



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Impacto acústico del Bulevar Periférico Norte sobre el futuro
PAI de Benimaclet Este

Presentado por

Sanz Martín, Lucía

Para la obtención del

Master Universitario en Ingeniería Ambiental

Curso: 2018/2019

Fecha: Septiembre, 2019

Tutor: Constanza Rubio Michavila

Cotutor: Antonio Uris Martínez



RESUMEN

Se realizará una evaluación del impacto acústico provocado por el tráfico rodado en la zona en el Bulevar Periférico Norte comprendida entre la rotonda de la Torre Miramar hasta la rotonda de la Avd. Alfahuir. Se llevará a cabo una evaluación del ruido mediante medidas “in situ” en la zona de estudio y en periodo diurno (por motivos de seguridad no se realizarán medidas durante el periodo vespertino, de 19 a 23h, ni en periodo nocturno, de 23 a 7h), utilizando un sonómetro. Los resultados obtenidos en las medidas se compararán con los obtenidos mediante el modelo de predicción recomendado por la Ley del Ruido, NMPB-Routes 96. Posteriormente se realizará una comparación del estudio acústico realizado con el mapa de ruido del Ayuntamiento de Valencia, con el fin de comprobar si existen discrepancias entre un estudio realizado con medidas experimentales otro realizado mediante un programa de simulación. Por último, se propondrán una serie de medidas correctoras con el fin de reducir el nivel de ruido de la zona de estudio.

Palabras clave: impacto acústico, sonómetro, NMPB-Routes-96, mapa acústico, medidas experimentales, medidas correctoras.

RESUM

Es realitzarà una avaluació de l'impacte acústic provocat pel trànsit rodat en la zona en el Bulevard Perifèric Nord compresa entre la rotonda de la Torre Miramar fins a la rotonda de la Avd. Alfauir. Es durà a terme una avaluació del soroll mitjançant mesures “in situ” en la zona d'estudi i en període diürn (per motius de seguretat no es realitzaran mesures durant el període vespertí, de 19 a 23h, ni en període nocturn, de 23 a 7h, utilitzant un sonòmetre. Els resultats obtinguts en les mesures es compararan amb els obtinguts mitjançant el model de predicció recomanat per la Llei del Soroll, NMPB-Routes 96. Posteriorment es realitzarà una comparació de l'estudi acústic realitzat amb el mapa de soroll de l'Ajuntament de València, amb la finalitat de comprovar si existeixen discrepàncies entre un estudi realitzat amb mesures experimentals un altre realitzat mitjançant un programa de simulació. Finalment, es proposaran una sèrie de mesures correctores amb la finalitat de reduir el nivell de soroll de la zona d'estudi.

Paraules clau: impacte acústic, sonòmetre, NMPB-Routes 96, mapa acústic, mesures experimentals, mesures correctores.

ABSTRACT

An evaluation of the acoustic impact caused by road traffic in the area will be carried out on the North Peripheral Boulevard between the roundabout of the Miramar Tower until the roundabout of Avd. Alfahuir. A noise assessment will be carried out by means of “on-site” measures in the study area and during the day period (for safety reasons no measurements will be made during the evening period, from 19 to 23h, or in the night period, from 23 to 7h), using a sound level meter. The results obtained in the measurements will be compared with those obtained by means of the prediction model recommended by the Noise Law, NMPB-Routes 96. Subsequently, a comparison of the acoustic study carried out with the noise map of the Valencia City Council will be made, in order to verify if there are discrepancies between a study conducted with experimental measures, another one carried out through a simulation program. Finally, a series of corrective measures will be proposed in order to reduce the noise level of the study area.

Keywords: acoustic impact, sound level meter, NMPB-Routes-96, acoustic map, experimental measurements, corrective measures.

ÍNDICE

1. ALCANCE Y OBJETIVOS	3
2. INTRODUCCIÓN.....	4
2.1. El ruido como problema medioambiental.....	4
2.2. Tipos de ruido según su fuente.....	5
3. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.....	8
3.1. Definición de contaminación acústica.....	8
3.2. Causas de la contaminación acústica	8
3.3. El ruido, contaminante ambiental.....	10
3.4. El ruido y sus parámetros de evaluación	11
3.4.1. Indicadores del nivel sonoro	12
3.5. El estudio de la contaminación acústica.....	13
3.6. Efectos del ruido en la salud de las personas	14
4. LEGISLACIÓN APLICABLE	16
4.1. Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.....	16
4.2. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido	17
4.3. Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica	19
4.4. Ordenanza Municipal de Protección contra la Contaminación Acústica.....	21
5. ZONA DE ESTUDIO.....	24
5.1. Historia de Benimaclet	24
5.2. Localización de la zona de estudio	25
6. METODOLOGÍA EN LA TOMA DE MEDIDAS	27
6.1. Metodología de la toma de muestras	27
6.1.1. Metodología estática	27
6.1.2. Metodología dinámica	27
6.2. Equipos de medición	28
6.3. Equipo utilizado.....	30
6.4. Ubicación de los puntos de muestreo	30
6.5. Condiciones estándares de medición.....	32
6.6. Elección de los periodos horarios	32
7. MÉTODO DE CÁLCULO FRANCÉS “NMPB-ROUTES-96”	34
8. MAPAS DE RUIDO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	38

8.1. Comparación de las medidas experimentales y las medidas teóricas	39
8.2. Mapas de ruido y su análisis.	43
9. MEDIDAS CORRECTORAS.....	46
10. CONCLUSIONES.....	48
11. BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXO I. MEDICIONES POR PERIODO HORARIO Y PUNTO DE MEDIDA	52
ANEXO II. ANÁLISIS EN FRECUENCIA DEL PUNTO DE MEDIDA 4	55
ANEXO III. MAPAS ACÚSTICOS.....	59

1. ALCANCE Y OBJETIVOS

Uno de los principales problemas medioambientales que existen actualmente es la contaminación acústica. La población está expuesta, en numerosos casos, a unos niveles sonoros por encima de los recomendados para llevar un estilo de vida saludable, sobre todo aquellas personas que viven en aglomeraciones urbanas, como puede ser la ciudad de Valencia.

Con el fin de mejorar la salud de las personas y el medio ambiente en referencia al ruido, se ha elaborado el presente trabajo, pues la contaminación acústica es un problema real en España y en concreto, Valencia, donde se ha realizado este estudio.

El alcance del trabajo engloba la parte ubicada en la zona oeste de la Ronda Nord de Valencia situada en el barrio de Benimaclet, concretamente el área noreste.

El objetivo global es, mediante un estudio acústico detallado de la zona en la que se ubicará el futuro Proyecto de Adecuación Urbanística (PAI) de Benimaclet Este, saber cuál es el nivel sonoro real de la zona y cómo, mediante medidas correctoras, se puede reducir el ruido, para conseguir un bienestar social mayor de los vecinos.

Para llegar a este objetivo global, a lo largo de este Trabajo Fin de Máster se establece una serie de objetivos específicos, que son:

- Medición de los niveles sonoros *in-situ* mediante un sonómetro en diferentes puntos de la zona de estudio.
- Elaboración de mapas de ruido de acuerdo a estas medidas experimentales.
- Descripción del método de cálculo francés para la predicción del ruido “NMPB-ROUES-96” y elaboración de mapas con respecto a este método, ofreciendo así, una visión teórica del ruido de la zona.
- Comparación de los niveles sonoros obtenidos entre el modelo experimental, el modelo teórico y los proporcionados por el Ayuntamiento de Valencia.
- Propuesta de medidas correctoras con el fin de disminuir lo máximo posible el ruido en el área de estudio.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. El ruido como problema medioambiental

En las últimas décadas ha aumentado la inquietud acerca de los conocimientos que se tienen del ruido y las consecuencias que puede tener éste sobre el medio ambiente y la población.

El ruido está considerado como un sonido no deseado por aquella persona que lo percibe; o también se puede describir como una sensación auditiva desagradable y molesta, que está causando cada vez mayor preocupación en la actualidad debido a sus efectos adversos sobre la salud humana y sobre el comportamiento humano (Generalitat Valenciana, 2015).

Se han realizado estudios sobre contaminación acústica que revelan la existencia de niveles de ruido por encima de los valores recomendados por organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la Unión Europea, ya que se superan en numerosas ocasiones los límites establecidos por la legislación: 65 dBA de nivel equivalente diurno y 55 dBA en el periodo nocturno. Los cuales se establecen con el objetivo de reducir el nivel de ruido al que está expuesta la población y evitar las consecuencias negativas que ello acarrea en la salud de las personas y el medio ambiente.

Más concretamente, el 40% de la población de la Unión Europea se encuentra expuesta a unos niveles por encima de los permitidos en el periodo diurno y más del 20% a niveles de ruido por encima de los permitidos en el periodo nocturno. De estos datos se concluye que aproximadamente el 50% de los europeos viven en zonas de contaminación acústica y el 30% están afectados por trastornos del sueño debido al incremento de los niveles sonoros en el periodo nocturno.

España es uno de los países de la Unión Europea que más ruido produce, por ello es importante realizar estudios acústicos con la finalidad de conocer aquellas zonas en las que se tienen mayores niveles sonoros y poder actuar disminuyendo estos niveles sobre las fuentes sonoras o reduciendo su propagación hasta los receptores que perciben estas ondas sonoras perjudiciales.

En un importante paso para la disminución del ruido ambiental, el Parlamento Europeo aprobó la Directiva 2002/49/CE sobre Ruido Ambiental, y en ella se considera el ruido como un problema prioritario y se reconoce la importancia que conlleva el control del mismo.

Cabe destacar que en el ámbito laboral este problema medioambiental tuvo mayor impacto debido al desarrollo industrial, principalmente por la incorporación de la maquinaria en las fábricas. A todo esto se suma que, durante esta época, se produjo un gran crecimiento de las ciudades, que lleva consigo una mayor actividad de la población en un punto concreto,

produciéndose así un aumento del nivel sonoro en las zonas más pobladas. Todo esto lleva consigo una mayor exposición de la población a niveles altos de ruido, lo que origina una menor calidad de vida en la vida de las personas (Lara, 2015).

2.2. Tipos de ruido según su fuente

El ruido al que está expuesta la población puede ser generado por medios naturales o artificiales. Los niveles sonoros elevados originados mediante fuentes naturales, que pueden ser el ruido de un volcán en erupción o los vientos fuertes, son menos frecuentes y producen menos efectos perjudiciales. En cambio, los ruidos que tienen un origen artificial, es decir, los que son originados como consecuencia de la actividad humana, son más persistentes y frecuentes en el tiempo. Por ello, estos últimos son objeto de preocupación, ya que originan molestias en la vida diaria de las personas, disminuyendo así su calidad de vida.

Siendo conscientes de que los ruidos de origen artificial son los realmente perjudiciales para el medio ambiente y la convivencia de las personas, es más lógico actuar sobre éstos, estudiando las fuentes que los originan y su propagación, para posteriormente disminuir sus efectos perjudiciales e incluso, si es posible evitar que se lleguen a producir.

Se distingue, por lo tanto, dos tipos de fuentes artificiales de ruido: puntuales y lineales.

Las fuentes artificiales puntuales consisten en emplazamientos fijos, entre las que destacan zonas industriales, establecimientos de recreo, etc. Debido a su condición estática, se produce la transmisión de la energía sonora en forma de esfera, ya que la potencia de emisión sonora se encuentra concentrada en un punto, lo que conlleva que la intensidad acústica emitida decrete considerablemente a medida que aumenta la distancia a la fuente. Si doblamos la distancia con respecto al emisor, el nivel de intensidad acústica se reduce en 6 dB.

La intensidad acústica originada por una fuente puntual se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Donde:

- I: intensidad acústica (w/m^2)
- W: potencia acústica (w)
- r: distancia del receptor a la fuente (m)

Existen distintos tipos de ruido originados por fuentes artificiales y puntuales, que se pueden clasificar en los siguientes:

- Ruido originado por actividades de construcción y demolición

Estos niveles sonoros, que suelen ser elevados, se producen como consecuencia de las acciones de maquinaria pesada, taladradoras, excavadoras, etc., que se ponen en movimiento debido a la construcción de obras urbanas.

- Ruido industrial

Este tipo de ruido proviene de cualquier actividad dedicada al sector industrial, es muy variable, pues depende del tipo de actividad que se esté llevando a cabo en la zona afectada. Por ejemplo, se puede producir ruido industrial por el funcionamiento de motores, cadenas de producción, tránsito de vehículos con carga pesada, etc.

- Ruido existente en zonas recreativas y de ocio

Básicamente, este tipo de ruido se origina por eventos sociales como los conciertos de música (que llegan a unos niveles acústicos de 120 dBA); actividades que congregan a un elevado número de personas, lo cual produce un elevado nivel sonoro debido a la congregación de numerosas personas en un espacio limitado; o incluso zonas de ocio llenas de bares y restaurantes.

- Otro tipo de ruidos producidos por fuentes artificiales puntuales

Existen ruidos como los originados en las explotaciones de las minas o los provocados por aerogeneradores en movimiento que no se clasifican en ningún tipo de ruido de fuente artificial pero sí se contabiliza a la hora de evaluar el ruido ambiental.

Por otro lado, están las fuentes artificiales lineales, que son el tráfico ferroviario, el tráfico aéreo y el tráfico rodado.

A diferencia de las fuentes puntuales, las lineales irradian la energía sonora en forma cilíndrica, en vez de en forma esférica, esto se produce ya que la fuente se encuentra en movimiento en la generación del ruido. Debido a esto, la intensidad acústica que emiten decrece a menor velocidad según aumenta la distancia a dicha fuente, en comparación con las fuentes puntuales. Si duplicamos la distancia con respecto al emisor, la intensidad sonora se reduce 3 dB.

Por lo tanto, la intensidad acústica originada por una fuente lineal se puede obtener mediante la fórmula:

$$I = \frac{W}{2\pi r}$$

Donde:

- I: intensidad acústica (w/m^2)
- W: potencia acústica (w)
- r: distancia del receptor a la fuente (m)

Como se ha mencionado antes, existen tres tipos de ruido originados por fuentes lineales artificiales, que son:

- Ruido originado por el tráfico rodado

Este tipo de ruido es aquel producido por los vehículos de rodadura, que principalmente se produce en los centros urbanos, zonas donde se concentra un mayor número de vehículos en un menor espacio. El nivel sonoro emitido depende de la velocidad del vehículo y el tipo del asfalto entre otros; además éste se ve incrementado por la altura de los edificios y las calles estrechas que producen en denominado “efecto cañón”, originando el fenómeno de la reverberación del sonido y produciendo a su vez un mayor nivel del ruido.

- Ruido originado por el tráfico aéreo

Principalmente este se produce en las zonas colindantes a los aeropuertos y se caracterizan por ser un ruido muy elevado y molesto.

- Ruido originado por el tráfico ferroviario

Es producido por acción de los motores de los trenes, el rozamiento de las ruedas del mismo con el raíl, el ruido aerodinámico y, en menor medida y en situaciones puntuales, el sonido de las bocinas del tren. Este ruido es molesto cuando los trenes se encuentran próximos a las zonas residenciales, tanto urbanas como rurales, ya que la mayor parte de su recorrido se establece en zonas no habitadas y aquí apenas producen efectos perjudiciales para las personas.

En concreto, este trabajo está dedicado al ruido producido por el tráfico rodado, un ruido de origen artificial que produce molestias en la vida diaria, además de ser un problema medioambiental bastante importante y reconocido mundialmente por organizaciones destacadas como puede ser la OMS (Organización Mundial de la Salud) o la EEA (Agencia Medioambiental Europea).

3. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

3.1. Definición de contaminación acústica

La contaminación acústica se puede definir de numerosas maneras, por ejemplo, se podría decir que se trata de un exceso de sonido, también llamado ruido, que altera las condiciones normales del ambiente en una zona determinada (Goines, 2007).

Según el BOE esta contaminación se define como “como la presencia en el ambiente de ruidos y vibraciones que impliquen molestia o daño para las personas, el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza o que causen efectos significativos en el medio ambiente” (LR, de 18 de noviembre).

Esta contaminación está provocada por un sonido emitido con gran intensidad, o también por un sonido que no tiene una intensidad elevada pero debido a sus características está perturbando la actividad de las personas. Además, podríamos añadir al origen de esta contaminación las vibraciones, que pueden ser provocadas por motores o máquinas. Existe una diferencia entre contaminación acústica provocada por el sonido y la provocada por vibraciones. El primero se transmite de manera directa a los seres humanos a través del aire desde la fuente emisora y las vibraciones no se transfieren directamente. Estas vibraciones pueden ser producidas por los vehículos pesados que circulan por las vías urbanas, que debido a su peso transmiten una energía que pueden afectar a las construcciones que rodean estas vías y, como consecuencia, afectar a los habitantes de la zona.

Este trabajo se centra en la contaminación acústica provocada por emisiones sonoras elevadas, dejando a un lado la provocada por las vibraciones.

3.2. Causas de la contaminación acústica

Las causas de la contaminación acústica son principalmente: industrialización, mala planificación urbana, eventos sociales, transporte, actividades de construcción y actividades domésticas (Calero, 2016).

La revolución industrial llevó consigo una gran expansión de áreas dedicadas a la producción, que ocasionó un incremento de la utilización de maquinaria, y éstas a su vez producen un ruido molesto y continuo. Se originaron por lo tanto, zonas donde se concentraba la emisión de niveles sonoros elevados, donde los trabajadores se exponían y se exponen actualmente a un ruido de tipo continuo en la mayoría de los casos, aunque también puede ser discontinuo e impulsivo, como por ejemplo el golpe seco de la maquinaria. Estas zonas, en un principio estaban alejadas de las zonas residenciales, pero a medida que la población ha ido aumentando,

las viviendas han rodeado las zonas industriales, lo que conlleva a una exposición más prolongada en el tiempo de la población a este tipo de ruidos.

Una mala planificación urbana puede producirse como consecuencia del incremento de la población en un espacio de tiempo corto, que es lo que en la actualidad se está produciendo. Debido a esto se localizan zonas urbanas en áreas muy pequeñas o localizadas en zonas no aptas para ello, como pueden ser los alrededores de zonas industriales o cerca de estaciones de trenes o aeropuertos. Esto origina que los habitantes de una ciudad estén viviendo en zonas congestionadas, con un ruido elevado debido a una alta actividad de población en un área acotada.

Existen numerosos eventos sociales que originan niveles sonoros elevados, como pueden ser los conciertos de música al aire libre, las fiestas nocturnas, las concentraciones de gente dedicada a una actividad concreta, como por ejemplo, las concentraciones de motos, etc. Estas actividades por lo general se producen cerca de áreas residenciales, y como consecuencia, el descanso de la población se ve afectado por el ruido producido.

La contaminación acústica también está producida por los niveles sonoros elevados que produce el transporte, tanto aéreo, como ferroviario y rodado. En las últimas décadas el transporte público y el privado ha aumentado considerablemente debido a la necesidad del desplazamiento de la población y también de mercancía. Esto ha provocado una mayor emisión de ruido al medio y una exposición elevada, ya que un porcentaje elevado de la circulación de vehículos, trenes y aviones se produce en las áreas urbanas, donde se concentra mayoritariamente la población.

La construcción de infraestructuras conlleva unas emisiones sonoras muy elevadas y bastante desagradables para la vida diaria de las personas. Además, esta actividad se suele realizar en zonas urbanas, donde vive mayoritariamente la población. Cabe destacar que son puntuales con un periodo de tiempo limitado, por lo que cuando se producen son muy molestas pero transcurrido cierto tiempo desaparecen.

Las actividades diarias que realiza la población producen numerosos ruidos y originados por distintas fuentes, televisores, radios, electrodomésticos, etc. También hay que destacar que la actividad del día a día origina ruidos continuamente y por ello es importante concienciar a la población de intentar paliar en la medida de lo posible estos niveles sonoros provocados por las actividades domésticas.

3.3. El ruido, contaminante ambiental

Este tipo de contaminación se podría decir que es invisible e irreversible, ya que una vez producido el sonido, este se expande en un medio que puede ser el aire o el agua y resulta muy difícil reducir los efectos que ha provocado, debido a que el sonido no se acumula ni en el espacio ni en el tiempo.

Según la Agencia Medioambiental Europea (EEA), la contaminación acústica es un problema de salud ambiental de gran envergadura en la Unión Europea, millones de ciudadanos en Europa están expuestos a niveles sonoros no aceptables.

El límite superior deseable para las personas en la jornada laboral considerado por la OMS es de 85 dB(A) durante un máximo de 8 horas diarias.

