



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Impacto ambiental generado por el evento Rock Imperium
Festival en el municipio de Cartagena y cuantificación de
su impacto sobre la población.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Acústica

AUTOR/A: Peche Lucas, José Javier

Tutor/a: Martínez Mora, Juan Antonio

Cotutor/a: Diego Tortosa, Dídac

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Resumen

La contaminación acústica se ha convertido en el principal problema ambiental para los países desarrollados. Para dar respuesta a este problema, se han utilizado Mapas de Ruido, los cuales representan una simulación de la propagación de los niveles sonoros mediante un mapa de isófonas. Estos Mapas de Ruido se han podido realizar mediante diferentes métodos de cálculo para cada tipo de fuente sonora, dificultando la comparativa y compartición de la información. Por este motivo, la Unión Europea aprueba en 2018 un modelo de cálculo común para todos los tipos de focos sonoros, denominado CNOSSOS-EU. El presente proyecto tiene como objetivo la elaboración del mapa de predicción sonora de los niveles sonoros producidos por festival de música “Imperium Rock”, ubicado en Cartagena (Región de Murcia). Para ello se pretende utilizar el nuevo método de cálculo CNOSSOS-EU. Además, otros objetivos principales del proyecto consisten en la comparación del nuevo método de cálculo CNOSSOS-EU con el antiguo método comúnmente utilizado ISO 9613-2 y proponer una situación alternativa caracterizada por una nueva reubicación de las fuentes sonoras, así como determinar la afección sobre la población que produce cada uno de los modelos de predicción sonora. Por último, se procede a analizar y comparar los resultados, de los cuales se extrae, entre otros, que el 10 % de la población de la zona de estudio es afectada por niveles sonoros superiores a 55 dBA en horario diurno, mientras que un 65 % se encuentra por encima del nivel sonoro de 45 dBA en horario nocturno; o que a situación de reubicar las fuentes sonoras aumentaría los niveles sonoros recibidos en las zonas residenciales, de forma contraria a lo que se pensaría inicialmente.

Palabras clave: Contaminación Acústica, Imperium Rock, Mapa de Ruido, Niveles Sonoros, Mediciones de Ruido, Predicción Sonora.

Abstract

Noise pollution has become the main environmental problem for developed countries. To solve this problem, Noise Maps have been used, which represent a simulation of the propagation of noise levels through an isophone map. These Noise Maps have been made using different calculation methods for each type of noise source, making it difficult to compare and share information. For this reason, in 2018 the European Union approved a common calculation model for all types of noise sources, called CNOSSOS-EU. The objective of this project is to prepare the noise prediction map of the sound levels produced by the "Imperium Rock" music festival, located in Cartagena (Región de Murcia). For this, it is intended to use the new calculation method CNOSSOS-EU. In addition, other main objectives of the project consist of comparing the new calculation method CNOSSOS-EU with the old method commonly used ISO 9613-2 and proposing an alternative situation characterized by a new relocation of noise sources, as well as determining the effect on the dwellers produced by each of the noise prediction models. Finally, we proceed to analyze and compare the results, from which it is concluded that 10% of the dwellers of the study area is affected by noise levels greater than 55 dBA during daytime hours, while 65% is found by above the sound level of 45 dBA at night; or that the situation of relocating the noise sources would increase the sound levels received in residential areas, contrary to what would be initially thought.

Keywords: Noise pollution, Imperium Rock, noise map, noise levels, noise measurements, noise prediction.

Índice

1.	Introducción	7
1.1	Antecedentes.....	7
1.2	Objetivos	9
2.	Zona de estudio	10
3.	Normativa y legislación aplicable	11
4.	Equipos de medida y medios técnicos	12
5.	Fases del estudio acústico.....	13
5.1	Fase 1: Recopilación de información existente.....	13
5.2	Fase 2: Trabajo de campo	14
5.3	Fase 3: Definición de las fuentes sonoras	18
5.4	Fase 4: Alimentación del software de predicción sonora	19
6.	Cálculo del Modelo Predictivo y validación de resultados	23
7.	Resultados	28
7.1	Mapa de niveles sonoros - Método CNOSSOS situación actual.....	32
7.2	Mapa de niveles sonoros - Método ISO 9613-2 situación actual.....	33
7.3	Mapa de niveles sonoros - Método CNOSSOS situación alternativa	34
8.	Conclusiones.....	35
8.1	Diferencias entre método de cálculo CNOSSOS-EU e ISO 9613-2.....	35
8.2	Diferencias entre situación actual y situación alternativa mediante método de cálculo CNOSSOS-EU.....	37
8.3	Síntesis y exposición de conclusiones.....	40
	Bibliografía.....	42

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Portal web de Cartagena y Google Earth.....	10
Figura 2: Sonómetro SVANTEK 959. Fuente: Portal web de SVANTEK.	12
Figura 3: Ubicación de puntos de medida / receptores dentro del recinto.	15
Figura 4: Ubicación de puntos de medida / receptores fuera del recinto.	15
Figura 5: Visualización de fuentes sonoras en modelado 3D introducidas en modelo predictivo.....	18
Figura 6: Visualización de la cartografía de edificios introducida en modelo predictivo... ..	19
Figura 12: Espectro de emisión sonora de subwoofer en software predictivo IMMI....	21
Figura 13: Visualización en modelado 3D del modelo predictivo de la situación actual. ..	22
La figura anterior muestra el modelo predictivo de la situación actual en modelado 3D.	22
Figura 14: Coeficiente de correlación “r” entre el valor promediado medido y el valor calculado.....	26
Figura 15: Visualización de modelado 3D del modelo predictivo de la situación alternativa.	29
Figura 16: Visualización del nivel sonoro recibido en las edificaciones en modelado 3D de situación actual.	30
Figura 17: Mapa de niveles sonoros en receptores de la situación actual - CNOSSOS-EU.	31
Figura 18: Gráfico de población afectada total CNOSSOS-EU e ISO 9613-2.....	36
Figura 19: Gráfico de población afectada por encima de 60 dBA CNOSSOS-EU e ISO 9613-2.	36
Figura 20: Gráfico circular de porcentajes de población afectada CNOSSOS-EU e ISO 9613-2.	37
Figura 21: Gráfico de población afectada total para la situación actual y alternativa CNOSSOS-EU.....	37
Figura 22: Gráfico circular de porcentajes de población afectada en situación actual y alternativa - CNOSSOS-EU.	38
Figura 23: Mapa de niveles sonoros en receptores de la situación actual sin curvas de nivel.....	38
Figura 24: Diferencia de nivel sonoro en receptores entre situación actual con curvas de nivel y sin curvas de nivel.	39

Índice de tablas

Tabla 1: Niveles sonoros medidos <i>in situ</i> en el interior del recinto del evento.....	16
Tabla 2: Niveles sonoros medidos <i>in situ</i> en el exterior del recinto del evento.	17
Tabla 3: Diferencia entre valor promediado medido y valor calculado en los puntos interiores del recinto.....	24
Tabla 4: Diferencia entre valor promediado medido y valor calculado en los puntos exteriores del recinto.	25
Tabla 5: Escala de colores utilizada para la representación de los mapas sonoros.....	27
Tabla 6: Número de habitantes afectados en cada rango de intervalo sonoro.	30
Tabla 7: Comparativa entre mapas sonoros (situación actual) mediante método de cálculo CNOSSOS-EU e ISO 9613-2.	35
Tabla 7: Población sometida a niveles superiores a los valores límite establecidos y porcentaje de población afectada total mediante el método de cálculo CNOSSOS-EU e ISO 9613-2.	40

1. Introducción

1.1 Antecedentes

En las últimas décadas la contaminación acústica se ha convertido en uno de los factores medioambientales que causa mayor impacto en la calidad de vida de las personas. Los efectos principales derivados de su exposición, según la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA), se clasifican en: *efectos físicos*, como el aumento de la presión arterial o el insomnio; *efectos psicológicos*, como el estrés, la falta de rendimiento y la irritabilidad/agresividad; y los *efectos sociales* que se traducen en un descenso de la capacidad comunicativa. Este organismo también establece la contaminación acústica como la segunda causa de enfermedad por motivos medioambientales (por detrás de la contaminación atmosférica), proporcionando datos en Europa de 43 000 admisiones hospitalarias y unos 12 000 casos de muerte prematura cada año (<https://www.eea.europa.eu/es/highlights/previsiones-de-aumento-del-numero>). Debido a ello, se ha avanzado progresivamente en el desarrollo de diversas normativas con el objetivo de controlar y minimizar dicho contaminante.

Una de las maneras de poder parametrizar su propagación y afección es a través de mapas de isófonas de predicción sonora. Estos mapas consisten en la representación gráfica de la propagación del ruido en el medio ambiente, mediante la combinación de datos experimentales e interpolación de datos.

Hasta el año 2018, dependiendo del tipo de foco sonoro que se deseaba estudiar se podían utilizar diferentes modelos de cálculo, aunque los más comunes eran el método francés “NMPB-96” para tráfico rodado, el método “ISO 9613-2” para fuentes industriales y puertos, el método “ECAC.CEAC 29” para tráfico aéreo y el método holandés “RLM2” para tráfico ferroviario. Aun así, se podían realizar mapas predictivos de ruido con otros modelos de cálculo desarrollados.

Conscientes de la dificultad que esto suponía en el momento de comparar y compartir resultados entre los países miembros, la Unión Europea (UE) aprueba en 2018 un modelo de cálculo común para todos los tipos de focos sonoros, mediante la Orden PCI/1319/2018. Dicho modelo de cálculo se ha denominado como CNOSSOS-EU (Common NOise aSSessment methOdS in EUrope).

El objetivo de este trabajo final de máster reside en poder usar las herramientas disponibles en la actualidad para determinar el impacto acústico producido en la población por la realización del festival de música “Imperium Rock”, en la ciudad portuaria de Cartagena (Región de Murcia). Para ello se pretende utilizar el software de predicción sonora IMMI y el método de cálculo CNOSSOS-EU. También se quiere evaluar la decisión de la UE de estandarizar el método CNOSSOS-EU, comparando los resultados de la misma simulación con el método definido en la ISO 9613-2, el cual era utilizado normalmente para este tipo de proyectos.

Así pues, el presente Trabajo Final de Máster (TFM) queda estructurado en los siguientes capítulos:

- **1.- Introducción:** Se expone la situación actual en la que se encuentra la contaminación acústica y se explican los objetivos principales que se persiguen con la realización del presente TFM, así como los objetivos secundarios que se desarrollan en él.
- **2.- Zona de estudio:** Se explican la ubicación de la zona de estudio en la que se desarrolla el festival de música que corresponde a un entorno urbano en la población de Cartagena, así como las características principales del tipo de evento que se va a celebrar.
- **3.- Normativa y legislación aplicable:** En este capítulo se expone la legislación vigente en materia de ruido tanto nacional como local que afecta a este proyecto.
- **4.- Equipos de medidas y medios técnicos:** En él se exponen la instrumentación y software utilizado para llevar a cabo este TFM.
- **5.- Fases del estudio acústico:** Es este capítulo se divide el proyecto en diferentes fases de trabajo: Recopilación de información, Definición de las fuentes sonoras, Trabajo de campo, Alimentación del software de predicción sonora para facilitar su desarrollo.
- **6.- Cálculo del modelo predictivo y validación de resultados:** Se exponen los métodos y modelos de cálculo utilizados para validar y contrastar los resultados obtenidos en la situación actual y, poder así, elaborar una situación alternativa.

- **7.- Resultados:** Se muestran los resultados obtenidos de los diferentes modelos de cálculo y su comparación.
- **8.- Conclusiones:** En él se realiza el análisis del resultado obtenidos y se presentan las conclusiones obtenidas.

1.2 Objetivos

Los principales objetivos que se persiguen con el presente proyecto consisten en:

- Determinar la afección acústica causada por la realización del evento, mediante mapa predictivo de ruido con el método común en la Unión Europea CNOSSOS-EU (situación actual).
- Elaborar una comparativa entre el antiguo método “ISO 9613-2”, utilizado anteriormente para este tipo de proyectos, y el nuevo modelo CNOSSOS-EU, destacando las diferencias entre ambos métodos de cálculo (situación actual).
- Desarrollar una situación alternativa mediante el modelo CNOSSOS-EU, en la que se propone una situación diferente de escenario y evaluar si dicho cambio en el modelo predictivo es favorable o desfavorable respecto a la situación actual, sirviendo así de información de apoyo para futuras ediciones del festival de música.
- Determinar el mapa de afección sonora que contiene los datos sobre las viviendas y la población afectada para cada uno de los rangos de intervalos de niveles sonoros que se establezcan y para cada uno de los 3 modelos sonoros representados.

