

## ANÁLISIS DE LA REPERCUSIÓN SONORA DE LOS VEHÍCULOS URBANOS ELECTRIFICADOS PARA TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE ELCHE

PACS: 43.50.-x

Campello Vicente, Héctor; Fabra Rodríguez, Miguel; Peral Orts, Ramón; Campillo Davó, Nuria; Velasco Sánchez, Emilio

Departamento de Ing. Mecánica y Energía, Universidad Miguel Hernández de Elche, País.  
Email: hcampello@umh.es

**Palabras Clave:** Mapas de ruido, vehículos eléctricos.

### ABSTRACT.

As a consequence of the current reality of the electric vehicle, the governments have planted measures to reduce pollution by promoting the use of these quiet vehicles, for example, through private subsidies for the acquisition, limiting access to electrified cars to areas of saturated pollution or gradually replacing the fleet of public service vehicles to electrified variants.

The specific study of the impact of the electrified vehicle as a noise source can be evaluated from different points of view; on one hand by the evaluation of dB/hour reflected by the noise maps according to European Directive 2015/996 or by the sensation of instantaneous noise that is generated in the environment of the vehicle itself.

This paper shows an analysis to assess the sound improvement derived from the substitution of conventional urban buses for electrified variants in the municipality of Elche, Spain, evaluating the sound levels according to the circulation of these vehicles on repetitive routes of the public transport service through GPS tracking.

### RESUMEN.

La ya realidad del vehículo electrificado en el parque automovilístico ha provocado que las administraciones planten medidas para reducir la contaminación promoviendo el uso de estos vehículos, por ejemplo, mediante subvenciones privadas para la adquisición, limitando el acceso a automóviles electrificados a zonas de contaminación saturada o sustituyendo paulatinamente flota de vehículos de servicios públicos a las variantes electrificadas.

El estudio específico del vehículo electrificado como fuente de ruido puede ser evaluado desde diferentes puntos de vista, por ejemplo, a partir de la valoración de dB/hora que reflejan los mapas de ruido según la Directiva Europea 2015/996 o bien desde la sensación de ruido instantánea que se genera en el entorno del propio vehículo.

A partir de ahí se ha planteado el estudio de la repercusión sonora derivada de la sustitución de autobuses urbanos convencionales por variantes electrificadas en el municipio de Elche, evaluando niveles sonoros según la circulación de estos vehículos en rutas repetitivas del servicio de transporte público mediante un seguimiento vía GPS.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El silencio relativo producido por los vehículos electrificados se presupone un beneficio medioambiental que debería quedar recogido en los mapas de ruido, como documentos administrativos de cuantificación de la contaminación acústica ambiental, siendo estos vehículos una variable a incluir en las futuras regulaciones en el ámbito de la contaminación acústica ambiental.

Los modelos de predicción de ruido con los que se generan los actuales mapas de ruido solicitados en la Directiva Europea 2015/996 [1], hasta el momento, solo contemplan vehículos propulsados por motores de combustión interna como parte del que tráfico rodado, sin tener en cuenta otros medios de propulsión alternativos. La inclusión en los modelos de predicción de la propulsión electrificada es una de las líneas de investigación que se viene desarrollando desde diferentes puntos de vista [2,3,4], independientemente de la repercusión medioambiental que los vehículos electrificados tendrían de cara los objetivos europeos enunciados en la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible [5].

La ya realidad del vehículo “ecológico” ha provocado que las administraciones planten medidas para reducir la contaminación promoviendo el uso de estos vehículos, por ejemplo, mediante subvenciones privadas para la adquisición de este tipo de vehículos, limitando el acceso a vehículos eléctricos accesos a zonas de contaminación saturada o sustituyendo paulatinamente flota de vehículos de servicios públicos a las variantes electrificadas. El estudio específico del vehículo electrificado como fuente de ruido puede ser evaluado desde diferentes puntos de vista, por ejemplo, a partir de la valoración de dB/hora que reflejan los mapas de ruido según la Directiva Europea 2015/996 o bien desde la sensación de ruido instantánea que se genera en el entorno del propio vehículo. En este último enfoque debe tenerse en consideración que todo vehículo electrificado que haya sido homologado a partir de junio de 2019 [6] debe instalar sistemas sonoros de advertencia que mejoren su detectabilidad por parte de peatones o ciclistas. De esta manera, se consigue aumentar la seguridad frente atropellos causados por la baja sonoridad de estos vehículos al desaparecer el ruido generado por los motores térmicos convencionales.

