



→ Calidad ambiental y salud

# Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes

Pedro Poveda-Martínez<sup>1</sup>; Héctor Campello-Vicente<sup>2</sup>; Ramón Peral-Orts<sup>2</sup>; Nuria Capillo-Davo<sup>2</sup>; Jaime Ramis-Soriano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Alicante

<sup>2</sup>Universidad Miguel Hernández de Elche

CONAMA2016



## ÍNDICE:

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTIRCO (EVs)**
- 3. EFECTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN MAPAS DE RUIDO**
- 4. DETECTABILIDAD. SISTEMA DE ALERTA ACÚSTICO DEL VEHÍCULO (AVAS)**
- 5. EFECTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO CON AVAS EN MAPAS DE RUIDO**
- 6. CONCLUSIONES**
- 7. REFERENCIAS**



Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes



# 01 INTRODUCCIÓN

CONAMA2016



Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes



## 01. Introducción

### → Vehículos Eléctricos e Híbridos (EV/HEV)

- Solución para la reducir la emission de gases contaminantes en ciudades, garantizando aire de calidad en zonas urbanas.
- Permiten ahorrar en energías no-renovables (reducción del nivel de dependencia del petróleo).

#### global EV stock

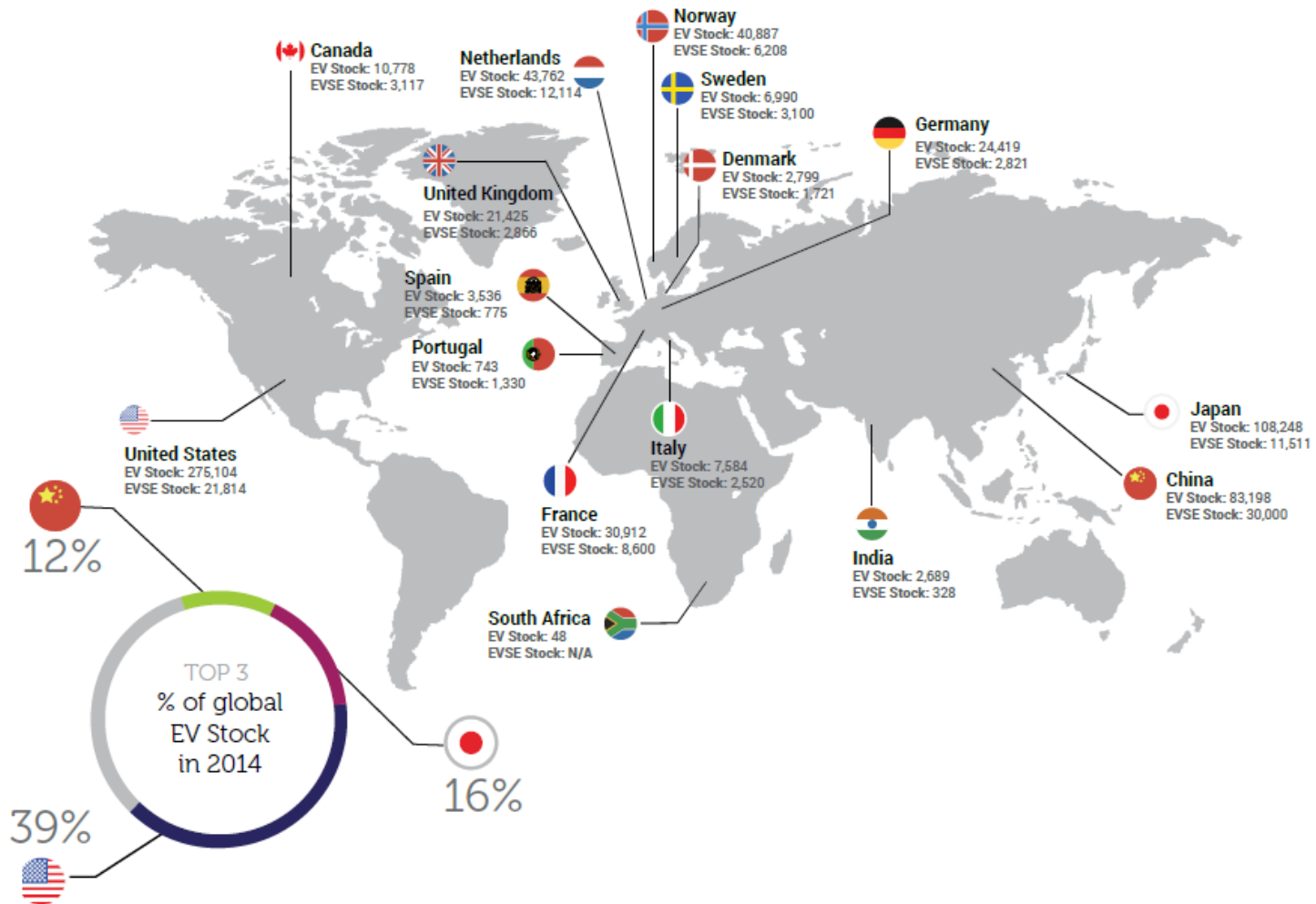
(through end of 2014)