Como este trabajo está dedicado al impacto acústico existente sobre el futuro PAI de Benimaclet Este, zona residencial, cabe destacar que la legislación europea dicta unos límites aceptados en áreas residenciales, que son 65 dB(A) durante el día y 55 dB(A) en la noche. Sin superar estos límites, se considera que la población puede realizar las actividades diarias sin tener problemas debido a los efectos producidos por el ruido.

Cada aumento de 3 dB(A) a partir de 85 dB(A), el tiempo de exposición permisible se reduce a la mitad, es decir, si la OMS recomienda un tiempo de 8 horas diarias a 85 dB, el tiempo recomendado para 88 dB sería de 4 horas diarias.

La definición de ruido engloba dos aspectos que son muy diferentes entre sí pero a la vez importantes, ya que este se puede apreciar desde una perspectiva física o psicoacústica. La primera es más objetiva y define este fenómeno a través de parámetros físicos como la duración, sus componentes frecuenciales, la energía de estos componentes, etc. La segunda es subjetiva y depende de la percepción de cada individuo, evaluando los procesos cognitivos implicados.

Desde la perspectiva física se podría decir que el ruido es la sensación que se produce en el oído debido a las oscilaciones de presión que existen en el ambiente exterior. Estas variaciones de presión actúan sobre la membrana del oído y provocan en el tímpano vibraciones forzadas de idéntica frecuencia, originando la sensación de sonido. Cabe destacar que la principal característica a la hora de definir el ruido es que se trata de numerosos sonidos molestos que pueden producir efectos fisiológicos, psicológicos y sociales no deseados (Noriega, 2017).

La principal fuente de ruido en las ciudades está asociada al transporte, ya que son miles los coches que se movilizan a diario en el entorno urbano. La EEA (Agencia Medioambiental Europea) realizó en 2017 una estimación de 120 millones de personas afectadas por el ruido de

tráfico, y en concreto, por el ruido de carretera (European Environment Agency, 2017). Este tipo de contaminación aumenta cuanto mayor es la velocidad de circulación, más estrechas son las calles de la ciudad y más altos los edificios debido al efecto cañón que se produce al reverberar las ondas sonoras en las paredes de los mismos.

3.4. El ruido y sus parámetros de evaluación

Existen dos tipos de ruido, el ruido continuo y el ruido transitorio. El primero se define como aquel ruido cuya intensidad permanece constante o presenta pequeñas fluctuaciones a lo largo del tiempo durante más de diez minutos, entre los que se encuentra el ruido de tráfico. El segundo se define como el ruido que se manifiesta ininterrumpidamente durante un periodo de tiempo igual o menor a cinco minutos, por ejemplo el proveniente de los aviones o de los trenes.

La mayor parte de los sonidos ambientales están constituidos por una mezcla de frecuencias diferentes, que son el número de variaciones de presión por segundo en el medio, ya sea aire, agua, etc., en el cual se propaga el sonido, medido en Hercios (Hz).

La propagación del sonido es un fenómeno complejo y dependiente de muchos factores, por lo que para conocer en un punto concreto el nivel sonoro producido por una fuente acústica situada a una cierta distancia, es necesario tener en cuenta numerosos factores, que son: divergencia de las ondas sonoras, tipo de fuente, distancia desde la fuente, absorción atmosférica, viento, reflexiones, humedad, precipitación y atenuación causada por obstáculos naturales y artificiales.

La intensidad del sonido se mide en decibelios (dB), que es una unidad de medida de la presión sonora. El umbral de audición está en 0 dB (silencio absoluto) y el umbral del dolor está en 140 dB.

El nivel de presión sonora se encuentra lejos de representar con precisión lo que el ser humano percibe, debido a que la sensibilidad del oído depende de la frecuencia.

Gracias al análisis de frecuencias, dos ruidos que tengan el mismo nivel de presión sonora pueden presentar distribuciones de frecuencias muy diferentes, siendo más molesto el ruido que tenga las frecuencias más altas. Por ello, se introducen las curvas de ponderación, las cuales tienen en cuenta la diferente respuesta humana a los sonidos en función de su espectro de frecuencia. Existen dos curvas de ponderación: A (menos de 55 fonios) y C (más de 80 fonios). Para expresar la intensidad del sonido de acuerdo con el oído humano se utiliza la curva de ponderación A, que a su vez, es una unidad de medida estandarizada para medir el ruido provocado por los transportes (García, 2010). En la Figura 1 se observan las curvas de ponderación A y C.

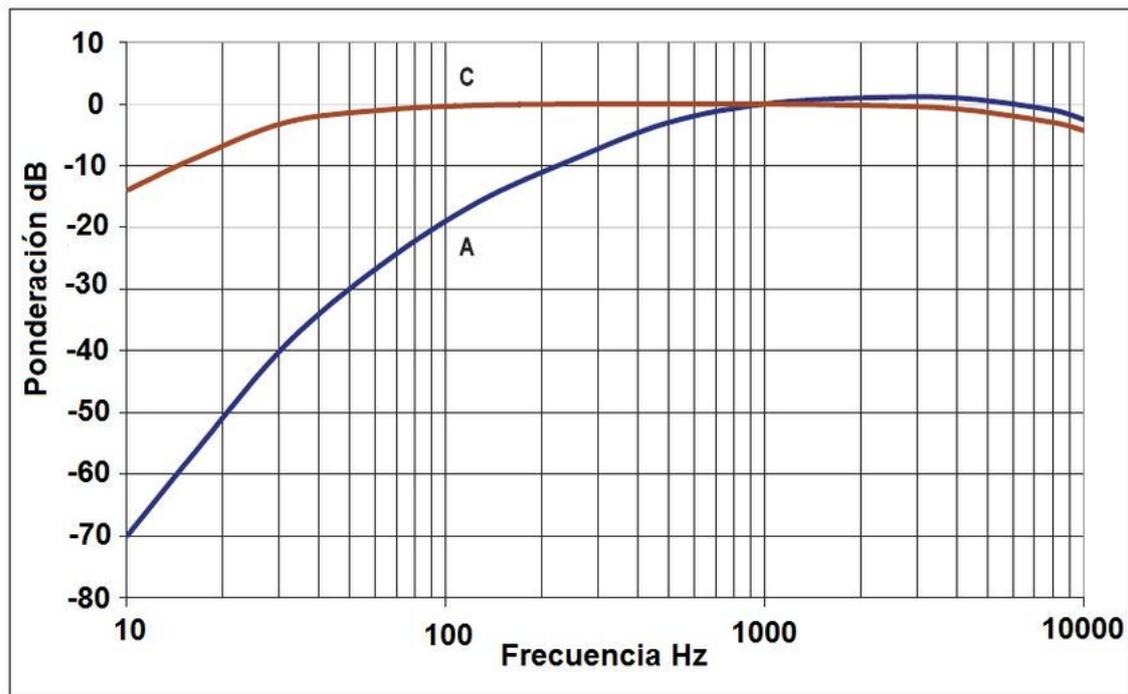


Figura 1. Curvas de ponderaciones A y C (Montoya, 2016).

3.4.1. Indicadores del nivel sonoro

La percepción del sonido es bastante subjetiva, pues para algunas personas un ruido puede ser molesto pero para otras resulta agradable. Debido a esto se establecen valoraciones del ruido mediante índices energéticos durante un periodo de tiempo determinado. Los índices energéticos principales son: L_{eq} , L_{den} , L_{Aeq} y L_{Ceq} .

- Nivel continuo equivalente (L_{eq})

Se utiliza para entender el factor duración en la medición estadística de la exposición al ruido, pues este nivel energético representa el nivel de presión que produciría un ruido constante con la misma energía que el ruido realmente percibido, en el mismo intervalo de tiempo. Este valor sirve para expresar la media de distintos niveles sonoros en un periodo de tiempo determinado, y como consecuencia, se obtiene un nivel sonoro continuo equivalente. Se puede definir también como el nivel de ruido constante que en un intervalo de tiempo contiene la misma energía total que el ruido fluctuante que se ha medido.

- Nivel sonoro equivalente (L_{den})

Es aquel nivel sonoro que distingue tres periodos a lo largo de 24 horas: el diurno (de 07:00 h hasta 19:00 h), el de tarde (de 19:00 hasta 23:00) y el nocturno (de 23:00 hasta 07:00).

- Nivel continuo equivalente ponderado A (L_{Aeq})

Es aquel nivel de presión al que se le ha aplicado el filtro de ponderación A para las diferentes frecuencias del rango de medición. La escala de ponderación A penaliza el ruido de baja y alta frecuencia e incrementa el nivel de las frecuencias medias. Esto permite aproximar un determinado ruido a la percepción de este por los seres humanos.

- Nivel continuo equivalente ponderado C (L_{Ceq})

Es el nivel de presión sonora al que se le ha aplicado el filtro de ponderación C. Se utiliza para evaluar ruidos de alto nivel.

3.5. El estudio de la contaminación acústica.

Con el fin de actuar sobre niveles de ruido mayores a los permitidos, este estudio comienza con un diagnóstico de la situación actual, que normalmente se lleva a cabo mediante un mapa sonoro y una simulación en base a unos cálculos computarizados sobre un modelo de ruido. Gracias a estos mapas acústicos donde se visualizan los niveles de ruido existentes en una zona se puede comprobar, por ejemplo, el impacto que produciría la introducción de una nueva carretera o el aumento o disminución de la velocidad media a la que circula el tráfico. En general, estos instrumentos se utilizan para realizar predicciones acerca de modificaciones del plan urbanístico municipal.

Existen modelos de predicción de ruido, como los mapas de ruido por ejemplo, que en muchos casos tienen la finalidad del estudio de ruido de tráfico en ciudades. Estos modelos tienen en cuenta 4 variables: ruido del motor, ruido del escape, ruido de rodadura y ruido aerodinámico.

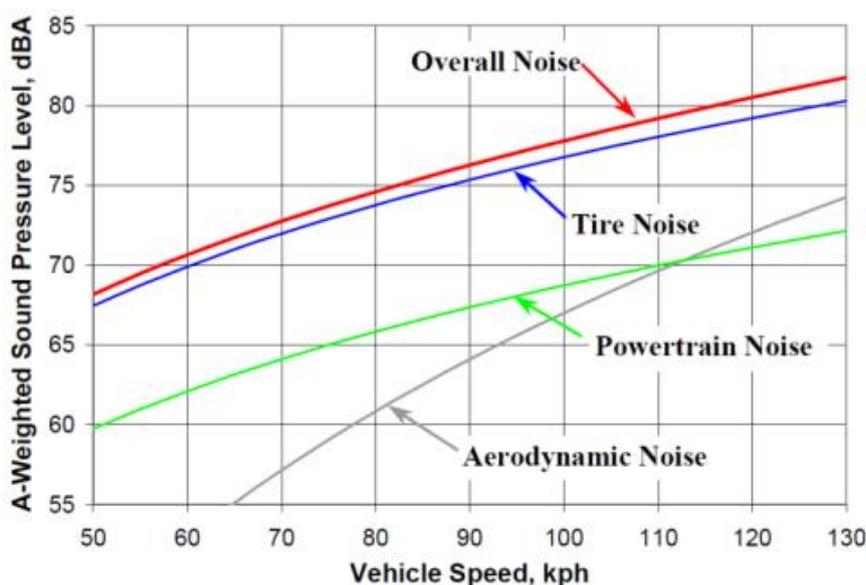


Figura 2. Contribuciones de varias fuentes de ruido de tráfico (Bernhard, *et al*, 2005).

En la Figura 2 se muestra cada una de estas variables y el nivel global de ruido producido por el tráfico rodado, expresándose el nivel sonoro en dBA.

La fuente más crítica es el ruido de rodadura, con dos frentes sobre los que se puede actuar: neumático y asfalto (Noriega, 2017).

3.6. Efectos del ruido en la salud de las personas

El ruido produce efectos negativos en la salud de las personas que son acumulativos y notorios a medio y largo plazo, lo que dificulta su detección y tratamiento rápido y eficaz. Estos se pueden clasificar en físicos y psicológicos, dependiendo del tipo de afección que producen.

El efecto físico más conocido de la exposición prolongada al ruido es la pérdida de audición. La intensidad del sonido y la duración de la exposición están relacionados, cuanto mayor sea en nivel de ruido, menor será el tiempo requerido de exposición para la producción de daños. La principal causa de pérdida de audición es la exposición a niveles sonoros más elevados de lo común, sobre todo en zonas con predominio del suelo de uso recreativo. Esta exposición puede provocar el aumento del umbral de audición, es decir, la intensidad mínima de sonido capaz de detectar el oído humano se incrementa. Además, la exposición continua a niveles altos de ruido puede provocar un daño irreversible en nuestro tímpano, o si se produce una exposición corta pero con niveles muy elevados se puede producir la rotura del tímpano, y por lo tanto, la pérdida de audición instantánea. En la Figura 3 se observa la localización del tímpano en el oído humano.



Figura 3. Fisiología del órgano auditivo humano (Hipólito, 2018).

Otros efectos físicos de la exposición a niveles de ruido altos durante tiempos prolongados son los dolores de cabeza o la hipertensión, llegando a producirse cambios en el sistema hormonal e inmunitario, aunque estos últimos únicamente están relacionados cuando el individuo recibe ondas sonoras durante un tiempo elevado. Numerosos estudios afirman que la exposición a altas

intensidades de los niveles sonoros causa una mayor presión sanguínea e incrementa el ritmo cardíaco, perturbando el flujo normal de la sangre en el organismo.

Los efectos psicológicos más destacados son el estrés y las alteraciones del sueño, que a su vez, este último desencadena irritabilidad, depresión, disminución del rendimiento laboral, etc., originando un menor rendimiento en la vida laboral.

Otro efecto perjudicial sobre el medio ambiente ocasionado por niveles altos de ruido es la afeción a la fauna del entorno. Numerosos animales guían su instinto por las ondas sonoras que reciben, tanto para alimentarse como por ejemplo para reproducirse. Por ello, es importante reducir los niveles sonoros de origen antropogénico si se quiere no afectar su comportamiento.

La mejor medida para disminuir los efectos dañinos provocados por el ruido es la prevención, gracias a la cual se puede disminuir en la medida de lo posible e incluso evitar la exposición de la población al ruido ambiental (Quiroz, 2018).

4. LEGISLACIÓN APLICABLE

Con motivo de reducir la contaminación acústica, se ha elaborado una legislación aplicable, que se extiende desde el ámbito europeo hasta el municipal.

Se estudian tanto las zonas sensibles acústicamente, aquellas sobre las cuales los efectos del ruido son perjudiciales, como los niveles sonoros máximos admisibles en cada zona acústica.

Cabe destacar que la legislación nacional es más restrictiva que la europea y a su vez la autonómica más que la nacional. Por último, la ciudad de Valencia desarrolló una ordenanza municipal que incluso es la más restrictiva de todas ellas con el objetivo de reducir el ruido sus efectos perjudiciales en la propia ciudad, ya que ésta es una de las más contaminadas acústicamente de España.

Es lógico que las restricciones de los niveles sonoros sean más estrictas a territorios más pequeños, ya que así se puede asegurar con mayor facilidad que no se superen los dBA establecidos en la legislación nacional o la europea, y así evitar, las penalizaciones que conlleva.

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

El ruido está considerado por la Unión Europea un problema medioambiental y así se ratifica en el Libro Verde de la Comisión y por ello se insiste en la necesidad de establecer una serie de medidas e iniciativas para su reducción, con el fin de mejorar la protección del medio ambiente y la salud de las personas. Teniendo en cuenta esto, en el año 2002 se adopta la Directiva 2002/49/CE, cuyo objetivo es establecer un enfoque común para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos derivados de la exposición al ruido ambiental.

La correcta evaluación del ruido es compleja, por ello, en dicha Directiva se propone el uso de indicadores y métodos de evaluación que sean comunes a todos los Estados miembros, además de establecer unos valores límite que no se puedan superar a fin de mantener espacios tranquilos en aglomeraciones.

Para la consecución de estos objetivos, la Unión Europea aplica una serie de medidas, que son: la determinación de la exposición al ruido ambiental, mediante la elaboración de mapas de ruido; informar a los ciudadanos europeos del ruido existente y sus efectos; y la elaboración de planes de acción con vistas a prevenir y reducir este problema.

Los indicadores de ruido utilizados comúnmente son L_{den} y L_{night} . El primero tiene como fin evaluar molestias y el segundo evaluar alteraciones de sueño. Estos a su vez se determinarán mediante los métodos de evaluación, para los cuales la Directiva propone unos provisionales.

Por ejemplo, para el ruido de tráfico rodado, el método recomendado es el método de cálculo francés “NMPB-Routes-96” incluido en la norma francesa “XPS 31-1 33”.

Con el objetivo de informar a la población acerca de su exposición al ruido, se elaboran los mapas estratégicos de ruido, que representan una situación acústica existente y pueden presentarse en forma de gráficos, datos numéricos en cuadros y en formato electrónico. La Directiva obliga a las aglomeraciones de más de 250 000 habitantes a elaborar y aprobar los mapas cada 5 años y a rangos de valores de L_{den} y L_{night} de 5 dB.

A su vez, los mapas estratégicos sirven de fundamento para los planes de acción, los cuales están encaminados a afrontar la reducción del ruido en lugares próximos a grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los 6 millones de vehículos al año. Estos planes recogen estimaciones con el objetivo final de la reducción del número de personas afectadas por el ruido; y se revisarán y modificarán cada 5 años.

Como se ha mencionado antes, una de las principales finalidades de la Directiva sobre la gestión del ruido ambiental es la información a la población, y por ello, la Comisión crea una base de datos con información y cada 5 años publica un informe de síntesis de los mapas estratégicos y los planes de acción. Este informe incluye una revisión de la calidad acústica y una selección de medidas para la reducción de los efectos nocivos y la relación coste-eficacia de las mismas.

4.2. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido

España, como Estado miembro de la Unión Europea tiene la obligación de cumplir las directrices en materia de ruido, por ello se realiza la transposición de la Directiva en la Ley Estatal 37/2003, del Ruido.

Esta ley tiene por objeto “prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, para evitar o reducir los daños que de ésta puedan derivarse para la salud humana, los bienes o el medio ambiente”.

Distingue distintos tipos de áreas acústicas:

- a) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial;
- b) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial;
- c) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos;
- d) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al contemplado anteriormente;
- e) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural;

- f) Sectores del territorio con predominio de suelo afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte;
- g) Espacios naturales que requieran especial protección.

En esta ley aparece definido las zonas de servidumbre acústica como “sectores afectados por infraestructuras de transporte viario, ferroviario, aéreo, portuario u otros equipamientos públicos”.

Es de competencia estatal la fijación de los valores límite de emisión e inmisión, el régimen de homologación de los instrumentos y los procedimientos que se empleen en la evaluación.

Las administraciones deben aprobar los mapas de ruido, cuyo objetivo es permitir la evaluación de la exposición a la contaminación acústica, permitir la realización de predicciones globales y posibilitar la adopción de medidas correctoras. Estos instrumentos de evaluación del ruido se realizarán para grandes ejes viarios, ferroviarios, grandes aeropuertos y aglomeraciones de más de 100 000 habitantes.

Basados en los mapas de ruido se elaboran los planes de acción, siguiéndose así las directrices marcadas por la Directiva. Los objetivos de los planes de acción son: afrontar la contaminación acústica, determinar las acciones en caso de incumplimiento de los objetivos de calidad acústica y proteger las zonas tranquilas en aglomeraciones. Además, deben precisar las actuaciones a realizar para el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Otro término que no contempla la Directiva y sí lo hace la normativa estatal son las zonas de protección acústica especial, definidas como “áreas acústicas en las que se incumplen los objetivos de calidad acústica, aún observándose por los emisores acústicos valores límites aplicables”. En estas áreas se aplicarán planes zonales específicos, que contendrán medidas correctoras, su cuantificación económica y un proyecto de financiación; con el objetivo de alcanzar los niveles de calidad acústica.

Si aún con las medidas propuestas en los planes zonales específicos no se consigue el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica, se declarará el área como “zona de situación acústica especial y se aplicarán medidas específicas dirigidas a largo plazo para mejorar la calidad acústica y asegurar el cumplimiento de los valores límite.

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, expone los objetivos de calidad acústica para ruido (Tabla 1. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes) y los valores límite de inmisión

(Tabla 2. Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias).

Tabla 1. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes. Ley 37/2003, de Ruido.

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L _d	L _e	L _n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	65	65	55
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al contemplado en c)	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65
f	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

Tabla 2. Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias. Ley 37/2003, del Ruido.

