



NOSSO
AYUNTAMIENTO
DE SEVILLA



Consultores · Fabricantes · Instaladores · Laboratorio Acústico

Parque Científico Tecnológico Isla de la Cartuja
C/ Tomás Alba Edison, 2 - Edificio INERCO
41092 Sevilla (España)
Telf.: 954.46.81.00 · Fax: 954.46.13.29
e-mail: info@inerco.com

Sevilla-Madrid-Tarragona-Gijón

CHILE – COLOMBIA – U.S.A. – MEXICO – PERÚ – BRASIL – PORTUGAL-INDIA

MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO DE LA LÍNEA METROCENTRO DE SEVILLA (TUSSAM)

Nº Informe: IA/AC-22/0018-002/02

Fecha: 01 de julio de 2022

www.inerco.com



ÍNDICE

1.	IDENTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	1
1.1.	ENTIDAD QUE REALIZA EL ESTUDIO	1
1.2.	EQUIPO DE TRABAJO	1
2.	OBJETO DE ESTUDIO Y AUTORIDAD RESPONSABLE	1
3.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA Y ENTORNO	2
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA OBJETO DE ESTUDIO.....	2
3.2.	DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA.....	3
3.3.	DEFINICIÓN DE LA UME.....	4
3.4.	ZONIFICACIÓN ACÚSTICA.....	5
4.	NORMATIVA DE REFERENCIA.....	7
5.	MÉTODO DE CÁLCULO	9
5.1.	DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CÁLCULO E INPUTS DE ENTRADA DEL MODELO	11
5.2.	CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DEL METROCENTRO	12
	Caracterización de los vehículos	12
	Bocina y Campana	14
	Velocidades.....	15
	Flujo de tráfico.....	15
5.3.	TOPOGRAFÍA.....	17
5.4.	OBSTÁCULOS	18
5.5.	INFORMACIÓN CATASTRAL Y DE POBLACIÓN.....	19
6.	RESULTADOS	21
6.1.	RESULTADOS DE LA POBLACIÓN AFECTADA, VIVIENDAS Y EDIFICIOS SENSIBLES.....	22
6.2.	EVALUACIÓN DE LA ZONA DE AFECCIÓN	24
7.	EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN AFECTADAS SEGÚN LOS OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA EN EL EXTERIOR.....	25
8.	CONCLUSIONES.....	27
ANEXO I.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	28

1. IDENTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

1.1. ENTIDAD QUE REALIZA EL ESTUDIO

INERCO Acústica, S.L. con sede en Parque Tecnológico y Científico Isla de la Cartuja, calle Tomás Alba Edison, 2 (Sevilla), es Entidad Colaboradora en materia de Calidad Ambiental del Ruido en la Comunidad Autónoma de Andalucía (REC-0087) de acuerdo con el Decreto 334/2012, de 17 de julio, por el que se regulan las entidades colaboradoras en materia de Calidad Ambiental en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

El presente estudio se identifica con el número de referencia IA/AC-22/0018-001/02 con fecha de emisión 01/07/22.

1.2. EQUIPO DE TRABAJO

El equipo de trabajo que ha participado en la realización del presente Estudio Acústico ha sido el siguiente:

- Eunice Sánchez Nieto (Consultora Acústica)
- Álvaro Grilo Bensusan (Jefe del Área de Consultoría Acústica)

2. OBJETO DE ESTUDIO Y AUTORIDAD RESPONSABLE

El presente documento tiene por objeto la realización del mapa estratégico de la línea del METROCENTRO de Sevilla para dar cumplimiento a los requerimientos de la cuarta fase de implementación de la Directiva 2002/49/CE para líneas férreas cuyo tráfico supere los 30.000 trenes al año.

Se persigue dar respuesta tanto a la normativa europea como a los requerimientos de la normativa nacional (Ley 37/2003 de 17 de Noviembre del Ruido desarrollada a través de los Reales Decreto 1367/07 y 1513/05) y a la normativa autonómica (Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía y posteriores modificaciones). Además, se considerarán aquellos preceptos de la Ordenanza contra la Contaminación Acústica de la ciudad de Sevilla que sean de aplicación.

El presente estudio ha sido desarrollado bajo la solicitud DGCACC/JCG/JDG/cmm a requerimiento expreso de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía, en calidad de autoridad responsable.

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA Y ENTORNO

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA OBJETO DE ESTUDIO

La línea METROCENTRO de Sevilla (T1) transcurre a través del centro de la ciudad uniendo el intercambiador de la estación de ferrocarriles de San Bernardo con Plaza Nueva, con un total de 2,2 km de recorrido. El METROCENTRO es un ferrocarril metropolitano con características de metro ligero, cuya plataforma es de uso exclusivo del tranvía, sin interferencias con otros tipos de trenes.

Su paso discurre en superficie, atravesando algunas zonas peatonales del casco histórico de la ciudad, constituidas por el entorno de la Catedral y Plaza Nueva, y el área de paso correspondiente a San Bernardo, Prado de San Sebastián y Puerta Jerez. La vía se integra en plataforma con el acerado en la mayor parte de su recorrido, compartiendo el espacio peatonal.

El tráfico rodado es la principal fuente de ruido ambiental en gran parte del recorrido comprendido entre la Plaza Don Juan de Austria y la estación de San Bernardo, regulándose el cruce con el tranvía a través de semáforos. En el resto del trazado, predomina el ruido asociado a la actividad comercial y turística de las zonas peatonales.



Ilustración 1. Localización del área de estudio

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

El METROCENTRO de Sevilla es un sistema tranviario de transporte público que recorre el centro de la ciudad de Sevilla. Su paso une el intercambiador de la estación de ferrocarriles de San Bernardo con Plaza nueva, situada en el casco histórico. El sistema consta de una línea única, identificada como T1, propiedad del Ayuntamiento de Sevilla y operada por la empresa municipal de transportes TRANSPORTES URBANOS DE SEVILLA S.A.M. (TUSSAM).

El objetivo del METROCENTRO es ejercer las funciones de lanzadera entre el centro de la ciudad y los principales medios de transporte público colectivo: los autobuses urbanos y metropolitanos, los trenes de cercanías y el Metro de Sevilla.

El trazado del METROCENTRO consta de un total de 2,2 km en vía doble, en los que presenta cinco (5) paradas: Plaza Nueva, Archivo de Indias, Puerta Jerez, Prado San Sebastián y San Bernardo. Cada una de estas está construida en forma de andenes cubiertos por marquesinas de 45 metros de largo, y están caracterizadas por disponer de un bretel que permite convertirla, en caso de necesidad, en una parada terminal. Esto se pone en práctica en ocasiones en las que se corta el acceso a la Avenida de Constitución-Plaza Nueva debido a algún evento especial (por ejemplo, instalación de la Carrera Oficial durante la Semana Santa), permitiendo que el METROCENTRO pueda continuar dando servicio de forma parcial.

Dado que su recorrido discurre por zonas de paso peatonal, la velocidad del tranvía no supera los 50 km/h, oscilando según el tramo entre los 15 y los 40 km/h. La frecuencia de paso de tren y el horario de funcionamiento es variable en función a la temporada anual y al momento del día, llegando a circular los cuatro tranvías al mismo tiempo. Su horario de funcionamiento habitual es de seis de la mañana a dos de la madrugada de lunes a domingo.

El servicio METROCENTRO se presta mediante cuatro unidades del tranvía Urbos 3 de CAF. Cada uno tiene 32 metros de largo y dispone de capacidad para 250 viajeros. La velocidad media de operación es de 20 km/h, aunque su velocidad máxima teórica es de hasta 50 km/h.



Ilustración 2. Recorrido del METROCENTRO de Sevilla

3.3. DEFINICIÓN DE LA UME

Dada la continuidad del trazado, se evaluará la totalidad de la Línea 1 del METROCENTRO como una única unidad de mapa estratégico (UME), definiendo los límites del mismo entre las estaciones de Plaza Nueva y la final de San Bernardo.

UME	Pk inicio	Descripción	Pk fin	Descripción	Longitud total
UME L1 METROCENTRO SE	0+000	Comienzo del tramo previo a la parada Plaza Nueva	2+200	Final del tramo en el cambio de vía tras la parada San Bernardo	2.2 km

Tabla 1. Definición de la UME

3.4. ZONIFICACIÓN ACÚSTICA

La línea discurre íntegramente por suelos urbano, en los distritos Casco Antiguo, Nervión y el distrito Sur, existiendo diferente tipología de edificios, incluyendo fundamentalmente uso docente, residencial en bloques de diferentes altura, uso comercial y servicios y otros edificios de carácter histórico.