represents 0.08% of total passenger cars

**665,000+**



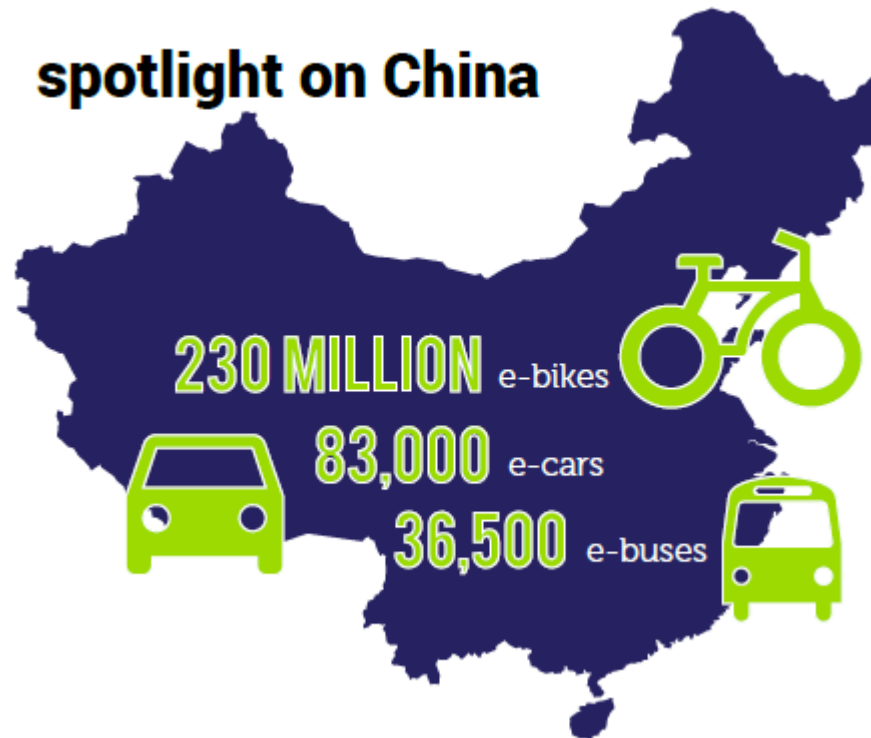
# 01. Introducción





## 01. Introducción

- El uso de sistemas de propulsión eléctricos se extiende también a otro tipo de vehículos:



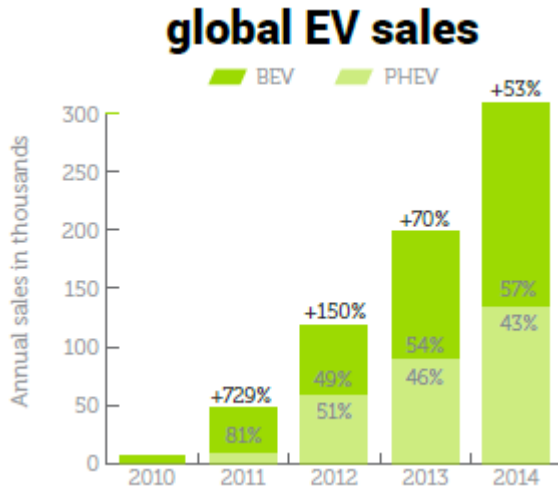


Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes

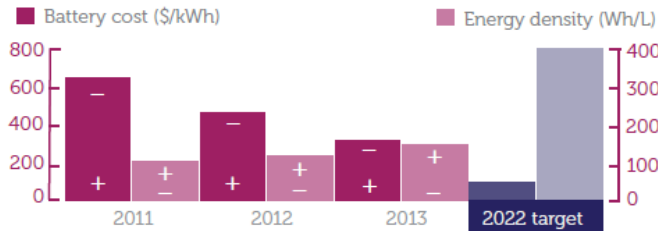


# 01. Introducción

## Previsión de Stock EV/HEV



### PHEV battery progress



### EVI Goal

represents 2% of total passenger cars (projected)

# 20 million on the road by 2020



100,000 EVs

Global EV stock, end of 2012



Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes



## 01. Introducción

**¿Cómo afectarán los vehículos eléctricos al paisaje sonoro de los entornos urbanos?**





Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes



# 02 COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICO (EVs)

CONAMA2016



### → **Comportamiento Acústico de EV**

- Los EV no solo suponen una ventaja desde el punto de vista de las emisiones contaminantes. Los sistemas de propulsión eléctricos son **más silenciosos**. Desaparece parte del ruido por ausencia de determinados componentes mecánicos.
- Pueden contribuir de una manera importante en la reducción de la contaminación acústica en zonas urbanas.



## 02. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICO (EVs)

### → Principales fuentes de ruido en un vehículo

- Sistema de Propulsión: mayor peso a baja velocidad.
- Rodadura/Aerodinámica: cobra relevancia conforme se aumenta la velocidad del vehículo (dominante para velocidades por encima de 50km/h)
- Por tanto, en vehículos eléctricos, a velocidades bajas harán menos ruido