Por todo ello Laboratorio de Ingeniería Acústica y Vibraciones de la Universidad Miguel Hernández, se propuso el estudio en profundidad de la repercusión sonora real derivada de la sustitución de los autobuses urbanos convencionales por variantes electrificadas en el municipio de Elche.

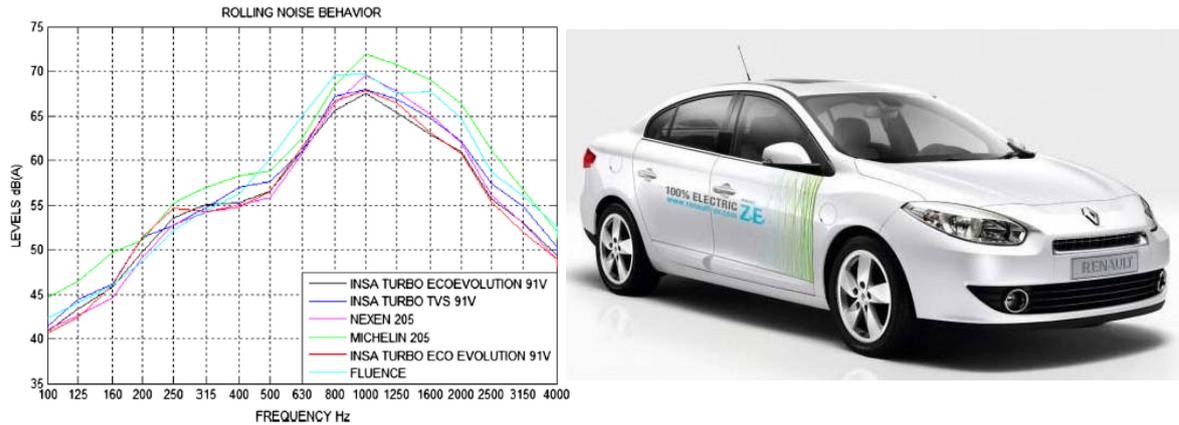


Figura 1. Niveles sonoros registrados para diferentes neumáticos frente a un vehículo eléctrico según la metodología Coast-By [7]

El objetivo de proyecto consiste en evaluar de la contribución sonora de los autobuses urbanos que circulan en la ciudad de Elche, empleando para ello una adaptación del actual modelo de predicción sonora CNOSSOS [8] estudiando la circulación de los vehículos mediante sistemas GPS. De esta manera se pueden comparar los niveles sonoros de los vehículos circulando por rutas repetitivas, comparando así niveles sonoros en función de las condiciones del tráfico, modos de conducción y sistemas de propulsión, pudiéndose añadir otros datos de menor repercusión sonora pero evaluables de cara a los objetivos la Agenda 2030 de la Unión Europea.

## 2. Metodología.

La los pasos a seguir para alcanzar el objetivo global del proyecto pasaría por llevar a cabo los siguientes apartados, los cuales se encuentran en vías de desarrollo:

1. Adaptación y programación del modelo actual de predicción sonora CNOSSOS avalado por la Directiva Europea 2015/996.
2. Registro de rutas de circulación mediante sistemas de GPS.
3. Caracterización sonora del vehículo mediante mediciones experimentales controladas.
4. Calibración y validación de resultados mediante mediciones experimentales sobre las rutas de circulación estudiada.
5. Análisis y procesado de resultados.

El modelo europeo de predicción de ruido CNOSSOS calcula el ruido de tráfico rodado en una determinada vía a partir de la aportación sonora individual de cada vehículo, considerando una fuente puntual localizada a la mitad de la longitud y anchura del vehículo y a una altura de 5 mm del pavimento, como se indica en la Figura 2. Esta fuente sonora puntual se compone tanto de las contribuciones sonoras debidas a la interacción entre el neumático y la calzada como del ruido del sistema de propulsión. En el caso de considerar un vehículo electrificado, donde se podría desestimar casi por completo el ruido del motor y sistema de transmisión, se toma como aportación única de la potencia del ruido de provocado por la rodadura [2].