Tipología de edificios	Número de edificios en el área de proyecto
Edificios de uso residencial	4.580
Edificios de oficinas	211
Edificios de carácter cultural	12
Edificios de carácter religioso	16
Edificios de uso docente	62
Edificios de uso sanitario	14
Edificios de uso industrial	69

Tabla 2. Número de edificios en el área de proyecto según su tipología

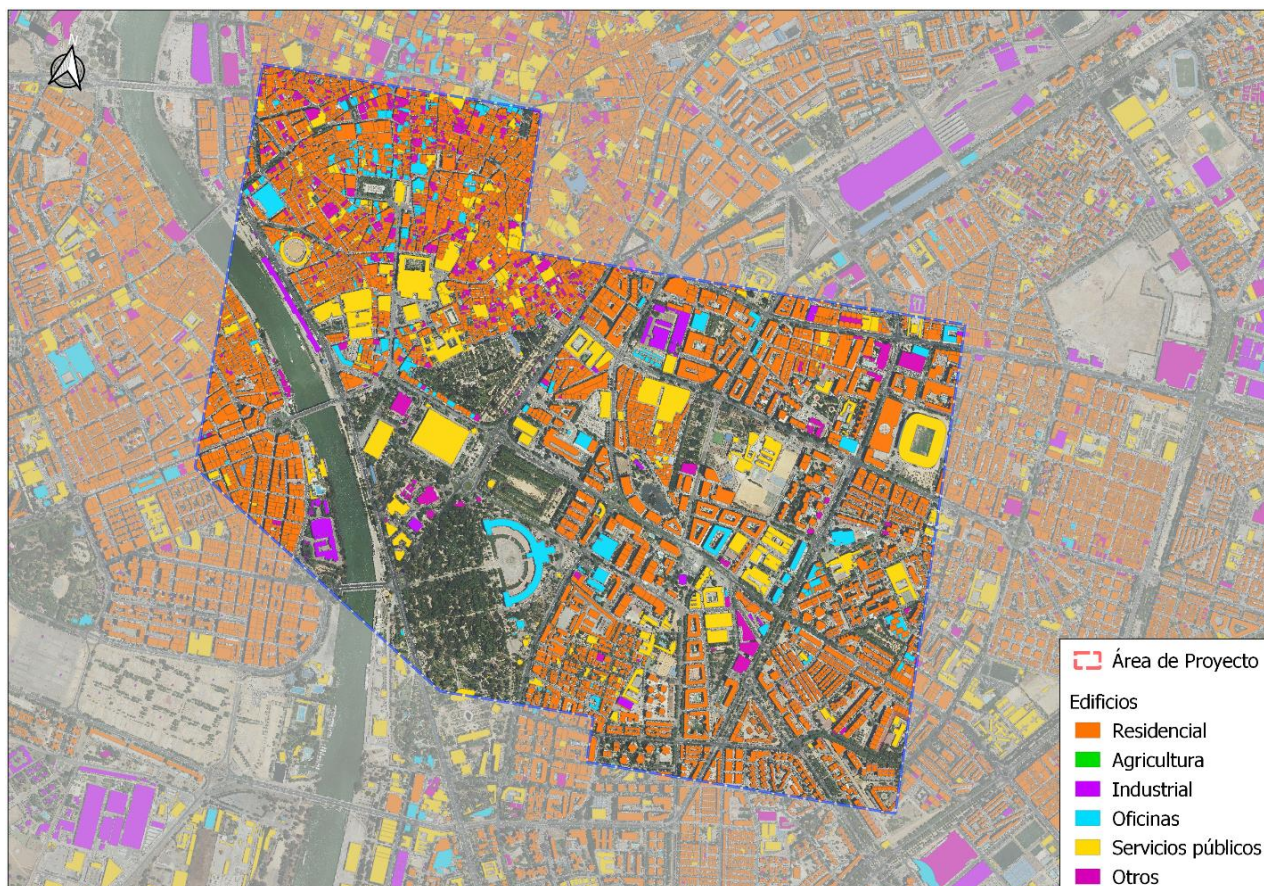


Ilustración 3. Clasificación de las edificaciones en el modelo según usos predominantes

Conforme a los requisitos establecidos en el Decreto 6/2012, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 en lo referente a la zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, y en la Ley 7/2007, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, la zonificación acústica debe responder al uso predominante actual o previsto en el planeamiento urbanístico. La aglomeración de Sevilla cuenta con zonificación acústica publicada de acuerdo a las siguientes áreas de sensibilidad acústica definidas en la Ordenanza Municipal de la ciudad:

- Áreas de tipo a, sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.
- Áreas tipo b, sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.
- Áreas tipo c, sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculo.
- Áreas tipo d, sectores del territorio con predominio de suelo de uso característico turístico o de otro uso terciario no contemplado en c.
- Áreas tipo e, sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requieran de especial protección contra la contaminación acústica.
- Áreas tipo f, sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte u otros equipamientos públicos que los reclamen.

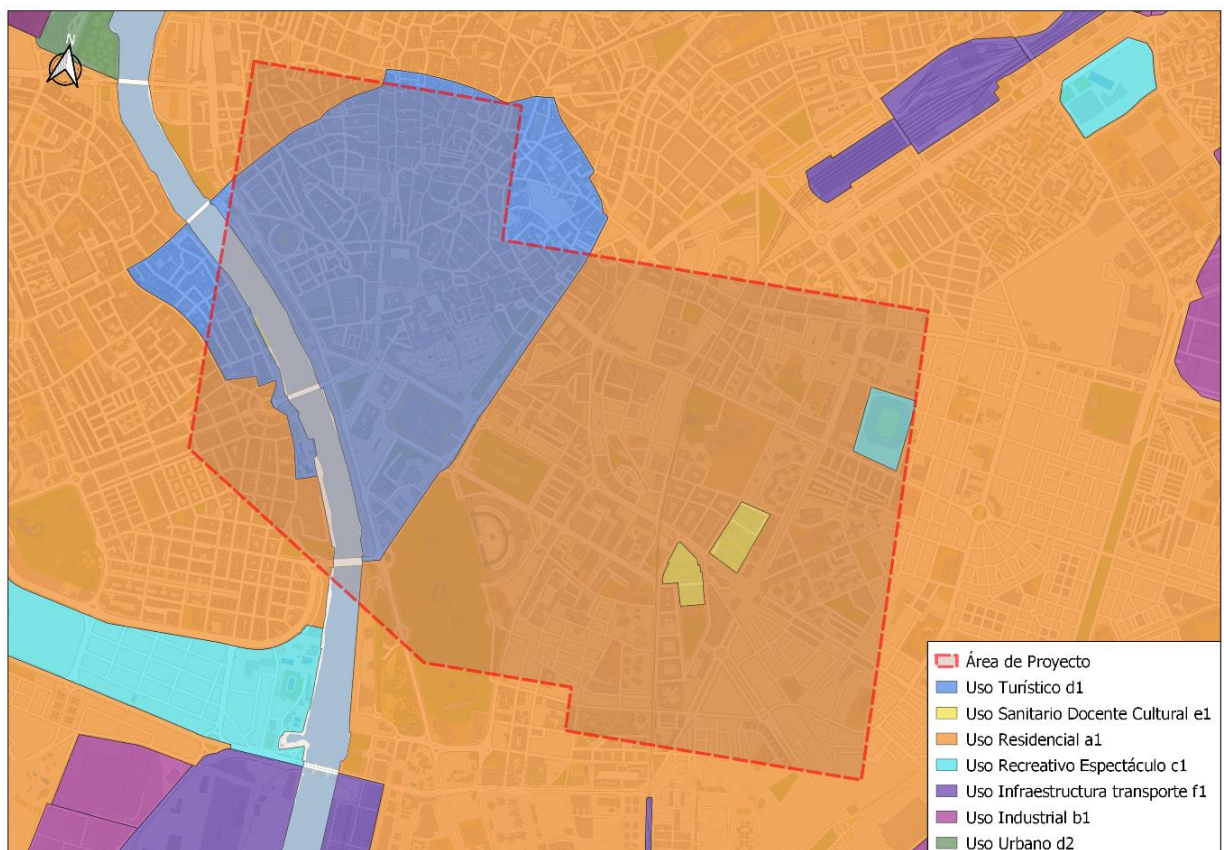


Ilustración 4. Zonificación acústica del municipio de Sevilla¹

¹ Zonificación acústica obtenida del visor GeoSEVILLA, a día 22 de junio de 2022. (<http://sig.urbanismosevilla.org/VisorGis/geoSevilla.aspx?Layers=SPA&Selected=01&xtheme=gray&iconf=SPA>)

4. NORMATIVA DE REFERENCIA

Se identifica a continuación la normativa de aplicación para el desarrollo del mapa estratégico.