Objetivos secundarios:

- Aprender a elaborar modelos de predicción sonora mediante el software de cálculo IMMI.
- Conocer la legislación vigente en materia de ruido, así como su aplicación.
- Realizar mediciones acústicas en exterior y poder desarrollar en mayor grado el manejo del equipo de medida.

2. Zona de estudio

El festival de música “Imperium Rock” se pretende realizar en el término municipal de Cartagena, ciudad costera situada en el sureste de la Región de Murcia. La comarca de Cartagena presenta una superficie de 1855,14 km² y, a fecha de 1 de enero de 2022, posee una población de 409 586 habitantes (información extraída de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística).

En nuestro caso, el estudio se va a focalizar en la ciudad de Cartagena, la cual posee una superficie de 558,1 km² y una población de 216 365 habitantes. Dentro de la ciudad de Cartagena, la zona objeto de estudio donde se va a desarrollar el festival musical se corresponde con la zona portuaria, más concretamente en una explanada cubierta de césped denominada “La Cuesta del Batel” (ver figura 1).

Respecto a la zona en la que se ubica el festival musical, podemos observar el puerto marítimo de Cartagena en la zona sur, mientras que por los flancos (Norte, Este y Oeste) se encuentra rodeado de zonas residenciales. Cabe destacar que, si bien existen edificios docentes (facultades de la Universidad Politécnica de Cartagena) muy próximas al recinto, la celebración del evento no coincide en días y horarios (fin de semana) en los que estos edificios se encuentran en uso, por lo que podemos considerar el entorno como zona residencial. De acuerdo con la información proporcionada por la organización del festival, el evento se pretende realizar los días 24 y 25 de junio de 2022 durante el horario comprendido entre las 14:30 – 02:00 horas, por lo que se desarrollará durante las 3 franjas horarias (diurna, vespertina y nocturna). El festival se llevará a cabo en un recinto al aire libre cuya superficie es aproximadamente de 21 600 m² y con un aforo previsto de 40 000 personas. El escenario que se va a instalar tiene unas dimensiones de 60 m x 27 m (ancho x largo).

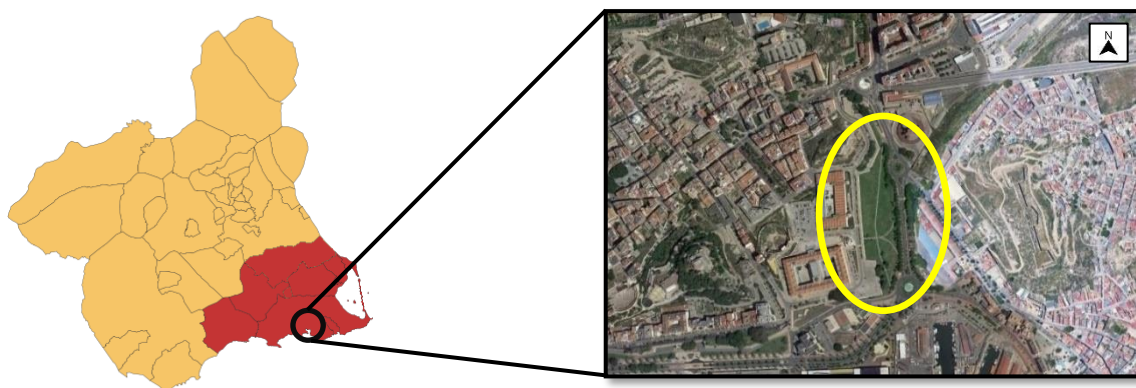


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio. **Fuente:** Portal web de Cartagena y Google Earth.

3. Normativa y legislación aplicable

Para la realización de este estudio se han seguido las especificaciones y recomendaciones de la legislación vigente aplicable a la realización de mapas de ruido, así como normas y recomendaciones internacionales. La documentación de referencia utilizada se expone a continuación:

Legislación Europea:

- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

Legislación Nacional:

- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Orden PCI/1319/2018, de 7 de diciembre, por la que se modifica el Anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a la evaluación del ruido ambiental.

Legislación Autonómica y Municipal:

- Ley 4/2009, de 14 de mayo, de Protección Ambiental Integrada de la Región de Murcia.
- Decreto regional número 48/1998, de 30 de julio, de protección del medio ambiente contra el ruido.
- Ordenanza municipal sobre protección del medio ambiente contra la emisión de ruidos y vibraciones. Cartagena, enero de 2021.

Documentación de Referencia:

- "Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. Version2, WG-AEN, 2006".

4. Equipos de medida y medios técnicos

A continuación, se describe el equipo de medida utilizado durante la toma de datos en campo.

- Sonómetro SVANTEK 959 - N.º Serie: 28375 (Clase 1)
- Preamplificador SVANTEK SV 12L – N.º Serie 47666 (Clase 1)
- Micrófono Prepolarizado G.R.A.S. 40AE 1/2" Campo libre - N.º Serie 221489 (Clase 1)
- Calibrador CESVA CB006 - N.º Serie: 0902910 (Clase 1)
- Pantalla antiviento SVANTEK
- Trípode BOSCH PROFESSIONAL (de altura ajustable entre 55 y 157 cm)
- Anemómetro PROSTER ANEMOMETER



Figura 2: Sonómetro SVANTEK 959. **Fuente:** Portal web de SVANTEK.

Los softwares utilizados para la gestión de los datos y para elaboración del mapa estratégico de ruido han sido:

- Svantek - SvanPC++ Advanced PC (descarga/tratamiento datos sonómetro)
- Software de predicción sonora IMMI 2021 (elaboración de mapas predictivos)
- qSIG 3.26.0 (sistema de información geográfica)
- AutoCAD 2022 (diseño)

5. Fases del estudio acústico

Con el fin de facilitar todo el proceso que conlleva la realización de un mapa de predicción sonora, se ha hecho notoria la necesidad de subdividir el procedimiento en diferentes etapas. Estas fases presentan tanto trabajos de gabinete como los estudios de campo que se han realizado. Por tanto, podemos dividir todas las etapas que se han llevado a cabo para la elaboración de los modelos predictivos en las siguientes fases:

- Fase 1: Recopilación de información existente
- Fase 2: Trabajo de campo
- Fase 3: Definición de las fuentes sonoras
- Fase 4: Alimentación del software de predicción sonora

5.1 Fase 1: Recopilación de información existente

Esta fase es considerada el pilar más importante para una correcta elaboración de los modelos predictivos, debido a que cualquier equivocación en la recopilación y gestión de la información necesaria para el desarrollo del proyecto puede afectar a las siguientes fases. Por ello, la cartografía de los edificios, curvas de nivel del terreno, planos de las instalaciones del evento, número y ubicación del equipo sonoro que se pretende instalar, datos técnicos de los focos sonoros o la base de datos de la población censada son algunos de los datos que es necesario recopilar con precisión.

Cabe destacar que la información obtenida inicialmente ha tenido que someterse a la ardua tarea de ser actualizada y modificada para adaptarla a los requerimientos necesarios en el software predictivo.

Estos trabajos han consistido principalmente en eliminar toda información no necesaria de la cartografía, generar nuevos edificios no incluidos en la cartografía original, ordenar todas estas entidades en diferentes capas de acuerdo con su altura, generar curvas de nivel con Modelos Digitales del Terreno (MDT), etc.

5.2 Fase 2: Trabajo de campo

La fase del trabajo de campo ha consistido principalmente en la realización de mediciones sonoras en distintos puntos y distancias de los focos sonoros. Los datos obtenidos en las mediciones sonoras permitirán validar el modelo predictivo y asegurar de que se obtienen unos resultados fiables y óptimos. Además, también se han realizado mediciones sonoras a distintas distancias cercanas a los focos sonoros para poder parametrizar sus niveles de potencia (espectro de emisión), el cual va a ser necesario para la elaboración de los modelos predictivos.

Para las mediciones sonoras, se ha utilizado el parámetro denominado $L_{Aeq,T}$, el cual promedia el nivel sonoro en ponderación A medido durante un periodo de tiempo T y con ponderación *fast*, es decir, cada 0,125 s. Respecto a la posición del sonómetro, se ha situado a una altura de 1,5 m del suelo con 2 m de separación mínima respecto a cualquier pared u obstáculo situado en sus proximidades.

Debido a la peculiaridad de las fuentes sonoras (altavoces para música en directo), se ha considerado necesario realizar mediciones sonoras de una duración mínima de 30 segundos cada una. Esta decisión ha permitido poder recoger en cada medición zonas pico y zonas valle de canciones cuyo nivel sonoro no se mantiene constante en el tiempo. Con la finalidad de obtener valores que sean lo más representativos posible, se han realizado 3 series de medida para cada punto de medición, separadas entre sí temporalmente unos 30 minutos aproximadamente. Las mediciones sonoras en el interior se han llevado a cabo durante las pruebas de funcionamiento y sonido (23/06/2022), mientras que las ubicadas en los diferentes puntos del exterior del recinto se han realizado durante los días que se ha llevado a cabo el evento (24/06/2022) (ver tabla 1 y 2). Las condiciones meteorológicas durante las mediciones sonoras se encuentran entre 26-32 °C para la temperatura, 65-75 % para la humedad relativa y entre 1-3 m/s para la velocidad del viento, con dirección Norte. Estas condiciones meteorológicas se consideran normales de la zona de estudio.

Se han seleccionado un total de 25 puntos de medición (ver figura 3 y 4), previamente seleccionados mediante un estudio *in situ*, garantizando que sean lo más representativos posible para validar los modelos predictivos. Los 25 puntos de medición se dividen en 12 puntos repartidos en el espacio interior del recinto del evento y 13 puntos en el exterior, seleccionados en base a la ubicación de las viviendas más próximas y de zonas que se han considerado representativas para la validación de los modelos predictivos.

Las siguientes imágenes muestran la ubicación de los receptores (los cuales coinciden con la ubicación de los puntos de medida) en el software de predicción sonora IMMI:



Figura 3: Ubicación de puntos de medida / receptores dentro del recinto.

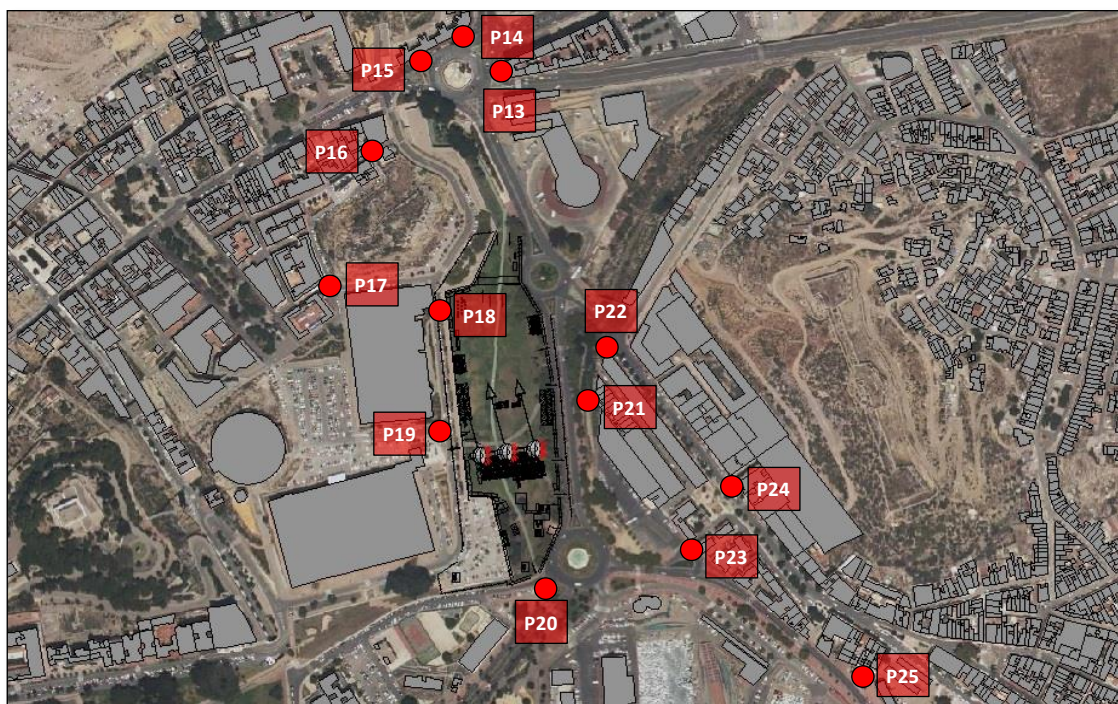


Figura 4: Ubicación de puntos de medida / receptores fuera del recinto.

A continuación, se muestra una tabla con la ubicación de los puntos de medida, así como el valor obtenido en cada uno de ellos para cada serie de medida y el valor promedio:

Tabla 1: Niveles sonoros medidos *in situ* en el interior del recinto del evento.