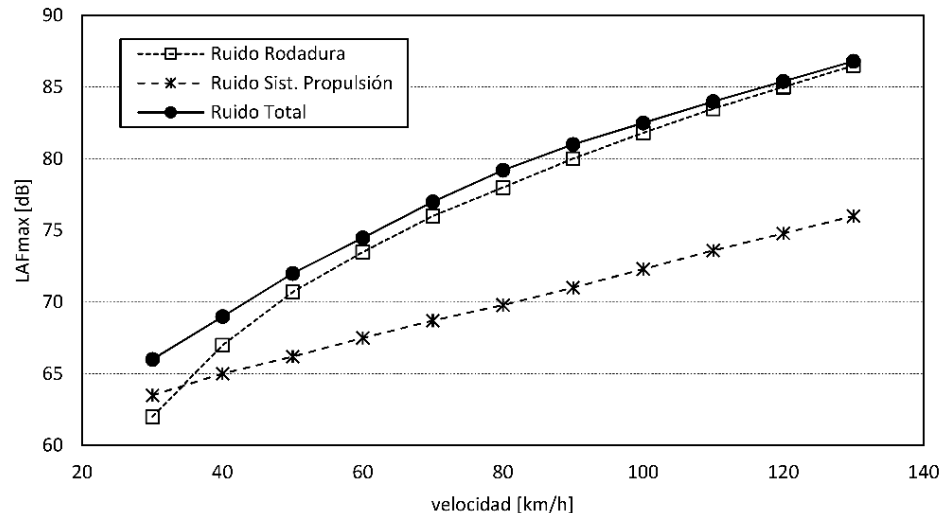


Figura: Predicción ruido generad por vehículo [1]. Kragh, J. E. A.



## 02. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICO (EVs)

### → Nivel Ruido: ICEVs VS HEV/EVs

- Puesto que el sistema de propulsión de los vehículos eléctricos es más silencioso, a baja velocidad el ruido emitido será inferior al obtenido con un vehículos de combustión interna.

ICEV



EV



L<sub>Amax</sub> (dBA)

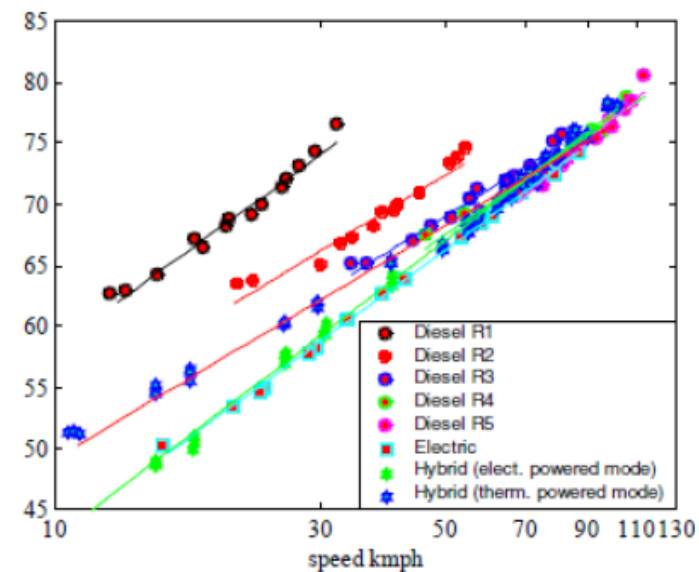


Figura: Nivel máximo de ruido para diferentes tipos de vehículos. Medidas realizadas en ensayos pass-by [2].



## 02. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICO (EVs)

### → Nivel Ruido: ICEVs VS HEV/EVs

- El mismo escenario se repite con vehículos de dos ruedas.



ICEM



EM

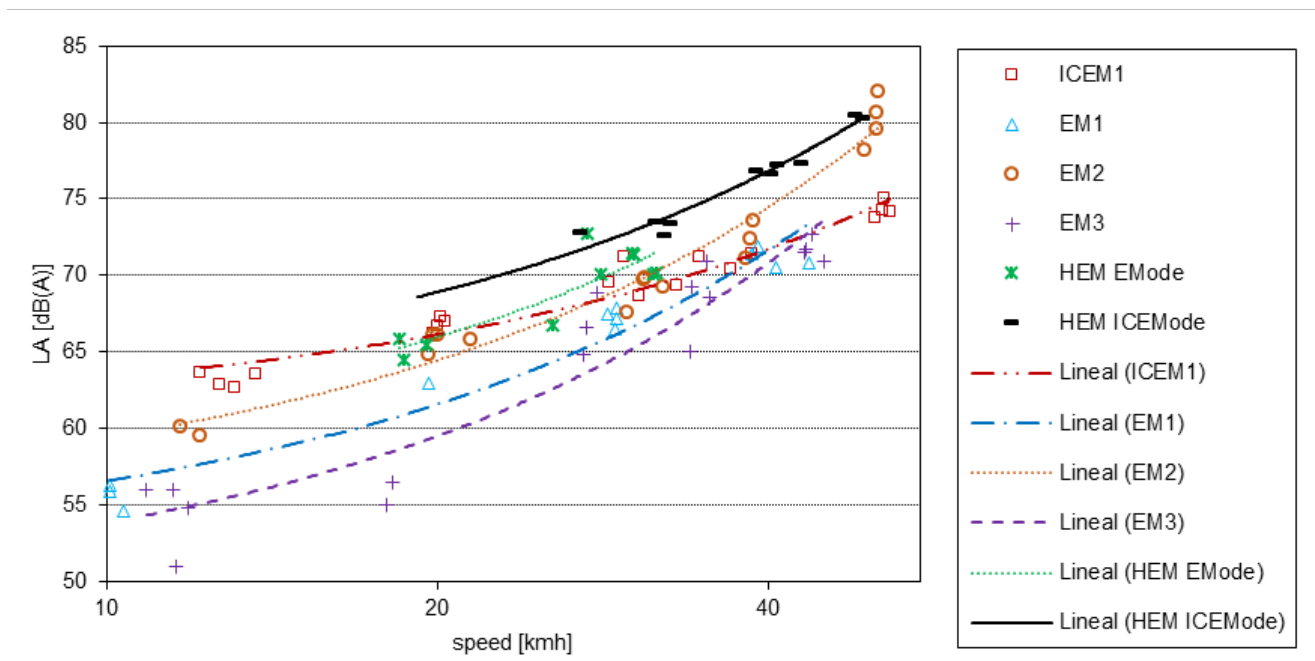


Figura: LAmax emitido por motocicletas eléctricas y de combustión interna en ensayos pass-by