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L _d	L _e	L _n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural	55	55	45
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	60	60	50
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al contemplado en c)	65	65	55
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	68	68	58
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	70	70	60

4.3. Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica

La Comunidad Valenciana se adelantó a la normativa y estatal y en 2002 aprobó una ley en la que además del ruido, también identificaba las vibraciones como causantes de la contaminación acústica, definiendo éstas como perturbaciones que provocan la oscilación de los cuerpos sobre su posición de equilibrio.

Esta ley dicta que las mediciones de niveles sonoros se deben realizar utilizando sonómetros, sonómetros integradores y calibradores sonoros que cumplan la normativa vigente; y las mediciones de vibraciones se realizarán utilizando acelerómetros y analizadores de frecuencia.

Tanto para el ambiente exterior como para el interior, la ley autonómica establece unos objetivos de calidad que no se deben superar en función del uso del suelo dominante en cada zona. Estos niveles de calidad se expresan como nivel sonoro continuo equivalente $L_{Aeq,T}$.

Tabla 3. Niveles de recepción externos. Ley 7/2002 de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica.

Uso dominante	Nivel sonoro dB(A)	
	Día	Noche
Sanitario y docente	45	35
Residencial	55	45
Terciario	65	55
Industrial	70	60

Con la finalidad de identificar los problemas relacionados con la contaminación acústica y el establecimiento de medidas preventivas y correctoras para mantener los niveles sonoros adecuados, la Generalitat Valenciana propone ciertos instrumentos de planificación y gestión acústica, que son: Plan Acústico de Acción Autonómica, planes acústicos municipales, ordenanzas municipales y Declaración de Zonas Acústicamente Saturadas.

El Plan Acústico de Acción Autonómica coordina las actuaciones de las administraciones públicas en sus acciones contra el ruido y fomenta la adopción de medidas para la prevención y reducción de las emisiones sonoras. Además de concienciar y formar a la población acerca de las consecuencias de la exposición al ruido. Todo esto no podría ser posible sin potenciar la investigación y la implantación de nuevas tecnologías, lo que también fomenta la ley autonómica.

Los planes acústicos municipales tienen por objeto identificar las distintas áreas acústicas en función de su uso o de sus condiciones acústicas y la adopción de medidas encaminadas a reducir los niveles sonoros. Estos planes se elaboran por municipios de más de 20 000 habitantes y englobarán todo el término municipal. En ellos se incluye un mapa acústico y un programa de actuación con una serie de medidas, como por ejemplo, la regulación del tráfico rodado. Estos mapas acústicos analizan los niveles de ruido y proporcionan información de las fuentes sonoras causantes de la contaminación acústica, además de distinguir entre zonas rústicas y urbanas. Contienen los resultados de las mediciones, análisis de los niveles de ruido, la identificación de la naturaleza de las fuentes sonoras y el diagnóstico de la situación general.

Las Zonas Acústicamente Saturadas son aquellas en las que se producen niveles sonoros elevados debido a la existencia de numerosas actividades recreativas, espectáculos, ruido de tráfico, etc. Se declararán estas zonas cuando se sobrepasen dos veces por semana durante tres semanas consecutivas, o tres alternas en 35 días, y en más de 20 dB(A) los niveles establecidos en la Tabla 3.

La ley autonómica también propone ámbitos de regulación del ruido producido por los medios de transporte, por ejemplo, queda prohibida la circulación de vehículos que emitan ruido superiores a los reglamentados, mostrados en: Tabla 3. Niveles de recepción externos; o la adopción de un Plan de mejora de calidad acústica en el caso de que la presencia de una infraestructura de transporte ocasione una superación de más de 10 dB(A) de los límites fijados en dicha tabla.

Se ha avanzado en gran medida en la protección de los ciudadanos contra la contaminación acústica mediante una legislación específica para ello, sin embargo, todavía existen zonas saturadas acústicamente u otras en las que no se cumplen los límites establecidos, por ello, es necesario seguir trabajando en este ámbito y proporcionar, tanto a la población como al medio ambiente, una seguridad acústica.

4.4. Ordenanza Municipal de Protección contra la Contaminación Acústica

En 2008 se estableció por el Ayuntamiento de Valencia una ordenanza con el objetivo de prevenir, vigilar y corregir en la medida de lo posible la contaminación acústica en el territorio municipal de Valencia, para proteger la salud de los ciudadanos y mejorar la calidad del medio ambiente.

El ámbito de aplicación de esta ordenanza engloba con carácter general a las edificaciones, como receptores acústicos, los elementos constructivos y ornamentales, que contribuyan a la transmisión de ruidos y vibraciones, además de todos aquellos emisores acústicos que generen ruidos y vibraciones susceptibles de causar efectos perjudiciales en la población y el medio ambiente.

En el Anexo I de esta Ordenanza se establecen los niveles sonoros máximos permitidos, tanto en ambiente exterior como en áreas interiores, con el fin de regular los niveles de ruido.

En el exterior, se establecen unos niveles sonoros de recepción, medidos en dBA, que no podrán ser superados en el término municipal de Valencia. Éstos se establecen en función del uso dominante de cada zona establecida y se recogen en la Tabla 4:

Tabla 4. Niveles de evaluación de recepción externa. Ordenanza Municipal de Protección contra la Contaminación Acústica.

Uso dominante	Nivel sonoro dBA	
	Día/Tarde	Noche
Sanitario y docente	45	35
Residencial	55	45
Terciario	65	55
Industrial	70	60

Para el ambiente interior se establecen los siguientes límites sonoros máximos permitidos, dependiendo del uso predominante de la zona, como ocurre en el ambiente exterior. Estos límites se muestran en las Tablas 5 y 6:

Tabla 5. Niveles de evaluación de transmisión por vía aérea en el ambiente interior. Ordenanza Municipal de Protección contra la Contaminación Acústica.

Uso dominante	Nivel sonoro dBA	
	Día/Tarde	Noche
Sanitario y docente	45	35
Residencial	55	45
Terciario	65	55
Industrial	70	60
Recreativo y espectáculos	68	58

Tabla 6. Niveles de evaluación de transmisión por vía interna estructural en el ambiente interior. Ordenanza Municipal de Protección contra la Contaminación Acústica.

Uso	Locales	Nivel sonoro dBA	
		Día/Tarde	Noche
Sanitario	Estancias	45	35
	Dormitorios	40	30
Residencial	Estancias	45	35
	Dormitorios	40	30
Docente	Aulas	40	35
	Salas de lectura	35	35
Cultural	Salas de conciertos	35	35
	Bibliotecas	35	35
	Museos	45	45
	Exposiciones	45	45

Recreativo	Cines	35	35
	Teatros	35	35
	Bingos y salas de juego	45	45
	Hostelería	45	45
Comercial	Bares y establecimientos comerciales	45	45
Administrativo y oficinas	Despachos profesionales	40	40
	Oficinas	45	45

Toda la legislación desarrollada en las últimas décadas en relación a la prevención de la contaminación acústica ha sido un gran avance, sin embargo, aún queda trabajo que realizar para su prevención y su reducción en origen.

5. ZONA DE ESTUDIO

5.1. Historia de Benimaclet

Benimaclet se corresponde con el distrito 14 de la ciudad de Valencia, situada al este de España, en la costa Mediterránea. Limita al norte con el municipio de Alboraya, al este con Algirós, al sur con El Pla del Real y al oeste con Rascaña y La Zaidía.

El nombre de Benimaclet proviene del árabe, en el que el prefijo “Beni” significa familia o clan. En el siglo XIII se trataba de una zona con renombre, rica en recursos naturales, entre los que destaca la Huerta Norte de la ciudad de Valencia. Se encontraba a mitad camino entre Alboraya y el río Turia y no muy lejos del mar, donde cobró mucha importancia la aglomeración de alquerías (pequeñas comunidades rurales que se localizaban en las inmediaciones de las ciudades y que se dedicaban a explotar las tierras de los alrededores).

El principal motor económico era la agricultura, que en ocasiones se veía afectado por las inundaciones del Turia. Debido a esto, se realizó la construcción de muros de defensa de forma que el lado norte de la muralla tenía menor altura, ya que el río solía inundar los caminos de Alboraya, buscando el agua el encuentro con el barranco de Carraixet.

En el siglo XVIII se produce un incremento de la población, que trajo consigo prosperidad económica a la zona, ligada fundamentalmente a la agricultura y a la cosecha del gusano de seda. Esta última actividad estuvo ligada con la expansión de la industria textil, que tuvo un impacto considerable a nivel nacional.

En 1764, se creó la municipalidad de Benimaclet, convirtiendo un conjunto de alquerías y barracas de la Huerta Norte de Valencia en un municipio independiente. Posteriormente, en el siglo XIX, se prolongan una serie de conflictos bélicos y sociales que llevarán consigo consecuencias perjudiciales para la vida agrícola y para la cosecha del gusano de seda. A todo esto se suman las epidemias de cólera que se originaban como consecuencia de las malas condiciones higiénicas en la población en la que abundaban las aguas estancadas y los pozos ciegos (Domenech, 2011).

En 1882, Benimaclet dejó de ser un pueblo independiente para convertirse en pedanía de Valencia, aunque prácticamente se mantiene el mismo núcleo, creciendo ligeramente hacia el norte y el sureste.

En 1972 pasó a ser el distrito 14 de la ciudad de Valencia. Aunque hayan pasado muchos años formando parte de la ciudad de Valencia, se siguen conservando las raíces de un pueblo

labrador, que sobre todo se refleja en la planificación urbanística de sus calles céntricas y sus construcciones más antiguas.

5.2. Localización de la zona de estudio

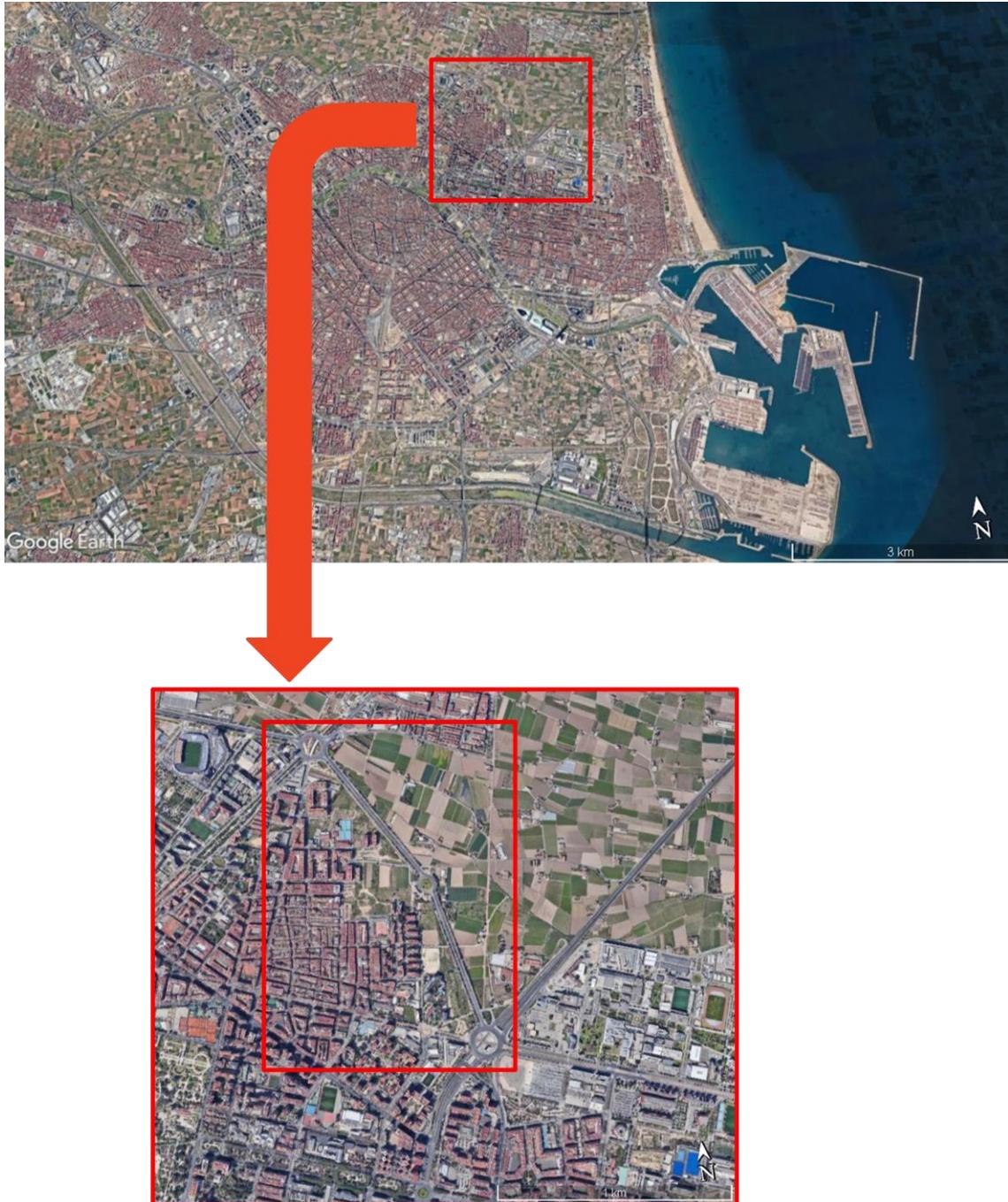


Figura 4. Localización de la zona de estudio. Elaboración propia a partir de datos de Google Earth.

Se trata de una amplia zona que engloba el antiguo municipio de Benimaclet, las posteriores construcciones de vivienda realizadas en el periodo más reciente y el área que engloba el Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia.

En un principio, el territorio era en gran mayoría parte de la Huerta Valenciana, sin embargo, a medida que ha pasado el tiempo, estas zonas se han ido transformando en suelo urbanizable y ya son numerosas las viviendas existentes en la zona.

Concretamente, el estudio se centra en la zona noreste de Benimaclet, bordeando la ronda norte por el margen izquierdo y delimitado por el barrio histórico. Los usos que la población da a esta área son básicamente como aparcamiento, espacio publicitario y pequeñas explotaciones agrarias correspondientes a la Huerta Valenciana.

El PAI (Proyecto de Actuación Integrada) de Benimaclet Este se trata de un proyecto de 269775 m² de superficie en el que se construirán 1345 viviendas (Gil & Monrabal, 2019). Estos futuros edificios se situarán al borde de la Ronda Norte, carretera con una circulación de vehículos bastante densa, por lo que es conveniente realizar un estudio del ruido en el que se reflejen los efectos de los niveles sonoros producidos por el tráfico rodado en la próxima zona residencial. Además de proponer una serie de medidas correctoras con el fin de disminuir estos efectos perjudiciales para el descanso, uso y disfrute de los vecinos. En la Figura 5 se muestra la propuesta de construcción.



Figura 5. Propuesta del futuro PAI Benimaclet Este (Romero, 2018).

6. METODOLOGÍA EN LA TOMA DE MEDIDAS

6.1. Metodología de la toma de muestras

Explicada la situación actual del futuro PAI de Benimaclet Este se procede a definir la metodología empleada en el presente estudio acústico.

Existen dos tipos de metodologías para la realización de un estudio acústico: la estática y la dinámica. En las dos tiene lugar un muestreo espacial, es decir, una serie de puntos de medida ubicados respecto a las diferentes condiciones de la zona de estudio; y un muestreo temporal, teniendo en cuenta diferentes periodos horarios en los que los niveles acústicos fluctúan. Sin embargo, dependiendo de la metodología estática o la dinámica, la forma de realizar el estudio acústico es distinta.

6.1.1. Metodología estática

Se lleva a cabo mediante la medición en continuo del nivel de ruido existente en unos puntos seleccionados fijos. Estas medidas proporcionan información ininterrumpida acerca de los decibelios existentes a lo largo de un periodo de tiempo prolongado., es decir, se da más importancia a la evolución del ruido a lo largo del tiempo que al muestreo espacial.

El problema de este tipo de metodología es el costo que conlleva, pues resulta inviable económicamente realizar el estudio acústico en tiempos adecuados. Un elevado número de puntos de medición implica un tiempo excesivo en la elaboración de las mediciones, lo que produce un desfase entre las medidas iniciales y finales en la toma de muestras.

Sin embargo, la metodología estática ofrece un amplio abanico de datos sobre el ruido medio existente en la zona de estudio. Por ello se suele utilizar en estudios de ruido de los cuales no se tiene mucha información.

6.1.2. Metodología dinámica

La metodología dinámica lleva consigo una elaboración y un control de medida más exhaustivo que la anterior descrita. Para llevarla a cabo es necesario un conocimiento previo acerca de las variaciones del nivel de ruido existentes en la zona de estudio, para así poder establecer unos periodos de tiempo concretos, en los cuales los niveles sonoros serán distintos.

La ventaja de esta metodología es que un único equipo de medida es suficiente para realizar el estudio acústico de una zona extensa y sin producirse desfases entre las medidas iniciales o finales como ocurre en la metodología estática.

El inconveniente es su detallado planteamiento teórico inicial, además de un conocimiento mayor de la evolución del ruido de la zona y de los procesos de medida y control de los resultados más cuidadoso.

Descritos los dos tipos de metodología, en este trabajo se opta por la dinámica, ya que es la más viable económicamente y la que se puede realizar con un solo aparato de medición. La metodología seleccionada nos permite a su vez realizar un muestreo de una duración aceptable y no de largos tiempos de medición como requiere la estática, obteniendo así unas medidas sin desfases entre las iniciales y las finales.

6.2. Equipos de medición

Las mediciones de ruido realizadas en el presente trabajo se han realizado de acuerdo a las exigencias básicas legislativas.

La Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica, refleja en su artículo 10 que “las mediciones de niveles sonoros se realizarán utilizando sonómetros, sonómetros integradores – promediadores y calibradores sonoros que cumplan con la normativa vigente reguladora del control metrológico del estado sobre los instrumentos destinados a medir niveles de sonido audible”; y define el sonómetro como “instrumento provisto de un micrófono amplificador, detector de RMS, integrador-indicador de lectura y curvas de ponderación, que se utiliza para medición de niveles de presión sonora”.

Estos sonómetros deben llevar incorporado un filtro de ponderación en frecuencias A, ya que la legislación obliga a que los niveles sonoros medidos sean expresados en dBA, pues la escala de ponderación A modifica la respuesta en frecuencia del sonido, para aproximarse a la reacción del oído humano ante el mismo.

El sistema básico de medida de estos equipos cuenta con un micrófono, una sección de análisis y una unidad de visualización.

El micrófono es el elemento encargado de recibir la señal acústica y por tanto es el elemento más importante de un sonómetro. Existen tres tipos de micrófonos, piezoeléctricos, electromagnéticos y de condensador. Estos últimos son los más precisos, y por lo tanto, los más utilizados. Las dos características fundamentales de un micrófono son la sensibilidad y la respuesta en frecuencia. La primera depende del tamaño del micrófono, a mayor tamaño mayor sensibilidad y es la tensión eléctrica que suministra el micrófono cuando está recibiendo una onda sonora de 1 Pa. La segunda refleja la variación de un estímulo con respecto a la frecuencia,

disminuye al aumentar el tamaño del micrófono y debe de ser lo más plana posible en el rango de frecuencias que se quiera trabajar (Uris, 2018).

“La selección de análisis cuenta con un control de ganancia en el que se establece el rango de medida, un control de frecuencia en el que se establece el tipo de ponderación y (A, C o lineal) y un detector para calcular el valor eficaz y fijar la ponderación temporal” (Uris, 2018). Esta última se refiere a la velocidad con la que son tomadas las muestras y puede tomar cuatro valores diferentes:

- Slow: el tiempo de respuesta del detector es de 1000 ms.
- Fast: el tiempo de respuesta del detector son 125 ms.
- Impulse: tiene un tiempo de respuesta en la subida de 35 ms y un tiempo de respuesta para la bajada de 1500 ms.
- Peak: el tiempo de respuesta del detector es menor de 100 μ s, aunque varía de un equipo a otro.

Por último, la unidad de visualización cuenta con un conversor analógico-digital, un controlador para fijar el tipo de lectura y una pantalla donde se observa la medida realizada.