- **DIRECTIVA 2002/49/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- **DIRECTIVA DELEGADA (UE) 2015/996** de la Comisión, de 19 de mayo de 2015, por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido en virtud de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- **DIRECTIVA DELEGADA (UE) 2021/1226** de la Comisión, de 21 de diciembre de 2020, por la que se modifica, para adaptarlo al progreso científico y técnico, el anexo II de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en cuanto a los métodos comunes para la evaluación del ruido.
- **LEY 7/2007**, de 9 de Julio, de Gestión Integrada de Calidad Ambiental (GICA)
- **REAL DECRETO 1367/2007**, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- **REAL DECRETO 1513/2005**, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- **ORDEN PCI/1319/2018**, de 7 de diciembre, por la que se modifica el Anexo II del Real Decreto 1513/2005.
- **ORDEN PCM/80/2022**, de 7 de febrero, por la que se modifica el Anexo II del Real Decreto 1513/2005.
- **DECRETO 6/2012**, de 17 de enero, por el que se aprueba el reglamento de protección contra la contaminación acústica en Andalucía y modificaciones posteriores.
- **ORDENANZA** del Municipio de Sevilla, del 29 de octubre de 2014, contra la contaminación acústica, ruidos y vibraciones del Municipio de Sevilla, y posterior actualización de los anexos con publicación el 06 de marzo de 2020.

Según indicaciones del Real Decreto 1367/2007, en el artículo. 15. *Cumplimiento de los objetivos de calidad acústica para el ruido aplicables a áreas acústicas*, y de la Ley 7/2007 (GICA), se establecen las directrices de análisis de cumplimiento de los Objetivos de Calidad Acústica (OCA), límites los cuales no presentan variación con los establecidos por el Decreto 6/2012 y la Ordenanza municipal de Sevilla.

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L _d	L _e	L _n
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requieran de especial protección contra la contaminación acústica	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 característico turístico o de otro uso terciario distinto del indicado en el tipo c	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo o de espectáculo	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65

Tabla 3. *Objetivos de calidad acústica para ruidos aplicables a áreas urbanizadas existentes (dBA)*

5. MÉTODO DE CÁLCULO

Para la realización del Mapa Estratégico de ruidos se utiliza una sistemática basada en cálculo mediante modelos de propagación, implementados en un software comercial CadnaA de Datakustik (última versión) de reconocido prestigio internacional.

El modelo ha empleado los nuevos métodos armonizados europeos denominados CNOSSOS (Common Noise Assessment Methods in Europe) conforme a la Directiva Europea 2015/996 de la Comisión de 19 de mayo de 2015 por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido en virtud de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y de la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 de la Comisión, de 21 de diciembre de 2020, por la que se modifica, para adaptarlo al progreso científico y técnico, el anexo II de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en cuanto a los métodos comunes para la evaluación del ruido (descripción del método recogida en el Anexo II del presente documento).

Este modelo contempla todas las recomendaciones propuestas por el grupo de trabajo de la Comisión Europea sobre evaluación de la exposición al ruido (WG-AEN) en el documento Guía de Buenas Prácticas para la representación y evaluación de mapas estratégicos de ruidos, además de las recogidas en la guía básica para la aplicación de los métodos comunes de evaluación del ruido en Europa (CNOSSOS-EU), del Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico del Gobierno de España y otras recomendaciones facilitadas por ADIF.

El área de cálculo, siguiendo las indicaciones de la Guía básica de recomendaciones para la aplicación del método CNOSSOS-EU, emitida por el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, debe estar definido en el total del trazado de vías del tranvía y abarcar el área suficiente para permitir el cálculo de los niveles de ruido que se encuentren por encima de un nivel L_{den} de 35 dBA.

El área de proyecto será superior al área de cálculo con el fin de contemplar todos aquellos elementos del entorno de la vía férrea, así como asegurar al cálculo correcto de los niveles de ruido generados y el rango de afección de la misma.

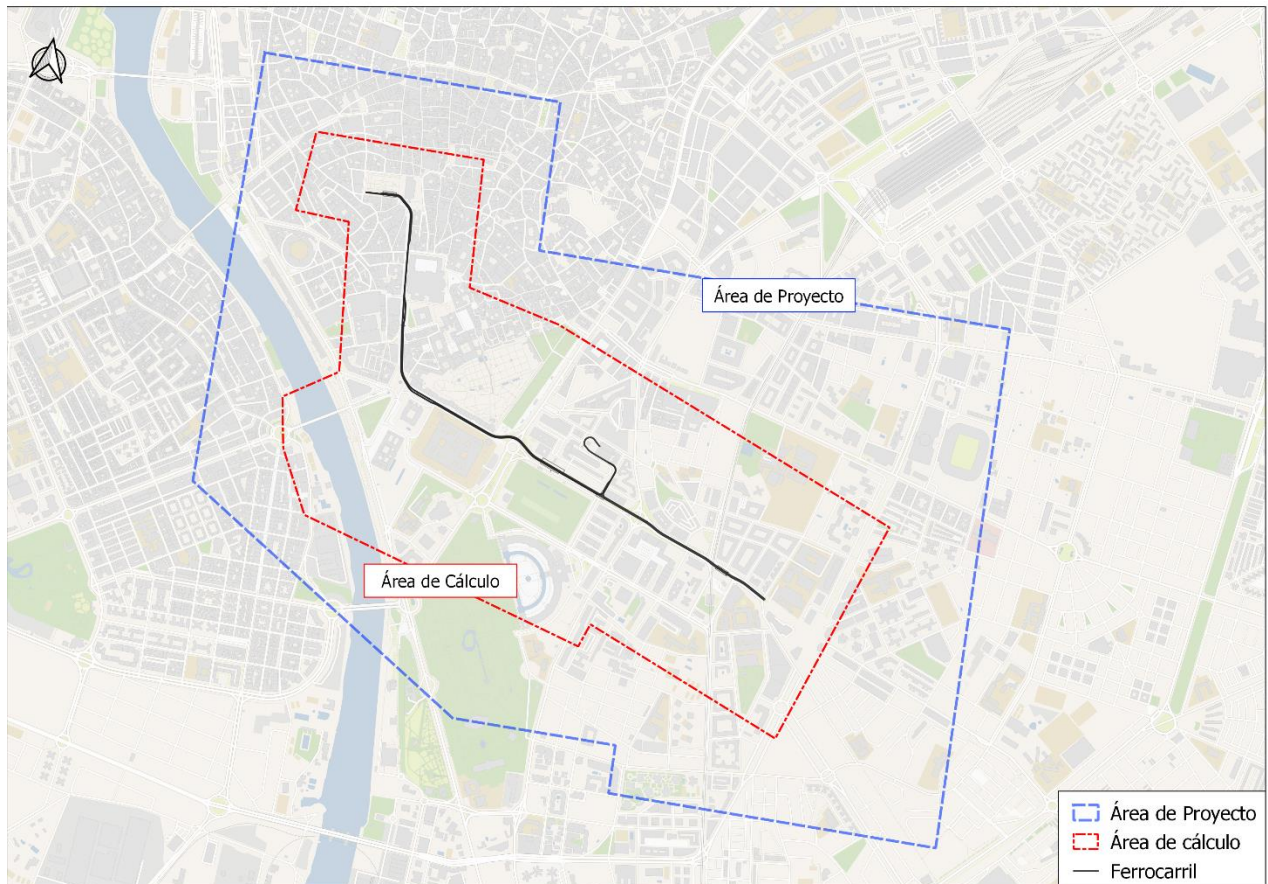


Ilustración 5. Definición del área de proyecto y del área de cálculo

5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CÁLCULO E INPUTS DE ENTRADA DEL MODELO

A continuación, se describen los parámetros meteorológicos considerados para los cálculos, así como el tipo de suelo considerado y el número de reflexiones para el cálculo.

ITEM	Referencia	Observaciones
Método de cálculo ruido	Método CNOSSOS Cálculo en frecuencia	Directiva Europea 2015/996 de la Comisión de 19 de mayo de 2015 por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido en virtud de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (y posterior Corrigenda de 10 de enero de 2018)
Periodos de referencia	Día: 7:00 h – 19:00 h Tarde: 19:00 h – 23:00 h Noche: 23:00 h – 7:00 h	-
Terreno	Modelo del terreno: Triangulación	-
Absorción del suelo	0 (zonas asfaltadas o pavimentadas) 0.7 (parques y jardines)	Suelo acústicamente duro en áreas urbanas y blando en zonas de vegetación
Distancia entre puntos de malla	5 m	-
Altura de malla	4 m	-
Orden de reflexión	Max. Orden de reflexión= 2	Cálculos de mapas de ruidos con orden de reflexión 2
Condiciones meteorológicas	Temperatura promedia: 19.2 °C; Humedad (%): 59	Condiciones meteorológicas medias de Sevilla ²
Condiciones favorables de propagación	Periodo día: 50 % Periodo tarde: 75 Periodo noche:100%	-
Layout	Conjunto de planos correspondientes a la fase I y la fase II del recorrido del METROCENTRO y de las instalaciones de las cocheras	Layouts facilitados por el cliente
Topografía	Centro Nacional de Descargas del Instituto Geográfico Nacional	Base Topográfica Nacional a escala 1:5000 (MDT05)

Tabla 4. Parámetros de cálculo del modelo

² Valores normales de los datos climatológicos de los últimos años (1981-2010). AEMET, <https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=5783&k=undefined>

5.2. CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DEL METROCENTRO

Caracterización de los vehículos

A los efectos del método CNOSSOS-EU, un vehículo se define como cualquier subunidad ferroviaria independiente de un tren (locomotora, automotor, coche de viajeros o vagón de carga) que se pueda mover de manera independiente y que se pueda desacoplar del resto del tren. Asimismo, para este método de cálculo, un tren consta de una serie de vehículos acoplados.

