



Electromovilidad y reducción del ruido urbano:

Evaluación del impacto en el Sistema de Transporte Público de Santiago

Iturra, Olea, García e Iglesias

XXII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte

Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte

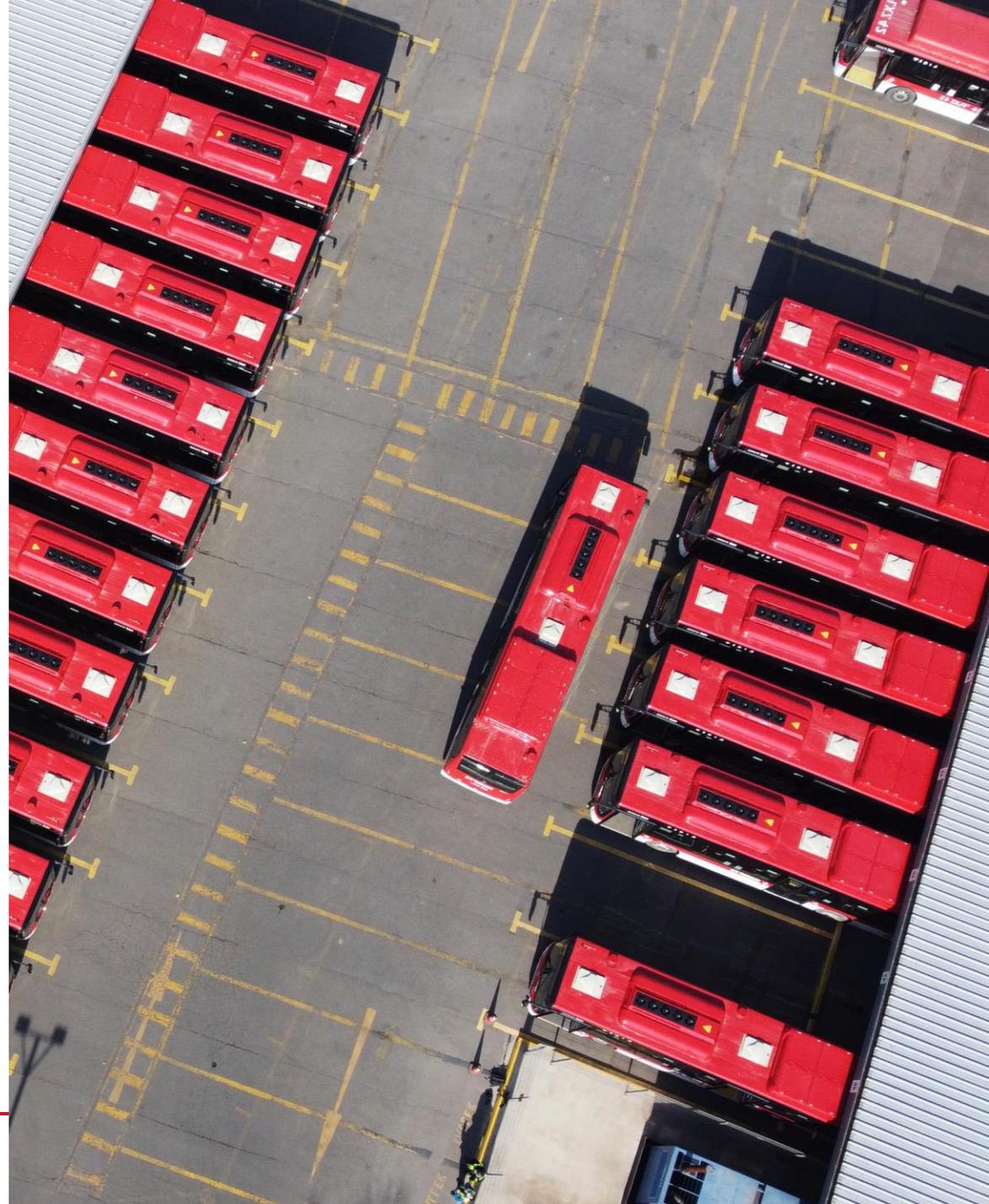
Junio 2025



Avanzamos contigo

Contenidos

1. Introducción
2. Mediciones de ruido interior de buses transporte público
3. Análisis de ruido de Estaciones de Monitoreo del Ministerio de Medio Ambiente (MMA)
4. Conclusiones y próximos pasos



CONTEXTO



La incorporación progresiva de buses eléctricos en las principales avenidas de Santiago ha tenido un impacto positivo en la reducción del ruido ambiental.



Bus eléctrico emite entre 75% y 68% menos de energía acústica (ruido) que un bus diésel.



El cambio tecnológico se siente en la ciudad

77% de las personas percibe una mejor calidad del aire

72% nota una reducción del ruido

Norma DS129/2003 Artículo 5 bis			Buses Nuevos Certificados en 3CV		Diferencias con normativa			
			Promedio de Niveles de Emisión dB(A)		Eléctricos		Diésel Euro VI	
Ensayo	Posición Medición	Límite emisión dB(A)	Eléctricos	Diésel Euro VI	dB(A)	% Energía acústica	dB(A)	% Energía acústica
Dinámico	Interior	80	74	75	-6	-75%	-5	-68%
	Exterior	81	76	77	-5	-68%	-4	-60%

Fuente: Elaboración propia, en base a Nomina de buses certificados del 17.10.2024 de 3CV. Analiza 98 certificaciones.