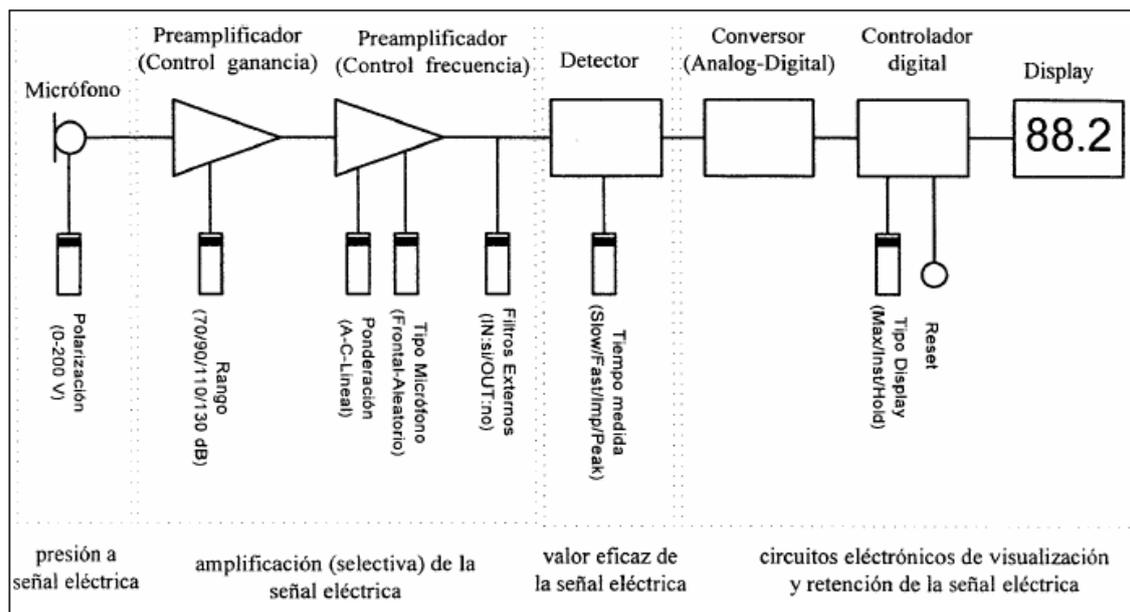


Figura 6. Esquema de un sonómetro básico (Uris, 2018).

Por un lado se encuentran los sonómetros más básicos, aquellos que cuentan con el filtro de ponderación en frecuencias A y sólo proporcionan el nivel de presión acústica L_p , por ello sólo se utilizan para medir ruidos estables (variaciones menores de 5 dBA). Se muestra un esquema de este tipo de sonómetros en la Figura 6.

Aquellos que disponen de salida digital son más precisos y ofrecen medidas actualizadas cada segundo. Esto es posible gracias a que este tipo de sonómetros proporcionan un valor instantáneo (valor medio cada segundo) y un valor máximo (valor máximo de los medidos en un segundo).

Existen otros más complejos, llamados sonómetros integradores, que además de suministrar los valores instantáneos anteriormente descritos, calculan el nivel de presión acústica continuo equivalente y además proporcionan los niveles estadísticos y los niveles máximos y mínimos, entre otros.

6.3. Equipo utilizado

En consecuencia a las exigencias legislativas con respecto a la metodología empleada en la realización de las mediciones, el equipo utilizado en la fase experimental del presente trabajo se compone de un sonómetro, un micrófono y un trípode.

El sonómetro es de tipo integrador, de la marca Brüel & Kjær, propiedad del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Valencia. Este sonómetro corresponde al modelo 2238, serial 1575256, con módulo SLM integrado BZ7710 y clase 1, además lleva incorporado filtros de octava y tercios de octava.

El micrófono es de tipo condensador prepolarizado, también de la marca Brüel & Kjær, tipo 4155, serial 1215052, diámetro 13.2 mm y altura 17.3 mm.

Por último, el trípode, utilizado para sostener el sonómetro con el micrófono incorporado.

Cabe destacar que el equipo de medición está calibrado con las siguientes condiciones:

- Presión atmosférica estática: 1013 mBar.
- Temperatura ambiente: 22 °C.
- Humedad relativa: 39%.

6.4. Ubicación de los puntos de muestreo

El área estudiada muestra una gran complejidad, debido a que todas las zonas no son accesibles para realizar la medición del ruido. Además presenta una forma irregular, con lo que si trazásemos una retícula, muchos de los puntos de medida habría que modificarlos. Por ello, la ubicación de los mismos se realiza atendiendo a unos criterios específicos y razonables.

Se ubican puntos de medida donde existan semáforos, ya que en estas zonas el nivel de ruido va a variar con respecto al resto de la carretera, debido al incremento de ruido que se produce por la aceleración de los vehículos principalmente.

También se determinan puntos en las proximidades de las rotondas, donde el tráfico rodado disminuirá su velocidad al entrar en las mismas y aumentará al salir de ellas.

A su vez también hay puntos en las zonas intermedias de la carretera, donde los vehículos tendrán una velocidad constante y el nivel sonoro tendrá menos fluctuaciones.



Figura 7. Imagen izquierda: equipo de medición completo. Imagen derecha: sonómetro y micrófono realizando la medición *in-situ*. Elaboración propia.

La ubicación de los puntos de muestreo se realiza siguiendo unas líneas paralelas a la vía principal de estudio, con el objetivo de comprobar experimentalmente cómo los niveles sonoros emitidos por el tráfico rodado van disminuyendo a medida que aumenta la distancia a dicha fuente lineal. Estas líneas paralelas imaginarias no son exactas, pues como se ha dicho anteriormente, en el área de estudio existen zonas de complicado acceso para realizar la medición *in-situ*.

Por lo tanto, las mediciones del ruido procedente del tráfico rodado que circula por la vía comprendida entre la rotonda de la Torre Miramar hasta la rotonda de la Avenida Alfahuir, se han realizado teniendo en cuenta el caudal de vehículos que pasan por un sector concreto de la vía en tiempos determinados, es decir, teniendo en cuenta la afección de los semáforos y las rotondas a la circulación regular de los vehículos. Estos dos motivos a la hora de la localización de los puntos de medida son primordiales y determinantes en la variación del ruido estudiado, debido a la frenada y la aceleración de los vehículos. Además, el trazado de líneas paralelas a la

vía con una distancia más equivalente entre ellas también es importante a la hora de evaluar la disminución del ruido al aumentar la distancia a la vía.

Siempre procurando que estos puntos de muestreo tengan la mayor localización estratégica posible en la medida que el terreno de la zona lo permita, para que el estudio de la zona dé unos resultados lo más aproximado a la realidad posible.

6.5. Condiciones estándares de medición

Las medidas del nivel de ruido se deben realizar atendiendo a una serie de características para estandarizar lo máximo posible los resultados obtenidos y obtener una representación real de la situación acústica existente.

Lo primero es que el equipo de medición esté situado a una cierta altura, para ello se utiliza el trípode, gracias al cual se consigue que el micrófono diste del suelo 1.8 m y esté colocado con una inclinación de 45° sobre el plano horizontal.

Con respecto al sonómetro, la medición de los niveles sonoros se debe realizar empleando la curva de ponderación A, con lo que los niveles de ruido vendrán expresados en dBA. Además, el tiempo de respuesta del detector es de 125 ms, es decir, la ponderación temporal del aparato es de tipo Fast.

El tiempo de muestreo de las mediciones es de 10 min, gracias al cual se llega a una estabilización en la medida del ruido, registrándose el nivel L_{eq} y el nivel L_{max} .

El rango de medición de sonómetro se mantendrá normalmente entre los 30 dBA y los 110 dBA, modificándolo cuando sea oportuno debido a los niveles de ruido existentes, para evitar la saturación del aparato.

Por último, cabe destacar que las mediciones se realizan con unas condiciones meteorológicas estándar, es decir, no se realizarán cuando existan precipitaciones o en el suelo exista agua procedente de las mismas; y tampoco se realizarán cuando el viento en la zona de estudio supere los 5 m/s. Estas restricciones meteorológicas se realizan debido a que el agua de lluvia y el viento provocan que el nivel de ruido ascienda en la medición y no se represente adecuadamente la realidad más común en área de estudio.

6.6. Elección de los periodos horarios

La evaluación del ruido se realizará en el periodo diurno de 7:00h a 19:00h, no realizándose durante el periodo vespertino (19:00h a 23:00h) ni en periodo nocturno (23:00h a 7:00h).

A su vez, el conjunto de medidas se recopilarán a lo largo de 15 días laborables (de lunes a viernes), excluyéndose los fines de semana dado que el tráfico varía considerablemente en la zona estos dos últimos días de la semana. Concretamente las mediciones se han realizado desde el 28 de enero de 2019 hasta el 15 de febrero de 2019.

El periodo diurno en el que se realizan las medidas se ha dividido en 4 periodos horarios debido a que las características del tráfico varían dependiendo según la hora del día, debido en la mayor parte a motivos laborales.

El periodo 1 se establece entre las 7:00h y las 9:00h. Se trata de dos horas con un gran caudal de vehículos, debido básicamente a motivos laborales y docentes. La vía de estudio es una importante zona de tránsito de los vehículos que la utilizan para acceder y salir de la ciudad de Valencia hacia los municipios adyacentes del norte. Por lo que en estas dos horas existe un gran número de personas que se trasladan por medio del transporte privado a sus lugares de trabajo o a su centro de estudio, que en este caso es la Universidad Politécnica de Valencia, la cual se ubica en la parte este de la zona estudiada.

El periodo 2 engloba desde las 9:00h hasta las 13:00h. Se trata de un tiempo en el que el tráfico rodado es más bien escaso, ya que la mayoría de la población no se traslada porque se encuentra trabajando o, en el caso de los estudiantes, en la Universidad. Por lo tanto se podría decir que es el periodo en el que los niveles sonoros son más bajos.

El periodo 3 se extiende desde las 13:00h hasta las 15:30h. En este tiempo, el ruido provocado por el tráfico rodado comienza a ser mayor, ya que la población termina la jornada laboral o docente y regresa al lugar de residencia. Sin embargo, será menos ruidoso a su vez que el periodo 1, debido a que no todo el mundo cuenta con una jornada laboral intensiva y muchas personas se desplazan más tarde a las áreas residenciales.

Por último, el periodo 4 se establece entre las 15:30h hasta 19:00h. Menos ruidoso que el anterior, el caudal de vehículos se reduce ya que las jornadas laborales de las empresas no suelen acabar a la misma hora, por lo que el tráfico es más discontinuo y menos elevado. Se trata, por lo tanto, de un periodo no muy ruidoso, al igual que el periodo 2.

De estos cuatro periodos, el 1 y el 3 serán los que tendrán los niveles sonoros más altos debido a que el tráfico será mayor por la entrada y salida de la población a sus correspondientes lugares de trabajo, sin embargo los periodos 2 y 4 tendrán unos niveles sonoros más bajos ya que engloban el periodo medio de la mañana y la tarde, y por lo tanto el tráfico en la ciudad no es tan intenso.

7. MÉTODO DE CÁLCULO FRANCÉS “NMPB-ROUTES-96”

De todos los métodos existentes de predicción del ruido, uno de los principales es el Método Francés NMPB-Routes-96. Se trata del recomendado por la comisión de la Unión Europea y es el aplicado en España para la realización de los mapas de ruido y el cálculo de los niveles sonoros originados por el tráfico rodado en las proximidades de una vía, siempre teniendo en cuenta las atenuaciones que se producen en la propagación de las ondas sonoras.

Este método ofrece la potencia acústica resultante que produce el tráfico rodado, siendo ésta dependiente del caudal de vehículos, la velocidad de los mismos, la pendiente de la vía, etc. A su vez, está basado en la asignación de una energía individual a cada vehículo y a partir de estas se predicen los niveles sonoros emitidos por el tráfico rodado (Cantalapiedra, 2018).

Aunque el método se publicó hace bastantes años (1980) y esté basado en medidas experimentales de trenes, el planteamiento teórico es el más apropiado para la predicción de niveles sonoros originados por el tráfico rodado debido a su simplicidad.

“El procedimiento de medida “XPS 31-133” hace referencia a la “Guide du Bruit 1980” como modelo de emisiones por defecto para el cálculo del ruido procedente del tráfico rodado”.

Como se ha mencionado anteriormente, este procedimiento de medida tiene en cuenta el nivel sonoro máximo de paso de los vehículos L_{Amax} , la velocidad, el tipo de vehículo, la pendiente de la vía y el flujo de tráfico para el cálculo del nivel de emisión sonora producido por el tráfico rodado. Sin embargo, no contempla el tipo de pavimento a la hora de realizar el cálculo del ruido (Delgado, 2008).

También tiene en cuenta lo plasmado en la ISO 9613, es decir, la dispersión del ruido dependiendo de las condiciones ambientales del momento y la orografía del terreno, así como posibles obstáculos que se encuentren en la trayectoria de la dispersión del sonido, como pueden ser barreras vegetales o pantallas acústicas.

El Método Francés es válido cuando la velocidad de los vehículos está comprendida entre 20 km/h y 120 km/h, por este motivo, cuando las velocidades son bajas (menores de 50 km/h) se perfecciona el método teniendo en cuenta los flujos de tráfico. Cabe destacar que las velocidades que sean inferiores a 20 km/h se fijarán como este dato. Si por algún motivo no se puede calcular la velocidad media, la velocidad establecida para el cálculo de emisión de ruido será la máxima permitida en la vía correspondiente.

Es importante destacar que una vez que los vehículos han alcanzado una determinada velocidad, el nivel sonoro emitido por éstos depende exclusivamente del contacto entre el neumático y el

pavimento, lo que deja de lado el ruido del motor del vehículo por ser despreciable con respecto al ruido de rozamiento del vehículo en la carretera a elevadas velocidades (Delgado, 2008).

El flujo de vehículos es otro de los factores fundamentales a la hora de calcular el nivel sonoro que produce el tráfico rodado. Se puede clasificar en cuatro tipos, dependiendo de la aceleración, la carga del motor y la continuidad de los mismos:

- Flujo continuo fluido: la velocidad a la que se mueven los vehículos es constante y el flujo estable en el tiempo y en el espacio durante al menos diez minutos. Es característico del tráfico de autovías, autopistas y carreteras interurbanas.
- Flujo continuo en pulsos: se produce cuando los vehículos aceleran o desaceleran en intervalos de tiempo y espacio inestables, lo que produce variaciones bruscas en el flujo, aunque la velocidad sigue siendo constante. Este tipo de flujos corresponde a calles de centros urbanos, vías que se suelen encontrar saturadas o con intersecciones, pasos de peatones, etc.
- Flujo acelerado en pulsos: el flujo que se produce es variable, pero con una proporción significativa de los vehículos en aceleración, es decir, la velocidad tiene sentido sólo en puntos discretos, no es estable en todo el trayecto. Las vías rápidas después de una intersección, los peajes o los accesos a las autopistas son ejemplos de este tipo de flujo.
- Flujo decelerado en pulsos: la mayor parte de los vehículos que circulan por la vía están decelerando y la velocidad, como en el caso anterior, sólo tiene sentido ciertos puntos. Este flujo es característico de salidas de vías rápidas, aproximación de peajes, etc.

El Método de cálculo Francés “NMPB-Routes-96” descrito está formado por dos submodelos: el modelo fuente y el modelo propagación. El primero de ellos predice la emisión sonora originada por el tráfico rodado y el segundo, predice la propagación del ruido desde que es originada en el punto inicial hasta que es recibido por el receptor en un punto a distancia determinada.

El nivel de presión acústica resultante se halla mediante la siguiente fórmula:

$$L_{A,w,i}(dBA) = [(E_{vl} + 10 \log Q_{vl}) \oplus (E_{vp} + 10 \log Q_{vp})] + 20 + 10 \log L_i + R_j$$

Donde:

- E_{vl} : nivel de emisión de ruido de vehículos ligeros.
- E_{vp} : nivel de emisión de ruido de vehículos pesados.
- Q_{vl} : caudal de vehículos ligeros.
- Q_{vp} : caudal de vehículos pesados.
- L_i : longitud de la fuente lineal.

- R_j : valor del espectro del tráfico normalizado con ponderación A.

Cabe destacar que los vehículos ligeros son aquellos que tienen un peso inferior a 3.5 toneladas y los vehículos pesados aquellos que pesan más de 3.5 toneladas.

Descripción del modelo propagación.

Este modelo detalla la atenuación acústica producida por la propagación de las ondas sonoras. El nivel de potencia acústica producido por una fuente tiene una atenuación total que se divide en cuatro tipos de atenuaciones diferentes.

- 1) Atenuación debida a la divergencia geométrica.

Se refiere al nivel de ruido reducido debido a la distancia de propagación. Para una fuente cilíndrica, en campo libre, se expresa de la siguiente manera:

$$A_{div} = 10 \cdot \log(4\pi d^2) \approx 20 \cdot \log(d) + 11$$

Siendo d la distancia recorrida por el sonido.

- 2) Atenuación debido a la absorción atmosférica.

El intercambio de energía vibratoria y la fricción en las moléculas del aire provocan la atenuación del sonido cuando este atraviesa el medio aéreo, esto se puede expresar como:

$$A_{atm} = \frac{\alpha \cdot d}{1000}$$

Siendo α el coeficiente de atenuación atmosférica en dB/km y d la distancia recorrida.

- 3) Atenuación por efecto del suelo.

El suelo produce dos efectos contrarios en la propagación del sonido, uno de aumento, producido por el reflejo desde el suelo hacia el receptor; y otro de disminución de la propagación del sonido debido a la propia absorción producida por el suelo. Todo esto depende del tipo de suelo y de la altura del receptor sobre el terreno. Como resumen se puede decir que la atenuación producida por el suelo es mayor cuanto menor sea el ángulo de incidencia de las ondas sonoras respecto a la horizontal. Cabe destacar que la porosidad del suelo está ligada directamente con la capacidad de atenuación del ruido, siendo los suelos compactos los menos absorbentes.

4) Atenuación por difracción.

Esta se compone de las diferentes condiciones de reducción sonora que experimentan las ondas acústicas en toda su trayectoria, es decir, en la distancia ente la fuente y el receptor. Se compone a su vez de tres tipos:

- Atenuación debida a la difracción de la fuente y el receptor.
- Atenuación debida al efecto del suelo en el lado de la fuente.
- Atenuación debida al efecto del suelo en el lado del receptor.

El cálculo de los niveles sonoros se realiza siguiendo una serie de pasos, descritos a continuación (Campello, 2014):

- 1) Las fuentes de ruido se descomponen en fuentes puntuales de sonido.
- 2) Se determina el nivel de potencia acústica en cada punto.
- 3) Hallazgo del camino de propagación entre la fuente puntual y el receptor que puede ser directo, reflejado y difractado.
- 4) Cálculo de las atenuaciones en condiciones favorables y homogéneas y del nivel a largo plazo.
- 5) Cálculo de las atenuaciones originadas por las condiciones de contorno del modelo.
- 6) Por último, con el fin de calcular el nivel sonoro total en el punto receptor, se halla la acumulación del nivel sonoro a largo plazo de cada trayectoria.

8. MAPAS DE RUIDO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los mapas de ruido son herramientas que proporcionan información acerca del nivel sonoro al que está expuesta la población y el medio ambiente. Gracias a ellos, se puede estudiar la contaminación acústica de una zona determinada y establecer unas políticas de control del ruido ambiental para evitar o reducir en la medida de lo posible los efectos secundarios y perjudiciales que conlleva la exposición al ruido.

Dependiendo del tipo de fuente de la que procede el ruido, los mapas acústicos se pueden clasificar en:

- Mapas de estudio de impacto ambiental: aquellos que engloban todos los sonidos producidos por un grupo de fuentes que originen ondas sonoras molestas para la convivencia de las personas y para el medio ambiente.
- Mapas de ruido urbano: representan los niveles sonoros que emite un municipio en todo su conjunto, considerando todas las fuentes.
- Mapas de ruido de tráfico: solamente se muestran en estos mapas las emisiones sonoras provocadas por el tráfico rodado en el área urbana estudiada.

La representación gráfica de los niveles sonoros obtenidos en las mediciones experimentales se debe realizar, como indica la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido, mediante mapas estratégicos de ruido a rangos de valores de 5 dB. Es decir, los diferentes niveles sonoros existentes en el área de estudio se representan mediante curvas isófonas que delimitan bandas en intervalos de 5 dBA, ya que las mediciones se han realizado con el filtro de ponderación A.

A través de las mediciones L_{eq} tomadas con el sonómetro se elaboran estos mapas acústicos, que han sido realizados con el Sistema de Información Geográfica QGIS 3.4, ya que no se dispone de software de predicción que permita realizar una simulación de los niveles sonoros.

Mediante este programa informático se han representado las curvas isófonas con intervalos de 5 dBA por interpolación de los niveles medidos experimentalmente, en concreto la interpolación TIN que ofrece el QGIS. El área que engloba esta interpolación está comprendida bajo el perímetro que marcan los puntos de medición, ya que la zona no tiene un perímetro delimitado.