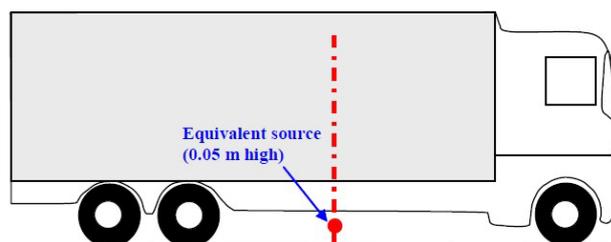


Figura 2 – Localización de la fuente sonora puntual equivalente de un vehículo [8].

En este caso los niveles de potencia sonora considerados en por el modelo de predicción mencionado se asociarían a la suma del ruido provocado por la rodadura junto con el ruido provocado por la componente motor en el caso de los vehículos convencionales.

$$L_{wMotor} = A_p + B_p \cdot \left( \frac{v - v_{ref}}{v_{ref}} \right) \quad L_{wRod} = A_R + B_R \log_{10} \left( \frac{v}{v_{ref}} \right)$$

Donde los parámetros  $A_i$  y  $B_i$  son constantes que dependen de la banda de octava con frecuencia central  $i$  y tipo de vehículo. La tabla de valores para estos parámetros se puede encontrar actualizada en la tabla F-1 de [2]. Siendo  $V$  la velocidad de circulación del vehículo en km/h y  $V_{ref}$  es la velocidad de referencia fijada en 70 km/h.

Con ello la composición global del ruido asociado a una vía vendría asociada al sumatorio del paso de los vehículos de cada una de las categorías que el modelo de predicción empleado contemple en sus ábacos. En el caso del actual modelo europeo CNOSSOS, quedan contempladas 4 categorías de vehículos, a la que se le añada una quinta categoría llamada “Categoría Abierta” la cual no asuma ninguna de las actuales categorías de vehículos actuales quedando abierta para “futuras necesidad” según indica el propio modelo.

Categoría	Nombre	Descripción
1	Vehículos Ligeros	Turismos, Furgones de reparto menos de 3500 kg incluyendo remolques y caravanas
2	Vehículos de peso medio	Furgones de reparto superiores a 3500 kg, autobuses, caravanas, etc.
		Con dos ejes y doble montaje neumático con eje trasero
3	Vehículos Pesados	Camiones, autobuses, caravanas, con tres ejes como mínimo
4a	Vehículos de dos ruedas	Ciclomotores, triciclos o quads inferiores a 50 c.c.
4b		Motocicletas, triciclos o quads superiores a 50 c.c.
5	Categoría abierta	Por definir en función de las futuras necesidades

Tabla 1. Tipos de vehículos para cada categoría [2].

Al igual que otros modelos de predicción, CNOSSOS evalúa el ruido generado por una vía en función del caudal de tráfico por hora asociando sus niveles sonoros a la velocidad y la tipología de vehículo. La suma de las fuentes de ruido del vehículo unitario a la velocidad a la que circula por una vía genera unos niveles sonoros en expuestos en decibelios por hora ( $E_v$ ) asociados a su paso frente a un punto receptor. Este paso puntual de un vehículo frente a un receptor sería el punto donde se ha centrado la atención de este trabajo, traduciendo los valores por hora

generado por los autobuses urbanos de Elche para evaluar la reducción sonora puntual durante su circulación por rutas repetitivas.