## 02. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICO (EVs)

### → Huella Acústica

- Los motores eléctricos producen un sonido más tonal que los motores convencionales. A baja velocidad los vehículos serán percibidos de forma diferente, afectando al paisaje sonoro de la zona.



**ICEM**



**EM**

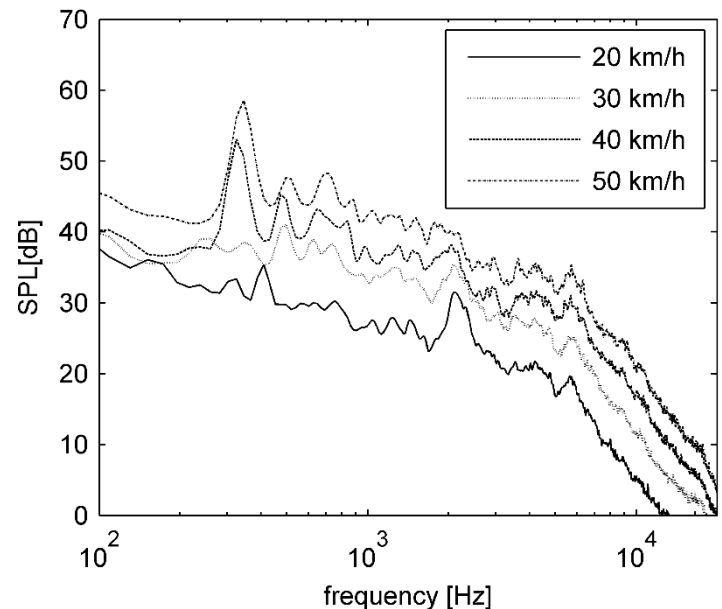


Figura: espectro frecuencias motocicleta eléctrica a diferentes velocidades



## 02. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICO (EVs)

### → Huella Acústica

- Las componentes tonales se perciben como más molestas [3, 4]. Por tanto, pese a generar un SPL inferior a los vehículo de combustión interna, los vehículos eléctricos pueden ser percibidos como más molestos. Además, el ruido de un ICEV está más aceptado.
- Test de agradabilidad.  
Encuestas auditivas
- Nº Ensayos: 37
- Edades: 16 ~ 55

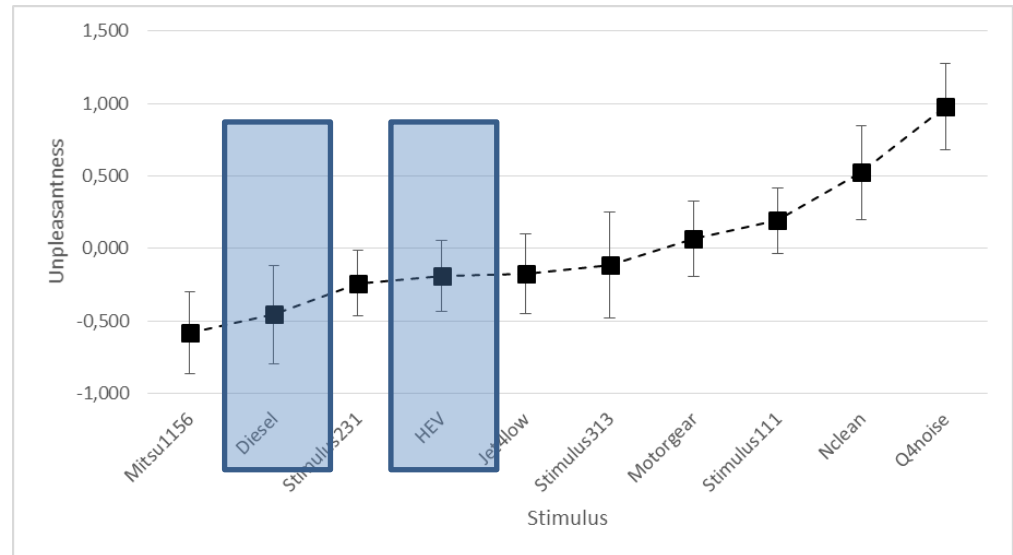


Figura: desagradación sonora de diferentes vehículos con AVAS



### → **IMPLICACIONES DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

- Previsible **disminución del nivel de ruido** en zonas urbanas por la diferencia de nivel entre ICEV y Evs.
- **Modificación de los paisajes sonoros** en zonas urbanas no solo por la reducción del ruido, sino también por la modificación en la huella acústica de los vehículos, especialmente en aquellas zonas con velocidad reducida.





Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes



# 03 EFECTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN MAPAS DE RUIDO

CONAMA2016



## 03. EFECTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN MAPAS DE RUIDO

### → Inclusión de los EV en mapas de ruido [5]

- Modelo de predicción Francés (recomendaciones de la Directiva Europea). Evaluación de los niveles de ruido en condiciones de flujo de tráfico fluido.
- Vehículo representado como dos fuentes de ruido independientes: ruido del motor y de otras componentes mecánicas; ruido de rodadura y ruido aerodinámico.
- Ruido de vehículo eléctrico a baja velocidad (aprox. 30 km/h) dominado por la rodadura. Se desprecia la componente mecánica en el modelo de predicción.



## 03. EFECTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN MAPAS DE RUIDO

### → Inclusión de los EV en mapas de ruido [5]

- Simulación 1350 vehículos circulando en una vía en campo libre (sin edificios, ni barreras, ...).
- A 30 km/h, diferencia de 2 dB. A velocidades inferiores, mayor diferencia (4 dBA para 20 km/h).
- Si la velocidad aumenta, la diferencia disminuye, siendo cero para 50 km/h.

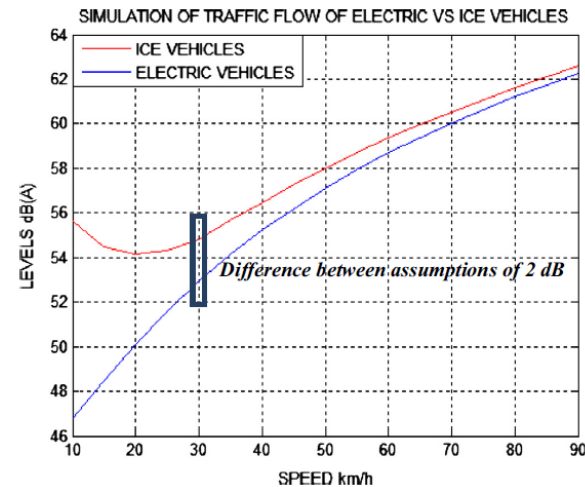


Figura: diferencia ruido ICE/EV [5]

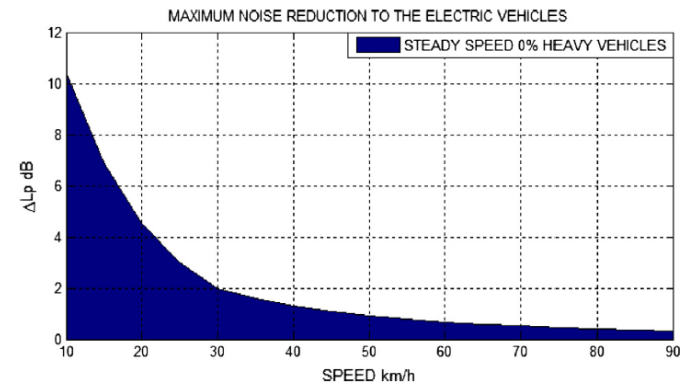


Figura: máxima reducción del ruido con vehículos eléctricos [5]



## 03. EFECTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN MAPAS DE RUIDO

### → Inclusión de los EV en mapas de ruido [5]

- Si se considera la presencia de un 5% de vehículos pesados, la diferencia de 2dB a 30 km/h se reduce a 1.2dB.

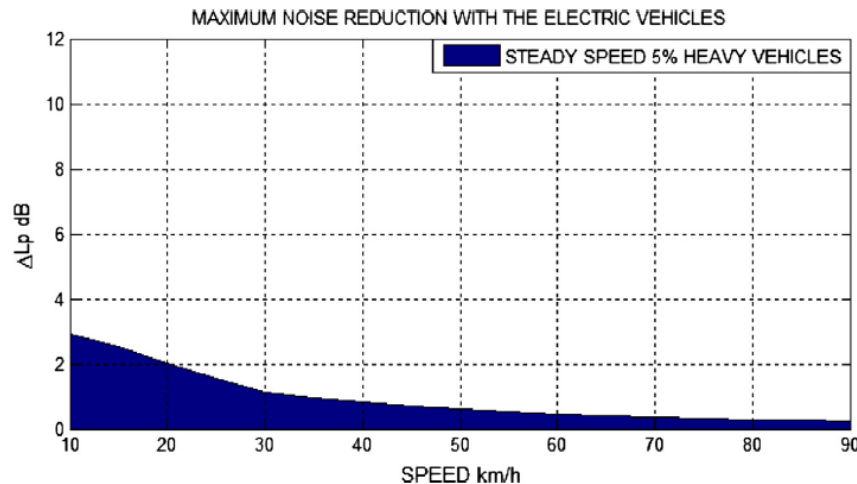


Figura: máxima reducción del ruido con vehículos eléctricos y 5% vehículos pesados[5]



## 03. EFECTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN MAPAS DE RUIDO

### → Inclusión de los EV en mapas de ruido [5]

- 100% de EVs en zonas urbanas supone una mejora en el ruido soportado para el 10% de los ciudadanos.
- Se incrementa el número de ciudadanos expuestos a niveles por debajo de 65 dB(A).