Una vez que tenemos el mapa con las bandas definidas por intervalos de 5 dBA, éstas se representan mediante unos colores que se han asignado, según muestra la Figura 8.

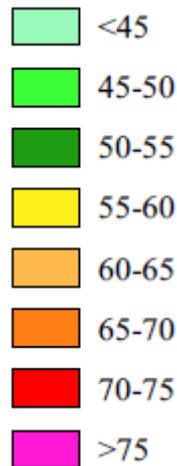


Figura 8. Colores asignados a las curvas isófonas de los mapas de ruido. Elaboración propia.

8.1. Comparación de las medidas experimentales y las medidas teóricas

Una vez representados en los mapas de ruido los valores experimentales tomados con el equipo de medición, se procederá a comparar estos valores con los que nos ofrece el modelo teórico, en concreto el Modelo Francés NMPB-Routes de predicción de ruido de tráfico rodado.

Este método es el recomendado por la legislación española para la predicción del ruido de tráfico ya que España no posee un modelo propio para la elaboración de mapas de ruido.

El Modelo NMPB-Routes proporciona un método de predicción de ruido de tráfico rodado para la recepción de niveles a larga distancia, considerando como variables en el cálculo de los niveles de ruido: la velocidad media del tráfico; el caudal de vehículos, tanto vehículos ligeros (cuyo peso es inferior a 3.5 toneladas) como pesados (con peso superior a 3.5 toneladas); la pendiente de la carretera; las características de la vía (si es autopista, carretera convencional o de tipo bulevar); la distancia del receptor a la fuente de ruido; y el ángulo de visión del eje principal (en este caso la carretera urbana).

Para el cálculo de los niveles sonoros en cada punto de medida se ha optado por la elección de la fórmula que ofrece la “Guide du Bruit des transports terrestres” para espacios abiertos, ya que en las proximidades de los puntos de medición no existen fachadas de edificios ni se encuentran en dentro de calles.

Esta fórmula es la siguiente (Ministere des Transports, 1980):

$$L_{eq} = 20 + 10 \log(Q_{VL} + EQ_{VP}) + 20 \log V - 12 \log \left(d + \frac{l_c}{3} \right) + 10 \log \frac{\theta}{180} - k_{\text{reflex}}$$

Donde:

- Q_{VL} y Q_{VP} : caudal de vehículos ligeros (menos de 3.5 toneladas) y pesados (más de 3.5 toneladas) por hora.
- E: factor de equivalencia acústica entre vehículos pesados y ligeros, tendrá un valor de 10 debido a que la vía es de tipo bulevar.

Valores de E	<<2%	3%	4%	5%	6%
Autovía-Autopista	4	5	5	6	6
Carretera convencional	7	7	10	11	12
Vía tipo bulevar	10	13	16	18	20

Figura 9. Valores definidos del factor E dependiendo del tipo y la pendiente de la vía (Rubio & Uris, 2018).

- V: velocidad de los vehículos pesados y ligeros, en este caso será siempre de 50 km/h ya que la carretera está limitada a esa velocidad.
- d: distancia de la fuente al receptor, dependerá del punto de medida, en metros.
- θ : ángulo de visión a la carretera, será de 180° por tener una visión completa.
- K_{reflex} : factor de campo libre, en este caso al ser medición en campo libre sin fachada tendrá un valor fijo de 3 dBA.

En las Tablas 7, 8, 9 y 10 se muestran los resultados finales del nivel sonoro correspondientes al modelo experimental y al modelo teórico.

En ellas también se representa la distancia y el caudal de vehículos de cada punto de medida en cada periodo, utilizados en la fórmula anteriormente descrita para hallar el nivel sonoro del modelo teórico.

Por último, en la última columna de cada tabla se muestra la diferencia, en valor absoluto, de los datos entre el modelo teórico y el modelo experimental.

Tabla 7. Datos de las mediciones *in-situ* del periodo de medida 1, resultados de los modelos teórico y experimental y diferencias entre ellos. Elaboración propia.

Periodo horario 1	Punto de medida	d (m)	Q _{VL} (veh/h)	Q _{VP} (veh/h)	L _{eq} (dBA) teórico	L _{eq} (dBA) experimental	Diferencia (dBA)	
7:00-9:00	1	4	3720	120	77.5	73.1	4.4	
	2	105	3600	0	62.1	55.6	6.5	
	3	110	3000	30	61.5	56.7	4.8	
	4	4	2580	90	76.0	73.4	2.6	
	5	115	Solo mediciones en el periodo 2					
	6	60						
	7	4						
	8	4	3060	0	75.5	74.4	1.1	
	9	4	3000	0	75.4	72.6	2.8	
	10	4	1110	45	72.5	70.0	2.5	
	11	180	2200	30	57.8	54.0	3.8	
	12	100	2100	30	60.6	56.7	3.9	
	13	50	2760	60	65.5	60.6	4.9	
	14	130	2100	30	59.3	54.6	4.7	
	15	80	2940	60	63.4	58.8	4.6	
	16	4	3000	0	75.4	73.4	2.0	
	17	120	3000	0	60.7	57.2	3.5	
	18	4	3360	0	75.9	75.1	0.8	
	19	4	2730	30	75.4	71.6	3.8	

Tabla 8. Datos de las mediciones *in-situ* del periodo de medida 2, resultados de los modelos teórico y experimental y diferencias entre ellos. Elaboración propia.

Periodo horario 2	Punto de medida	d (m)	Q _{VL} (veh/h)	Q _{VP} (veh/h)	L _{eq} (dBA) teórico	L _{eq} (dBA) experimental	Diferencia (dBA)
9:00-13:00	1	4	3300	60	76.5	71.6	4.9
	2	105	2220	60	61.1	50.7	10.4
	3	110	2400	0	60.1	56.3	3.8
	4	4	2340	90	75.7	72.5	3.2
	5	130	1320	0	56.7	51.4	5.3
	6	70	1620	0	60.7	54.2	6.5
	7	4	1920	60	74.6	72.7	1.9
	8	4	1380	60	73.6	72.8	0.8
	9	4	1395	90	74.2	70.2	4.0
	10	4	1020	90	73.4	69.1	4.3
	11	180	1080	30	55.2	50.8	4.4
	12	100	1020	0	56.9	50.9	6.0
	13	50	1200	30	62.0	63.4	1.4
	14	130	1080	0	55.8	50.8	5.0
	15	80	1560	0	59.9	54.9	5.0
	16	4	1080	60	72.8	71.6	1.2
	17	120	2340	60	60.6	55.6	5.0
	18	4	1380	60	73.6	72.3	1.3
	19	4	1380	0	72.0	70.6	1.4

Tabla 9. Datos de las mediciones in-situ del periodo de medida 3, resultados de los modelos teórico y experimental y diferencias entre ellos. Elaboración propia.

Periodo horario 3	Punto de medida	d (m)	Q _{VL} (veh/h)	Q _{VP} (veh/h)	L _{eq} (dBA) teórico	L _{eq} (dBA) experimental	Diferencia (dBA)		
13:00-15:30	1	4	2040	60	74.8	69.4	5.4		
	2	105	2100	60	60.9	54.7	6.2		
	3	110	2340	0	60.0	58.9	1.1		
	4	4	1800	30	73.8	72.2	1.6		
	5	115	Solo mediciones en el periodo 2						
	6	60							
	7	4							
	8	4						1860	20
	9	4	2580	90	76.0	73.2	2.8		
	10	4	1680	30	73.6	70.6	3.0		
	11	180	2200	90	58.7	62.4	3.7		
	12	100	1220	0	57.7	54.1	3.6		
	13	50	1800	0	62.8	57.3	5.5		
	14	130	1500	30	58.0	54.7	3.3		
	15	80	2460	0	61.8	59.8	2.0		
	16	4	1140	60	73.0	71.7	1.3		
	17	120	1500	30	58.4	55.1	3.3		
	18	4	1620	30	73.4	74.7	1.3		
	19	4	1560	30	73.3	71.0	2.3		

Tabla 10. Datos de las mediciones in-situ del periodo de medida 4, resultados de los modelos teórico y experimental y diferencias entre ellos. Elaboración propia.

Periodo horario 4	Punto de medida	d (m)	Q _{VL} (veh/h)	Q _{VP} (veh/h)	L _{eq} (dBA) teórico	L _{eq} (dBA) experimental	Diferencia (dBA)		
15:30 - 19:00	1	4	1800	0	73.1	68.4	4.7		
	2	105	1500	30	59.1	55.8	3.3		
	3	110	1620	30	59.2	59.1	0.1		
	4	4	1500	60	73.8	70.8	3.0		
	5	115	Solo mediciones en el periodo 2						
	6	60							
	7	4							
	8	4						1500	0
	9	4	2220	0	74.1	70.2	3.9		
	10	4	1200	60	73.1	68.3	4.8		
	11	180	1620	60	57.3	53.8	3.5		
	12	100	1800	0	59.4	56.0	3.4		
	13	50	1200	60	62.8	58.6	4.2		
	14	130	1620	30	58.3	56.0	2.3		
	15	80	2220	30	61.9	59.9	2.0		
	16	4	1920	120	75.5	73.0	2.5		
	17	120	2220	30	59.9	55.4	4.5		
	18	4	1800	30	73.8	73.4	0.4		
	19	4	2280	30	74.7	72.1	2.6		

Como se puede observar, los valores teóricos calculados a partir del modelo francés difieren en unos decibelios a las medidas experimentales, debido a las condiciones de medición

principalmente, aunque a grandes rasgos los valores tomados reales son menores que los teóricos.

Esta diferencia se debe principalmente a las condiciones de la medición en el momento exacto en el que se está tomando la misma.

El principal factor en la toma de las medidas experimentales es el estado de los semáforos localizados en la vía de estudio. El nivel de ruido varía considerablemente si el semáforo está cerrado, si se acaba de poner en verde o si se mantiene abierto; pues el ruido del motor de los vehículos varía si éstos están acelerando, desacelerando o, si en cambio, se mantienen a una velocidad más o menos constante.

También influyen otros factores como el sonido de los claxon, las sirenas de la ambulancia o la policía, el sonido de los pájaros cantando, etc.

Cabe destacar el punto de medida 2, pues en éste la diferencia en dBA entre el modelo experimental y el teórico es importante. Esto es debido a la localización en la que está el punto 2. Está ubicado en una zona en la que los desniveles del terreno son prominentes, lo que quiere decir que se produce una atenuación considerable por efecto del suelo. Además, también se produce una atenuación por el efecto barrera que produce la vegetación colindante al punto de medida.

Como conclusión, se podría decir que el modelo teórico proporcionado por la “Guide du Bruit” tiene un resultado, en general, del nivel sonoro mayor que el modelo experimental debido a que el primero no tiene en cuenta expresamente las atenuaciones que se pueden producir en la realidad en el momento de la medida. A lo que también hay que añadir, como se ha mencionado anteriormente, las condiciones momentáneas establecidas en el tiempo de la medición.

En el Anexo I se recogen los datos experimentales de cada una de las medidas tomadas para el estudio experimental del nivel sonoro de la zona. En esta tabla se refleja sobretodo las condiciones en las que han sido tomadas las medidas, incluyéndose el nivel L_{Aeq} y el nivel L_{Amax} .

También se realiza un análisis en frecuencias en un punto concreto (el punto 4) en los diferentes periodos horarios para comprobar cómo varía el nivel sonoro (dBA) dependiendo de la frecuencia, que tiene un rango desde 50 Hz hasta 12500 Hz, el cual se muestra en el Anexo II.

8.2. Mapas de ruido y su análisis.

En el Anexo III se presentan los mapas realizados con el programa informático QGIS 3.4, tanto del modelo experimental, con las medidas tomadas in situ, como del modelo teórico francés,

utilizando la fórmula proporcionada por la “Guide du Bruit”. Así como un primer mapa con la ubicación de los puntos de medida.

Por último, se muestra un mapa con los niveles acústicos proporcionados por el Ayuntamiento de Valencia, con el fin de comparar la predicción del ruido de un modelo de simulación con el experimental y el teórico desarrollados en el presente trabajo. Cabe destacar que este mapa ha sido elaborado a partir de cuatro hojas cartográficas, ya que la zona de estudio engloba partes de estas cuatro hojas.

Los mapas realizados con simulación tienen ciertas ventajas sobre los realizados con mediciones experimentales *in-situ*, por ejemplo, en las zonas que no son accesibles por ser de propiedad privada. Otra de las ventajas que ofrece la simulación es la comprobación de la variación de los niveles sonoros una vez incluidas medidas arquitectónicas para la reducción del ruido. También, gracias a la simulación del ruido se podría calcular el impacto que produciría la construcción de una nueva carretera u otra infraestructura como un aeropuerto.

Analizando los mapas realizados a través de las medidas experimentales, se puede observar claramente en todos los periodos que existe una zona con un nivel de ruido mayor, que se encuentra más próxima a la vía de estudio y gradualmente este nivel sonoro va descendiendo a medida que nos alejamos de la vía.

Se puede observar en los cuatro periodos temporales que existe una zona no muy alejada de la vía en la que el ruido desciende. Este tramo está localizado entre la mitad de la parte norte de la vía y la rotonda ubicada en la mitad de la zona de estudio. Esta localización es menos ruidosa debido a que la velocidad de los vehículos es menor, ya que se encuentran en deceleración a causa de la entrada a la rotonda.

Sin embargo, la zona contigua a la descrita se trata de un área con un nivel de ruido mayor, debido a la salida de los vehículos de la rotonda, que produce la aceleración de los mismos.

Los tramos de la vía situados entre las rotondas son áreas de mayor ruido, debido a que aquí la velocidad de los vehículos es mayor.

Debido a estas situaciones, los distintos niveles sonoros se localizan en el área de estudio de una manera no del todo regular a medida que nos alejamos de la vía, originándose áreas con más ruido en zonas más alejadas de la vía, en el plano perpendicular, que en otras más cercanas, como se puede observar en los mapas realizados partiendo de las medidas experimentales.

Con respecto al modelo teórico, ocurre lo mismo con las bandas de los niveles sonoros que en el experimental, es decir, se reparten de una manera no estrictamente proporcional a medida que

aumenta la distancia con respecto a la vía, sino que existen ciertas irregularidades en las bandas sonoras, debidas a lo que se ha descrito anteriormente en el modelo experimental.

Cabe destacar, tanto en el modelo experimental como en el teórico, que el periodo 2 muestra unas bandas sonoras más graduales con respecto a la distancia a la vía estudiada, esto puede ser debido a que en el periodo 2 se han tomado tres puntos de medida más que en el resto de periodos.

Es importante remarcar que el modelo teórico proporciona unos niveles sonoros mayores en el área estudiada, por ello, aparece en los estos mapas la banda sonora correspondiente a más de 75 dBA en la zona más próxima a la vía, y en cambio, no aparecen los niveles sonoros comprendidos entre 50 dBA y 55 dBA, que sí lo hacen en los mapas del modelo experimental.

Por último, se comparan los mapas realizados con el Sistema de Información Geográfica QGIS 3.4 con el mapa proporcionado por el Ayuntamiento de Valencia, el cual ha sido elaborado mediante sistemas de simulación con ordenador.

El mapa de la zona de estudio elaborado por sistemas de simulación para el Ayuntamiento de Valencia que aparece en el Anexo III, ha sido recopilado y elaborado a partir de cuatro hojas cartográficas proporcionadas por el este organismo, ya que la zona de estudio comprendía estas cuatro. Se ha realizado esta operación para observar de una manera más cómoda los niveles sonoros del área estudiada en el presente trabajo.

En general, el mapa proporcionado por el Ayuntamiento de Valencia, realizado con sistemas de simulación ofrece unos niveles sonoros bastante ajustados a los del modelo experimental, siendo los del primero ligeramente menores.

Cabe destacar que las pequeñas discrepancias que existen entre el mapa realizado con simulación y el mapa realizado a través de las medidas experimentales con el programa informático QGIS 3.4 se deben principalmente al caudal de tráfico, pues el primero apenas tiene en cuenta las variaciones de la densidad del tráfico a lo largo de todo el periodo diurno.

Se puede comprobar que en los mapas realizados tanto con las medidas experimentales como con las teóricas, los niveles sonoros van decreciendo gradualmente, y en cambio, en el mapa proporcionado por el Ayuntamiento de Valencia los niveles sonoros mayores se ajustan únicamente a la vía, dejando la zona próxima a ésta con unos niveles menores y prácticamente constantes. Este podría ser un error en la simulación, ya que es más lógico que el nivel sonoro descienda gradualmente a medida que aumenta la distancia a la vía.

9. MEDIDAS CORRECTORAS

Con el fin de reducir los niveles de ruido provocados por el tráfico urbano en la zona estudiada se proponen una serie de medidas correctoras. Mediante éstas se pretende conseguir que los niveles sonoros no superen los permitidos, establecidos en la normativa de la Generalitat Valenciana para suelos con uso residencial.

Una de las medidas correctoras más extendidas para la disminución del ruido es el uso de barreras acústicas, las cuales se colocarían en las proximidades de la vía, con el objetivo de conseguir una reflexión de las ondas sonoras emitidas por los vehículos. Sin embargo, esta medida no es viable en esta situación, ya que es muy costoso económicamente rodear toda la vía principal con barreras acústicas. Además esto incluye un impacto ambiental paisajístico muy elevado, provocando efectos no agradables en la convivencia de los vecinos.

La utilización de asfaltos fonoabsorbentes es otra opción para la reducción de la contaminación acústica provocada por el tráfico urbano. Esta medida permite que las ondas sonoras emitidas por los vehículos como consecuencia de la rodadura de éstos y la vía, sean en parte absorbidas por el pavimento, es decir, se acentúa la atenuación por efecto del suelo. Sin embargo, conlleva un coste inicial elevado, por lo que se aconseja que únicamente se realice cuando se pretende la remodelación de la vía, así se consigue que una vía obsoleta pase a ser nueva con la ventaja de la disminución del ruido de tráfico (Aliaga, 2013).

La reducción de la velocidad en la vía es otra opción para la reducción del ruido, ya que a menor velocidad de los vehículos, menor ruido. Sin embargo, no es muy viable en este estudio debido a las características de la vía, ya que la velocidad máxima permitida es 50 km/h , siendo ésta óptima para las condiciones de la vía.

Una medida a corto plazo y eficaz es la mejora del asfalto, por ejemplo, corregir los baches o socavones que puedan existir en la vía, siendo más eficaz esta medida si la corrección se realiza con materiales que permitan la reducción del ruido de rodadura (Calero, 2016).

Otra opción para la disminución del ruido en las futuras viviendas es el incremento del aislamiento acústico de las mismas. En este caso concreto es muy rentable debido a que las construcciones aún no se han realizado y el diseño de éstas con un buen aislamiento es ahora más rentable que si se realiza una remodelación de las viviendas ya construidas. Por ejemplo, se debe priorizar espacios más o menos grandes entre edificio y edificio para que la reflexión de las ondas sonoras entre fachadas afecte lo menos posible y el ruido que penetre en las viviendas sea el menor posible. Otra medida en la disminución de la entrada del ruido a las viviendas es

no diseñar balcones con techado, ya que las ondas sonoras reflejan en el techo de los balcones y pueden penetrar en el interior de las viviendas.

Así mismo, el futuro PAI de Benimaclet Este debería procurar la construcción de calles con superficies blandas que favoreciesen la atenuación de la propagación de las ondas sonoras por efecto del suelo. Además, la zona que rodeará las futuras viviendas debería estar rodeada de zonas verdes, con ello, se conseguiría una atenuación del ruido por barreras vegetales y el aumento del bienestar social al ofrecer una vista del entorno más agradable.

A parte de estas medidas “físicas” para la reducción del ruido de tráfico rodado existen otras de concienciación ciudadana que promueven las buenas prácticas en la población para reducir el ruido en las ciudades. Por ejemplo, se pueden promover campañas de concienciación sobre los efectos adversos que tiene el ruido en la salud humana (Pellicer, 2011).

También es de vital importancia el control del ruido de los vehículos que circulan en las vías urbanas, ya que si el motor ha sufrido modificaciones mecánicas, éste puede provocar unos niveles sonoros de emisión muy elevados, pudiendo perjudicar el descanso de los habitantes de la zona de estudio.

Las campañas de circulación vial son importantes con el fin de conseguir una conducción que genere en mínimo ruido posible. Por ello, es necesario evitar acelerones y frenazos excesivos, no utilizar el claxon en el caso de que no sea necesario o conducir a bajas revoluciones para evitar un ruido innecesario.