En el caso del modelo URBOS-3 de CAF, la emisión acústica, características de la vía, función de transferencia y demás parámetros que determinan el modelo de propagación han sido calculado en base a las recomendaciones de las siguientes referencias bibliográficas además de las incluidas en el propio método CNOSSOS:

- Método de cálculo del ruido ambiental de fuentes cercanas al suelo (carreteras, ferrocarriles, industria y comercio) publicada por el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear, Ministerio Federal para el Transporte y la infraestructura Digital de Alemania (34. BImSchV) de 7 de septiembre de 2021.
- Agencia de Protección del Medio Ambiente de Irlanda (2021) “*Towards a Good Practice Guide for Implementing CNOSSOS-EU in Ireland*”.
- Guía para la aplicación del método CNOSSOS-EU en la modelización del ruido producido por las circulaciones ferroviarias en las infraestructuras de ADIF y ADIF AV (marzo, 2022).

Los resultados de las modelizaciones empleando esta sistemática y los parámetros que se describen a continuación, han demostrado que se ajusta de forma adecuada al caso de estudio, obteniéndose desviaciones inferiores a 1 dBA en el proceso de verificación con mediciones obtenidas in situ³.

La siguiente tabla recoge los parámetros asociados a los vehículos en el modelo de simulación acústica:

³ Proceso de verificación llevado a cabo mediante comparativa con la campaña de ensayos descrita en el informe interno de INERCO Acústica con número de referencia IA/AC-15/9002-001-01, realizado en el año 2015.

Parámetro	Valor	Observaciones
Modelo	DE21_C Hochflurfahrzeug nach Tabelle 3.2 (c)	Categoría de tren de la base de datos alemana de CNOSSOS, cuyos parámetros han sido validados con las características del tranvía de estudio y cuyos niveles de emisión han sido contrastados con las campañas de ensayos existentes.
Velocidad máxima	5 – 50 km/h	La velocidad oscila según tramo recorrido y operación
Nº Ref. Ejes	6	-
Número de ruedas	12	-
Tipo de coche	DE-c Tranvía, Vehículo de paso alto, Vehículo U-Bahn	El sistema del METROCENTRO basa su funcionamiento en el uso de corriente eléctrica.
Rugosidad de la rueda	Freno de Disco	El METROCENTRO cuenta con tres sistemas de frenado: freno mecánico, constituido por un disco de frenos, freno eléctrico y patines electrodinámicos.
Filtro de contacto	Carga por rueda 50 kN – diámetro de rueda 680 mm	Se estima la carga por rueda suponiendo el peso del tranvía en situación de carga máxima de pasajeros entre el número total de ruedas (12 ruedas).
Función de Transferencia de la rueda	Diámetro de Rueda 680 mm	Se utiliza el valor más próximo al diámetro real de ruedas (520 mm).
Medida de la rueda	n sin medida	-
Ruido aerodinámico	No	No se consideran valores de ruido aerodinámico en sistemas que con velocidades inferiores a 200 km/h.
Rugosidad de la vía	Normalmente mantenido y liso	-
Función de transferencia de la vía	Travesía monobloque sobre almohadilla de carril suave.	-
Ruido de impacto	No aplica	Dado que la velocidad del METROCENTRO es inferior a 50 km/h en todo el trayecto e inferior a 30 km/h en la mayoría del mismo, se evita la modelización del ruido de impacto
Chirrido	No aplica	Aunque existen cinco tramos con radio inferior a 200 metros, la verificación in situ demuestra que no existencia de este tipo de ruido y no se aplica en el modelo de predicción.
Corrección de la radiación estructural	No aplica	Dada la inexistencia de puentes o viaductos en el paso del METROCENTRO, no es de aplicación la corrección de la radiación estructural.

Tabla 5. Parámetros para la caracterización de los vehículos

Bocina y Campana

El tranvía cuando con dos sistemas de alarma sonora (campana y bocina) para alertar a peatones y vehículos del paso del tren que son activados por el conductor de forma manual a demanda y están situados bajo la carrocería a una altura aproximada de 60 centímetros. Estas fuentes sonoras pueden llegar a ser relevantes por lo que se han incorporado en el modelo de predicción sonora como fuentes industriales lineales, cuya potencia acústica se calcula a partir de la potencia acústica estimada a partir de los datos del proveedor de los equipos, el número de pasos de tren, la velocidad de paso y una hipótesis de tiempo de funcionamiento confirmadas con TUSSAM.

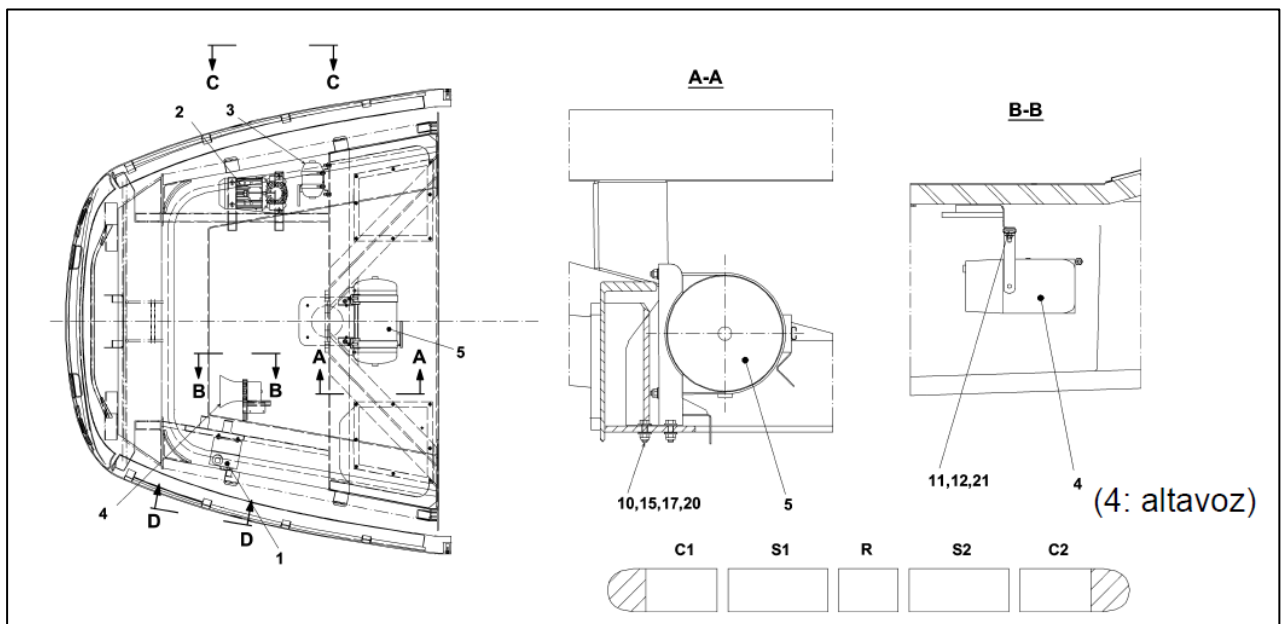


Ilustración 6. Ubicación del altavoz bajo la cabina⁴

La siguiente tabla muestra los datos de potencia acústica considerados para las bocinas y campanas en cada sentido y periodo del día.

Fuente Sonora	Nivel de Potencia Sonora Lineal PWL (dBA)		
	Día	Tarde	Noche
Campana	76	75	68
Bocina	78	78	70

Tabla 6. Nivel de potencia sonora lineal de los sistemas de campana y bocina

⁴ Figura 1-91. Equipos bajo cabina. Plano del catálogo de piezas facilitado por TUSSAM.

Velocidades

Los datos correspondientes a las velocidades asociadas a cada tramo del tranvía han sido definidos a partir de la información ofrecida por TUSSAM. La siguiente imagen muestra las velocidades correspondientes a puntos determinantes del recorrido del tranvía.