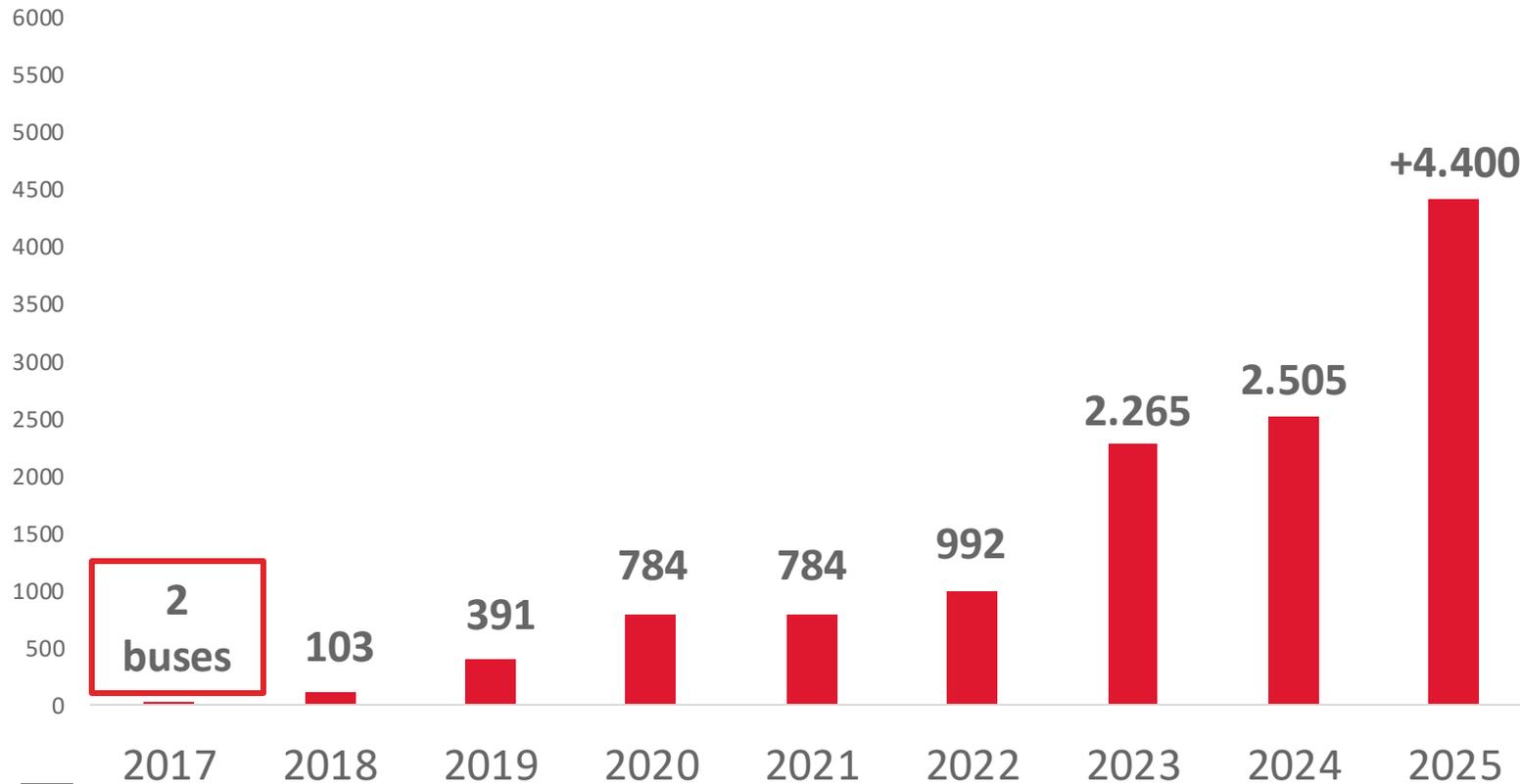


Avanzamos
contigo

OBJETIVO



Evaluar los efectos de la electromovilidad en las emisiones de ruido de manera objetiva



**+68% flota eléctrica
al 2025**

ACTORES

Principales fuentes de datos y colaboraciones

- ✓ Certificaciones 3CV - Norma de emisión de ruido para buses.
- ✓ Mediciones de ruido al interior de buses
- ✓ Estaciones de Monitoreo de Ruido del Ministerio de Medio Ambiente.
- ✓ Actividad de Buses vs Transporte privado.



13 DE MAYO, 2024

Ruido en la Alameda disminuye 44% gracias a la electromovilidad



¿Cómo se mide el ruido en buses?

- **Unidad de medida: Decibel (db(A))**
 - Sonómetros calibrados - normas técnicas.
 - Nivel equivalente (Leq) = promedio ponderado de ruido durante un período.
- **Escala (db(A))** no es lineal, sino logarítmica.
- Resultados como % de reducción de energía acústica.
- Ej: Reducción de 3 dB(A) equivale a 50% menos energía sonora.