10. CONCLUSIONES

Los niveles sonoros existentes en la zona son mayores en los periodos 1 y 3, debido a que se trata de franjas horarias de más tráfico a causa del horario laboral y lectivo. Pues se trata de un área de bastante tránsito por estar al lado del Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia y por ser una de las entradas a la ciudad de Valencia por la parte noreste.

En estos dos periodos horarios, los objetivos de calidad expuestos en la legislación autonómica, para suelo con uso predominante residencial, se superan ligeramente.

Se podría decir que, generalmente, en la zona prevista para la ubicación del PAI de Benimaclet Este, los niveles sonoros diurnos máximos permisibles se superan únicamente cuando el flujo de tráfico marca unos picos, es decir, en las horas de salida y entrada de la población al trabajo o a la universidad.

Los mapas extraídos de las medidas experimentales tomadas “in-situ” difieren en escasa medida de los mapas elaborados utilizando el método teórico recomendado por la legislación, el método Francés NMPB-Routes-96. El modelo teórico muestra unos niveles sonoros escasamente mayores que el modelo experimental. Esto puede deberse a la falta de términos en la fórmula empleada (emisiones de ruido en campo libre) que correspondan a la atenuación del sonido.

Con respecto a la comparativa entre los mapas elaborados y el proporcionado por el Ayuntamiento de Valencia, decir que este último no muestra el progresivo descenso del nivel de decibelios con respecto al aumento de distancia de la fuente originaria del ruido (tráfico). Ya que el máximo nivel sonoro únicamente se observa en la vía y en sus proximidades este nivel es menor sin mostrar una progresiva diferencia.

Por último, con las medidas correctoras mostradas en este trabajo se pretende que el ruido que pueda llegar al área de estudio sea el menor posible y no afecte a la convivencia de los vecinos, obteniéndose así una zona sin contaminación acústica y en la que exista una buena calidad de vida con un medio ambiente acústico sano.

11. BIBLIOGRAFÍA

Aliaga, J.; 2013. Estudio acústico de impacto ambiental y cálculo de la incertidumbre asociada a los niveles sonoros del estado preoperacional en el Sector Industrial I-1 del municipio de Náquera. Tesis de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.

Bernhard, R., et al.; 2005. An introduction to tire/pavement noise of asphalt pavement. Institute of Safe, Quiet and Durable Highways, Purdue University.

Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela. Guidelines for Community Noise - Table of contents; 1999. Disponible en: <https://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>

Calero, A.C.; 2016. Estudio de la contaminación acústica en la población de Bellreguard. Trabajo Final de Grado. Universidad Politécnica de Valencia.

Campello, H.; 2014. Adaptación del modelo de predicción de ruido de tráfico rodado NMPB-ROUTES 2008 a la presencia de vehículos eléctricos. Tesis Doctoral. Universidad Miguel Hernández de Elche.

Cantalapiedra, R.; 2018. Desarrollo de un método simplificado para la elaboración de mapas de ruido en base a información del tráfico. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Valladolid.

Comunidad Valenciana. Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica. Diario Oficial de la Generalitat Valenciana, 9 de diciembre de 2002, núm. 4.394, pp. 31214 a 31233.

Domenech, F.; 2011. Benimaclet, mil años de historia. Las Provincias. Disponible en: <https://www.lasprovincias.es/v/20110122/especial-2/benimaclet-anos-historia-20110122.html>

Delgado, L.; 2008. Estudio e implementación del Método Router para la Estimación de emisiones acústicas debidas al tráfico urbano. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Sevilla.

España. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. Boletín Oficial del Estado, 18 de noviembre de 2003, núm. 276, pp. 40494 a 40505.

European Environment Agency (EEA); 2017. Population exposure to environmental noise. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/exposure-to-and-annoyance-by-2/assessment>

García, B.; 2010. Estudio acústico generado por el tráfico de la población de L'Olleira. Trabajo Final de Grado. Universidad Politécnica de Valencia.

Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica. Disponible en: <http://www.agroambient.gva.es/es/web/calidad-ambiental/contaminacion-acustica.-ruido>

Gil, M. & Monrabail, N.; 2019. Discrepancias entre vecinos y ayuntamiento por el PAI de Benimaclet. Cadena SER. Disponible en: https://cadenaser.com/emisora/2019/02/17/radio_valencia/1550395630_148821.html

Goines, L. H.; 2007. Noise pollution: a modern plague. Southern Medical Journal - Birmingham Alabama, 100(3), 287.

Hipólito, O.; Órganos de los sentidos. Fisiología humana 1. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Lara, P.A.; 2015. El impacto del ruido ambiental en los pacientes de una unidad de cuidados intensivos ¿Es un posible cambio? Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.

Ministere des Transports & Ministere de L'Environnement et de Cadre de Vie; 1980. Guide du Bruit des Trasnports Terrestres. Prevision de Niveaux Sonores.

Montoya, E.N.; 2016. Directrices para la elaboración de normativa de impacto acústico, referida a la etapa de operación de parques eólicos en Chile. Trabajo Final. Universidad Tecnológica de Chile.

Noriega, J.E.; 2017. Análisis del campo sonoro y la molestia de la contaminación acústica en ciudades mediante el uso de redes de sensores. Tesis final de Doctorado. Universidad Católica de Murcia.

Pellicer, E.; 2011. Impacto acústico generado por las nuevas rondas de tráfico en la ciudad de Gandía. Tesis de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.

Quiroz, C.A.; 2018. Estudio de la Contaminación Acústica en la Ciudad de Sueca. Trabajo Final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.

Romero, V.; 2018. Metrovacesa se lanza a por el último gran plan de Valencia para hacer 1500 viviendas. El Confidencial. Disponible en: https://www.elconfidencial.com/espana/comunidad-valenciana/2018-07-17/metrovacesa-pai-benimaclet-valencia-1500viviendas-urbem_1593333/

Rubio, C. & Uris, A.; 2018. Fuentes de ruido. Ruido de tráfico. Máster en Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica de Valencia.

Unión Europea. Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. Diario Oficial de la Unión Europea L 189, 18 de julio de 2002, pp. 12-25.

Uris, A.; 2018. Equipos y técnicas de medida. Máster en Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica de Valencia.

ANEXO I. MEDICIONES POR PERIODO HORARIO Y PUNTO DE MEDIDA

Periodo horario	Hora	Punto de medida	L _{Aeq} (dBA)	L _{Amax} (dBA)	Observaciones
7:00-9:00	8:45	1	71.3	88	El semáforo dura abierto 1min y 40s. Se escucha un claxon.
9:00-13:00	9:20	1	71.6	85.6	Se escucha un claxon.
13:00-15:30	14:25	1	69.4	86.5	Se escucha algún claxon. Pasan muchas bicis y bastante gente.
15:30-19:00	16:20	1	68.4	82.0	Pasan motos con el ruido del motor alto.
7:00-9:00	8:00	2	55.6	62.6	Hay pájaros cantando. Algún claxon se escucha. Pasa una moto con el ruido del motor fuerte.
9:00-13:00	9:55	2	50.7	63.5	Pájaros cantando. Coches por la zona de alrededor aparcando. Al final de la medición pasa el tranvía a lo lejos. Algún claxon se escucha
13:00-15:30	14:45	2	54.7	64.6	Pájaros cantando. Algún coche aparca por los alrededores.
15:30-19:00	17:25	2	55.8	68.1	Niños jugando en un parque cercano. Algún claxon
7:00-9:00	8:20	3	56.7	62.4	Pájaros cantando.
9:00-13:00	9:30	3	56.3	69.0	Pájaros cantando. Moto con el ruido del motor alto.
13:00-15:30	15:00	3	58.9	68.9	Pasa una ambulancia.
15:30-19:00	17:10	3	59.1	64.1	Niños jugando en el parque cercano. La medición depende mucho de si está abierto o cerrado el semáforo.
7:00-9:00	8:50	4	73.4	81.8	
9:00-13:00	10:00	4	72.5	81.6	Pasa una grúa con sonido y un vehículo pesado ruidoso.
13:00-15:30	15:20	4	72.2	88.3	
15:30-19:00	16:40	4	70.8	79.7	El tráfico depende mucho del semáforo. Por lo general no hay un tráfico excesivo.
9:00-13:00	10:45	5	51.4	62.7	Se escucha más el ruido de los coches que pasan por las calles secundarias que el ruido del tráfico de la vía estudiada. Algún coche aparca por la zona.
9:00-13:00	10:20	6	54.2	70	Algún coche pasa por la zona. Pasa una moto con un ruido de motor fuerte y una ambulancia.
9:00-13:00	11:05	7	72.7	88.9	Cerca hay un semáforo que sólo se activa cuando los peatones pulsan el botón.
7:00-9:00	8:40	8	74.4	90.8	Pasan motos, una de ellas de tipo "Cross" con ruido muy fuerte.
9:00-13:00	10:30	8	72.8	83.5	Pasa una grúa con sonido.

13:00-15:30	15:20	8	73.8	95.3	Pasa una ambulancia.
15:30-19:00	16:50	8	72.6	79.9	Pájaros cantando. El tráfico depende bastante del semáforo.
7:00-9:00	8:50	9	72.6	84.2	
9:00-13:00	11:05	9	70.2	83.2	Algún claxon. Pasan vehículos militares muy pesados.
13:00-15:30	14:20	9	73.2	89.5	El semáforo cercano dura 1 min y 20s. Algún claxon y una moto con el ruido del motor muy fuerte.
15:30-19:00	16:00	9	70.2	92.0	Suena un claxon.
7:00-9:00	8:15	10	70.0	87.4	El tráfico depende mucho del semáforo cercano.
9:00-13:00	11:40	10	69.1	84.8	En la rotonda cercana hay un bache en el asfalto que afecta al nivel sonoro de la medición.
13:00-15:30	13:55	10	70.6	89.5	Algún claxon suena. Moto con el ruido del motor fuerte.
15:30-19:00	16:15	10	68.3	78.2	El semáforo dura abierto 1 min y 20s. Pasa una moto con el ruido del motor fuerte.
7:00-9:00	8:50	11	54.0	69.0	
9:00-13:00	11:10	11	50.8	65.6	
13:00-15:30	13:20	11	62.4	76.6	Pasan coches por una calle cercana. Se escucha un silbido a lo lejos. Niños gritando a lo lejos. El nivel sonoro de la vía es escaso.
15:30-19:00	17:00	11	53.8	66.0	Se escucha un ruido de fondo.
7:00-9:00	8:35	12	56.7	72.7	Pasa una moto con el ruido del motor fuerte.
9:00-13:00	11:45	12	50.9	66.2	
13:00-15:30	13:00	12	54.1	71.4	Se escucha un silbido.
15:30-19:00	17:30	12	56.0	69.9	Pasa una ambulancia
7:00-9:00	8:20	13	60.6	65.6	El tráfico depende mucho del semáforo cercano.
9:00-13:00	12:10	13	63.4	82.2	Pasa algún coche por la carretera cercana.
13:00-15:30	13:00	13	57.3	64.1	
15:30-19:00	17:45	13	58.6	65.1	
7:00-9:00	8:30	14	54.6	63.1	
9:00-13:00	10:30	14	50.8	76.6	Se escucha un silbido continuo
13:00-15:30	14:30	14	54.7	65.7	En las proximidades aparcan y arrancan coches. Se escucha un silbido continuo.
15:30-19:00	17:40	14	56.0	63.0	
7:00-9:00	8:50	15	58.8	68.0	
9:00-13:00	10:05	15	54.9	64.0	Aparca algún coche en las proximidades.
13:00-15:30	14:15	15	59.8	65.4	Se escucha el ladrido de un perro.
15:30-19:00	17:30	15	59.9	67.9	
7:00-9:00	8:30	16	73.4	83.0	Pasa una moto con el ruido del motor fuerte. Hay bastante tráfico, aunque depende mucho del semáforo cercano.
9:00-13:00	11:30	16	71.6	84.7	Pasa un motorista gritando.

13:00-15:30	13:00	16	71.7	81.2	
15:30-19:00	16:55	16	73.0	87.0	Pasa una moto con el ruido del motor fuerte.
7:00-9:00	8:45	17	57.2	68.1	
9:00-13:00	10:10	17	55.6	69.2	Pájaros cantando. Pasa algún coche por la carretera secundaria. Se escucha un claxon.
13:00-15:30	13:50	17	55.1	79.5	Se escucha un ruido de fondo (salida de aire acondicionado). Se oye un ladrido de un perro.
15:30-19:00	17:45	17	55.4	65.2	Se escucha una moto con el ruido del motor fuerte en la vía principal.
7:00-9:00	8:45	18	75.1	86.5	El tráfico depende mucho del semáforo cercano. Pasa una moto con el ruido del motor fuerte.
9:00-13:00	11:50	18	72.3	81.5	
13:00-15:30	13:10	18	74.7	99.8	Se escucha el ruido muy fuerte de una moto al pasar. Se oye una sirena a lo lejos.
15:30-19:00	17:15	18	73.4	81.3	Algún claxon se escucha.
7:00-9:00	8:50	19	71.6	81.7	El semáforo cercano dura 1 min y 40s. Suena un claxon.
9:00-13:00	12:10	19	70.6	81.6	Se escucha algún claxon.
13:00-15:30	13:30	19	71.0	88.5	Pasa un coche con un ruido de frenos.
15:30-19:00	17:25	19	72.1	92.6	Pasa un camión con un ruido muy fuerte.

ANEXO II. ANÁLISIS EN FRECUENCIA DEL PUNTO DE MEDIDA 4

Periodo horario	Hora	Punto de medida	Frecuencia (Hz)	L _A (dBA)
7:00-9:00	8:30	4	50	68.8
			63	73.3
			80	63
			100	63.3
			125	62.2
			160	65.1
			200	61.4
			250	61.8
			315	57.8
			400	61.4
			500	67.5
			630	68.6
			800	62.6
			1000	61.5
			1250	56.3
			1600	53.6
			2000	49.6
			2500	44.9
			3150	43
			4000	41.3
5000	39.7			
6300	52.1			
8000	44.8			
10000	39			
12500	38.6			

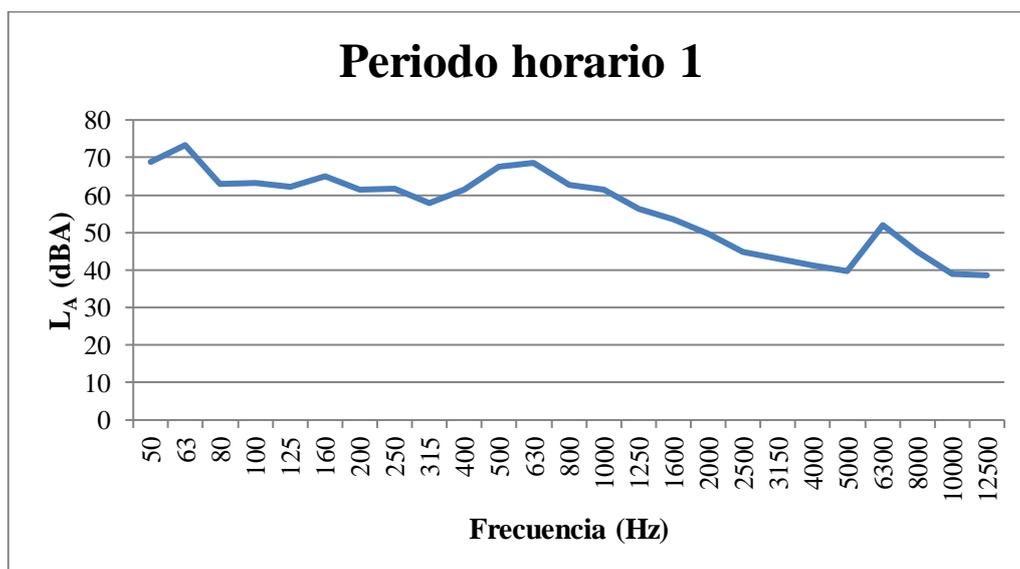


Gráfico 1. Nivel sonoro en análisis en frecuencia del periodo 1.

Periodo horario	Hora	Punto de medida	Frecuencia (Hz)	L _A (dBA)
9:00-13:00	9:45	4	50	67.6
			63	62.3
			80	67.5
			100	60.1
			125	67.9
			160	67.2
			200	67.8
			250	65.5
			315	64.4
			400	63.4
			500	65.6
			630	66.1
			800	69.7
			1000	72.8
			1250	70.5
			1600	69.1
			2000	67.2
			2500	61.5
			3150	58.1
			4000	52.6
5000	48.6			
6300	49.8			
8000	51.4			
10000	37.1			
12500	<30			

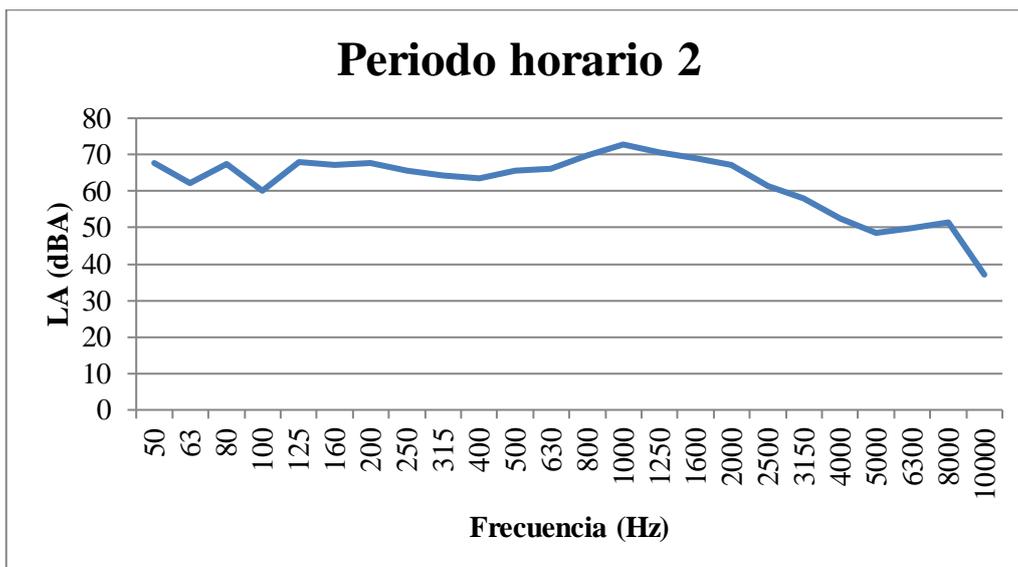


Gráfico 2. Nivel sonoro en análisis en frecuencia del periodo 2.

Periodo horario	Hora	Punto de medida	Frecuencia (Hz)	L _A (dBA)
13:00-15:30	14:00	4	50	65
			63	59.7
			80	60
			100	61.3
			125	61.3
			160	64.1
			200	68.3
			250	64.5
			315	65.6
			400	68.7
			500	67.3
			630	59.6
			800	55.4
			1000	61.5
			1250	61.3
			1600	62.7
			2000	60.9
			2500	56.5
			3150	49.4
			4000	39.2
5000	32.3			
6300	31.4			
8000	36.3			
10000	42.9			
12500	40.2			

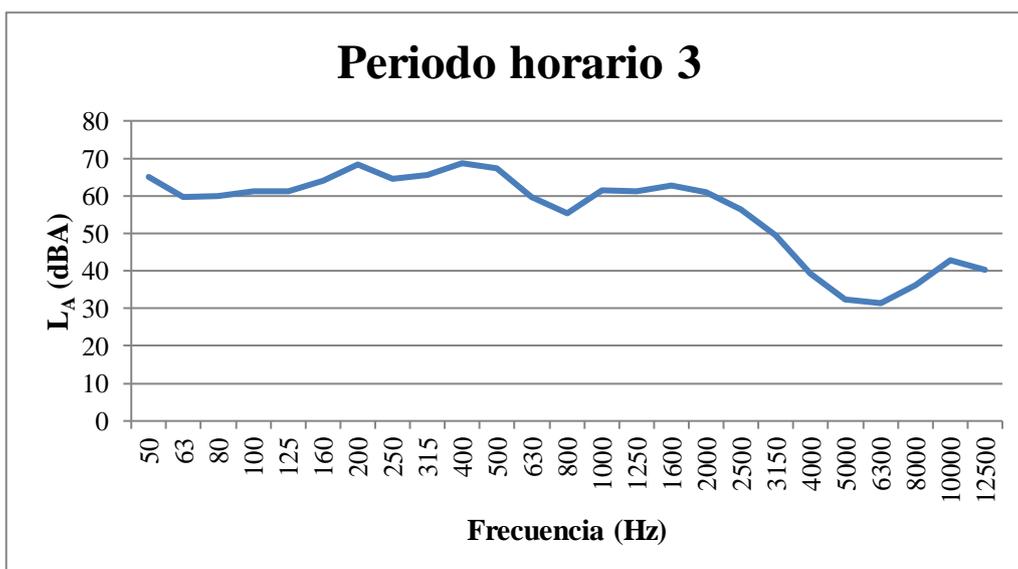


Gráfico 3. Nivel sonoro en análisis en frecuencia del periodo 3.