PUNTO DE MEDICIÓN	UBICACIÓN RECINTO	COORDENADAS UTM	LAeq,T VALOR MEDIDO			LAeq,T VALOR PROMEDIADO (dBA)
			SERIE 1 (dBA)	SERIE 2 (dBA)	SERIE 3 (dBA)	
P1	Interior	X = 678552 Y = 4163434	107,6	106,4	105,8	106,6 ± 0,9 ⁽¹⁾
P2		X = 678551 Y = 4163439	104,5	103,2	103,4	103,7 ± 0,7
P3		X = 678550 Y = 4163404	94,3	93,2	92,6	93,4 ± 0,9
P4		X = 678550 Y = 4163403	96,7	97,8	95,7	96,7 ± 1,1
P5		X = 678531 Y = 4163478	96,5	94,3	94,0	94,9 ± 1,4
P6		X = 678562 Y = 4163468	93,0	93,2	94,7	93,6 ± 0,9
P7		X = 678555 Y = 4163518	88,2	90,4	88,7	89,1 ± 1,2
P8		X = 678530 Y = 4163501	87,5	86,3	88,4	87,4 ± 1,1
P9		X = 678519 Y = 4163548	86,4	87,3	87,0	86,9 ± 0,5
P10		X = 678540 Y = 4163577	85,4	85,7	84,3	85,1 ± 0,7
P11		X = 678542 Y = 4163593	82,1	81,5	81,0	81,5 ± 0,6
P12		X = 678553 Y = 4163403	85,6	88,0	85,2	86,3 ± 1,5

⁽¹⁾ Desviación estándar de las mediciones sonoras.

Tabla 2: Niveles sonoros medidos *in situ* en el exterior del recinto del evento.

PUNTO DE MEDICIÓN	UBICACIÓN RECINTO	COORDENADAS UTM	LAeq,T VALOR MEDIDO			LAeq,T VALOR PROMEDIADO (dBA)
			SERIE 1 (dBA)	SERIE 2 (dBA)	SERIE 3 (dBA)	
P13	Exterior	X = 678537 Y = 4163794	78,5	75,3	75,6	76,5 ± 1,8
P14		X = 678513 Y = 4163818	75,4	74,5	76,7	75,5 ± 1,1
P15		X = 678471 Y = 4163815	70,4	71,7	70,3	70,8 ± 0,8
P16		X = 678426 Y = 4163712	57,2	57,6	57,8	57,5 ± 0,3
P17		X = 678379 Y = 4163587	56,0	57,4	56,9	56,8 ± 0,7
P18		X = 678475 Y = 4163549	86,2	84,6	84,2	85,0 ± 1,1
P19		X = 678486 Y = 4163456	90,5	91,7	92,4	91,5 ± 1,0
P20		X = 678580 Y = 4163308	80,4	81,3	81,5	81,1 ± 0,6
P21		X = 678610 Y = 4163485	83,6	84,2	84,3	84,0 ± 0,4
P22		X = 678644 Y = 4163527	81,4	80,3	84,2	82,0 ± 2,0
P23		X = 678726 Y = 4163329	72,7	76,3	76,2	75,1 ± 2,1
P24		X = 678761 Y = 4163397	69,2	68,3	65,2	67,6 ± 2,1
P25		X = 678894 Y = 41631889	65,3	67,8	64,3	65,8 ± 1,8

5.3 Fase 3: Definición de las fuentes sonoras

En el presente estudio, las fuentes sonoras se corresponden a altavoces utilizados durante el desarrollo del festival de música. De acuerdo con la documentación proporcionada por la empresa instaladora del equipo sonoro, se pretenden introducir un total de 51 altavoces, distribuidos en 3 sistemas de array (14 altavoces en cada array, ubicados en forma descendente a partir 14 m de altura y separados entre sí 40 cm) y 3 sistemas de subwoofers (compuestos por 3 altavoces cada uno y separados entre sí 1,5 m). Los altavoces que componen el sistema de array se corresponden con el modelo "J 12" y los subwoofers con el modelo "J SUB", de la empresa "d&b audiotechnik".

La veracidad de estos datos se ha comprobado durante el trabajo de campo, coincidiendo en su totalidad con el equipo sonoro instalado en el festival.

El espectro de emisión sonora no ha podido ser proporcionado por la documentación obtenida de la organización, por lo que durante la fase de datos se ha procedido a parametrizar el espectro sonoro de cada tipo de fuente.

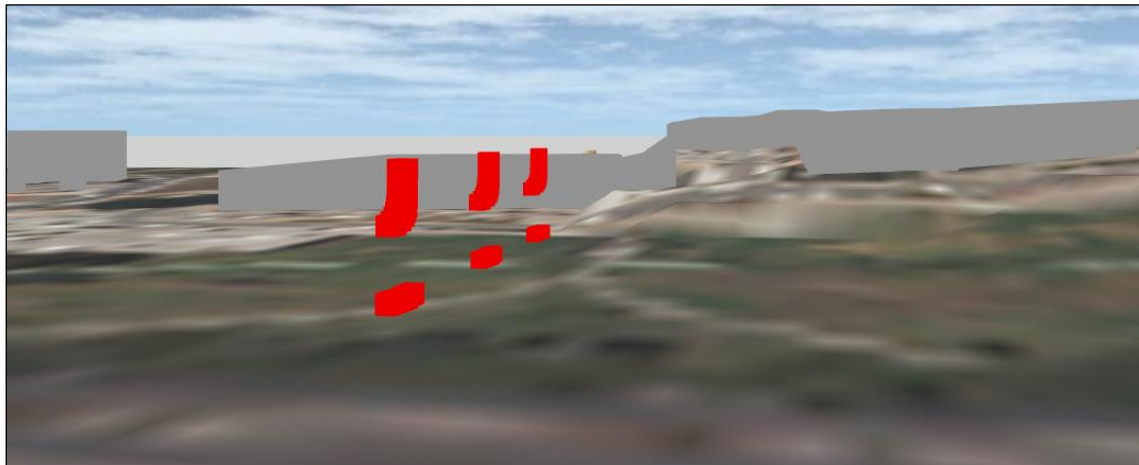


Figura 5: Visualización de fuentes sonoras en modelado 3D introducidas en modelo predictivo.

5.4 Fase 4: Alimentación del software de predicción sonora

Como se ha explicado en los apartados anteriores, toda la información que se ha introducido en el software predictivo IMMI deriva de los resultados obtenidos en las fases realizadas. Los parámetros introducidos más importantes son los siguientes:

- **Cartografía de edificaciones:** Las distintas capas de edificios ordenadas en AutoCAD según el número de plantas que posee cada una, se importan atendiendo a su altura. Para ello se ha dotado de una altura de 3 metros a las edificaciones de planta única, 6 metros a los edificios de dos alturas y así sucesivamente. Los edificios más modernos que no se encontraban representados en la cartografía actual, se han recreado mediante foto aérea.

La cartografía en formato DWG (especial para AutoCAD) ha sido proporcionado por los servicios técnicos del departamento de urbanismo del Excmo. Ayuntamiento de Cartagena.

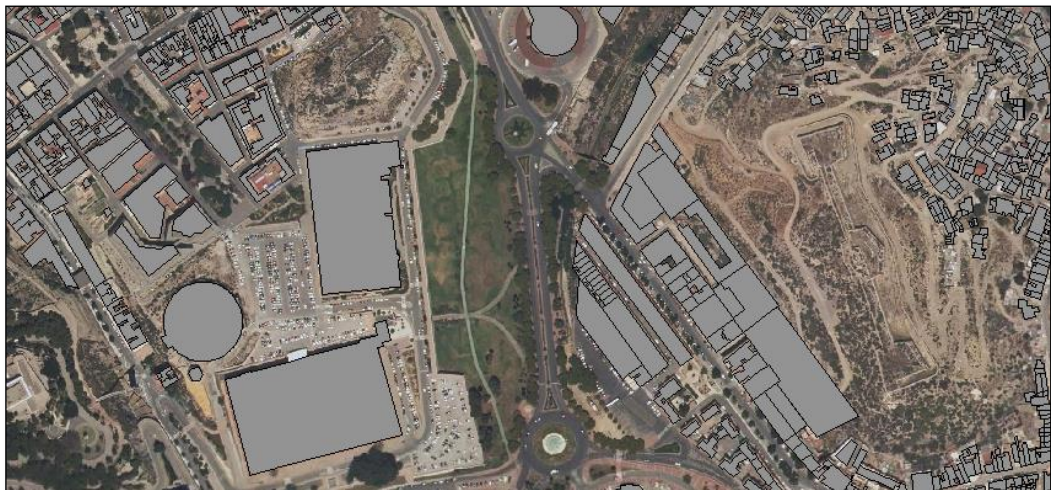


Figura 6: Visualización de la cartografía de edificios introducida en modelo predictivo.

- **Receptores:** Se implementan los diferentes puntos de medidas realizadas, a través de sus coordenadas UTM, como receptores de 1,5 metros de altura, y se introducen los valores de los niveles sonoros obtenidos (dBA) durante el trabajo de campo. Estos parámetros servirán para validar los modelos predictivos.

Los datos obtenidos de las mediciones sonoras realizadas dentro del recinto del festival se han utilizado también para parametrizar el nivel de emisión y espectro de las fuentes sonoras (niveles de potencia en 1/1 octava en dBA).

- Curvas de nivel:** Se han obtenido a través de MDT descargados a través del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) mediante la web <http://centrodedescargas.cnig.es/>. El modelo se ha obtenido en mediante el sistema de coordenadas de referencia ETRS89/UTM zona N30, en formato ráster. Mediante qSIG se han seleccionado todos los nodos de la capa ráster con las mismas propiedades de alturas para crear la capa de vectores de curvas de niveles, distantes entre sí por 5 metros de altura.

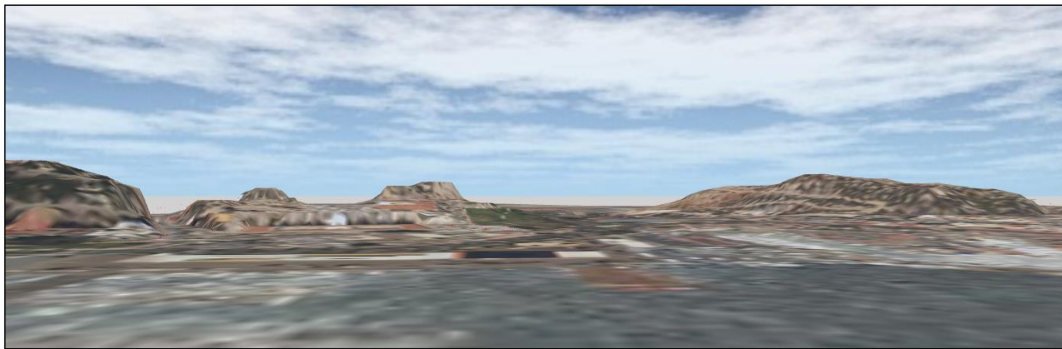


Figura 7: Curvas de nivel introducidas en modelado 3D en introducidas en modelo predictivo.

- Fuentes sonoras:** Para su implementación en el software predictivo, se ha debido tener en cuenta de cada una de las fuentes sonoras sus coordenadas para su ubicación, la altura, la orientación y el espectro de emisión sonora. Las siguientes figuras muestran los parámetros introducidos en el modelo predictivo.

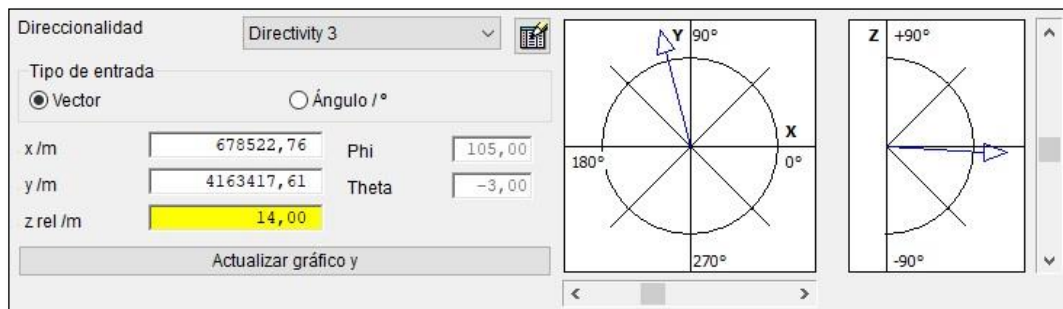


Figura 8: Orientación y ubicación en 3 coordenadas (x,y,z) de altavoz n.º 1 del array.