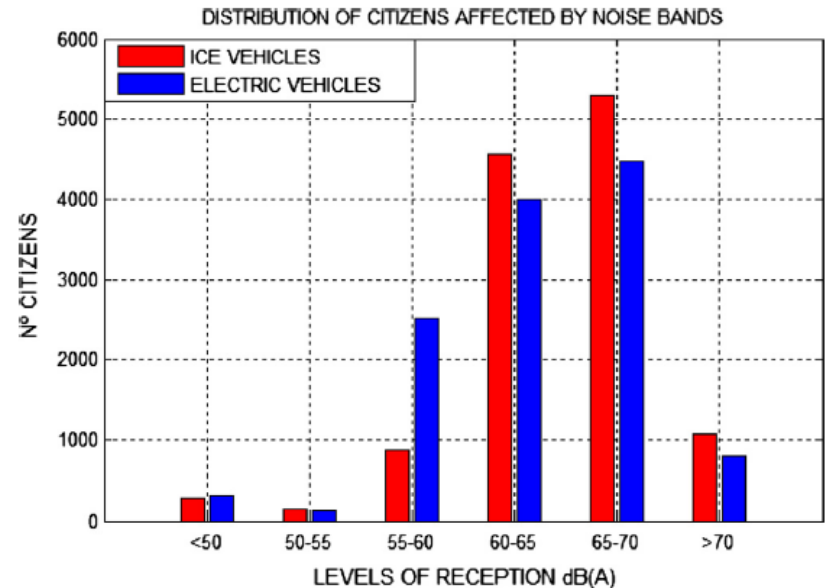


Figura: número de ciudadanos expuestos a diferentes niveles de ruido. Comparación de niveles para tráfico fluido de EV y ICE [5]



Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes



## 03. EFECTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN MAPAS DE RUIDO

- El uso de vehículos eléctricos en entornos urbanos puede reducir por tanto el nivel de ruido de nuestras ciudades

**PERO ...**

**LA DISMINUCIÓN EN EL NIVEL DE RUIDO EMITIDO POR EL VEHÍCULO SUPONE UNA REDUCCIÓN DE LA DETECTABILIDAD AUDITIVA DEL VEHÍCULO.**



Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes



# 04 DETECTABILIDAD. SISTEMA DE ALERTA ACÚSTICO DEL VEHÍCULO (AVAS)

CONAMA2016



## → VEHÍCULOS DE 4 RUEDAS

- La reducción del nivel de presión sonora emitido por los vehículos eléctricos supone una mejora desde el punto de vista medioambiental, pero también supone un incremento del riesgo para peatones, ciclistas y demás usuarios de la vía.
- La reducción en los niveles de ruido **afectará de manera directa a la detectabilidad del vehículo**, haciéndolo menos audible para el peatón y más fácilmente enmascarable por el resto de vehículos.
- De acuerdo con la NHTSA, el riesgo de sufrir un atropello se duplica en presencia de vehículos eléctricos [6]





## → VEHÍCULOS DE 4 RUEDAS [7]

- Ensayo auditivo tipo pass-by con 45 personas (edad media 27 años). Velocidad del vehículo: 27 km/h.
- Diferencia en el tiempo de reacción del sujeto de 0,84 segundos. El peatón detecta el vehículo eléctrico 6.3 metros después que el de combustión.





## → VEHÍCULOS DE 2 RUEDAS [8]

- Ensayo auditivo con 30 personas (edad media 25).
- Motocicleta Híbrida 125cc (motor ICE y E)
- Velocidad: 20 km/h
- Diferencia en el tiempo de reacción del peatón para modo combustión y modo eléctrico: 2.3 segundos. Supone una distancia entre los vehículos al ser detectados de 12 metros.

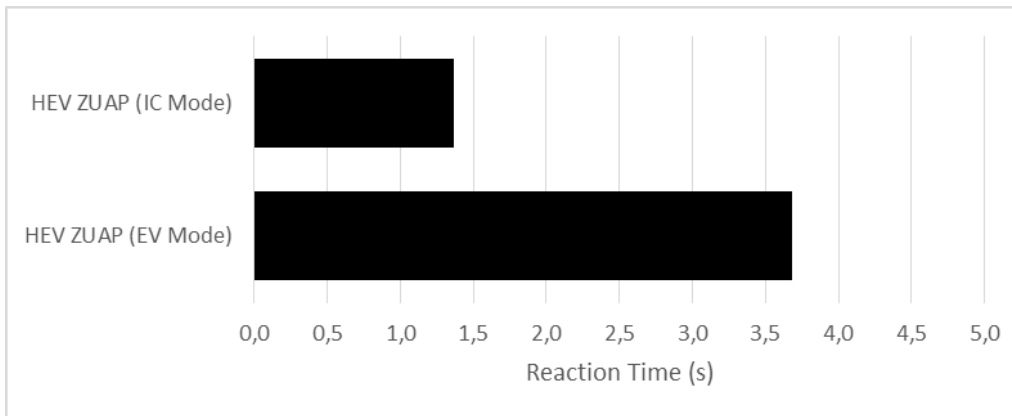


Figura: comparación del tiempo de reacción del peatón para una motocicleta híbrida funcionando con cada uno de sus sistemas de propulsión [8].



### → SISTEMAS DE ADVERTENCIA SONORA

- **SOLUCIÓN** → uso de **sistemas de advertencia (AVAS)** en los vehículos de 4 ruedas (respecto a las motocicletas no se prevé ningún tipo de regulación).
- **AVAS:** dispositivos localizados generalmente en la parte frontal del vehículo y capaces de emitir sonidos que mejora la detectabilidad del vehículo.