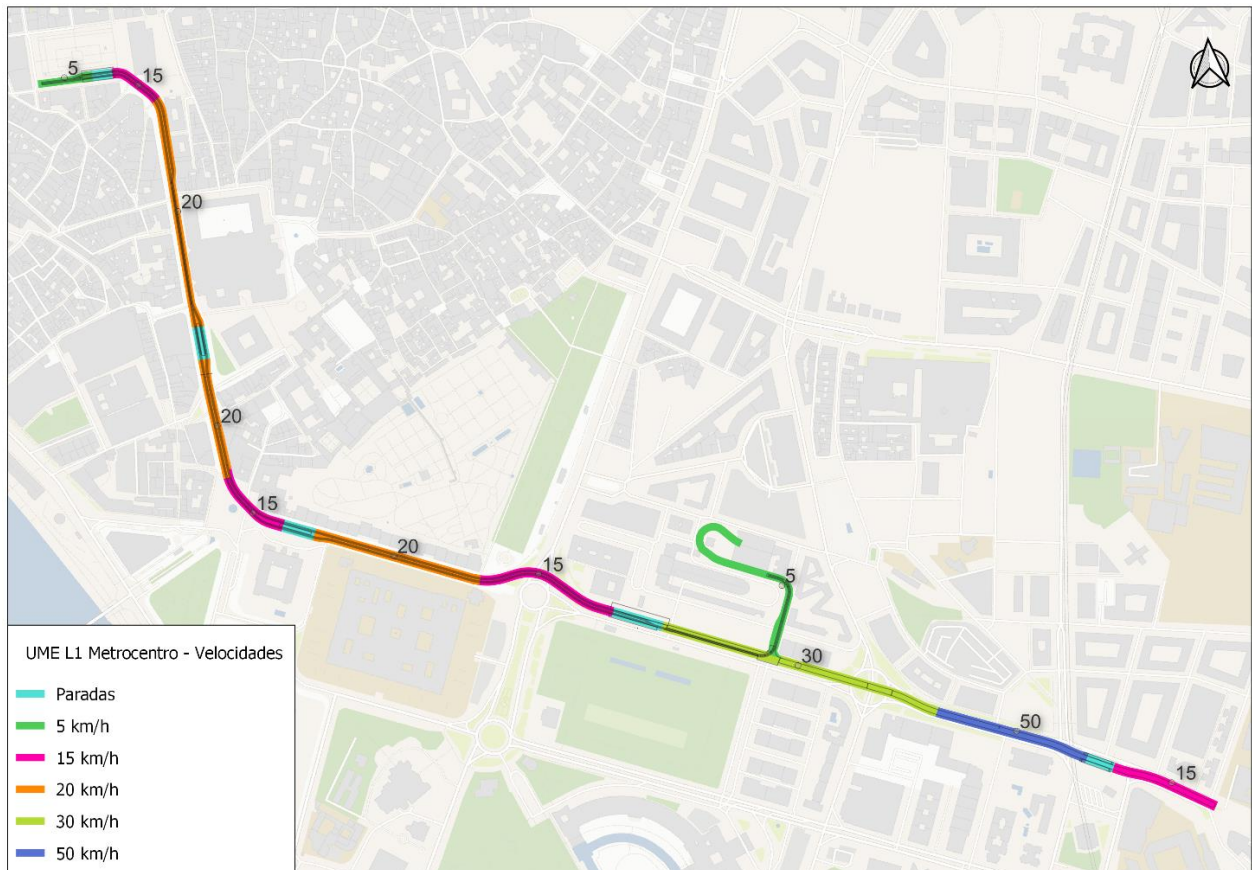


Ilustración 7. Tramos de velocidades del recorrido del METROCENTRO

Flujo de tráfico

Los datos correspondientes al flujo de tráfico medio anual del METROCENTRO han sido obtenidos a partir de los registros de las marchas horarias asociadas a las diferentes temporadas a lo largo del año, distribuidas entre los tramos horarios día, tarde y noche. Los datos son representativos de la operación del METROCENTRO para un año promedio normal, y dado que el año 2021 no fue por la reducción de circulaciones debido a la pandemia COVID, se emplearon las previsiones de tráfico correspondientes al año 2022.

Temporada		Plaza Nueva – San Bernardo			San Bernardo – Plaza Nueva		
		Día	Tarde	Noche	Día	Tarde	Noche
INVIERNO	INVDOF	67	23	3	68	24	3
	INVDOM	58	25	10	59	25	9
	INVESP	76	28	3	75	29	2
	INVESR	76	28	9	75	29	10
	INVFEF	73	29	2	76	30	3
	INVFER	74	32	10	76	33	9
	INVFES	44	24	3	46	24	2
	INVLAB	81	24	6	83	24	6
	INVPUF	81	24	13	83	24	13
	INVREY	50	15	6	50	15	6
	INVSAB	71	23	12	71	24	14
	INVVIC	87	30	13	87	30	13
	INVVIE	81	24	13	83	24	13
NAVIDAD	NAVESP	71	16	0	71	17	0
	NAVFEF	59	24	3	59	24	2
	NAVLAB	84	30	7	85	31	8
	NAVVIC	85	29	14	84	30	14
SEMANA SANTA	SESDOM	102	40	23	102	40	23
	SESJUE	86	36	51	88	37	49
	SESLAB	95	41	31	97	40	29
	SESPRE	89	30	8	89	30	8
	SESSAB	90	37	23	90	37	23
	SESSAC	86	26	8	86	26	8
	SESVIC	89	30	8	89	30	8
SESVIE	90	37	23	90	37	23	
FERIA	FERDOM	67	23	3	68	24	3
	FERFEF	67	23	3	68	24	3
	FERLAB	81	24	6	83	24	6
	FERLUN	81	24	6	83	24	6
	FERMAR	81	24	6	83	24	6
	FERSAB	71	23	7	71	24	8
	FERSAF	71	23	7	71	24	8
VERANO	IN1COR	67	23	3	68	24	3
	IN1FEF	67	23	3	68	24	3
	IN1FEF	67	23	3	68	24	3
	IN1LAB	81	24	6	83	24	6
	IN1SAB	71	23	12	71	24	14
	IN1VIE	81	24	13	83	24	13
	IN2FEF	50	18	3	51	18	2
	IN2FEF	50	18	3	51	18	2
	IN2LAB	66	16	5	66	17	5
	IN2SAB	65	17	11	66	17	11
	IN2VIE	65	17	11	66	17	11
	JULLAB	66	16	5	66	17	5
	JULVIE	65	17	11	66	17	11
	AGOLAB	66	16	5	66	17	5
AGOSAB	52	17	12	52	17	12	
AGOVIE	65	17	11	66	17	11	
MEDIA ANUAL		73	23	8	75	23	8

Tabla 7. Promedio anual de viajes diarios del METROCENTRO

5.3. TOPOGRAFÍA

La topografía de la zona de estudio resulta un factor fundamental para la propagación del sonido. Por ello, ante la necesidad de definir correctamente la topografía de la zona de estudio, se hará uso de los recursos cartográficos disponibles a nivel nacional en el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

Los Modelos Digitales del Terreno a disposición, son obtenidos por interpolación a partir de la clase terreno de vuelos LIDAR de la primera y segunda cobertura del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) respectivamente. Se tratan de archivos de tipo ráster (ASCII) que contienen información de elevación del terreno desnudo.

El recurso en uso consistirá en el Modelo Digital de Terreno con un paso de malla de 5 metros (MDT05), que abarque la totalidad del área de estudio.