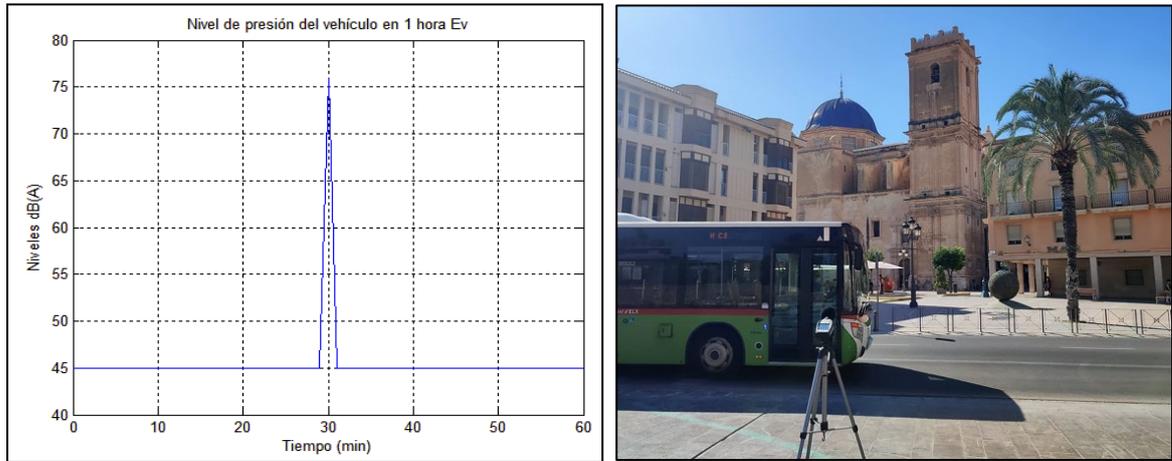


Figura. 3. Niveles sonoros de en vehículo hora frente a un receptor.

En este apartado el modelo ha sido desglosado, fuera de un software comercial, obteniendo así la posibilidad de ajustar el modelo fuente tanto a la presencia de vehículos electrificados como para la obtención de los niveles sonoros en los rangos deseados acordes a los efectos del paso de cada categoría de vehículo frente a un receptor.

Este desglose del modelo ha permitido ingresar en el modelo datos asociados a velocidades registradas mediante sistemas GPS, relacionando estos a los valores de emisión de ruido. Como resultado se obtendría unos valores de ruido geolocalizados sobre las rutas de recorridas por los vehículos de transporte público de la ciudad de Elche.

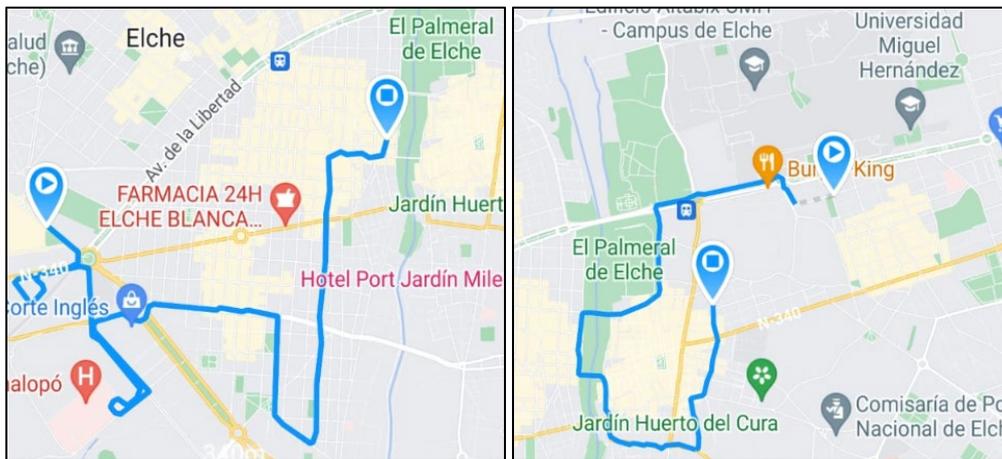


Figura. 4. Ejemplos de rutas registradas.

El desarrollo de trabajo se finalizó tras la validación del modelo desglosado para la predicción de niveles sonoros producidos por el paso de autobuses frente a un punto, basando la validación en las mediciones experimentales en diferentes ubicaciones de la ciudad de Elche. Tras la validación se procedió a la simulación de las rutas registradas mediante GPS, obteniendo valores sonoros cada segundo para las variantes térmicas y eléctricas/híbridas de los autobuses urbanos.

### 3. Resultados

Por un lado, en resultado del proyecto es una herramienta mediante la cual pueden obtenerse los valores de ruido generados por vehículos pesados a lo largo de su ruta. Estos valores serían relativos debido a la variabilidad de la velocidad a la que cada uno de los vehículos puede circular en función de las condiciones del tráfico de ese momento (<20km/h en entornos urbanos). Por otro lado, mediante este trabajo pueden evaluarse las variaciones de ruido provocadas por las paradas y arrancadas de los vehículos durante su circulación.

