos con los datos otorgados por la APrA, se encuentran diferencias significativas entre los niveles de ruido ambiental para la condición sin pirotecnia para todos los intervalos de tiempo. Esto verifica el análisis realizado: en el horario de 23:00 a 00:00 hs, la sociedad en su conjunto se encuentra instalada en alguna vivienda celebrando la ocasión, y por ende, el flujo vehicular tanto de particulares como de transporte urbano se reduce drásticamente, lo que se traduce en niveles de ruido ambientales inferiores a los habituales. Al observar la condición con pirotecnia, los resultados del parámetro LeqA sugieren no percibir una

diferencia significativa con los valores de un día convencional en los intervalos de tiempo establecidos. Sin embargo, al evaluar el descriptor SEL que concentra toda la energía en 1 segundo, se encuentran diferencias en los intervalos de menor rango temporal (15 min). Esto corresponde con los hallazgos expuestos por los autores O. Sharma et al. y G. F. Smoorenburg [9,10], quienes concluyen que la utilización de descriptores únicos (Ej.: Lpeak) no es suficiente cuando se trata de eventos impulsivos múltiples, y recomiendan el uso del Nivel de Exposición Sonora SEL para los casos de pirotecnia.

Los resultados obtenidos muestran que los LeqA de ambas fechas fueron superiores a los límites máximos permisibles (LMP) según la Ley 1540 de CABA: en Navidad se superan en más de 20 y 10 dBA (Tipo II – Áreas levemente ruidosas y III – Áreas tolerablemente ruidosa, respectivamente), mientras que en Año Nuevo la diferencia se encuentra entre 18 y 8 dBA. Aun considerando el intervalo de tiempo previo al inicio de las celebraciones, los LMP no se cumplen en los distritos Tipo II aunque sí en los Tipo III. El análisis individual por posición permite observar que en el horario 23:00 – 01:00 hs, únicamente el 28% del conjunto de puntos evaluados se encuentran en cumplimiento de los límites establecidos, mientras que este porcentaje aumenta al 56% considerando solo la primera hora de medición.

El uso de artículos pirotécnicos depende directamente de la legislación propia de cada país. Los distintos avances tienden a que el Estado, en sus distintos niveles, monopolice su uso a través de la organización de eventos pirotécnicos en puntos neurálgicos y horarios predefinidos. En este sentido, Chile (a través de su capital) posee una legislación de similares características. Se pretende así lograr una situación controlada y predecible, donde en un(os) punto(s) se concentre todo el nivel sonoro que generan estos productos. Dado que en Argentina aún no existe legislación de este tipo, resulta relevante comparar los niveles de ruido ambiental durante días festivos entre ambos escenarios.



En primer lugar, dado que la población general en Santiago de Chile no tiene acceso al uso de pirotecnia - el único momento de celebración corresponde al show pirotécnico – se evidencia la ausencia de explosiones aisladas previo al inicio de las festividades, a diferencia de lo observado en las mediciones en CABA. En las cercanías de la Torre Entel, los niveles de ruido son estadísticamente superiores, en más de 10 dB según descriptor, a los registrados en Argentina. Sin embargo, cuando la distancia a la fuente aumenta, no se observan diferencias significativas entre ambos países. Esto sugiere que en promedio, los datos medidos tienen niveles comparables a los de Santiago de Chile, pudiendo asumirse que la distancia entre los puntos de medición y el lugar de detonación está comprendida en un radio semejante. En este sentido, una diferencia importante a mencionar es el tipo de fuegos artificiales utilizados en cada país. En Chile se utiliza únicamente pirotecnia aérea, que detona en el aire a una altura aproximada de 300 m (considerando la altura del lugar de lanzamiento). Si bien en Argentina también se emplean estos artículos, la altura final es menor dado que se lanzan al nivel del suelo (según Disposición 77/05, la altura máxima permitida es de 120 m). Además, se utiliza pirotecnia terrestre ya que debido a su menor costo, su uso es más extendido en la población, resultando en una distancia espectador – explosión menor que implica un mayor riesgo.