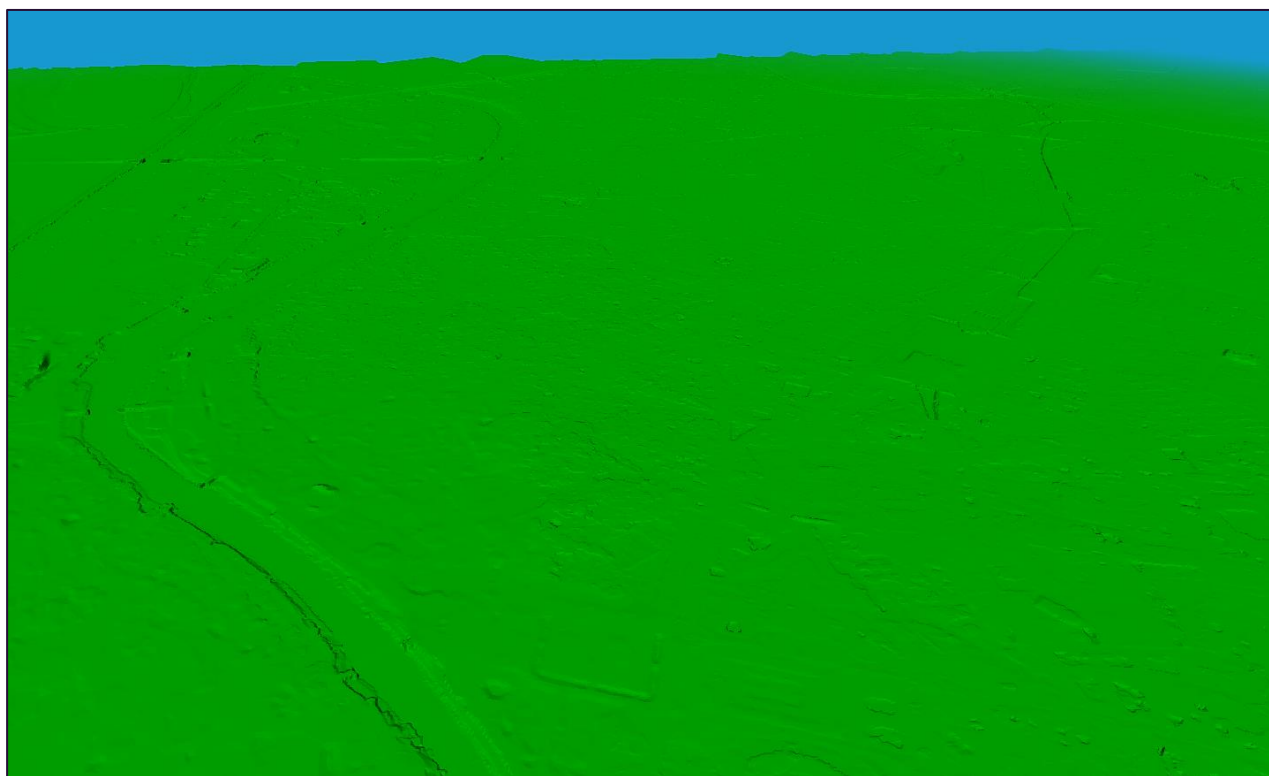


Ilustración 8. Modelo 3D de la topografía del municipio de Sevilla

5.4. OBSTÁCULOS

Es importante la correcta definición de los edificios en el modelo de simulación acústica, dado que éstos actúan como barreras a la propagación del sonido. Además, teniendo en cuenta que uno de los objetivos que justifican la necesidad de elaborar un Mapa de Ruido o un Estudio de Impacto Acústico es evaluar la exposición a la contaminación acústica, la disponibilidad de datos apropiados sobre la población, los usos y las edificaciones susceptibles de ser afectadas es fundamental.

Por ello, se obtiene la capa de edificaciones de la cartografía catastral INSPIRE, la cual contiene los edificios recogidos en catastro del municipio de Sevilla. El archivo contiene, además, la información relativa a los usos predominantes de los edificios, así como el número de viviendas existentes en el interior de los mismos. Dicha información será contrastada, a su vez, con la información ofrecida por la Sede Electrónica del Catastro para el año 2021.

La información relativa a la altura de las edificaciones, por otro lado, será obtenida a partir del Modelo Digital de Superficies Edificación, disponible en el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), e interpolada con la capa de edificaciones obtenida.

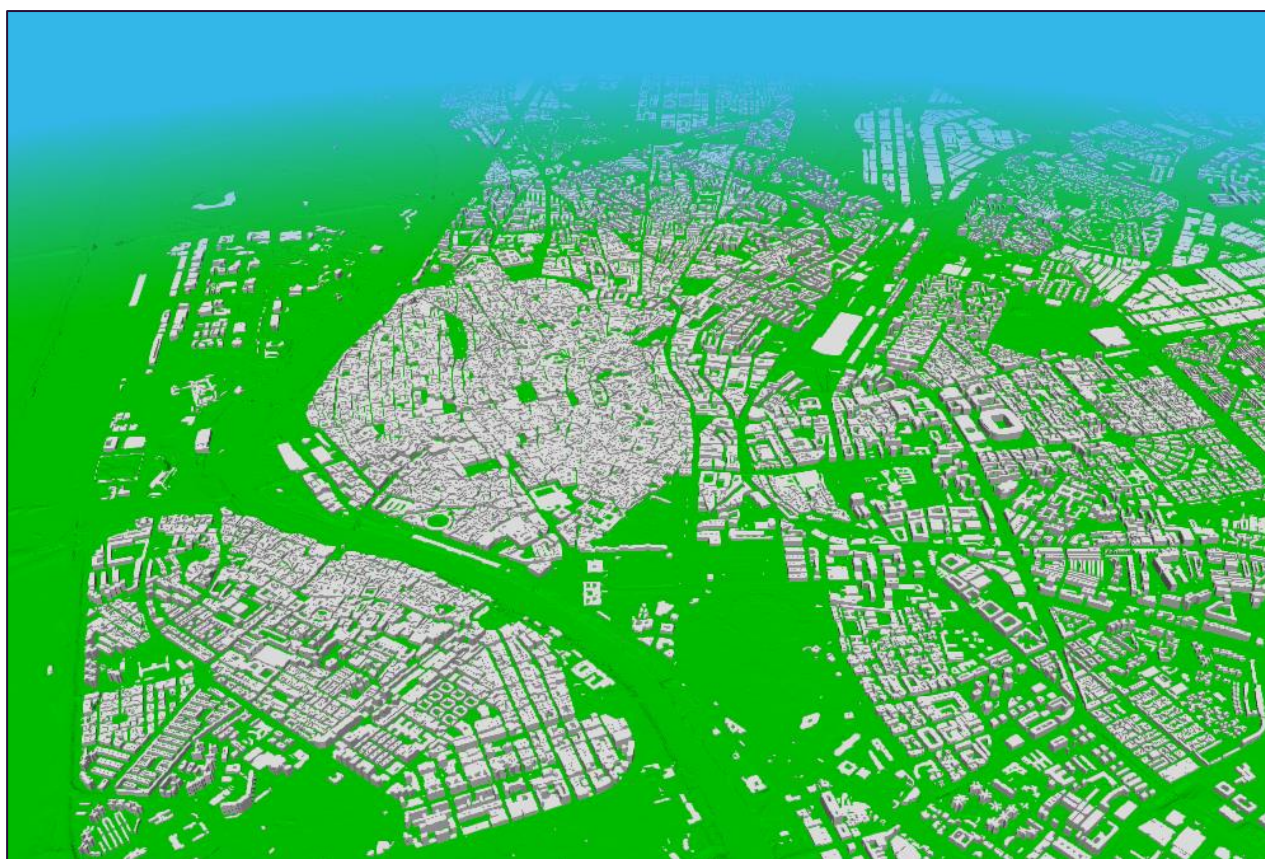


Ilustración 9. Modelo 3D del conjunto de edificaciones del municipio de Sevilla

5.5. INFORMACIÓN CATASTRAL Y DE POBLACIÓN

Para estimar la exposición al ruido de la población es fundamental determinar el número de viviendas existentes en cada uno de los edificios residenciales, así como el número de personas que residen en ellas.

Para ello, se ha partido de la base de datos perteneciente a la cartografía catastral INSPIRE, la cual recoge el número de viviendas existentes por cada edificación, para determinar el número de viviendas totales por secciones censales, de las cuales ha sido posible obtener, a su vez, la población correspondiente al año 2019⁵.

Una vez generada la distribución de habitantes y número de viviendas por edificación, se ha normalizado la información adaptándola a los datos de población por distritos del municipio de Sevilla en el año 2021, facilitados en la web del Ayuntamiento de Sevilla.⁶

Población total del área de estudio	70.674
-------------------------------------	--------

Tabla 8. Población total del área de estudio.