Mediciones de ruido interior de buses transporte público

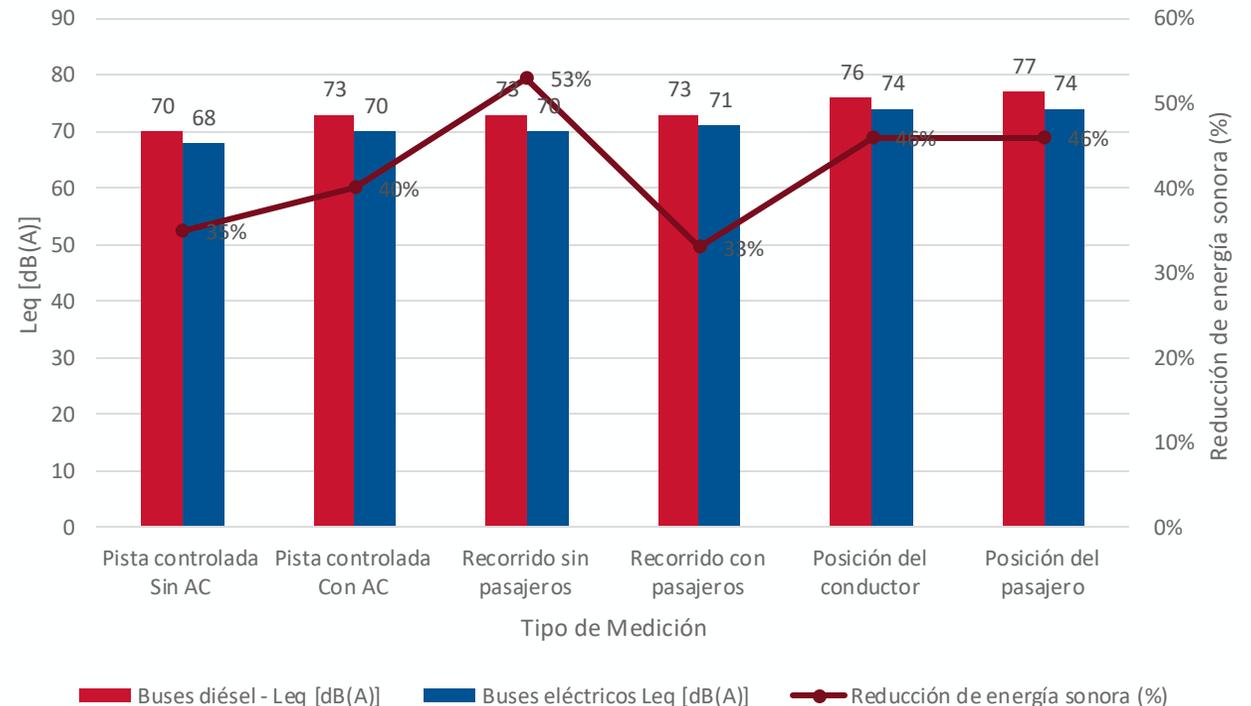
- **Objetivo:** Evaluar el ruido percibido por personas usuarias y el personal de conducción al interior de los buses eléctrico y diésel.
- **Periodo:** Diciembre 2024 – enero 2025.
- **Muestra:** 15 buses (6 eléctricos y 9 diésel) bajo 3 condiciones:
 - Pista controlada (Parque Cerrillos)
 - Recorridos sin pasajeros
 - Recorridos con pasajeros, incluyendo mediciones en la cabina del conductor
- **Servicios:** 117c, 219e, 481, 516, G15 y G31.
- **Normativa aplicada:** Resolución Exenta N°313/2019 del MMA – uso de sonómetros calibrados y pruebas de validación metodológica.
- **Medición adicional:** Con y sin aire acondicionado, y desde dos posiciones: cabina del conductor y área de pasajeros.



Mediciones de ruido interior de buses transporte público

Principales resultados

- **Pista controlada: C/AC:** Diferencia aumentó 2,2 dB(A) → 40% menos energía sonora.
- **Recorridos sin pasajeros:** 3,3 dB(A) menos en buses eléctricos → 53% menos energía sonora.
- **Recorridos con pasajeros:** 1,7 dB(A) menos → 33% menos energía sonora.
- **Cabina del conductor y posición del pasajero:** 2,7 dB(A) menos → 46% menos energía sonora.



Mediciones de ruido interior de buses transporte público

Principales resultados por tipo de bus y antigüedad

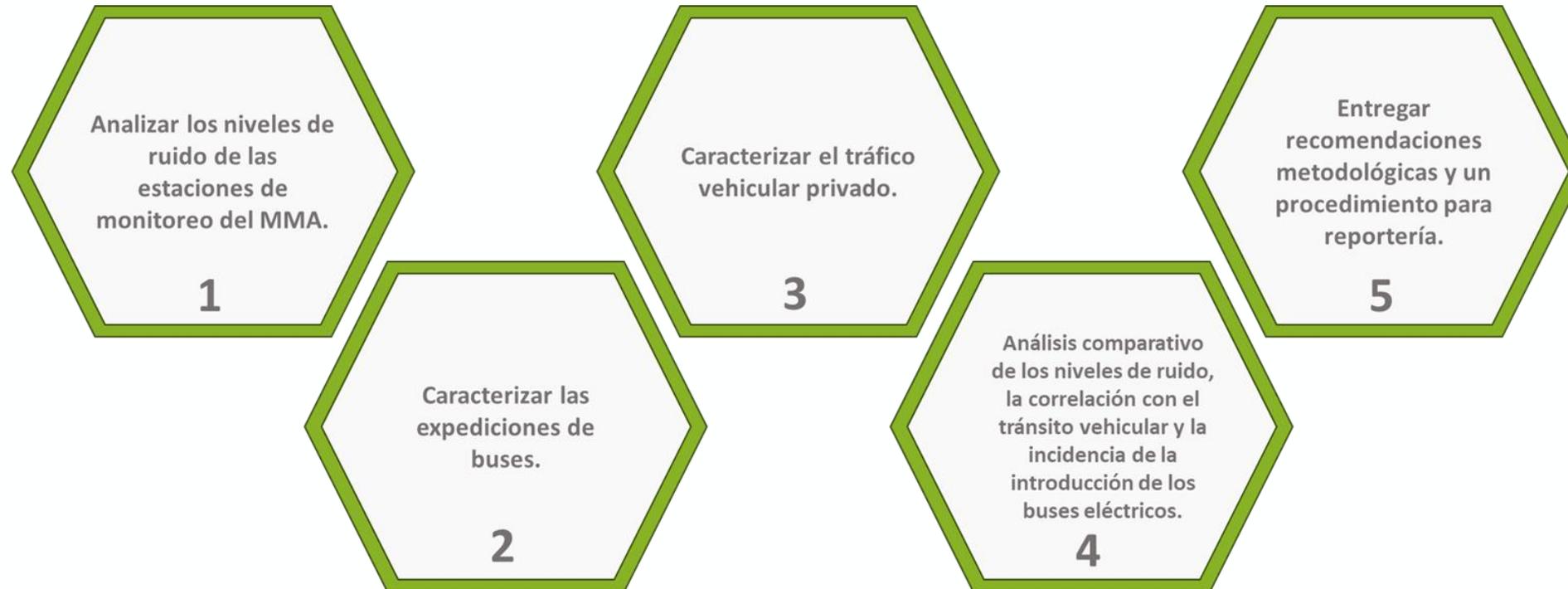
- En recorridos con pasajeros
 - G4 eléctrico vs G1 diésel registra 2,2 dB(A) menos - 40% en energía sonora menos.
 - Niveles “notorios” (>65 dB(A)) y “intrusivos” (>75 dB(A)), se relacionan a factores como tráfico, vibraciones y aglomeraciones.
- Buses eléctricos cumplen DS 129/2003
- En cabina del conductor se cumple la norma PREXOR (máx 82 dB(A)), protegiendo salud auditiva del personal en jornadas estándar.