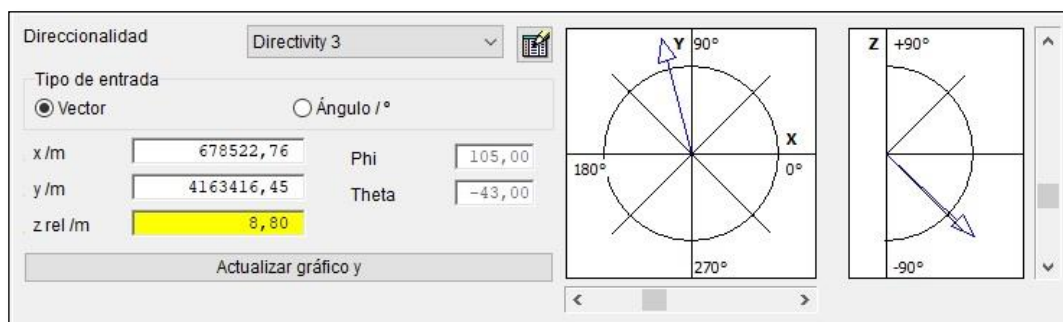


Figura 9: Orientación y ubicación en 3 coordenadas (x,y,z) de altavoz n.º 14 del array.

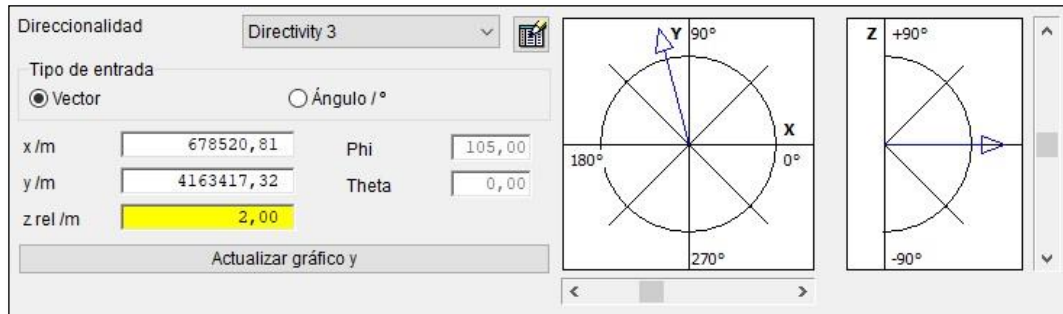


Figura 20: Orientación y ubicación en 3 coordenadas (x,y,z) de un subwoofer.

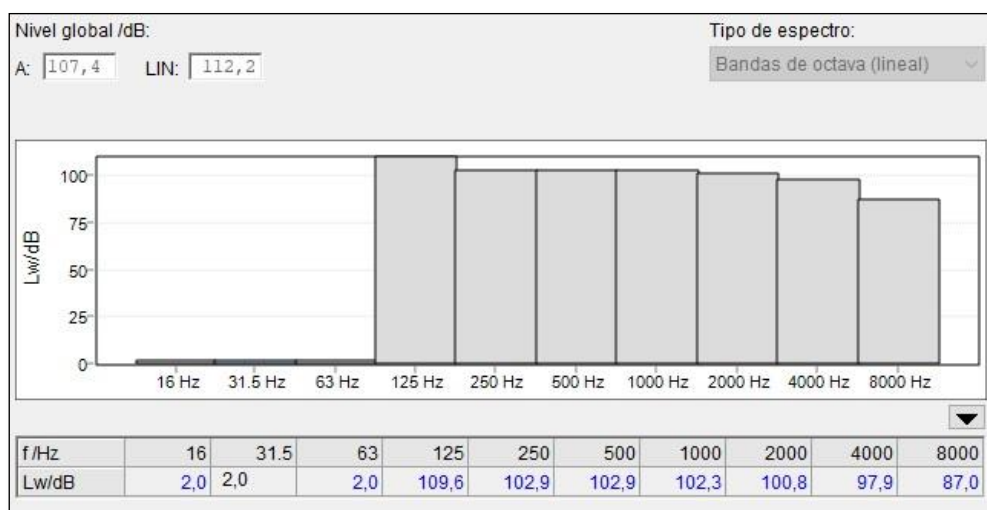


Figura 11: Espectro de emisión sonora de altavoz de array en software predictivo IMMI.

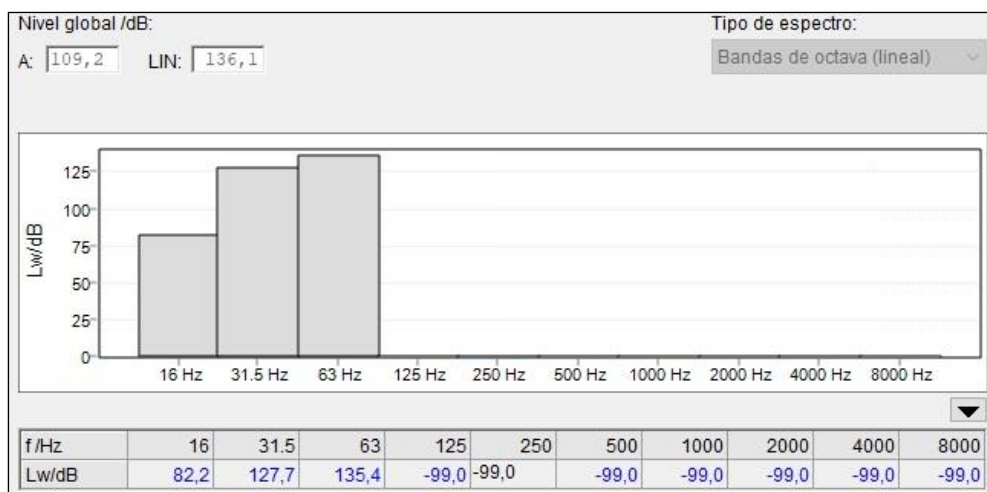


Figura 12: Espectro de emisión sonora de subwoofer en software predictivo IMMI.

- **Población:** Para poder introducir este dato en el software predictivo, se ha tenido que obtener la población censada en la zona de estudio mediante la base de datos del catastro. A través de la información contenida en dicha base de datos, se ha generado una cobertura de puntos en qSIG (capa ráster), en la cual cada punto posee información de las coordenadas y población, entre otros datos. De esta forma, a cada edificio se le asignó el valor de población del nodo más próximo a él por algebra de mapas mediante su ubicación.

Otros datos de interés

- El método de corrección meteorológica introducido es el medido durante la fase de trabajo de campo. La humedad relativa introducida ha sido de 70%, mientras que la velocidad del viento ha sido de 2 m/s y dirección norte (del escenario al público y zona residencial). El software de predicción sonora permite corregir otros parámetros climatológicos mediante la opción de propagación favorable, desfavorable o estándar, se ha seleccionado la opción estándar.
- Se han establecido dos zonas con una malla de “*Ground Regions*” con su “*Ground Factor*” específico (coeficiente de absorción) al considerarse zonas del terreno muy absorbentes. Una de ella se corresponde con la zona de público dentro del recinto que, al albergar a 40 000 personas, se le ha dado un coeficiente de absorción de 1. La otra malla se ubica en un montículo de tierra situado en el noreste de la zona de estudio. El resto de los parámetros no se han modificado, dejando los que propone el programa por defecto para cada método.

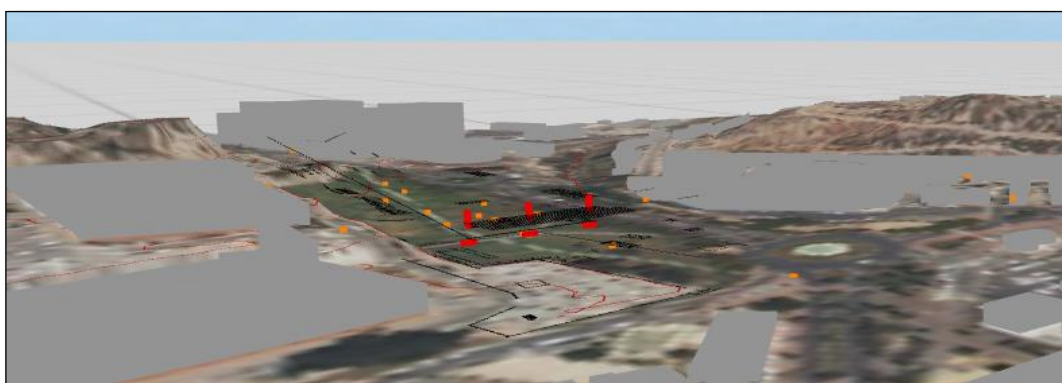


Figura 13: Visualización en modelado 3D del modelo predictivo de la situación actual.

La figura anterior muestra el modelo predictivo de la situación actual en modelado 3D. En rojo se representan las fuentes sonoras y en naranja los puntos de receptores, mientras que las edificaciones están representadas en gris.

6. Cálculo del Modelo Predictivo y validación de resultados

Todos los trabajos realizados en el presente proyecto se han basado en las definiciones y especificaciones de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental; la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, los Reales Decretos que la desarrollan y la Orden PCI/1319/2018, de 7 de diciembre, por la que se modifica el Anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre. Además de seguir todas las recomendaciones descritas para la elaboración de mapas de ruido en el documento Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated on Noise Exposure elaborados por el grupo de trabajo de la Comisión Europea sobre evaluación de la exposición al ruido (WG-AEN).

Uno de los objetivos de la Directiva Europea es el uso de métodos comunes de evaluación en todos los estados miembros. Por ello, en la elaboración de los mapas estratégicos de ruido se emplea un software predictivo (IMMI) que contempla los métodos recomendados por la Directiva Europea para la determinación de mapas de ruido. En el presente proyecto se ha empleado una metodología que combina este método de predicción sonora con la realización de medidas de los niveles sonoros “*in situ*”, realizadas en las fases previas al desarrollo de los mapas de ruido, que permiten, además de completar la información generada, validar la representatividad de sus exactitudes.

Con el fin de comparar la precisión de los resultados arrojados por los modelos predictivos, se crean los denominados receptores (puntos de validación), cuya situación coincide con los puntos en los que se efectuaron mediciones. En los receptores el software de predicción proporciona valores numéricos. Comparando los niveles sonoros medidos y los valores obtenidos por el software predictivo podemos comprobar la fidelidad de los modelos predictivos.

A continuación, se muestra una tabla comparativa de los valores medidos en cada punto y del valor generado en dichos puntos por el software de predicción sonora, así como la diferencia entre ambos:

Tabla 3: Diferencia entre valor promediado medido y valor calculado en los puntos interiores del recinto.

PUNTO DE MEDICIÓN	LAeq, T VALOR PROMEDIADO MEDIDO (dBA)	LAeq, T VALOR CALCULADO IMMI (dBA)	LAeq, T DIFERENCIA IMMI-MEDIDO (dBA)
P1	106,6	109,2	-2,6
P2	103,7	102,4	1,3
P3	93,4	95,3	-1,9
P4	96,7	96,1	0,6
P5	94,9	94,7	0,2
P6	93,6	93,5	0,1
P7	89,1	91,2	-2,1
P8	87,4	90,8	-3,4
P9	86,9	88,1	-1,2
P10	85,1	86,0	-0,9
P11	81,5	83,6	-2,1
P12	86,3	86,2	0,1

Una diferencia menor de 3 dBA se considera válida por ser equivalentes a variaciones de presión sonora provocadas por agentes externos ajenos a nuestro control (condiciones climatológicas, ruidos de tráfico, vecinales, etc.).

Se puede apreciar en la tabla anterior que todos los valores de los puntos de medición varían en menos de 3 dBA respecto al valor calculado por el software de predicción, excepto el punto P8. Como se ha explicado anteriormente, cabe recordar que el nivel de emisión de las fuentes sonoras no es constante, por lo que esa diferencia levemente superior a 3 dBA en el punto P8 se puede considerar como válida.

Los valores de los receptores ubicados en el interior del recinto del festival son más sencillos de validar, debido a que no se encuentran afectados por las reflexiones de edificaciones, ruidos ajenos a las fuentes sonoras y orientación de la emisión de ruido incide de forma directa sobre ellos.

Tabla 4: Diferencia entre valor promediado medido y valor calculado en los puntos exteriores del recinto.

PUNTO DE MEDICIÓN	LAeq, T VALOR PROMEDIADO MEDIDO (dBA)	LAeq, T VALOR CALCULADO IMMI (dBA)	LAeq, T DIFERENCIA IMMI-MEDIDO (dBA)
P13	76,5	75,2	1,3
P14	75,5	76,4	-0,9
P15	70,8	69,2	1,6
P16	57,5	55,7	1,8
P17	56,8	61,1	-4,3
P18	85,0	85,3	-0,3
P19	91,5	89,2	2,3
P20	81,1	78,8	2,3
P21	84,0	88,1	-4,1
P22	82,0	83,2	-1,2
P23	75,1	75,6	-0,5
P24	67,6	71,3	-3,7
P25	65,8	66,2	-0,4

En el caso de los puntos de medición en el exterior del recinto, al estar ubicados en zonas residenciales pueden verse afectados los niveles sonoros medidos por ruidos ajenos a las fuentes sonoras como el ruido vecinal, de tráfico, etc. De los 12 puntos de medición realizados en el exterior, únicamente 3 puntos (P17, P21 y P24) de los valores calculados presentan diferencias levemente superiores a 3 dBA. Estas diferencias pueden deberse a los factores externos explicados.