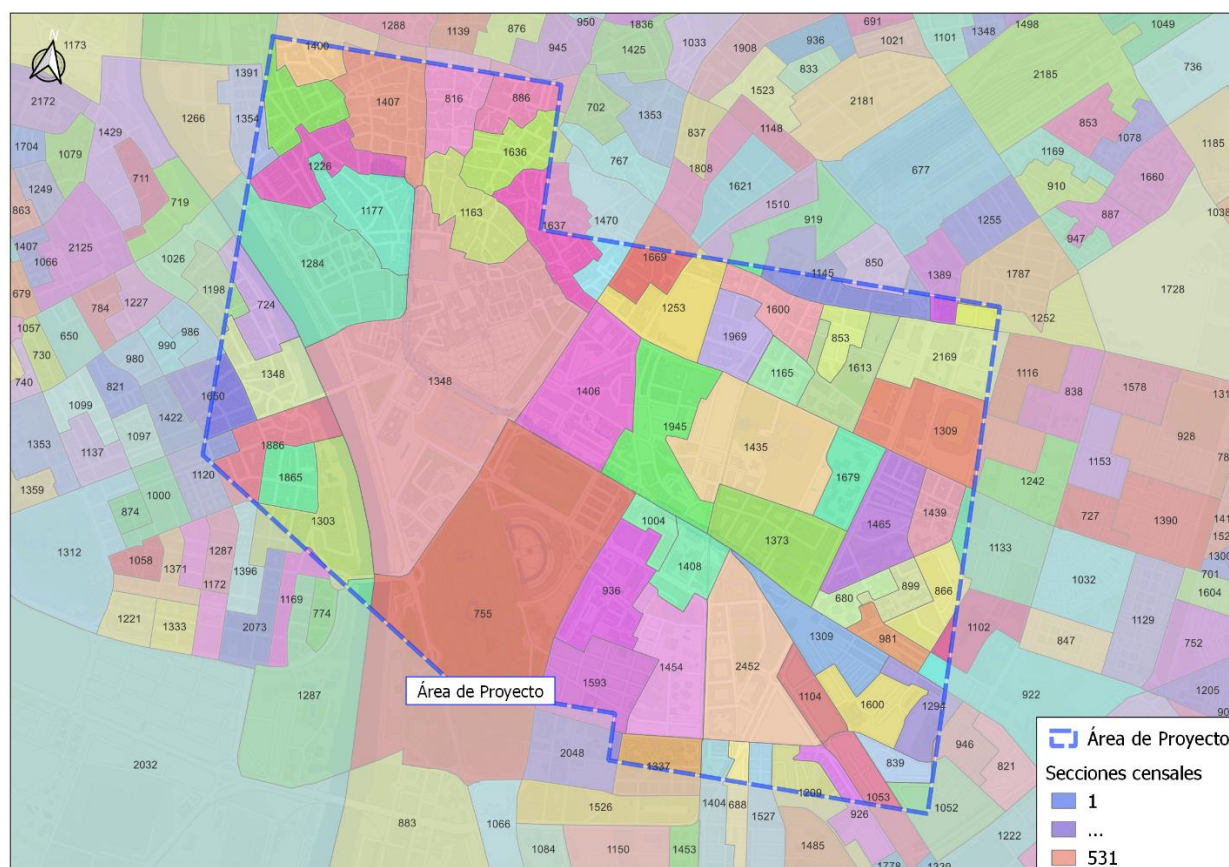


Ilustración 10. Distribución de la población por secciones censales

⁵ Estadística de Población 2019 Secciones Censales por lustros. Servicio de Estadística. Ayuntamiento de Sevilla. 20/02/2020.

<https://opendata.esri.es/maps/5989afaac9142b0956e8a42d865b977/about>

⁶ <https://www.sevilla.org/distritos/>

Mapa estratégico de Ruido de la línea
METROCENTRO de Sevilla

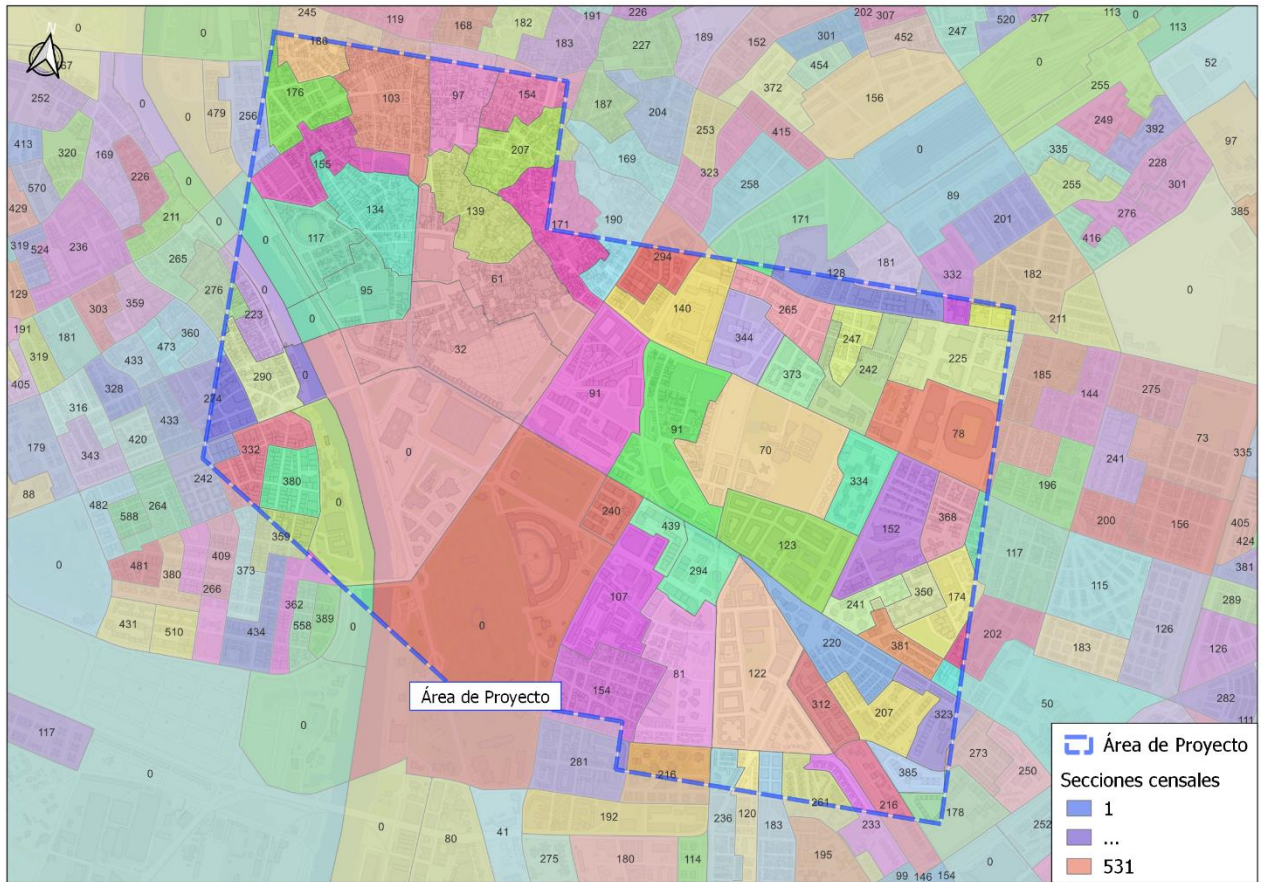


Ilustración 11. Número de viviendas por secciones censales

6. RESULTADOS

El modelo de predicción sonora elaborado con los parámetros descritos permite calcular los niveles de ruido asociados a la operación de la línea METROCENTRO en forma de mapas de curvas isófonas con una malla 5 * 5 metros y a 4 metros de altura. Además, el programa de simulación también permite el cálculo de los niveles sonoros en fachada a 4 metros conforme a la metodología propuesta en el método CNOSSOS, que permitirá estimar el grado de exposición de la población (promediado por medianas en función de la longitud de la fachada conforme a la Directiva (UE) 2021/1226).

Los resultados obtenidos nos permitirán evaluar, por tanto, la población expuesta en centenas ($L_{\text{día}}$, L_{tarde} , L_{noche} y L_{den}), la superficie expuesta en km^2 (L_{den}) y el número de edificios sensibles expuestos a los niveles sonoros (L_{den}) a partir de los siguientes mapas de curvas isofónicas (y receptores asociados):

- Mapa de niveles sonoros de $L_{\text{día}}$ en dB con la representación de líneas isófonas que delimitan los siguientes rangos: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75 dB
- Mapa de niveles sonoros de L_{tarde} en dB con la representación de líneas isófonas que delimitan los siguientes rangos: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75 dB
- Mapa de niveles sonoros de L_{noche} en dB con la representación de líneas isófonas que delimitan los siguientes rangos: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70 dB
- Mapa de niveles sonoros de L_{den} en dB con la representación de líneas isófonas que delimitan los siguientes rangos: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75 dB

A continuación, se recogen los resultados obtenidos para la evaluación de los periodos día, tarde, noche y el indicador L_{den} .