Periodo horario	Hora	Punto de medida	Frecuencia (Hz)	L _A (dBA)
15:30-19:00	17:20	4	50	84.1
			63	71.8
			80	69.3
			100	63.9
			125	63.9
			160	67.7
			200	62
			250	63.2
			315	63.5
			400	62.7
			500	63.7
			630	66.2
			800	69.1
			1000	70.1
			1250	67
			1600	64.4
			2000	59.2
			2500	53.2
			3150	50.5
			4000	48.2
5000	48.4			
6300	52.3			
8000	48.3			
10000	44.3			
12500	32.6			

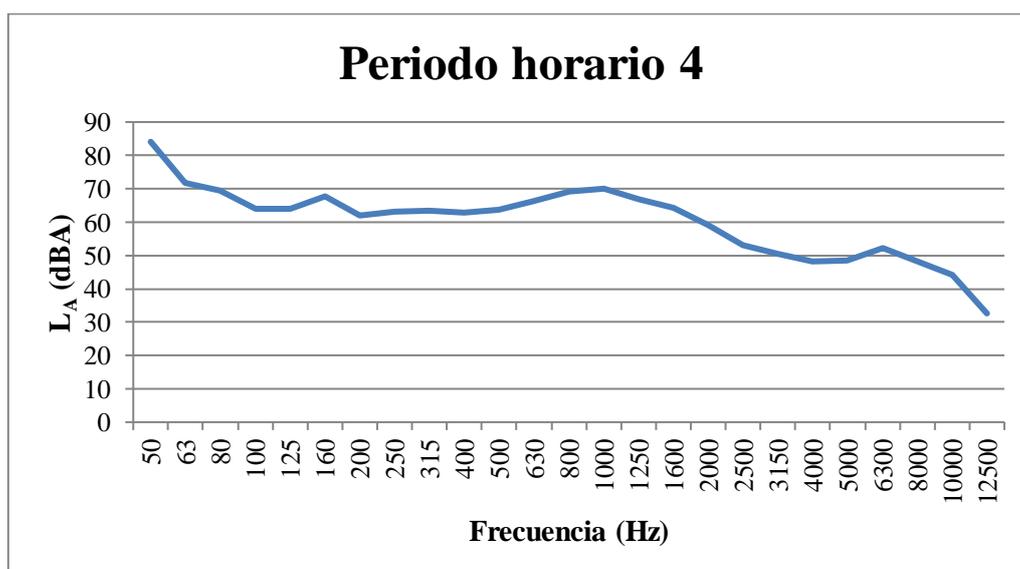


Gráfico 4. Nivel sonoro en análisis en frecuencia del periodo 4.

ANEXO III. MAPAS ACÚSTICOS



Medidas

● Puntos

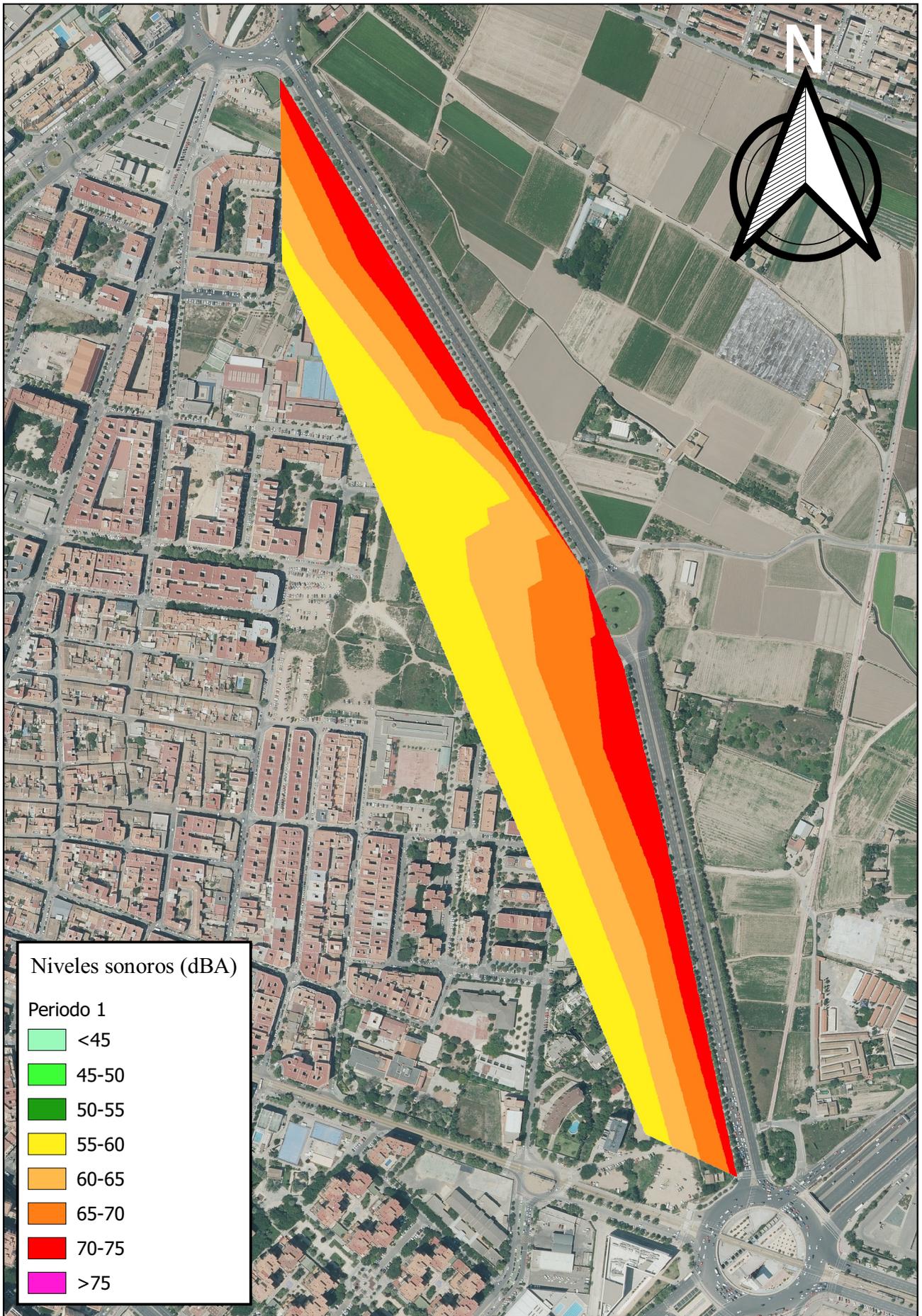
Lucía Sanz Martín
 Máster en Ingeniería
 Ambiental

Impacto acústico del Bulevar Periférico
 Norte sobre el futuro PAI Benimaclet Este

Puntos de medida

1:6000

0 50 100 m



Niveles sonoros (dBA)

Periodo 1

- <45
- 45-50
- 50-55
- 55-60
- 60-65
- 65-70
- 70-75
- >75

Lucía Sanz Martín
 Máster en Ingeniería
 Ambiental

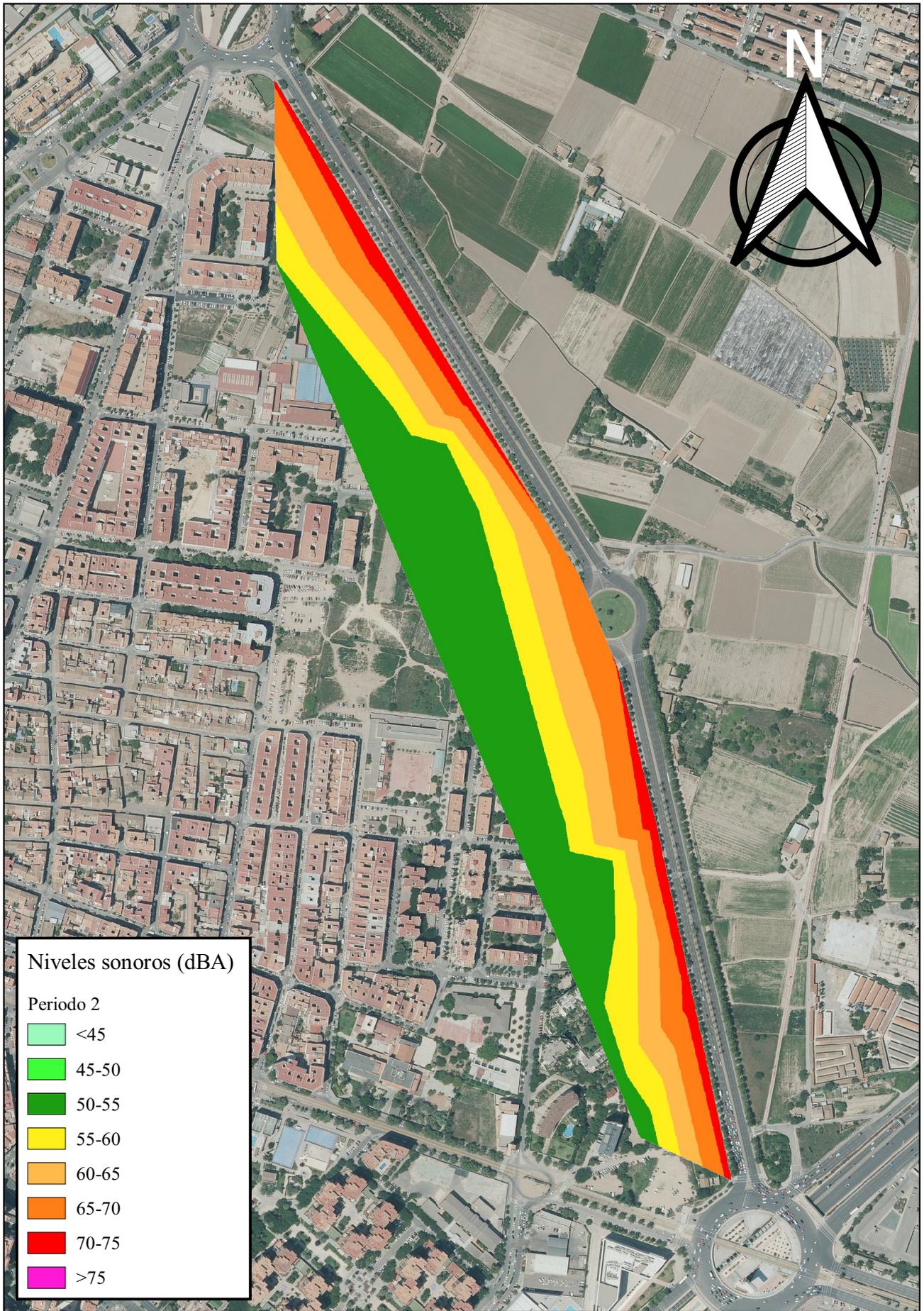
Impacto acústico del Bulevar Periférico
 Norte sobre el futuro PAI Benimaclet Este

Periodo horario 1
 7:00 - 9:00

1:6000

0 50 100 m





Niveles sonoros (dBA)

Periodo 2

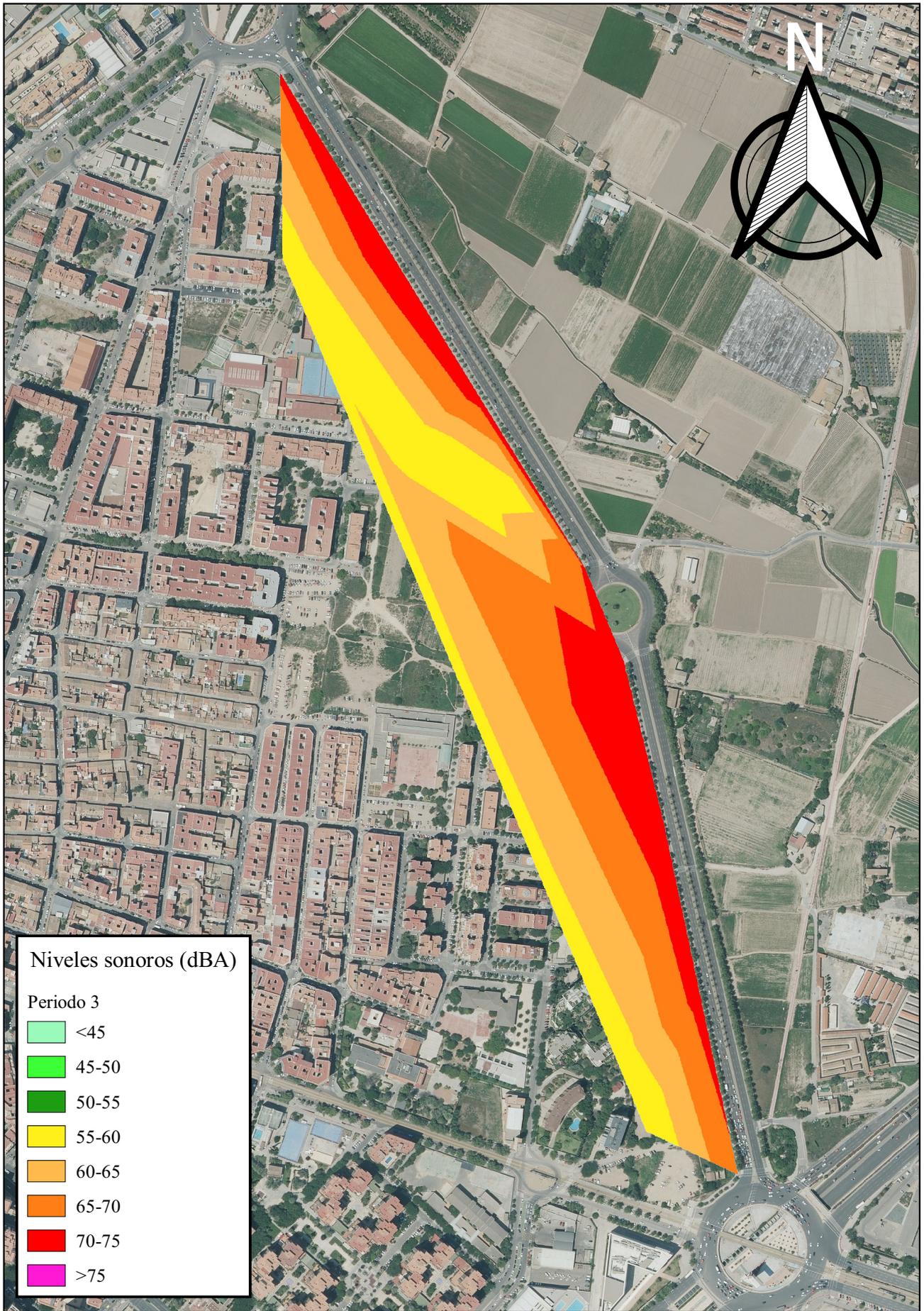
- <45
- 45-50
- 50-55
- 55-60
- 60-65
- 65-70
- 70-75
- >75

Lucía Sanz Martín
 Máster en Ingeniería
 Ambiental

Impacto acústico del Bulevar Periférico
 Norte sobre el futuro PAI Benimaclet Este

Periodo horario 2
 9:00 - 13:00

1:6000
 0 50 100 m



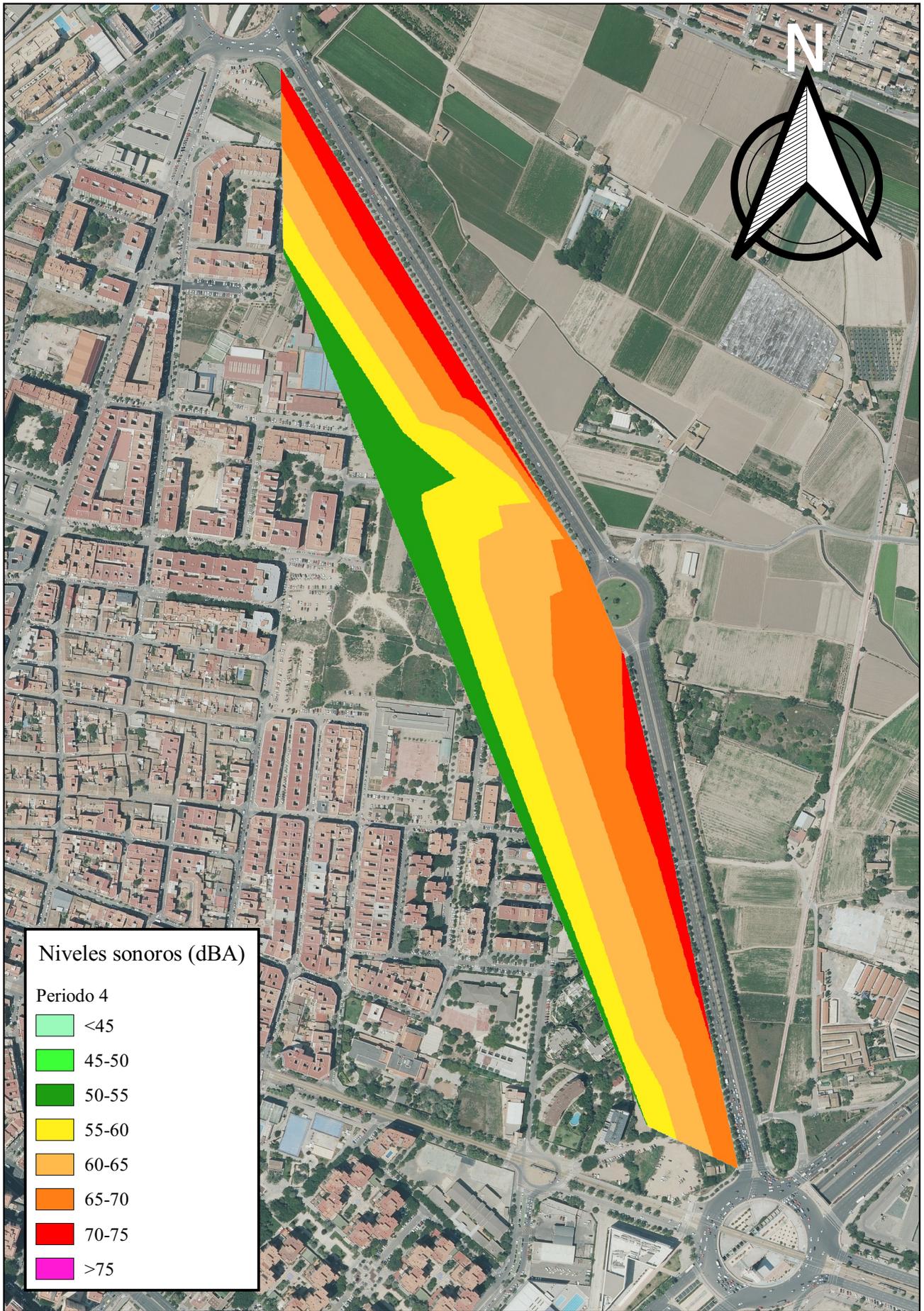
Niveles sonoros (dBA)	
Periodo 3	
	<45
	45-50
	50-55
	55-60
	60-65
	65-70
	70-75
	>75

Lucía Sanz Martín
 Máster en Ingeniería
 Ambiental

Impacto acústico del Bulevar Periférico
 Norte sobre el futuro PAI Benimaclet Este