En total, de los 25 puntos de medición realizados (interior y exterior del recinto), 4 puntos de medida presentan una diferencia levemente superior a 3 dBA entre el valor promedio medido y el valor calculado por el software predictivo. Se puede observar como los valores calculados son generalmente superiores a los valores medidos, lo que supone que los modelos de predicción sonora se encuentran una casuística más desfavorable.

Hasta el momento no existe ninguna normativa ni recomendación de buenas prácticas que recoja valores preestablecidos para validar los resultados obtenidos. Por lo que, de acuerdo con las diferencias entre los valores obtenidos y los medidos “*in situ*”, en términos generales, podemos considerar los modelos predictivos calculados como satisfactorios. Esto también queda demostrado en la siguiente comparativa (ver figura 14).

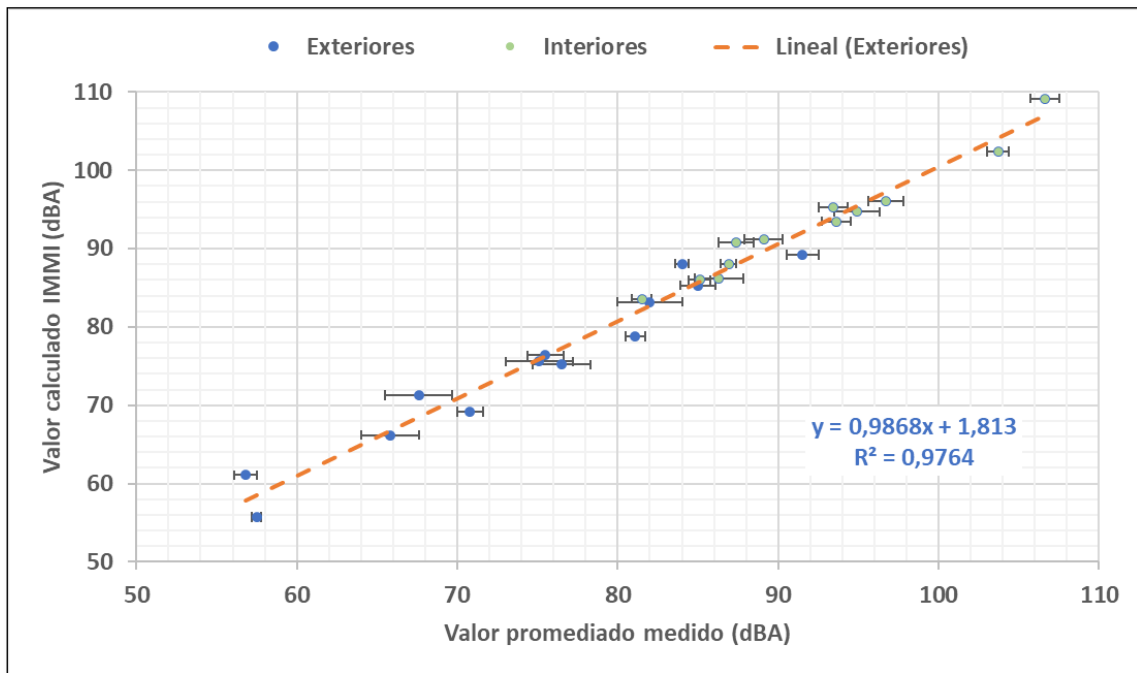


Figura 14: Coeficiente de correlación “r” entre el valor promediado medido y el valor calculado.

Como se puede apreciar en la gráfica anterior, el coeficiente de correlación “R²” se encuentra muy próximo a la unidad (0.9764), lo que permite asegurar la validación del modelo predictivo.

Una vez validados los modelos predictivos, se procede a calcular los mapas sonoros de isófonas. El software requiere la definición de una malla o “grid” que delimite la zona de cálculo. Esta malla establece un receptor en cada uno de sus nodos (lo que equivaldría a colocar un sonómetro en cada nodo).

La resolución de la malla durante los primeros modelos generados ha sido de 10 m x 10 m; es decir, el programa completa el interior de la malla de receptores separados 10 metros unos de otros.



Una vez validados los modelos predictivos, se han recalculado todos los mapas sonoros de isófonas mediante una malla de una resolución de 5 m x 5 m, generando una malla de 131 052 nodos, con la finalidad de aumentar la definición de los resultados. La altura del punto de evaluación de los índices de ruido, es decir la malla que delimita el área de cálculo, se ha fijado en 4 metros. Esta altura es la establecida en el Anexo II Real Decreto 1367/2007 para la realización de mapas de ruido.

Finalmente, después de introducir todos los datos en el programa de cálculo, se ha procedido a definir una escala de colores asociados a los distintos intervalos de niveles sonoros establecidos para trazar la afección sonora sobre la población producida por la realización del festival de música.

Debido a que no existe una escala de colores oficiales para proyectos de este tipo, se han seleccionado los colores establecidos para desarrollo de la 4ª Fase (2022) de los Mapas Estratégicos de Ruidos (MERs) en aglomeraciones urbanas. La siguiente figura muestra la citada escala de colores. Estos rangos de intervalos de 5 dBA se establecen desde < 50 dBA a > 70 dBA, encontrándose reflejados en el documento denominado “Instrucciones para la entrega de los datos asociados a los mapas estratégicos de ruidos y planes de acción contra el ruido de la cuarta fase (marzo, 2022)”, extraído de la web SICA (Sistemas de Información sobre Contaminación Acústica) perteneciente al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y exigidos por el mismo.

Debido a que esta escala de colores no presenta rangos de intervalos inferiores a 50 dBA ni superiores a 70 dBA, y considerando que los intervalos de niveles sonoros que no se han definido son esenciales para este proyecto, se han completado los colores publicados para el desarrollo de los MERs en aglomeraciones urbanas con los siguientes:

Tabla 5: Escala de colores utilizada para la representación de los mapas sonoros.

Rango (dBA)	Descripción	Red	Green	Blue	Legenda
< 45	Transparente	0	0	0	
45 - 50	Azul claro	134	255	255	 45-50 dBA
50 - 55	Verde	119	238	0	 50-55 dBA
55 - 60	Amarillo	255	255	0	 55-60 dBA
60 - 65	Ocre	255	195	134	 60-65 dBA
65 - 70	Naranja	255	138	21	 65-70 dBA
70 - 75	Rojo	255	0	0	 70-75 dBA
75 - 80	Magenta	255	2	255	 75-80 dBA
80 - 85	Malva	185	115	255	 80-85 dBA
85 - 90	Lila	138	21	255	 85-90 dBA
90 - 95	Azul	0	0	219	 90-95 dBA
> 95	Azul marino	0	0	106	 >95 dBA

7. Resultados

Como se ha explicado anteriormente, los cálculos de los modelos predictivos se han realizado para 3 casuísticas diferentes:

- Modelización de mapa predictivo de ruido con el método común en la Unión Europea CNOSSOS-EU (situación actual).
- Modelización mediante el antiguo método “ISO 9613-2”, utilizado anteriormente para este tipo de proyectos, y el nuevo modelo CNOSSOS-EU, destacando las diferencias entre ambos métodos de cálculo (situación actual).
- Modelización de medidas correctoras que permitan disminuir la afección sonora sobre la población para futuras ediciones del festival de música mediante el modelo CNOSSOS-EU (situación alternativa).

Se debe mencionar que el software IMMI está diseñado para estudiar la propagación del sonido originado por fuentes sonoras puntuales. Esto presenta ciertas limitaciones a la hora de simular altavoces directivos en forma de array: no permite tener en cuenta su directividad ni decidir si la suma de la señal debe ser coherente o incoherente. A pesar de ello, sí permite seleccionar un punto de máxima cobertura, lo que se ha aprovechado para orientar cada fuente. Este procedimiento parece haber obtenido cierto resultado positivo, ya que se han logrado resultados simulados comparables a los experimentales (validación del modelo de simulación). Se puede concluir que los focos sonoros han quedado bien parametrizados aun conociendo las limitaciones presentadas por el software para este tipo de eventos.

Modelo de predicción sonora de situación actual - método ISO 9613-2

En la elaboración del modelo predictivo realizado con el método de cálculo ISO 9613-2, únicamente se han modificado el tipo de fuente sonora respecto al método de cálculo CNOSSOS-EU de la situación actual. El software de predicción sonora IMMI permite cambiar el método de cálculo para fuentes sonoras.

Modelo de predicción sonora de situación alternativa - método CNOSSOS-EU

Se pretende realizar un modelo de predicción sonora con una nueva ubicación del escenario, con la finalidad poder evaluar una situación diferente y determinar si es más favorable o desfavorable respecto a la situación actual. De esta forma se obtiene un modelo predictivo de una situación alternativa con el método CNOSSOS-EU. Los cambios introducidos han consistido en la reubicación del escenario y de las fuentes sonoras. De esta forma se han girado 180 ° y reubicados en la zona norte del recinto, cambiando así su orientación hacia el sur (zona portuaria). Los demás parámetros se han mantenido exactamente igual que el modelo de la situación actual.

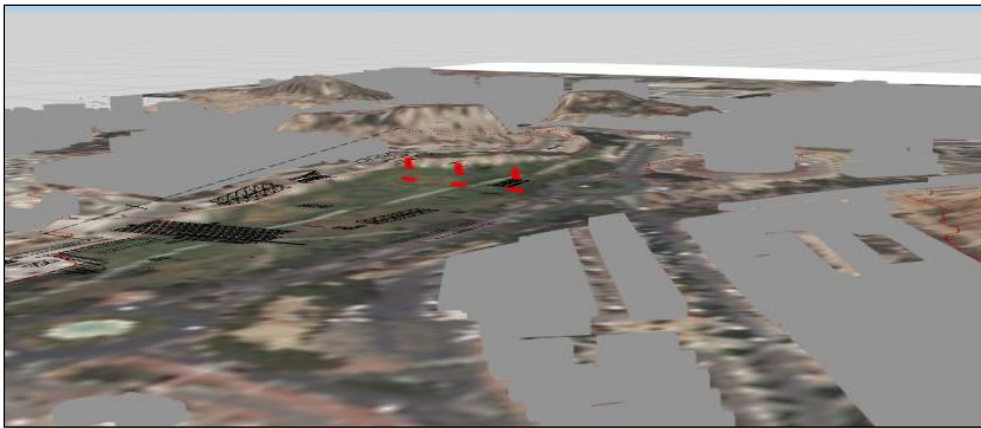


Figura 15: Visualización de modelado 3D del modelo predictivo de la situación alternativa.

Población afectada

El cálculo de la población afectada a los distintos rangos de intervalos de los niveles sonoros se ha calculado mediante el método CNOSSOS-EU, el cual divide el número de personas residentes en un edificio entre el número de caras del edificio y asigna ese valor a la fachada que presente un mayor nivel sonoro incidente. Como se ha explicado anteriormente, se ha asociado una base de datos del catastro a la ubicación de los edificios del modelo predictivo.

Esto permite poder obtener el número de población que se encuentra sometida a cada uno de los rangos del intervalo de niveles sonoros calculado (ver tabla 6). Según la base de datos del catastro, en nuestra área de estudio se encuentran censadas un total de 11 7936 personas. El software de predicción sonora IMMI permite representar en modelado 3D los resultados obtenidos, coloreando los edificios del nivel sonoro incidente en ellos (ver figura 16). Esta información es de utilidad para entender el nivel de afección sonora al que se encuentra sometida la población en la zona de estudio.