Tipo de medición	Grupo 1 Diésel +6 años	Grupo 2 Diésel 2 años	Grupo 3 Eléctricos + 2 años	Grupo 4 Eléctricos con - 2 años	Diferencia Grupo 1 vs Grupo 4 Max.	Reducción Max. de energía sonora (%)
Pista controlada Sin AC	69,8	69,7	68,6	67,2	2,6	45%
Pista controlada Con AC	71,9	73,5	71,3	69,2	2,7	46%
Recorrido pasajeros sin	73,1	73,3	71,0	68,8	4,3	63%
Recorrido pasajeros con	72,6	73,1	71,7	70,4	2,2	40%
Posición del conductor (con pasajeros)	76,6	76,4	75,4	73,1	3,5	55%
Posición del pasajero	76,0	76,5	74,1	72,8	3,2	52%

Análisis de ruido de Estaciones de Monitoreo del Ministerio de Medio Ambiente (MMA)

Estaciones de Monitoreo de Ruido del Ministerio de Medio Ambiente (MMA)

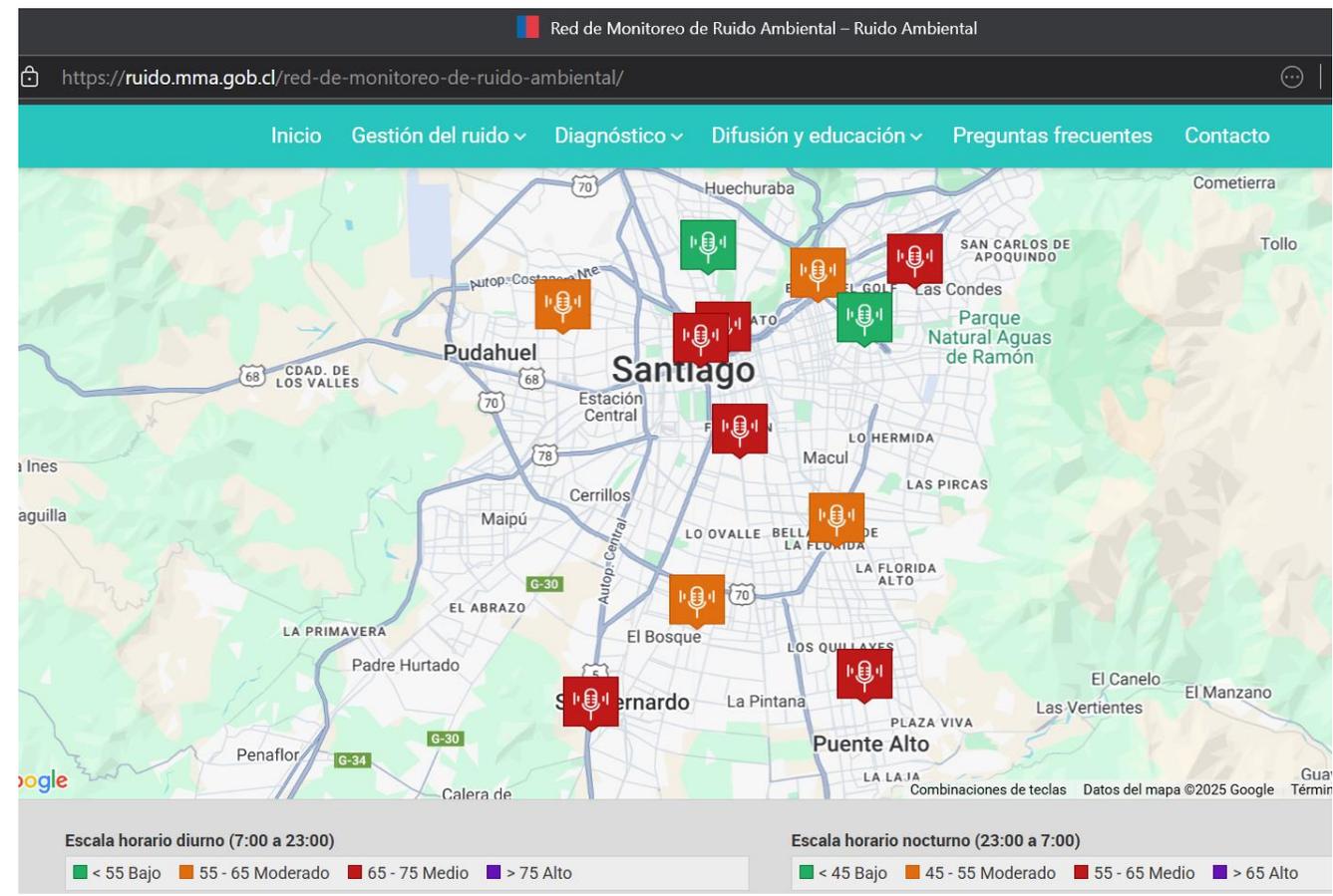
- **Objetivo:** Analizar los niveles de ruido en cinco (5) estaciones de monitoreo de la Red del MMA, considerando la tecnología y composición de la flota y vehículos particulares que circula frente a estas estaciones.
- **Objetivos específicos:**