Periodo horario 3
 13:00 - 15:30

1:6000
 0 50 100 m



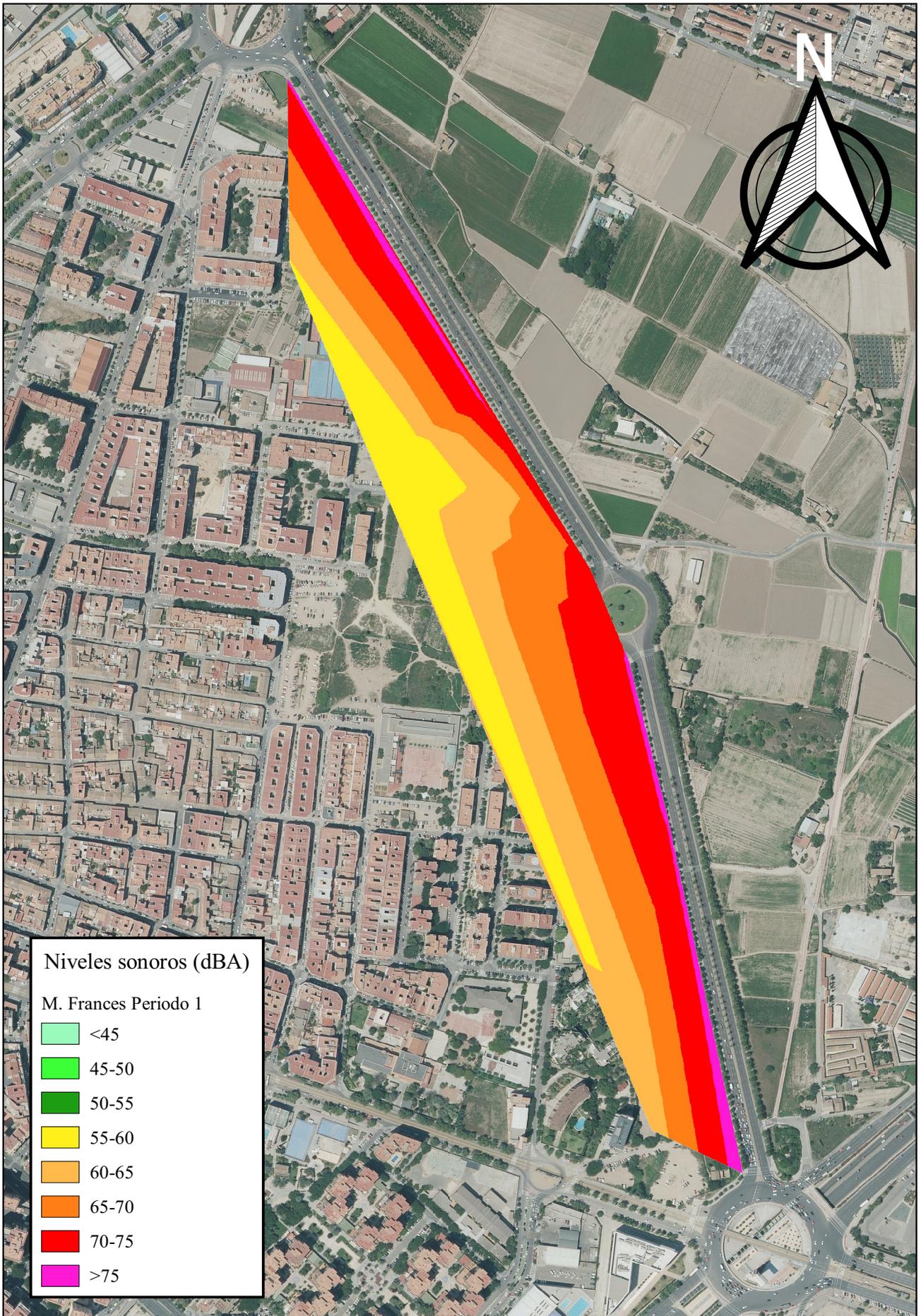
Niveles sonoros (dBA)	
Periodo 4	
	<45
	45-50
	50-55
	55-60
	60-65
	65-70
	70-75
	>75

Lucía Sanz Martín
 Máster en Ingeniería
 Ambiental

Impacto acústico del Bulevar Periférico
 Norte sobre el futuro PAI Benimaclet Este

Periodo horario 4
 15:30 - 19:00

1:6000
 0 50 100 m

Niveles sonoros (dBA)

M. Frances Periodo 1

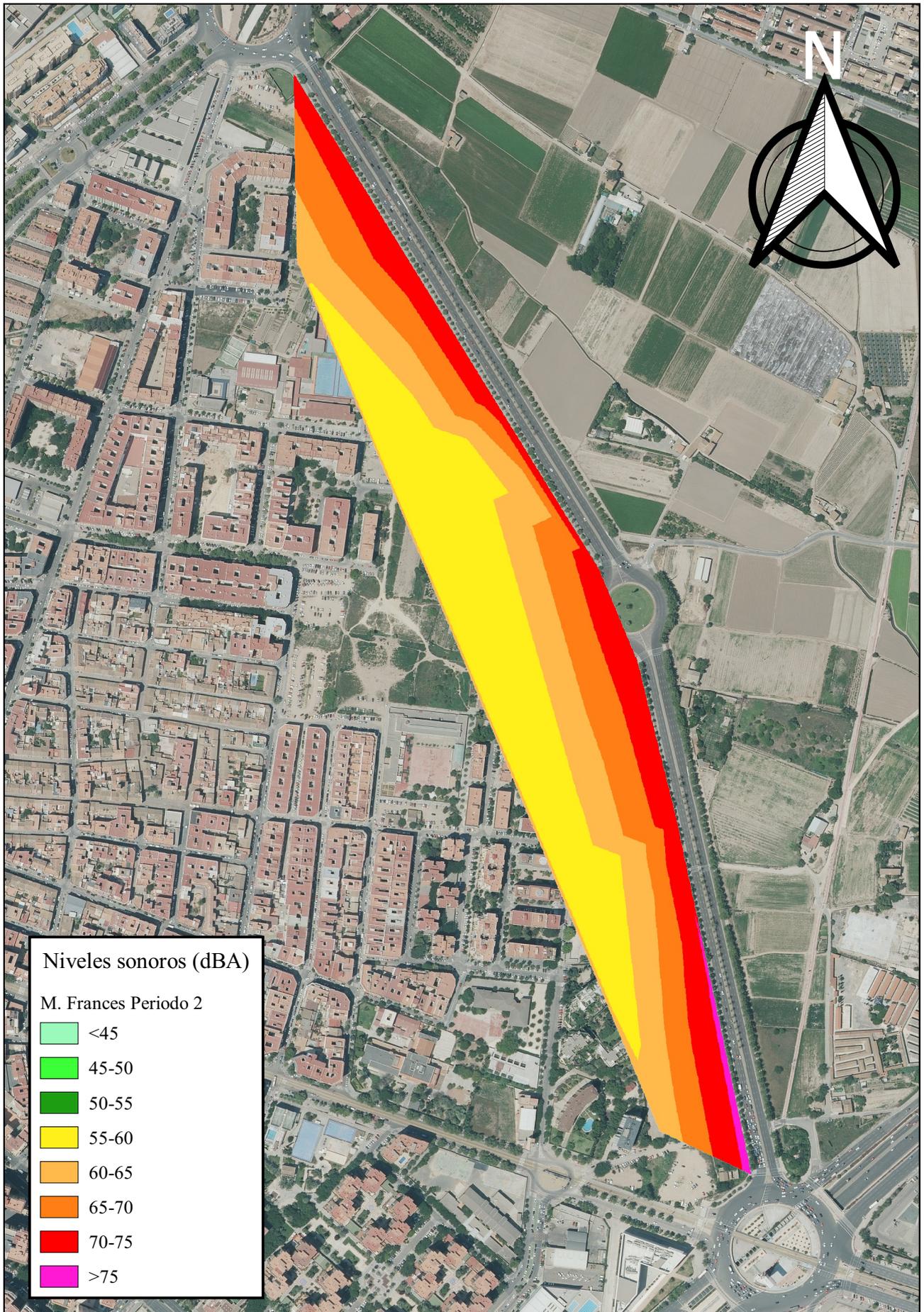
- <45
- 45-50
- 50-55
- 55-60
- 60-65
- 65-70
- 70-75
- >75

Lucía Sanz Martín
 Máster en Ingeniería
 Ambiental

Impacto acústico del Bulevar Periférico
 Norte sobre el futuro PAI Benimaclet Este

Modelo Francés
 Periodo horario 1
 7:00 - 9:00

1:6000
 0 50 100 m

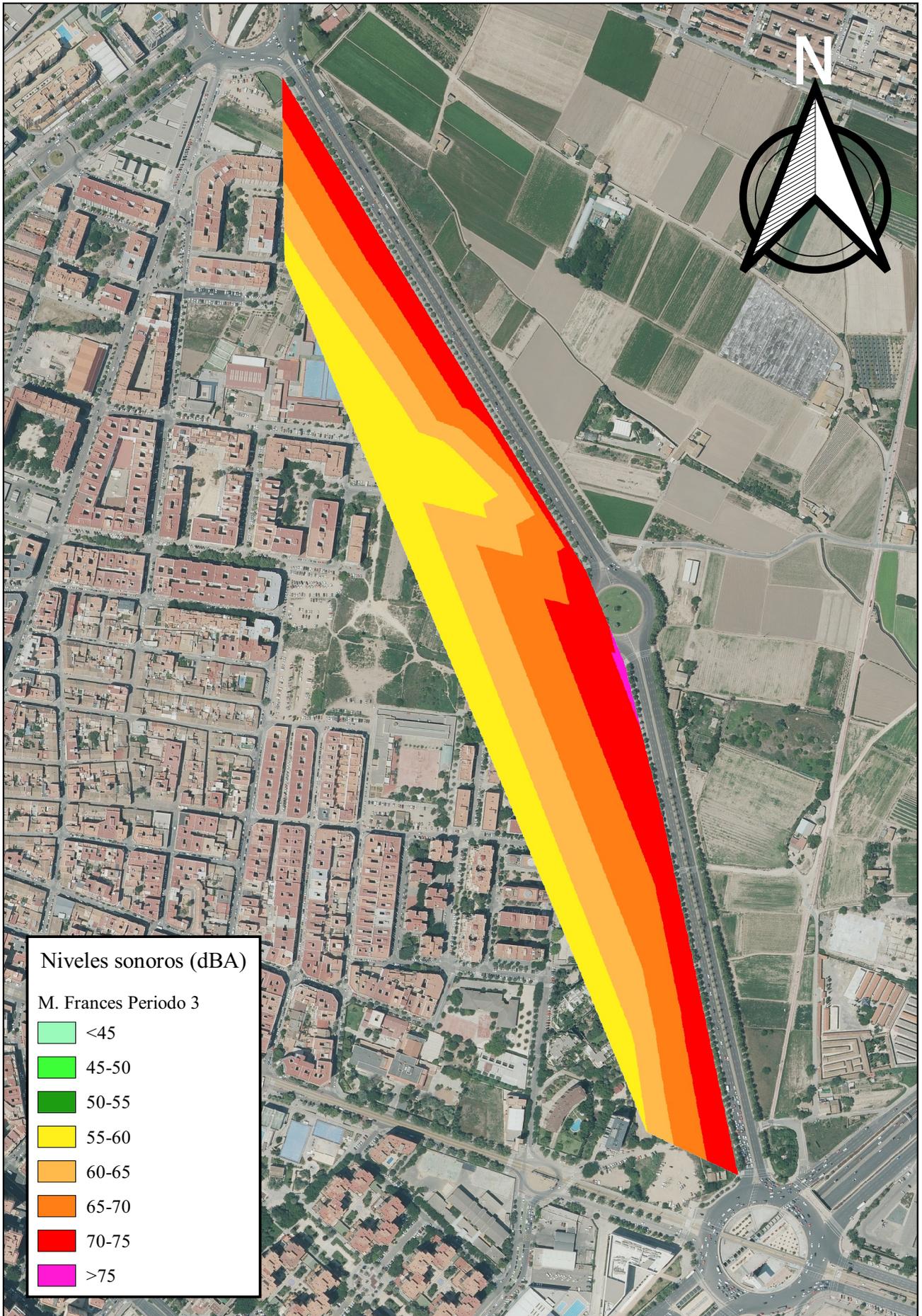


Lucía Sanz Martín
 Máster en Ingeniería
 Ambiental

Impacto acústico del Bulevar Periférico
 Norte sobre el futuro PAI de Benimaclet
 Este

Modelo Francés
 Periodo horario 2
 9:00 - 13:00

1:6000
 0 50 100 m



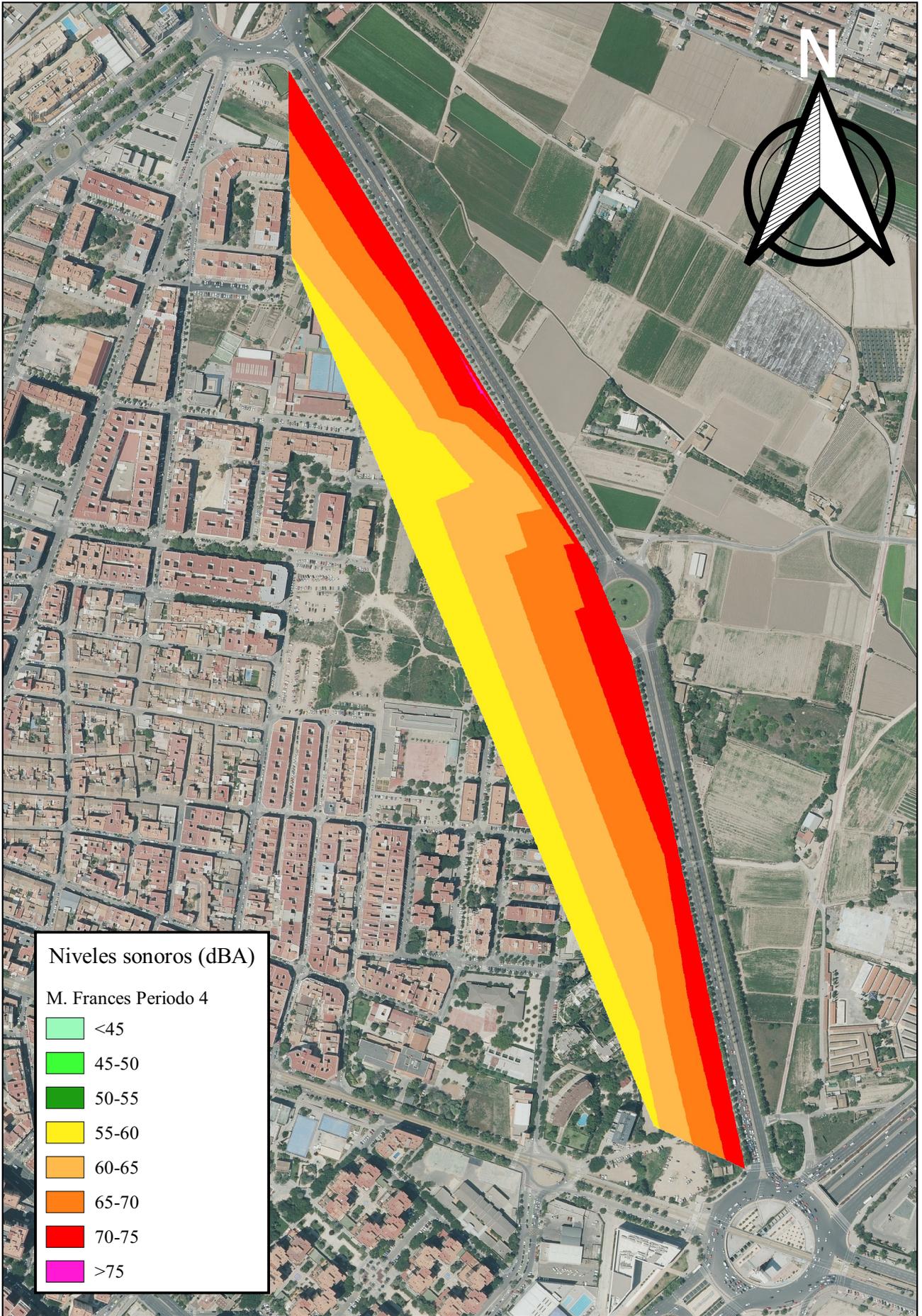
Niveles sonoros (dBA)	
M. Frances Periodo 3	
	<45
	45-50
	50-55
	55-60
	60-65
	65-70
	70-75
	>75

Lucía Sanz Martín
 Máster en Ingeniería
 Ambiental

Impacto acústico del Bulevar Periférico
 Norte sobre el futuro PAI Benimaclet Este

Modelo Francés
 Periodo horario 3
 13:00 - 15:30

1:6000
 0 50 100 m

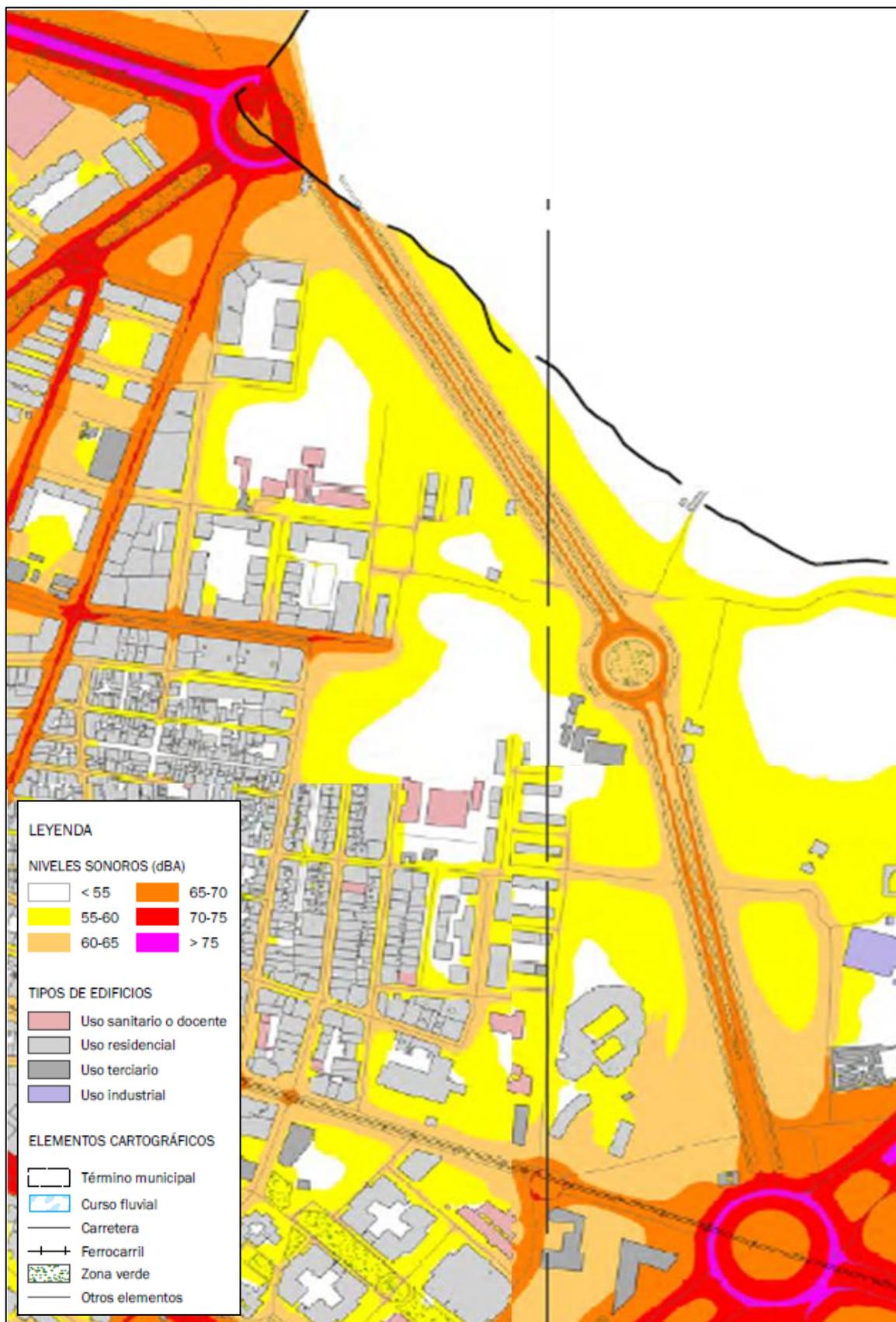
Niveles sonoros (dBA)	
M. Frances Periodo 4	
	<45
	45-50
	50-55
	55-60
	60-65
	65-70
	70-75
	>75

Lucía Sanz Martín
 Máster en Ingeniería
 Ambiental

Impacto acústico del Bulevar Periférico
 Norte sobre el futuro PAI Benimaclet Este

Modelo Francés
 Periodo horario 4
 15:30 - 19:00

1:6000
 0 50 100 m

LEYENDA

NIVELES SONOROS (dBA)

	< 55		65-70
	55-60		70-75
	60-65		> 75

TIPOS DE EDIFICIOS

	Uso sanitario o docente
	Uso residencial
	Uso terciario
	Uso industrial

ELEMENTOS CARTOGRÁFICOS

	Término municipal
	Curso fluvial
	Carretera
	Ferrocarril
	Zona verde
	Otros elementos