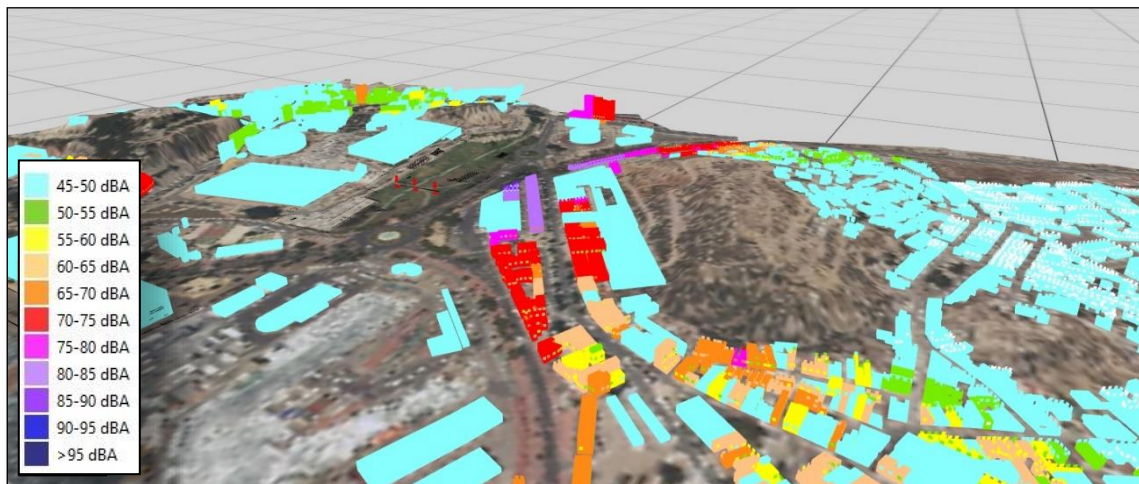


Figura 16: Visualización del nivel sonoro recibido en las edificaciones en modelado 3D de situación actual.

Tabla 6: Número de habitantes afectados en cada rango de intervalo sonoro.

Rango (dBA)	N.º Habitantes		
	CNOSSOS-EU Situación actual	ISO 9613-2 Situación actual	CNOSSOS-EU Situación alternativa
< 45	41883	41672	28567
45 - 50	40924	40822	33817
50 - 55	22845	22904	19747
55 - 60	7562	7598	9725
60 - 65	1439	1473	13515
65 - 70	1582	1616	6684
70 - 75	1336	1383	4443
75 - 80	360	468	1162
80 - 85	0	0	124
85 - 90	0	0	88
90 - 95	0	0	64
> 95	0	0	0
Total	117936	117936	117936

Nivel sonoro en receptores

Al igual que en el caso del cálculo de la población afectada, el software predictivo permite calcular un mapa con el valor sonoro en los puntos establecidos como receptores (ver figura 17), usando la escala de colores que se ha preestablecido para los demás modelos predictivos. De esta forma podemos obtener una visualización rápida si únicamente se pretende conocer los niveles sonoros recibidos en los receptores. Los valores mostrados en la siguiente figura se corresponden con los mostrados en las tablas 3 y 4, en las columnas “LAeq, T valor calculado IMMI (dBA)”, para el método de cálculo CNOSSOS-EU de la situación actual.

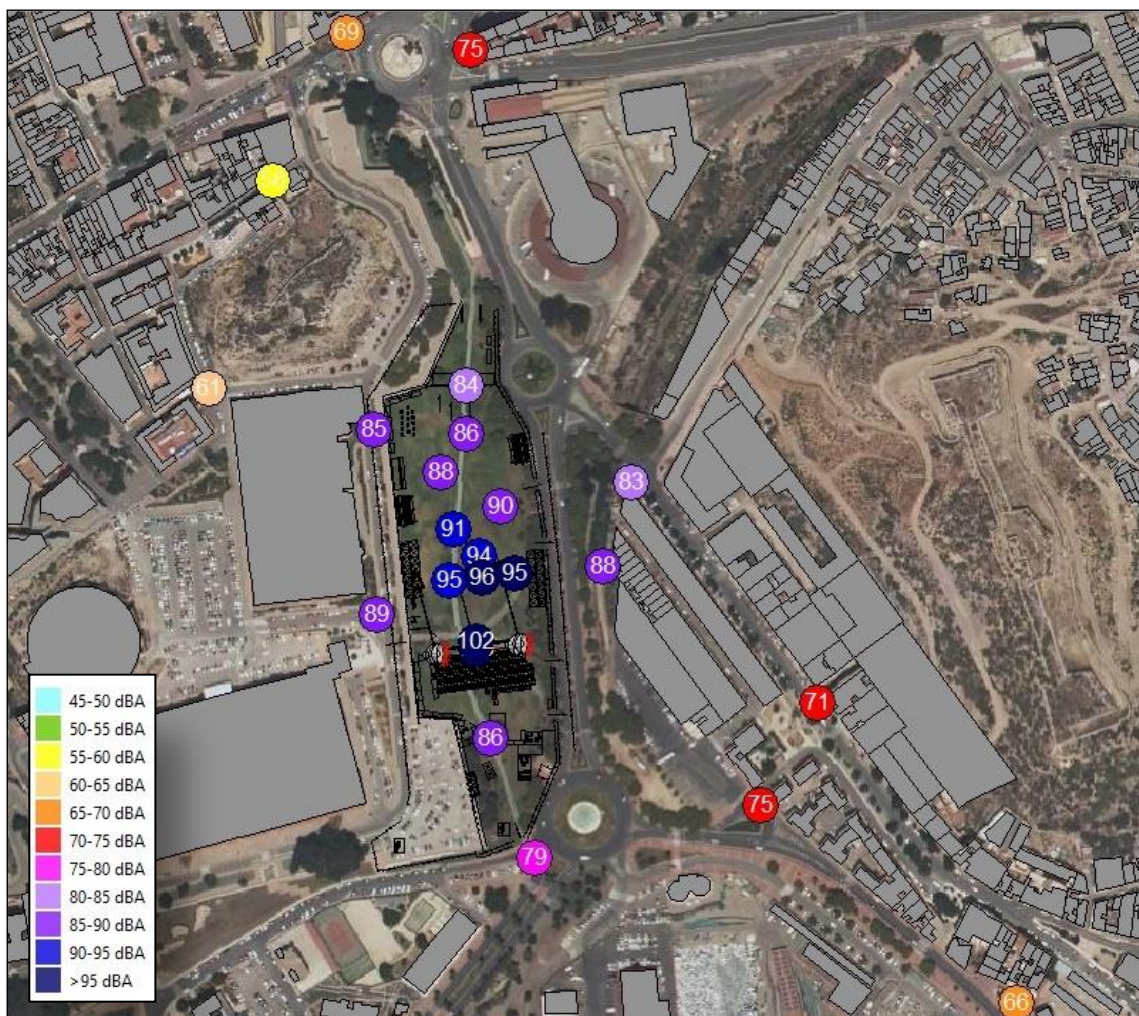
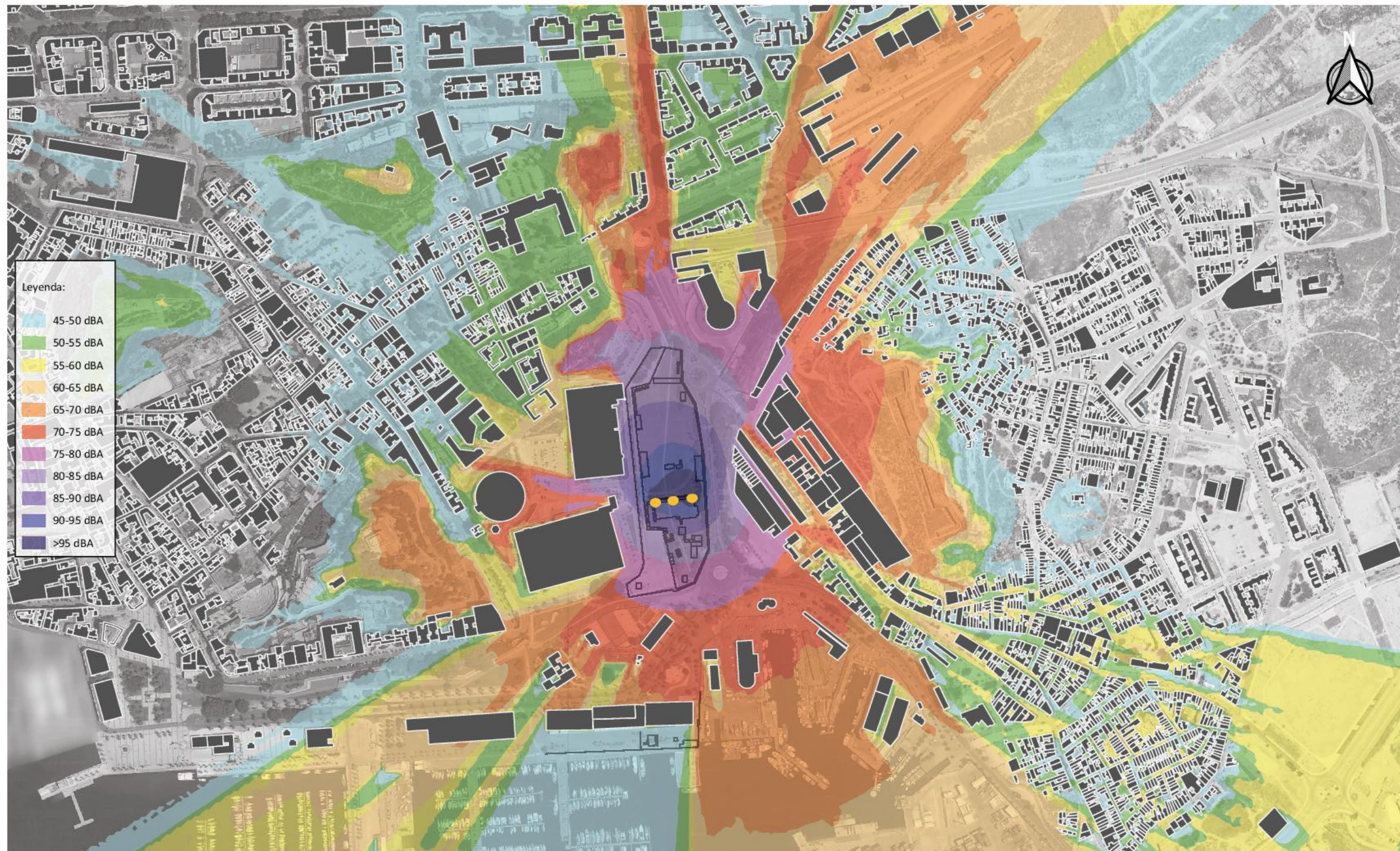


Figura 17: Mapa de niveles sonoros en receptores de la situación actual - CNOSSOS-EU.

7.1 Mapa de niveles sonoros - Método CNOSSOS situación actual



Trabajo Final de Máster

Proyecto:
Impacto ambiental generado por el evento Rock Imperium Festival en el municipio de Cartagena y cuantificación de su impacto sobre la salud de la población

Plano:
Niveles sonoros modelo CNOSSOS-EU
Situación actual

Fecha: Julio - 2022

Escala:
0 100 200 m

Autor:
José Javier Peche Lucas

7.2 Mapa de niveles sonoros - Método ISO 9613-2 situación actual



Trabajo Final de Máster

Proyecto:
Impacto ambiental generado por el evento Rock Imperium
Festival en el municipio de Cartagena y cuantificación de
su impacto sobre la salud de la población