## → **SISTEMAS DE ADVERTENCIA SONORA**

Las primeras recomendaciones normativas establecen ciertas directrices en relación a las características del sonido a emplear y su régimen de operación.:

- Sistema activo para velocidades desde el inicio de la marcha y hasta aproximadamente 20 km/h.
- Sonido continuo, similar al generado por un vehículo de la misma categoría equipado con un motor de combustión interna.
- El nivel de ruido generado por el AVAS queda limitado al nivel de ruido emitido por un vehículo de clase M1 de combustión interna y operando en las mismas condiciones.



### → SISTEMAS DE ADVERTENCIA SONORA

- Ensayo Detectabilidad EV + AVAS. [7]
- Nº Ensayos: 45. Edades: 16 ~ 55
- Clara reducción del tiempo de reacción del peatón

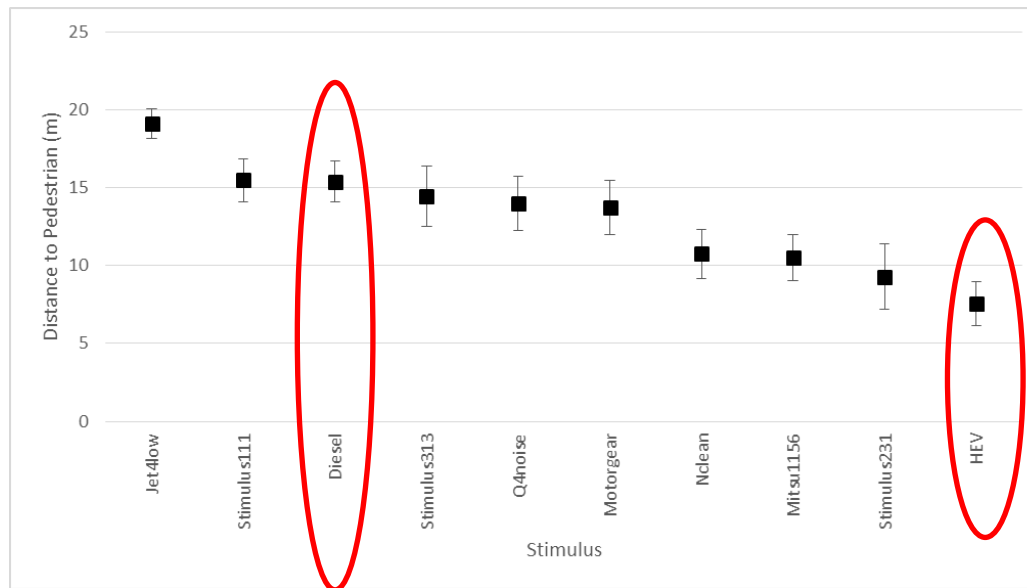


Figura: distancia respecto al peatón a la que son percibidos diferentes vehículos (con AVAS y sin AVAS) [7]



## → **IMPLICACIONES DE LOS AVAS**

- Los sistemas de advertencia incrementarán el nivel de ruido emitido por el vehículo eléctrico a baja velocidad pero nunca por encima del emitido por un vehículo de combustión interna en la misma situación.
- Este sistema de advertencia tendrá un efecto sobre el paisaje sonoro de las ciudades y sobre los mapas de ruido.



Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes



# 05 EFECTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO CON AVAS EN MAPAS DE RUIDO

CONAMA2016



## 05. EFECTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO CON AVAS EN MAPAS DE RUIDO

### → Inclusión de los EV en mapas de ruido

- Considerando que todos los vehículos eléctricos llevan instalado un AVAS, la reducción en el nivel de ruido entre vehículos de combustión interna y vehículos eléctricos es solo de 1 dB a 30 km/h.
- Solo 0,6 dB si se contemplan vehículos pesados.

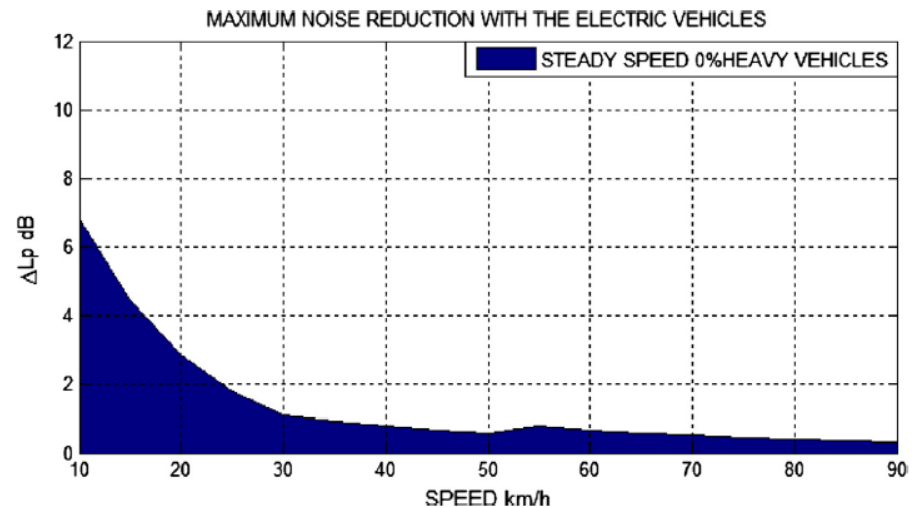


Figura: máxima reducción del ruido con vehículos eléctricos con AVAS [5]





## 05. EFECTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO CON AVAS EN MAPAS DE RUIDO

### → Inclusión de los EV en mapas de ruido

- Teniendo en cuenta el AVAS, el número de habitantes que ven mejorada su situación sonora es del 6% (sin AVAS 10%).
- El resultado empeora, pero sigue por debajo de los niveles obtenidos con vehículos convencionales.