Analizar niveles de ruido en las estaciones de Monitoreo

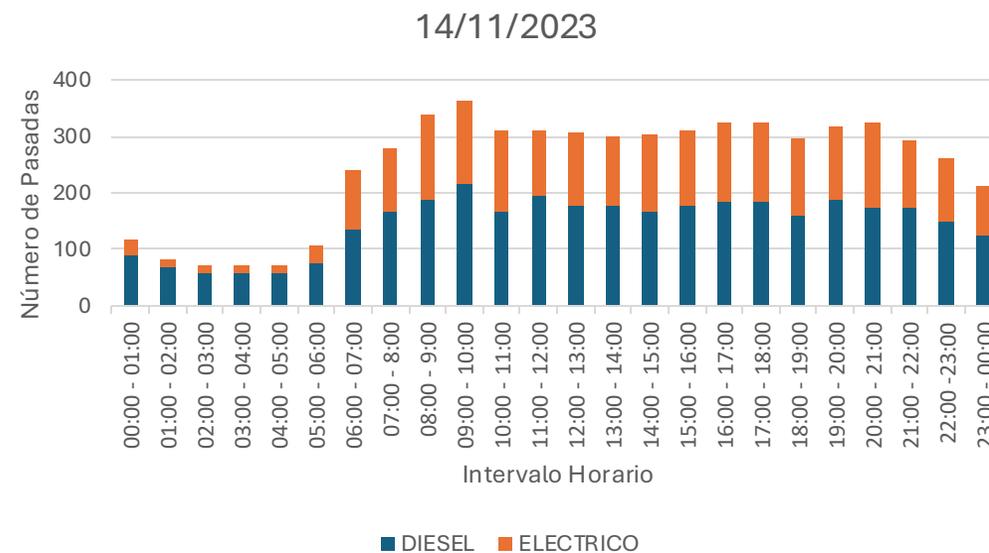
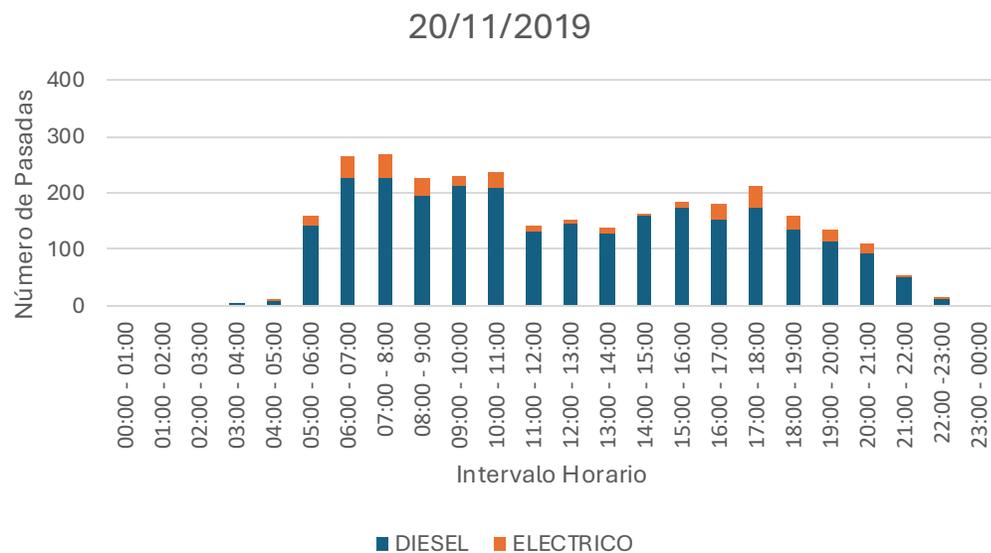
- 5 puntos de la Red de Monitoreo de Ruido Ambiental del MMA (5/13)
- Indicadores de presión sonora diurna (LD) y nocturna (LN).
- Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (NPSeq) de días representativos entre 2019 y 2023.

Estación de Monitoreo Ruido MMA	Eje – Dirección	Años de Medición
Alameda	Alameda N° 924	2019, 2023 y 2024
San Miguel	Santa Rosa N°3453	
La Florida	Walker Martínez N° 300-380	2020, 2023 y 2024
El Bosque	Alejandro Guzmán N°925	
Puente Alto	Av. Concha y Toro N°2747	2023 y 2024