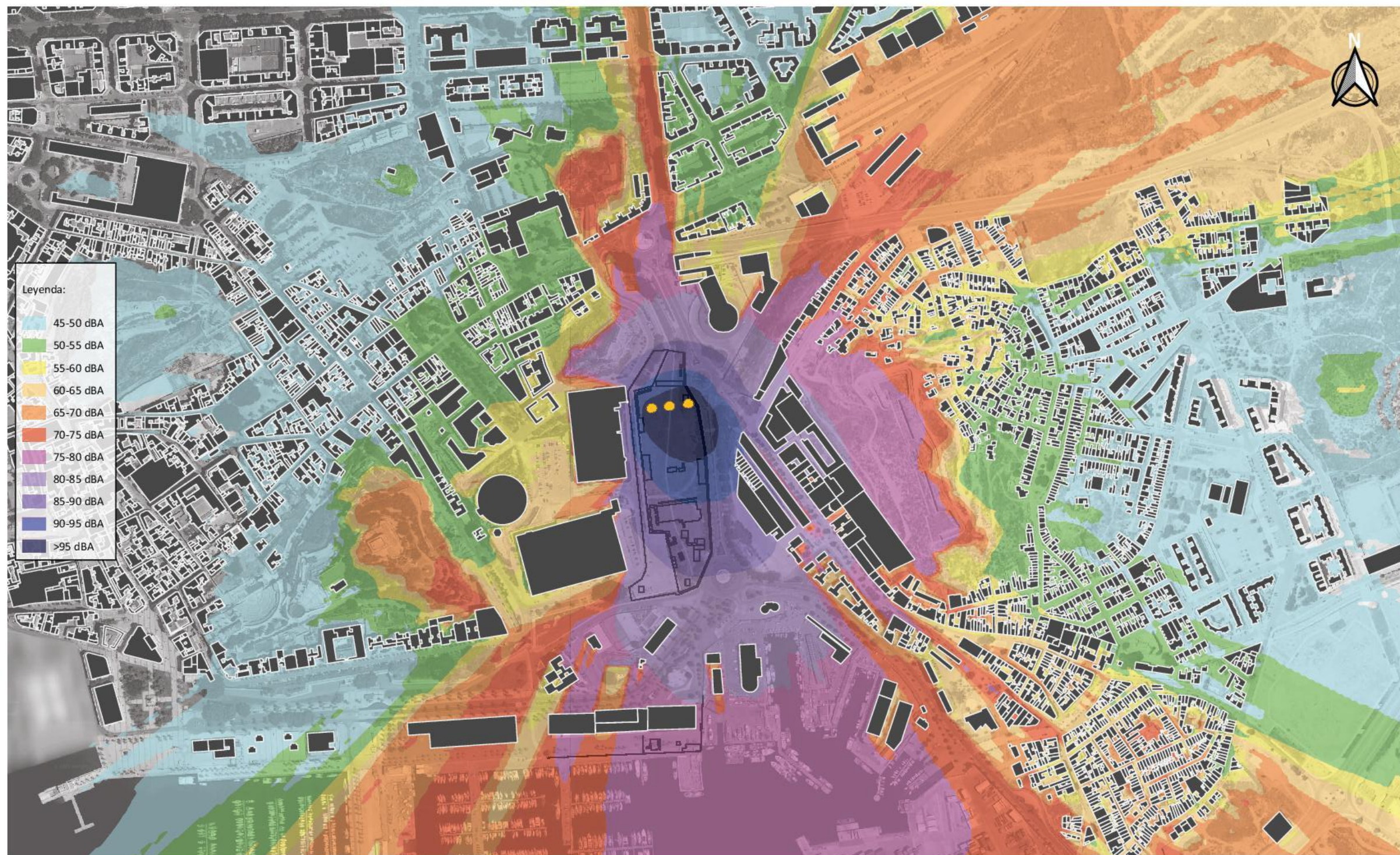
Plano:
Niveles sonoros modelo ISO 9613-2
Situación actual

Fecha: Julio - 2022

Escala:
0 100 200 m

Autor:
José Javier Peche Lucas

7.3 Mapa de niveles sonoros - Método CNOSSOS situación alternativa



Trabajo Final de Máster

Proyecto:
Impacto ambiental generado por el evento Rock Imperium
Festival en el municipio de Cartagena y cuantificación de
su impacto sobre la salud de la población

Plano:
Niveles sonoros modelo CNOSSOS-EU
Situación futura (medidas correctoras)

Fecha: Julio - 2022

Escala:
0 100 200 m

Autor:
José Javier Peche Lucas

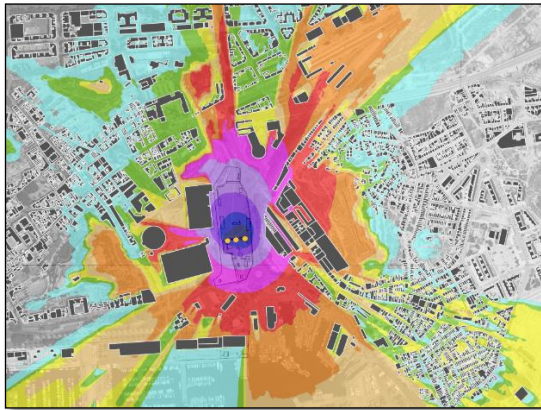
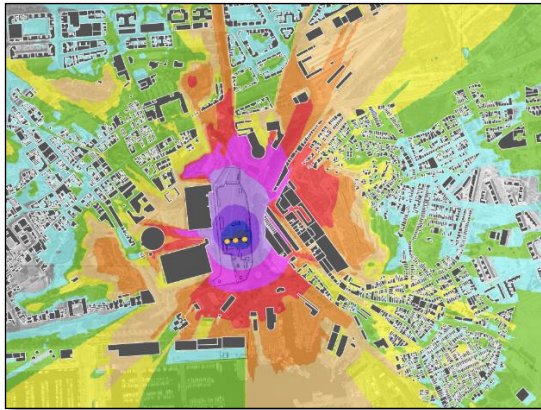
8. Conclusiones

Para concluir el presente proyecto, se procede a realizar un análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

8.1 Diferencias entre método de cálculo CNOSSOS-EU e ISO 9613-2

Los resultados de los mapas predictivos sonoros de isófonas entre el método de cálculo actual en la Unión Europea (CENOSOS-EU) y el modelo de cálculo utilizado anteriormente (ISO 9613-2) muestran diferencias en la forma de propagación del ruido en el espacio. Se observa que el método CNOSSOS-EU es más desfavorable (se atenúa más lentamente) durante la propagación en una distancia más cercana a las fuentes sonoras y más favorable (se atenúa más rápidamente) en una distancia más alejada de las mismas.

Tabla 7: Comparativa entre mapas sonoros (situación actual) mediante método de cálculo CNOSSOS-EU e ISO 9613-2.

MÉTODO DE CÁLCULO	MAPA DE RUIDO	LEYENDA
CNOSSOS-EU		<ul style="list-style-type: none"> 45-50 dBA 50-55 dBA 55-60 dBA 60-65 dBA 65-70 dBA 70-75 dBA 75-80 dBA 80-85 dBA 85-90 dBA 90-95 dBA >95 dBA
ISO 9613-2		

Este punto de inflexión se observa en el rango del intervalo sonoro de 60-65 dBA, siendo el porcentaje de población afectada superior para niveles por encima de 60 dBA e inferior para niveles por debajo de dicho valor (ver figura 20).

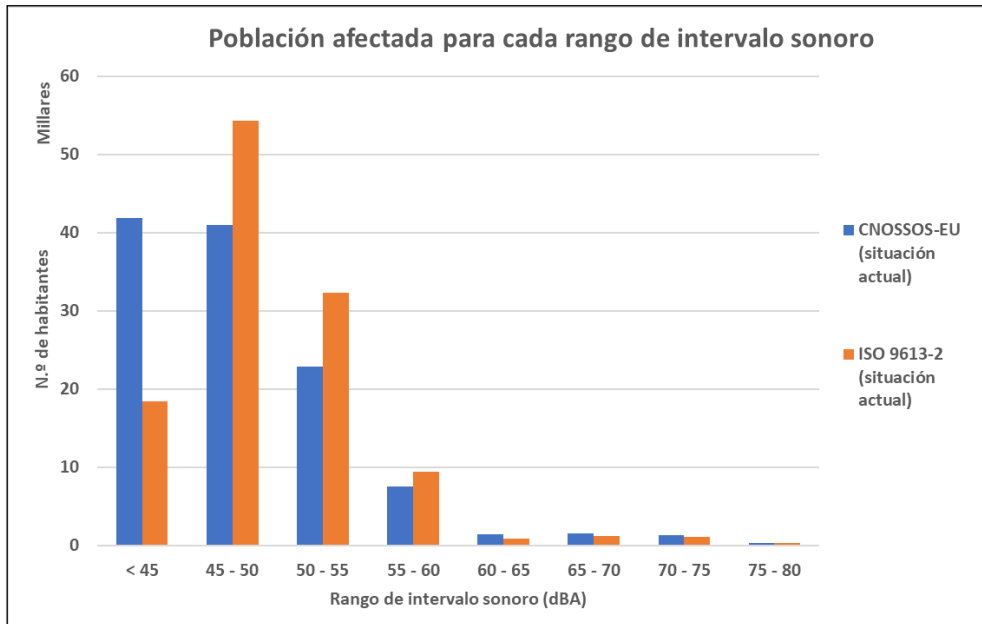


Figura 18: Gráfico de población afectada total CNOSSOS-EU e ISO 9613-2.

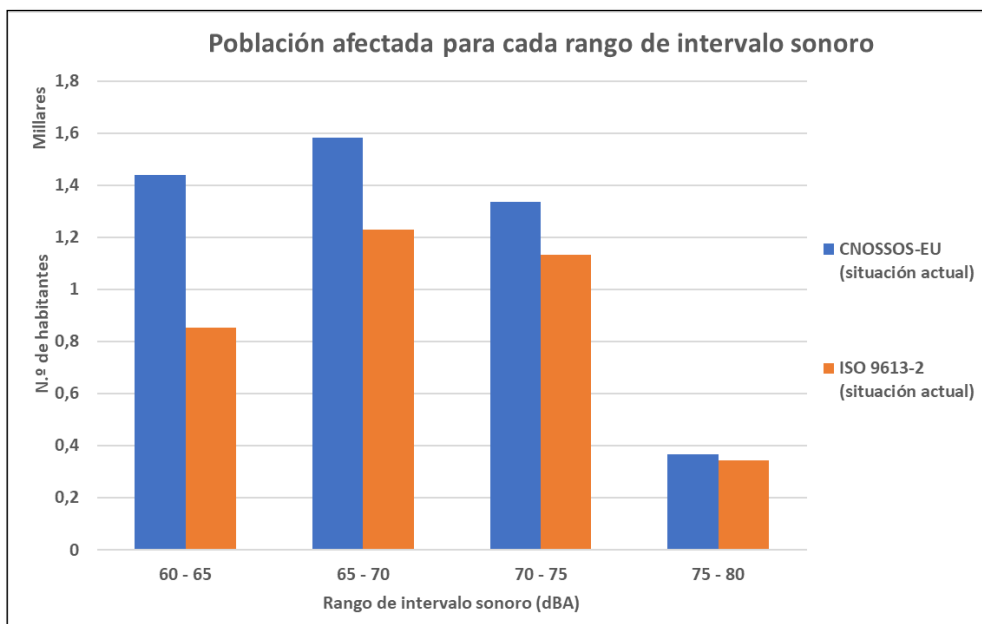


Figura 19: Gráfico de población afectada por encima de 60 dBA CNOSSOS-EU e ISO 9613-2.

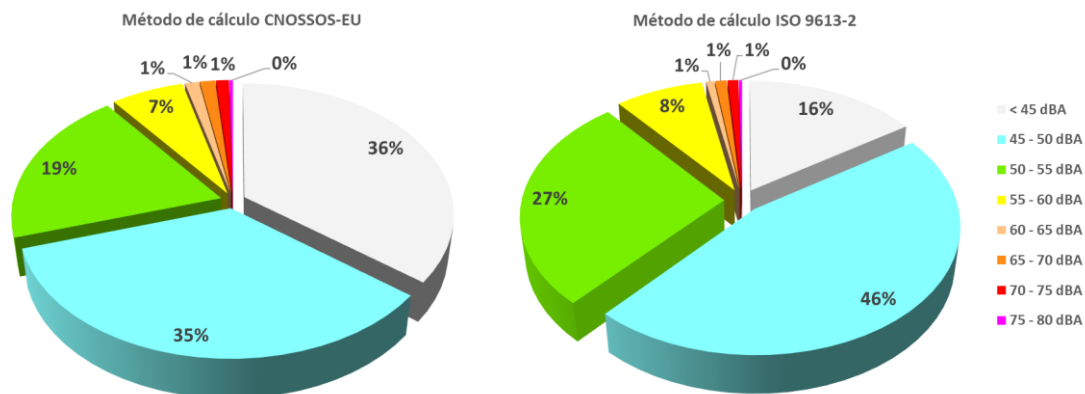


Figura 20: Gráfico circular de porcentajes de población afectada CNOSSOS-EU e ISO 9613-2.

8.2 Diferencias entre situación actual y situación alternativa mediante método de cálculo CNOSSOS-EU

De acuerdo con los resultados proporcionados por los mapas predictivos de isófonas, se comprueba cómo la propuesta de una nueva ubicación de las fuentes sonoras (situadas al norte del recinto, giradas 180 ° y orientadas hacia el sur) es más perjudicial para la población del municipio, aumentando el porcentaje de habitantes que estarían sometidos a rangos de intervalos de ruido por encima de 50 dBA respecto a la situación alternativa.