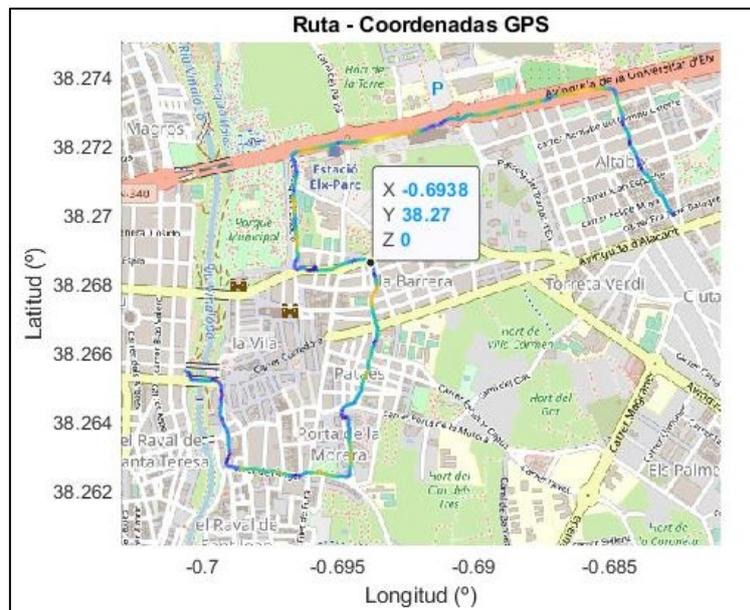


Figura. 4. Ejemplos de rutas registradas.

Independientemente de los patrones de circulación de cada uno de los vehículos, en este trabajo se han evaluado las diferencias de niveles de ruido que se generan al sustituir un vehículo térmico por su variante eléctrica (o híbrida en el caso de este trabajo).

Las diferencias encontradas en los niveles de ruido al sustituir un vehículo térmico por su variante electrificada se han visto condicionadas por las limitaciones del propio modelo a bajas velocidades. En velocidades urbanas, por debajo de 30Km/h, el modelo condiciona el ruido generado por el motor a valores cuasi constantes y por tanto las diferencias son mayores. Por ejemplo, en la siguiente figura expuesta se muestra una diferencia de niveles a lo largo de una ruta, la cual es de aproximadamente 9 dB de media entre las variantes de propulsión al no contar con las paradas del vehículo donde emitirá valores a relenti.

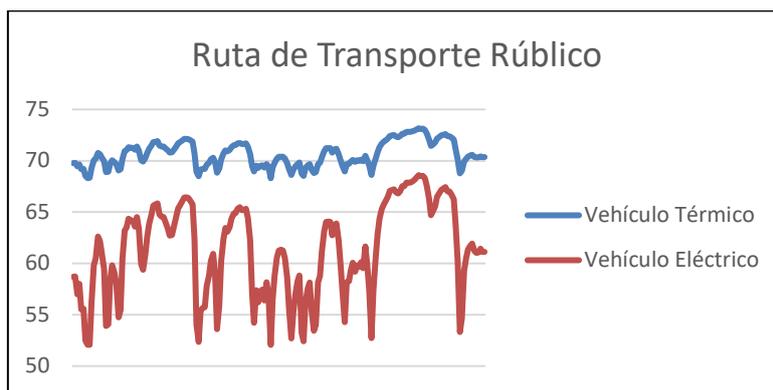


Figura. 5. Ejemplos de rutas registradas.

Independientemente de aquellos puntos en los que el modelo no es capaz de evaluar los niveles de ruido generado, puede considerarse que la electrificación de los vehículos de transporte público generarán de forma instantánea un descenso de niveles considerable, produciendo una mejora las condiciones sonoras de su entorno.

#### 4. Conclusiones

Las conclusiones a las que puede llegarse con este estudio es que el vehículo de transporte colectivo electrificado mejora las condiciones sonoras rutas por las que circula, reduciendo los niveles de ruido en mayor medida en las inmediaciones de sus paradas programadas o semáforos.

Por otra parte, este estudio es un trabajo preliminar el cual ha supuesto que los vehículos son totalmente electrificados, sin considerar las condiciones de circulación de vehículos híbridos circulando en modo térmico.