5. CONCLUSIÓN

Al comparar los resultados con los puntos de control otorgados por el APrA, se observaron diferencias significativas para la condición sin pirotecnia (23:00 - 00:00 hs), lo que verifica la disminución del flujo vehicular y la circulación en general, reflejado en niveles de ruido inferiores a los habituales en ambos días de celebración. Es importante destacar que las mediciones fueron realizadas durante la pandemia Covid-19, aunque en ambas fechas estaban permitidas tanto la circulación con las reuniones sociales con aforo reducido. Al evaluar la condición con pirotecnia (00:00 - 01:00 hs), los resultados del parámetro L_{eqA} no muestran diferencias significativas con los valores de un día convencional en los

intervalos de tiempo establecidos. Sin embargo, al considerar el descriptor SEL se encuentran diferencias en los intervalos de menor rango temporal (15 min). Esto concuerda con resultados de estudios previos que recomiendan este parámetro en casos de ruido producido por pirotecnia, debido al carácter impulsivo de este tipo de fuente.

Los datos obtenidos de la celebración en Santiago de Chile, en donde el uso de pirotecnia está restringido para la población general, evidencian en primer lugar la ausencia de explosiones aleatorias o aisladas previo al inicio de la celebración. Al analizar los niveles de ruido, se observan diferencias significativas para la condición más desfavorable (en las cercanías del evento), pero no al considerar los puntos de medida ubicados a una distancia aproximada de 1,1 Km. Esto sugiere que en promedio, los niveles entre ambos países son comparables y que la distancia entre los puntos de medición utilizados en este trabajo y el lugar de detonación sucedieron en un radio semejante. Por último, las diferencias relativas entre condiciones (con-sin pirotecnia) muestran un impacto acústico de similares características entre ambos países, aunque en el caso de Chile la exposición queda restringida a una superficie menor como consecuencia de la concentración en un punto específico.

9. AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ruido, Lumínica y Olores del Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de Chile, en particular al Ing. Igor Valdebenito Ojeda, Ing. Victor Hugo Lobos Vega e Ing. Camilo Padilla Reinoso.

A la Agencia de Protección Ambiental de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (APrA), en especial al Ing. Agustín Arias.

Este trabajo fue financiado por la Universidad Nacional de Tres de Febrero, Argentina (PIADT 80020200300001TF - Res.359/21).

REFERENCIAS

[1] Deželak F., Prezelj J., Čudina M., Some statistical aspects of firecracker noise, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 55(9), 529–541, (2009).

- [2] Sharma V., Joshi B. D., Assessment of noise pollution during Deepawali festival in a small township of Haridwar City of Uttarakhand, India, *Environmentalist*, 30(3), 216–218, (2010).
- [3] Mahecha G. S., Bamniya B. R., Kapasya V., Meena R. S., Noise pollution monitoring during Diwali festival in Golden city Jaisalmer of Rajasthan, India, *Environmentalist*, 32(4), 415–419, (2012).
- [4] Mandal P., Prakash M., Bassin J. K., Impact of Diwali celebrations on urban air and noise quality in Delhi City, India, *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(1), 209–215, (2012).
- [5] Yousif K. M., Study of noise pollution during Nawruz festival in Duhok city, Iraq, *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 2(8), 23–28, (2015).
- [6] Passos R. S., Carvalho A. P. O., Rocha C. A. A. C., Exposure to firework noise in festivals, *Euronoise 2015*, 1411–1416, (2015).
- [7] Tanaka T., Inaba R., Aoyama A., Noise and low-frequency sound levels due to aerial fireworks and prediction of the occupational exposure of pyrotechnicians to noise, *Journal of occupational health*, 58(6), 593–601, (2016).
- [8] Kukulski B., Wszółek T., Mleczko D., The impact of fireworks noise on the acoustic climate in urban areas, *Archives of Acoustics*, 43(4), 697–705, (2018).
- [9] Sharma O., Mohanan V., Singh M., Characterisation of sound pressure levels produced by crackers, *Applied Acoustics*, 58(4), 443–449, (1999).
- [10] Smoorenburg G. F., Risk of Noise-Induced Hearing Loss following Exposure to Chinese Firecrackers, *Audiology*, 32, 333–343, (1993).