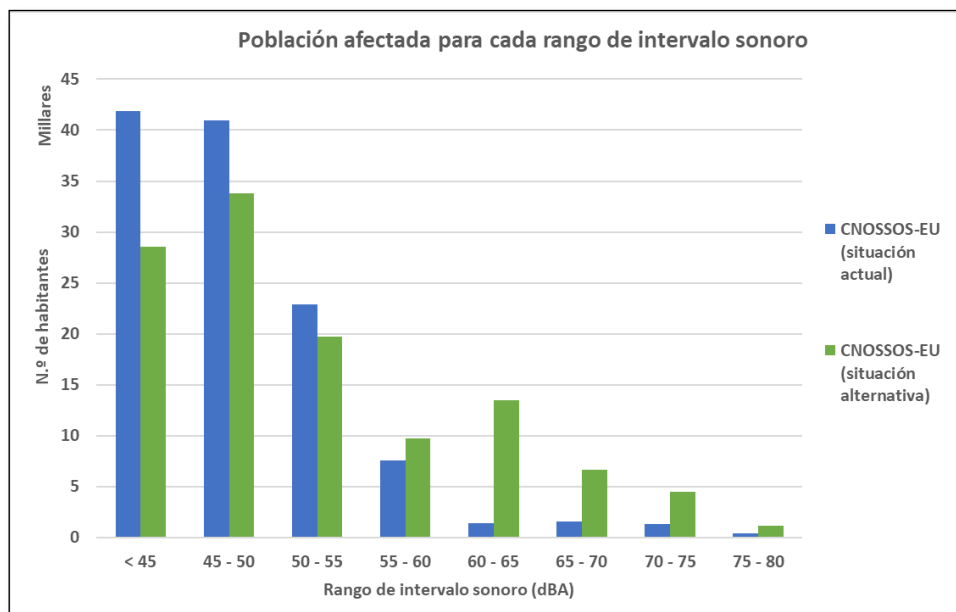


Figura 21: Gráfico de población afectada total para la situación actual y alternativa CNOSSOS-EU.

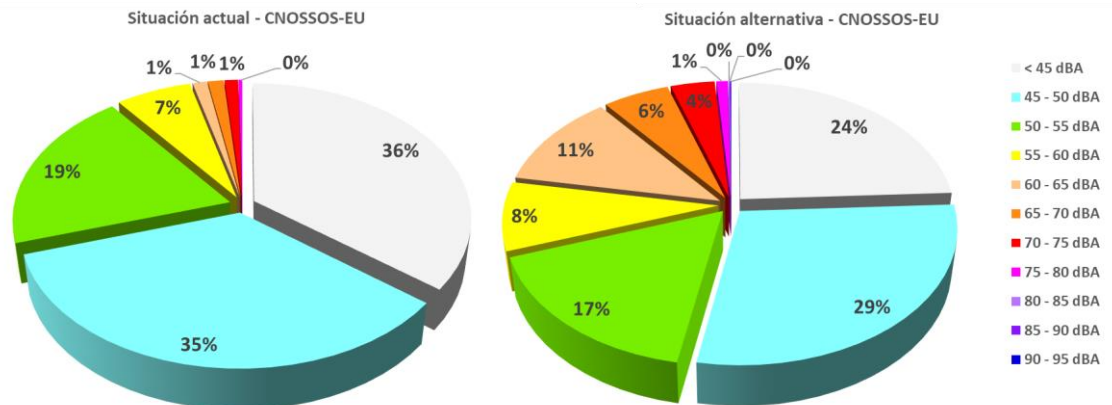


Figura 22: Gráfico circular de porcentajes de población afectada en situación actual y alternativa - CNOSSOS-EU.

Esta situación se produce por la orografía donde se encuentra la zona de estudio, la cual presenta las viviendas de la zona norte apantalladas por la altura. Para obtener dicha conclusión se ha elaborado un mapa sonoro de la situación actual sin curvas de nivel del terreno.

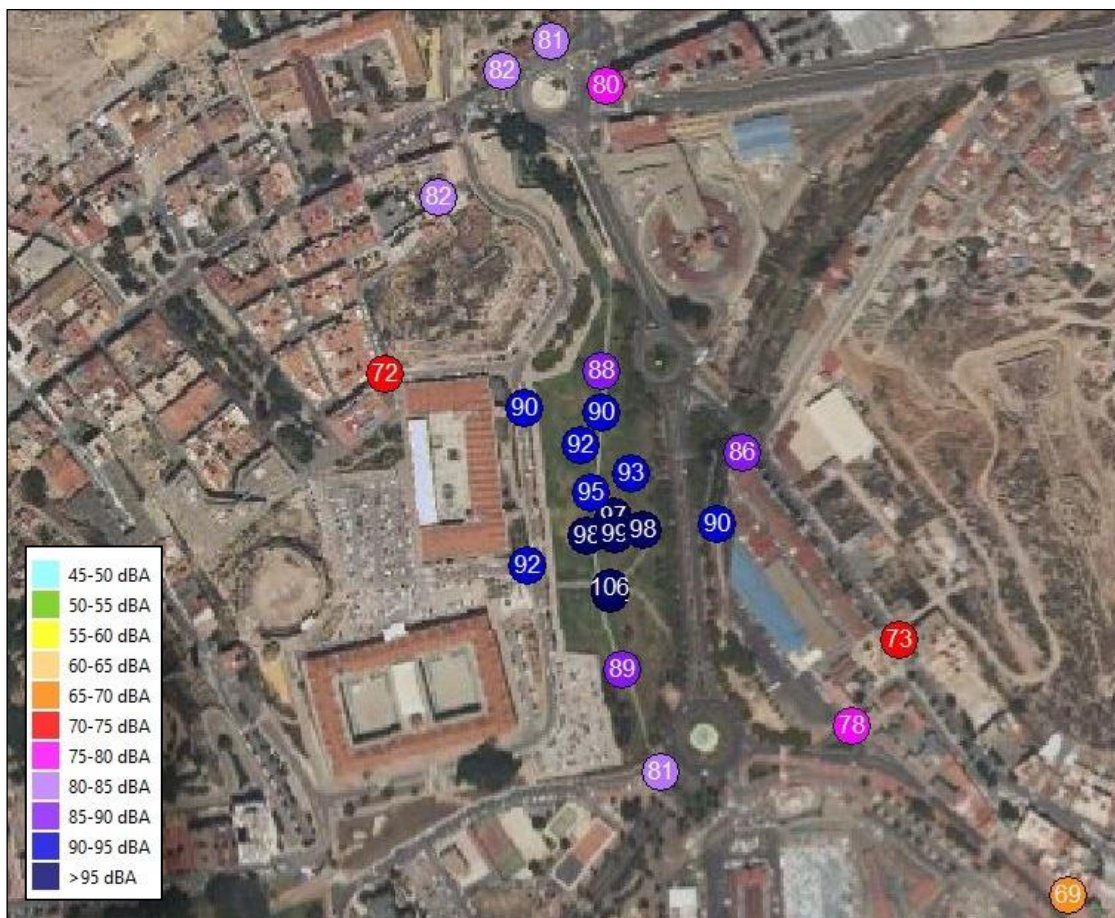


Figura 23: Mapa de niveles sonoros en receptores de la situación actual sin curvas de nivel.

A continuación, se muestra la figura anterior, pero representando la diferencia del nivel sonoro (dBA) que incide en cada receptor entre la situación actual con curvas de nivel y sin curvas de nivel. Se ha representado únicamente los receptores ubicados en el exterior del recinto, puesto que se ha comprobado como los receptores que se encuentran dentro del recinto no se ven afectados por la altura de las curvas de nivel.



Figura 24: Diferencia de nivel sonoro en receptores entre situación actual con curvas de nivel y sin curvas de nivel.

Como se puede comprobar, al introducir la altura proporcionada por las curvas de nivel, el modelo predictivo disminuye su transmisión de ruido hacia la zona norte y la aumenta levemente hacia la zona sur, mostrando la gran influencia de la orografía de la zona de estudio sobre los resultados.

8.3 Síntesis y exposición de conclusiones

Finalmente, una vez realizado el análisis de todos los datos obtenidos en los apartados anteriores, se han obtenido las siguientes conclusiones de la realización del presente Trabajo Final de Máster:

- Se ha determinado el nivel sonoro producido por la realización del festival de música “Imperium Rock”, así como el número de habitantes que se van a someter a los distintos intervalos establecidos de niveles sonoros. De los datos obtenidos se puede extraer que 12 284 habitantes van a verse sometidos a niveles de ruido superiores a 55 dBA en la franja horaria diurna / vespertina, mientras 76 053 habitantes se verán afectados por niveles sonoros superiores a 45 dBA durante la franja horaria nocturna, suponiendo un 10 % y 65 % respectivamente de la población total de la zona de estudio. Estos valores de niveles sonoros son los límites establecidos en la legislación vigente en materia de ruidos para zonas residenciales. Por tanto, se recomendaría estudiar la viabilidad del evento en otras zonas del municipio que puedan presentar una afección sonora a la población menor que la actual.
- Se han analizado las diferencias que presentan el nuevo método de cálculo CNOSSOS-EU respecto al antiguo método de cálculo ISO 9613-2. Estas diferencias residen en que para el método CNOSSOS-EU, la propagación del ruido es más desfavorable (se atenúa más lentamente) durante su propagación en una distancia más cercana a las fuentes sonoras y más favorable (se atenúa más rápidamente) en una distancia más alejada de las mismas. Debido a este tipo de propagación del ruido y a que la población se encuentra mayoritariamente en zonas alejadas del recinto del festival, se comprueba cómo la afección sobre los habitantes es mayor con el antiguo método de cálculo ISO 9613-2 que con el actual método CNOSSOS-EU.

Tabla 7: Población sometida a niveles superiores a los valores límite establecidos y porcentaje de población afectada total mediante el método de cálculo CNOSSOS-EU e ISO 9613-2.

MÉTODO DE CÁLCULO	N.º HABITANTES	
	LÍMITE DIURNO / TARDE > 55 DBA	LÍMITE NOCTURNO > 45 DBA
CNOSSOS-EU	12 284 (10 %)	76 053 (65%)
ISO 9613-2	12978 (11%)	99 522 (84 %)

- Se ha realizado una situación alternativa en la que se ha propuesto un cambio en la ubicación de las fuentes sonoras, mediante la cual se ha comprobado que la afección sobre la población sería notoriamente mayor que con la ubicación de las fuentes sonoras en la situación actual. Esta información será de vital importancia para tener en cuenta los cambios que se pretendan realizar en futuras ediciones del evento, no considerándose una opción óptima para el futuro.
- Gracias al desarrollo de un método de cálculo común para todas las fuentes de ruido y países miembros de la Unión Europea, los resultados obtenidos en el presente proyecto sobre el ruido producido por el festival de música “Imperium Rock” pueden servir de información y apoyo a otros proyectos europeos, debido a que anteriormente existían distintos métodos de cálculos validos para una misma fuente sonora, lo que imposibilitaba la comparación de información entre mapas sonoros de predicción sonora.

Propuesta de futuras líneas de investigación

Las conclusiones extraídas de los resultados obtenidos permiten proponer varias opciones de estudios posteriores que puedan desarrollar y completar en más profundidad las conclusiones extraídas en el presente proyecto. Estas líneas de investigación son:

- Determinar si la propagación del ruido mediante el método de cálculo CNOSSOS-EU no solo se ve afectada por la distancia, sino también por el nivel de presión sonora en determinados puntos. Es decir, comprobar si una fuente con un nivel de emisión de baja presión sonora también se atenúa de igual manera en el espacio para distancias relativamente cortas o, por el contrario, no presenta la misma hipótesis obtenida en las conclusiones.
- Elaborar nuevos modelos de predicción sonora con distintas ubicaciones de los altavoces, con la finalidad de reducir la afección sonora sobre la población del municipio.

Bibliografía

- Galiano García W. (2019). Estudio de la Contaminación Acústica en Zonas Recreativas y Ocio en la Ciudad de Albacete. TFM UPV.
- Quiroz Rangel, C. A. (2018). Estudio de la Contaminación Acústica en la Ciudad de Sueca. Tesis de Máster. TFM Escuela Politécnica Superior de Gandía (UPV).
- Ferrer Claver A. (2020). Evaluación de la contaminación acústica del Hospital Francisc de Borja de Gandía. TFG UPV.
- González Mazarías G. (2019). Investigación sobre el ruido ambiental en el Centro Histórico de Gandía. TFG UPV.
- AVILÉS, R., PERERA, R. (2017). Manual de acústica. Madrid: Ed. Paraninfo.
- Acústica ambiental: análisis, legislación y soluciones. Madrid: Sociedad Española de Acústica 2009
- Harris C. (1995). Manual de medidas acústicas y control del ruido. Ed. Mc Graw Hill.
- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Ley 4/2009, de 14 de mayo, de Protección Ambiental Integrada de la Región de Murcia.

- Decreto regional número 48/1998, de 30 de julio, de protección del medio ambiente contra el ruido.
- Orden PCI/1319/2018, de 7 de diciembre, por la que se modifica el Anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a la evaluación del ruido ambiental.
- Ordenanza municipal sobre protección del medio ambiente contra la emisión de ruidos y vibraciones. Cartagena, enero de 2021.
- “Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. Version2, WG-AEN, 2006”.
- Memoria Resumen del Mapa Estratégico de Ruido de Cartagena. Año 2017.
- Portal web de SVANTEK (<http://www.svantek.es/>).
- Portal web de la Organización Mundial de la Salud (<http://www.who.int/es/>).
- Portal web del Instituto Nacional de Estadística (<http://www.ine.es/>).