Por último, se hace necesario conocer los niveles de ruido de otras fuentes de ruido existentes en estos vehículos como los sistemas de climatización, los cuales pueden reducir la diferencia de niveles extraída de los resultados en función de las rutas evaluadas.

#### TRABAJOS FUTUROS

Este trabajo forma parte de un proyecto de mayor envergadura, el cual pretende abordar la inclusión en los mapas de ruido de eventos sonoros puntuales y repetitivos durante la circulación del tráfico rodado como el paso de vehículos resaltos reductores de velocidad, o estudiando en este caso temas relacionados con vehículos de transporte público cuyas rutas serían predefinidas por las administraciones.

En este apartado y tras el desarrollo del trabajo se ha visto la necesidad de contemplar la ubicación de fuentes de ruido no asociadas al propio de vehículo como son los equipos de climatización o los ciclos de trabajo de los vehículos híbridos cuya ubicación de los motores puede variar los resultados en los niveles calculados de forma instantánea.

Con estas premisas se desarrolló un estudio sobre las ubicaciones de las fuentes de ruido en los vehículos híbridos de Elche, empleando para ello una cámara acústica con la que registrar valores sonoros a la vez que se ubicarían las fuentes de ruido sobre el plano de medición.

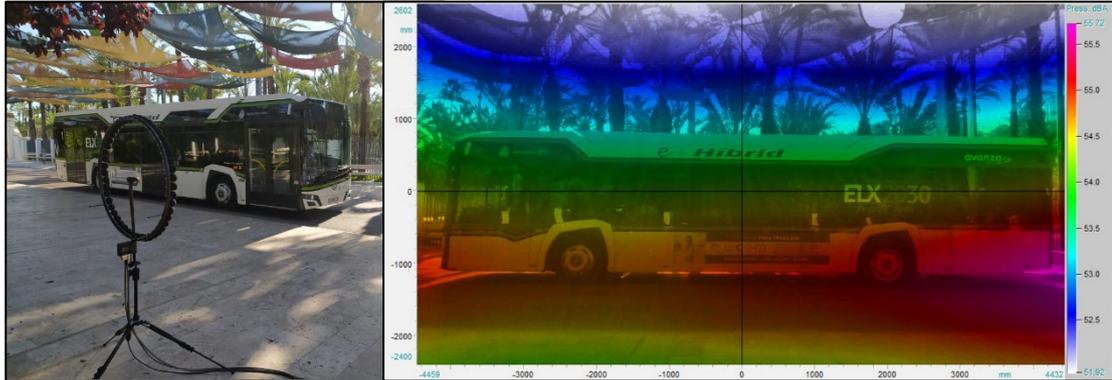


Figura. 7. Paso de un vehículo frente a la cámara acústica.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Pablo Alloza y a Gfai Tech por permitirnos el uso de la Acoustic Camera durante los ensayos de circulación de vehículos eléctricos como estudio previo de las siguientes fases del trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Directiva Europea 2015/996, que establece los métodos comunes europeos para la evaluación de acuerdo con la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo
- [2] Campello-Vicente, H.; Peral-Orts, R; Campillo-Davo, N; Velasco-Sanchez, E. The effect of electric vehicles on urban noise maps. Applied Acoustics. Volume 116, 2017, Pages 59-64, ISSN 0003-682X.
- [3] Kyvelou, S.S.; Bobolos, N.; Tsaligopoulos, A. Exploring the Effects of “Smart City” in the Inner-City Fabric of the Mediterranean Metropolis: Towards a Bio-Cultural Sonic Diversity?. Heritage 2021, 4, 690-709.
- [4] Qian, K.; Hou, Z.; Sun, D. Sound Quality Estimation of Electric Vehicles Based on GA-BP Artificial Neural Networks. Appl. Sci. 2020, 10, 5567.
- [5] Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1
- [6] Reglamento N° 138 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE). Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos silenciosos de transporte por carretera en lo relativo a su audibilidad reducida [2017/71]
- [7] ISO 13325. Tyres – Coast-by methods for measurement of tyre-to-road sound emission. International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland, 2003.
- [8] Common noise assessment methods for Europe (CNOSSOS-EU): implementation challenges in the context of EU noise policy developments and future perspectives