Caracterización de expediciones de buses

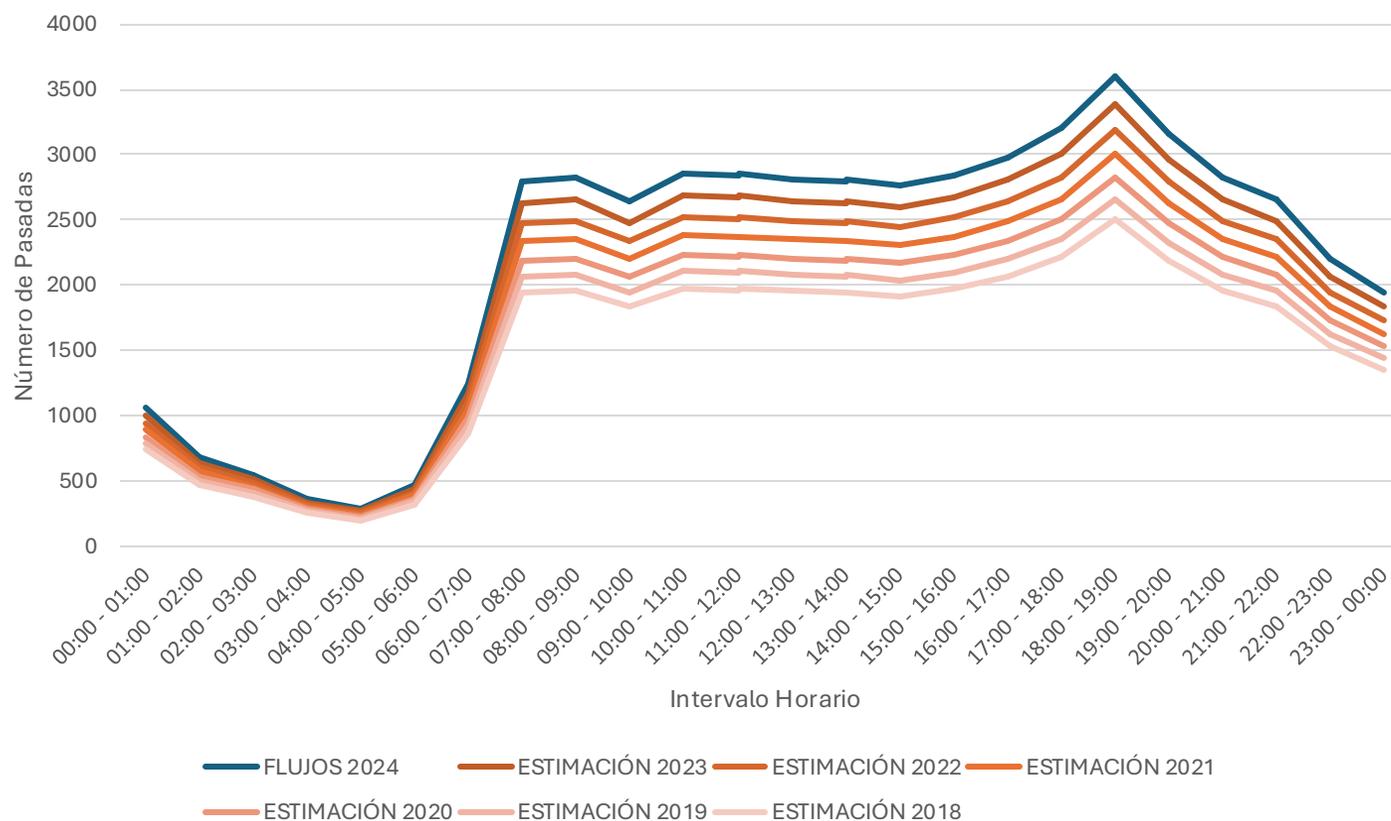
Resultados Estación Alameda



TIPO DE BUS	20/11/2019*	14/11/2023
DIESEL	2680	3506
ELÉCTRICO	360	2431
TOTAL	3040	5937

Caracterización del tráfico privado

- Mediciones en terreno (7 y 12 de noviembre del 2024).
- Tasa de crecimiento anual del parque automotriz por tipo de vehículo.



Resultados: Alameda y San Miguel

- A mayor presencia de buses eléctricos disminuye los niveles de ruido en corredores de alta demanda.
- **Alameda:** niveles de ruido se reducen 44% en la mañana y 40% en la tarde.
- **San Miguel:** niveles de ruido se reducen 45% en PM, mientras que en PT disminución es 35%.

Estación Monitoreo MMA	Fecha		Niveles de ruido en decibeles (dBA)		Distribución de buses en circulación según tecnología			
					DIÉSEL	ELECTRICO	DIÉSEL	ELECTRICO
	Día	Año	8:00 – 9:00	19:00-20:00	8:00 – 9:00		19:00-20:00	
Alameda (Altura N°924)	13 Ago	2019	73,5	73,7	88%	12%	86%	14%
	17 Ago	2023	71	71,5	66%	36%	64%	36%
	Diferencias (dBA)		-2,5	-2,2				
	Variación % energía acústica		-44%	-40%				
San Miguel (Santa Rosa N°3453.)	23 Sept	2020	67,9	66,6	100%	0%	100%	0%
	12 Sept	2023	65,3	64,7	68%	32%	73%	27%
	Diferencias (dBA)		-2,6	-1,9				
	Variación % energía acústica		-45%	-35%				

Resultados: La Florida, El Bosque y Puente Alto

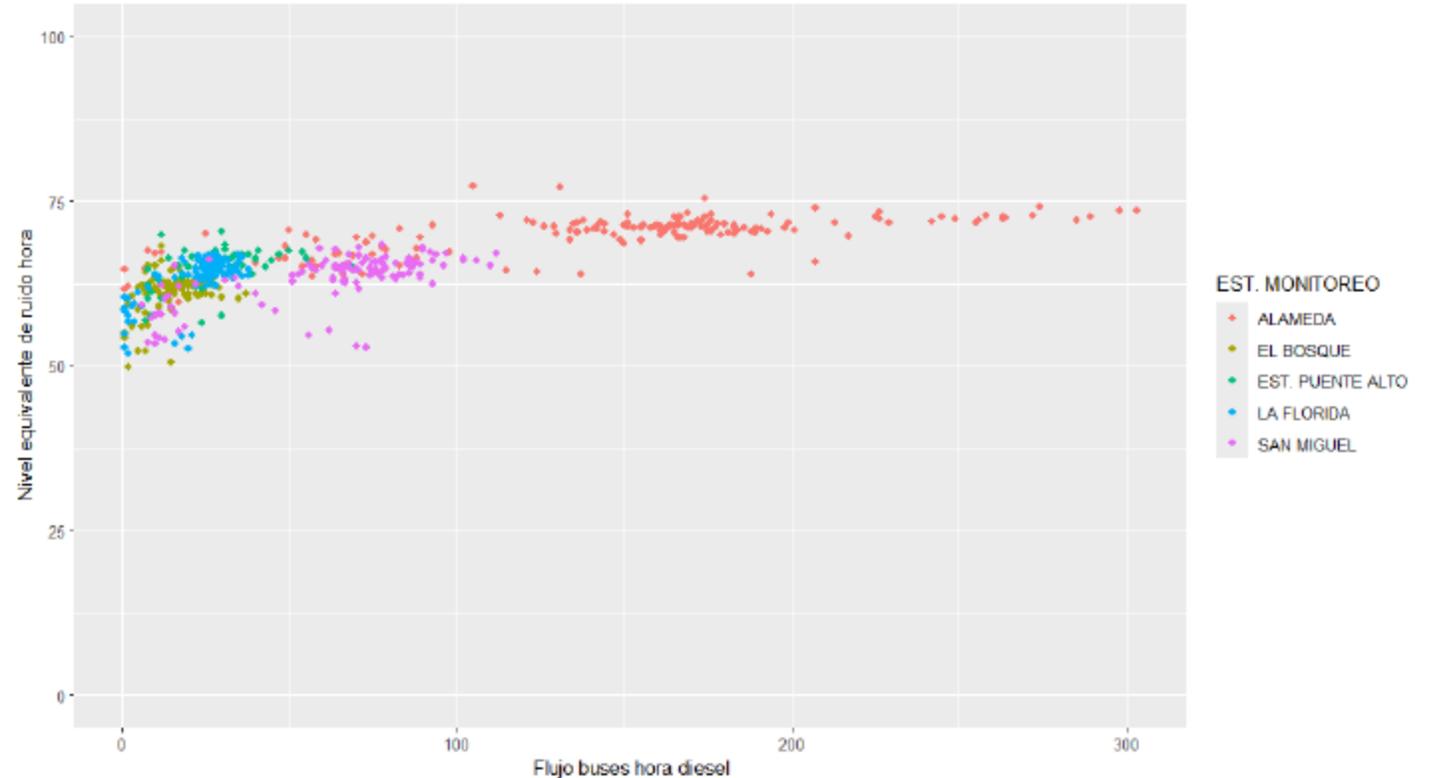
- Transición postpandemia: La Florida y El Bosque aumentan los niveles de ruido atribuibles al retorno progresivo de la actividad pese a la presencia de buses eléctricos.
- Puente Alto: Las mediciones en periodo estival reflejan dinámicas particulares de tráfico y demanda.
- Se requiere mayor número de observaciones.