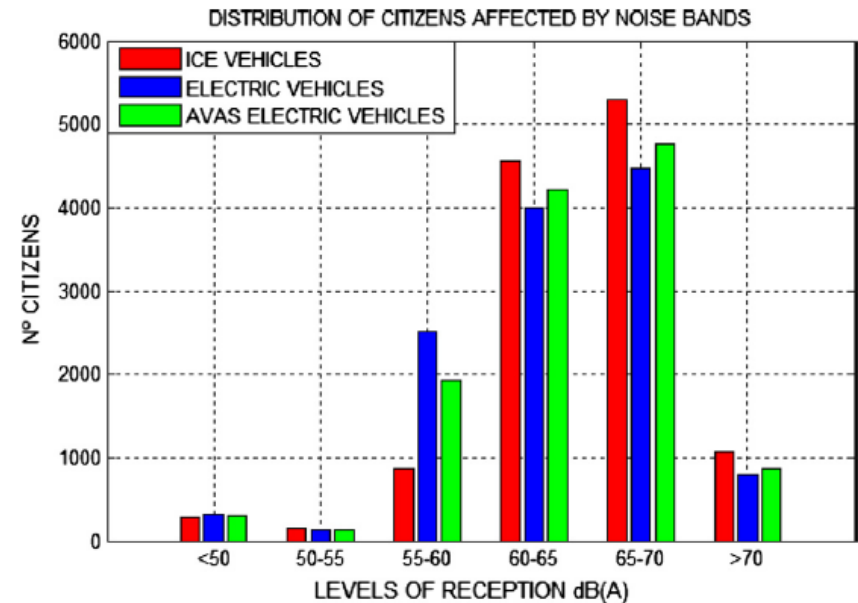


Figura: número de ciudadanos expuestos a diferentes niveles de ruido. Comparación de niveles para tráfico fluido de EV, EV+AVAS y ICE [5]



Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes



# 06 CONCLUSIONES

CONAMA2016



## 06. Conclusiones

- Los **vehículos eléctricos reducen el nivel de ruido** emitido respecto a los vehículos de combustión interna. Sin embargo, **implican un mayor riesgo para el peatón**, especialmente para aquellos colectivos más vulnerables como ancianos, niños e invidentes.
- Una **flota de vehículos puramente eléctrica** y sin sistema de advertencia produciría una **mejora acústica para el 10%** de la población. Sin embargo, **el uso de sistemas de advertencia reduce la cantidad** de habitantes que perciben la mejora al 6%.



## 06. Conclusiones

- La **normativa actual** únicamente proporciona **directrices básicas** respecto al sonido que deben emitir los sistemas de advertencia. Sin embargo, **no todos los sonidos tienen por qué ser idénticos**.
- Los fabricantes tendrán por primera vez la oportunidad de diseñar como se oyen sus vehículos. Se abre por tanto un interrogante en relación a **como afectarán los sonidos de advertencia al paisaje sonoro de las zonas urbanas**. Es cierto que el nivel de ruido no aumentará respecto al que existe con los vehículos de combustión. Sin embargo, **el sonido puede llegar a cambiar por completo**.



Efecto sonoro del vehículo eléctrico en entornos urbanos y su papel en los nuevos paisajes sonoros de las ciudades inteligentes



# 07 REFERENCIAS

CONAMA2016



## 07. Referencias

- [1] Kragh, J. E. A., “DELTA report AV1171/06, User’s Guide Nord2000 Road.” Hørsholm. 2006.
- [2] Lelong, J.;Michelet, R., “Passenger cars. Power unit and tyre-road noise, driving behaviour: what are the stakes?.” In Inter.noise, The Hague, 2001.
- [3] Toepken, S.; Verhey, J.; Weber, R., “Perceptual space, pleasantness and periodicity of multi-tone sounds.” J. Acoust. Soc. Am. 138 (2015), 288-298.
- [4] Parizet, E.; Bolmont, A.; Fingerhuth, S., “Subjective evaluation of tonalness and relation between tonalness and unpleasantness.” Proc. Internoise 2009. Ottawa.
- [5] Campello-Vicente, H.; Peral-Orts, R.; Campillo-Davo, N.; Velasco-Sanchez, E. “The effect of electric vehicles on urban noise maps”. Applied Acoustics. 116 (2017). 59-64.
- [6] NHTSA, “Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles.” Technical Report. September 2009.
- [7] Poveda-Martínez, P.; Peral-Orts, R.; et. Al. “Study of the effectiveness of electric vehicle warning sounds depending on the urban environment”. Applied Acoustics. 116 (2017) 317–328.
- [8] Poveda-Martínez, P.; Peral-Orts, R.; et. Al. “Detectability of electric motorcycles”. Euroregio 2016. Oporto.

**¡GRACIAS!** 

CONAMA2016