Estación Monitoreo MMA	Fecha		Niveles de ruido en decibeles (dBA)		Distribución de buses en circulación según tecnología			
					DIÉSEL	ELECTRICO	DIÉSEL	ELECTRICO
	Día	Año	8:00 – 9:00	19:00-20:00	8:00 – 9:00		19:00-20:00	
La Florida (Walker Martínez N°300-380)	09 Nov	2022	65,7	66,1	100%	0%	100%	0%
	14 Nov	2023	66,5	65,6	100%	0%	100%	0%
	Diferencias (dBA)		0,8	-0,5				
	Variación % energía acústica		20%	-11%				
El Bosque (Alejandro Guzmán 925)	02 Nov	2022	61,9	62	100%	0%	100%	0%
	30 Nov	2023	62,6	66,4	65%	35%	70%	30%
	Diferencias (dBA)		0,7	4,4				
	Variación % energía acústica		17%	175%				
Puente Alto (Av. Concha y Toro 2747)	30 Nov	2023	67,3	66,9	57%	43%	49%	51%
	01 Ene	2024	67,2	65,3	51%	49%	54%	46%
	Diferencias (dBA)		-0,1	-1,6				
	Variación % energía acústica		2%	31%				

Análisis de correlación

- Buses diésel presentan una mayor correlación con el ruido que los eléctricos.

Correlaciones		
Correlación Diesel y Eléctricos	Correlación Diesel	Correlación Eléctricos
0.7758553	0.7660296	0.6092483



Modelos de Regresión

Variable	modelo 1	modelo 2	modelo 3	modelo 4	modelo 5
Cte	62.49 (79.1)	63.33 (91.1)	62.82 (86.0)	60.69 (194.8)	62.89 (167.48)
Flujo buses diesel	0.026 (4.84)	0.020 (9.97)	0.021 (4.19)	0.027 (7.21)	0.019 (5.75)
Flujo buses eléctricos	-	-0.0017 (-0.411)	-0.0004 (-0.098)	-0.027 (-2.18)	-0.034 (-3.25)
Proporción de Flujo buses eléctricos	1.81 (1.33)	-	-	-	-
Flujo vehículos livianos	0.00093 (3.41)	0.0012 (4.38)	0.0007 (1.87)	0.001 (4.49)	0.0009 (3.23)
Flujo Moto	-	-	0.010 (2.07)	-	0.008 (1.77)
Flujo buses diesel * velocidad buses diesel	-	-	-	-	-
Flujo buses eléctrico * velocidad buses eléctrico	-	-	-	0.002 (2.91)	0.002 (3.40)
flujo interurbano	-	-	-	-	-
dummy estación El Bosque	-3.09 (-4.77)	-3.27 (-4.56)	-2.75 (-3.67)	-	-2.80 (-5.79)
dummy estación Puente Alto	-0.31 (-0.44)	-0.31 (-0.44)	-0.31 (-0.41)	-	-
dummy San Miguel	-3.47 (-5.54)	-3.47 (-5.54)	-3.27 (-5.25)	-	-3.52 (-8.01)
R2	0.87	0.87	0.88	0.82	0.89
R2 Ajustado	0.87	0.87	0.87	0.82	0.88

Modelo 4

$$N_{ruido}(db) = 60.69 + 0,027 \cdot f_{diesel} - 0,027 \cdot f_{eléctrico} + 0,001f_{VL} + 0,002f_{eléctrico} \cdot vel_{eléctrico}$$

Modelo 5

$$N_{ruido}(db) = 62.89 + 0,019 \cdot f_{diesel} - 0,034 \cdot f_{eléctrico} + 0,0009f_{VL} + 0,002f_{eléctrico} \cdot vel_{eléctrico} - 2.8 \cdot X_{EL BOSQUE} - 3.52 \cdot X_{SAN MIGUEL}$$

$N_{ruido}(db)$ = Nivel de ruido percibido en la estación.

f_{diesel} = Flujo de buses diesel.

$f_{eléctrico}$ = Flujo de buses eléctricos.

$vel_{eléctrico}$ = Velocidad buses eléctricos.

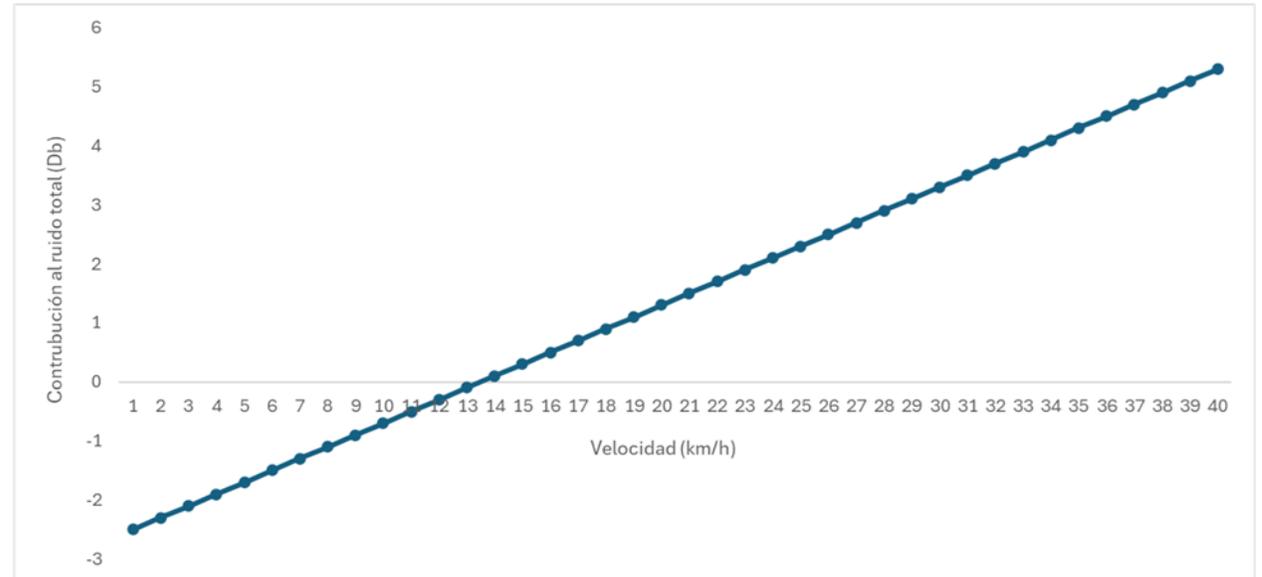
$X_{EL BOSQUE}$ = Variable dummy que vale 1 si la estación es El Bosque.

$X_{SAN MIGUEL}$ = Variable dummy que vale 1 si la estación es San Miguel.

Modelos de Regresión (Efecto Velocidad buses eléctricos)

- Los buses eléctricos aumentan su contribución a los niveles de ruido según aumenta la velocidad.
- A partir de 13 km/hora la contribución neta de ruido de los buses eléctricos es positiva y creciente hacia velocidades mayores.
- La contribución al ruido promedio es dominada por el flujo diésel con un 44%; mientras los Buses eléctricos contribuyen tan solo en un 3%.

Contribución al ruido de un flujo de 100 buses según su velocidad



Contribución promedio	Total (db)	Porcentual
Flujo Diesel	2,43	44%
Flujo Eléctrico	0,14	3%
Flujo Veh.Liviano	2,01	37%
Flujo Motos	0,89	16%



Conclusiones y próximos pasos

Conclusiones

- Monitoreo continuo es clave para generar indicadores confiables.
- Análisis refuerza que la electromovilidad reduce la contaminación acústica y mejora la calidad del entorno urbano.



MÁS BUSES ELÉCTRICOS Y MENOS RUIDO

EN 4 AÑOS EL RUIDO DISMINUYÓ UN 44% EN LA ALAMEDA

✓ Los buses eléctricos *aumentaron* de un **12% a un 36%**

GOBIERNO DE CHILE

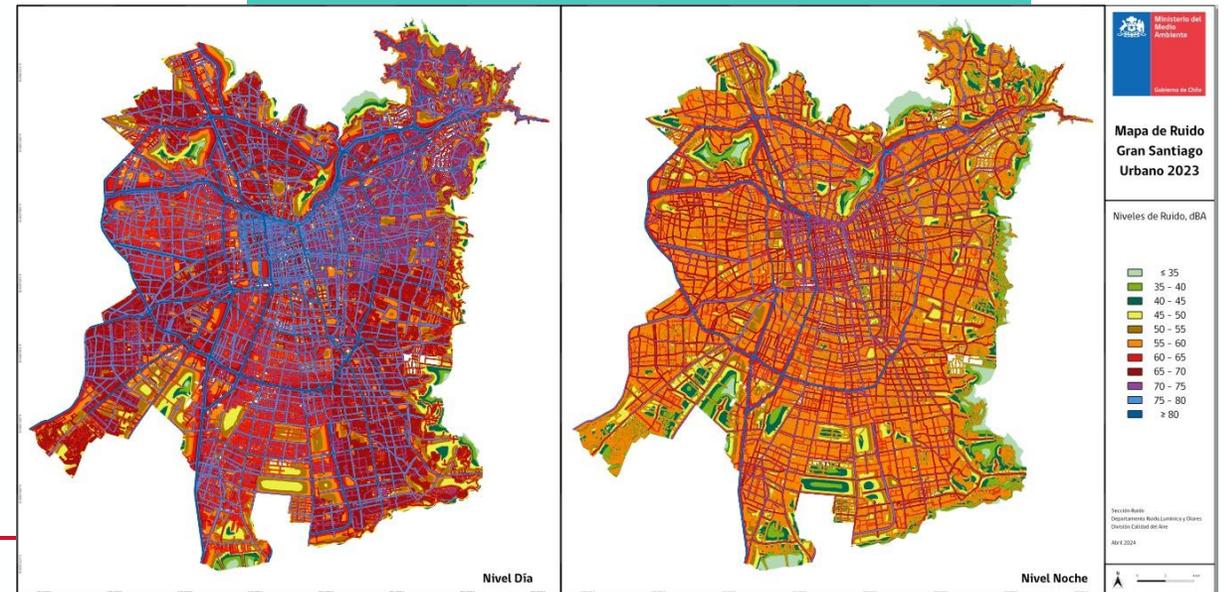
CHILE AVANZA CONTIGO

Próximos pasos



Próximos pasos: Estudio impacto Sistema RED en Mapa de Ruido RM

- **Objetivo:** Distinguir el impacto de la flota RED en el mapa de ruido del Gran Santiago.
- Medir y agregar categorías buses.
- Modelar escenarios cuando se produzcan recambios en la flota.
- Efectos: Identificar las zonas y ejes y la población potencialmente expuesta.





Electromovilidad y reducción del ruido urbano:

Evaluación del impacto en el Sistema de Transporte Público de Santiago

Iturra, Olea, García e Iglesias

XXII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte

Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte

Junio 2025



Avanzamos contigo