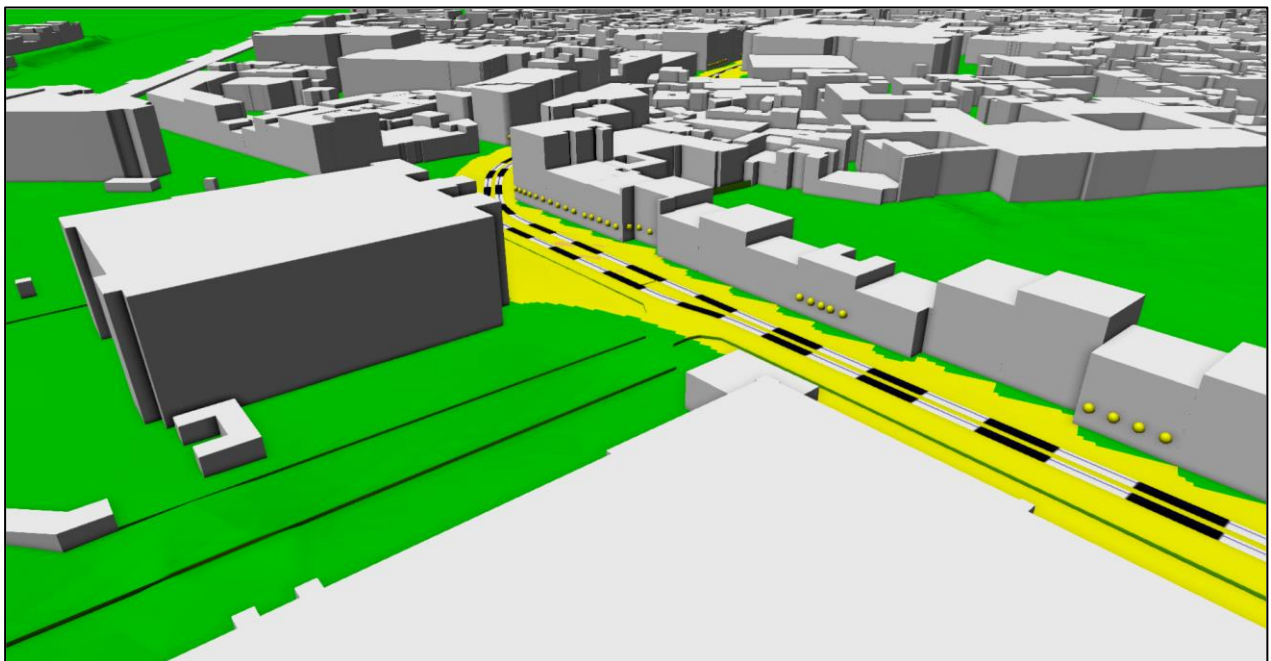


Ilustración 12. Imagen 3D de los resultados del modelo de simulación acústica.

6.1. RESULTADOS DE LA POBLACIÓN AFECTADA, VIVIENDAS Y EDIFICIOS SENSIBLES

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos del número de personas y viviendas expuestas expresado en centenas y el número de edificios sensibles afectados (sanitarios, docentes y culturales) en unidades.

Intervalo	Población expuesta (centenas)			
	Día ($L_{\text{día}}$)	Tarde (L_{tarde})	Noche (L_{noche})	L_{den}
45 - 50	-	-	4	-
50 - 55	10	10	0	13
55 - 60	1	1	0	3
60 - 65	0	0	0	0
65 - 70	0	0	0	0
70 - 75	0	0	0	0
> 75	0	0	-	0

Tabla 9. Datos de exposición de población (en centenas)

Intervalo	Número de viviendas residenciales expuestas (unidades)			
	Día ($L_{\text{día}}$)	Tarde (L_{tarde})	Noche (L_{noche})	L_{den}
45 - 50	-	-	26	-
50 - 55	39	39	0	39
55 - 60	8	3	0	22
60 - 65	0	0	0	0
65 - 70	0	0	0	0
70 - 75	0	0	0	0
> 75	0	0	0	0

Tabla 10. Datos de exposición de población (en centenas)

Intervalo	Número de edificios sanitarios, docentes y culturales (unidades)			
	Día (L_d)	Tarde (L_e)	Noche (L_n)	L_{den}
45 - 50	-	-	3	-
50 - 55	4	4	0	5
55 - 60	1	1	0	1
60 - 65	0	0	0	0
65 - 70	0	0	0	0
70 - 75	0	0	0	0
> 75	0	0	-	0

Tabla 11. Número de edificios sensibles expuestos expresados en unidades

Los mapas de curvas isofónicas se encuentran incluidos en el Anexo II del presente informe.

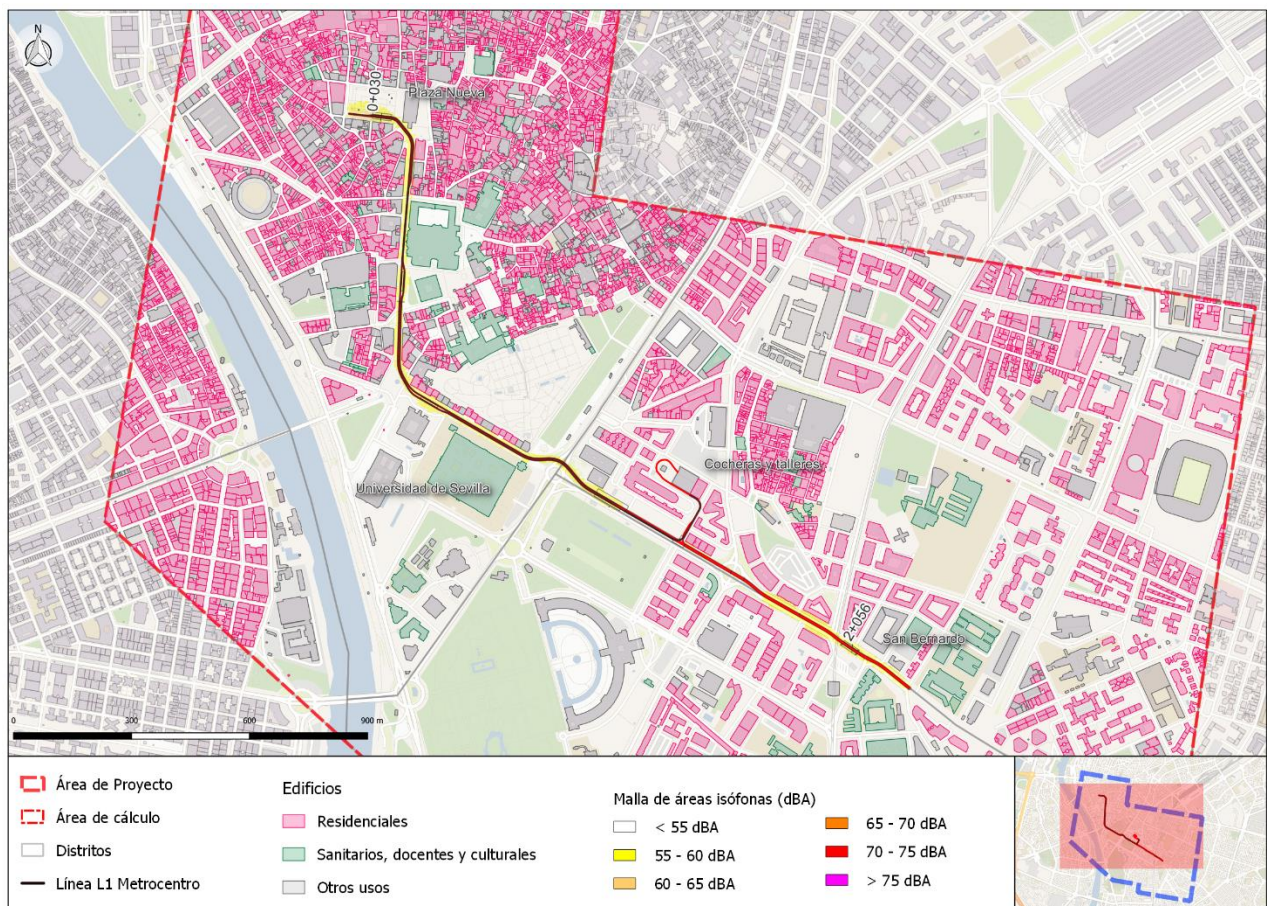


Ilustración 13. Mapa de curvas isofónicas, periodo día, L_d (dB(A)).

6.2. EVALUACIÓN DE LA ZONA DE AFECCIÓN

Además de las tablas de población afectada, el modelo de simulación acústica nos permite obtener, a partir de los resultados del mapa de áreas isófonas, la superficie total expuesta a niveles sonoros por encima de los 55, 65 y 75 dBA, conforme a los requerimientos de la Directiva Europea.

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos de la superficie total expuesta a valores L_{den} superiores a 55, 65 y 75, expresada en m^2 y en km^2 .

Intervalo	Superficie total expuesta					
	Superficie (m^2)	Superficie (km^2)	Nº personas	Nº viviendas	Nº centros docentes	Nº centros sanitarios
> 55	74.200	0,0742	295	22	0	0
>65	0	0	0	0	0	0
>75	0	0	0	0	0	0

Tabla 12. Superficie expuesta

El mapa de la zona de afección de la línea METROCENTRO se encuentran incluidos en el Anexo II del presente informe.

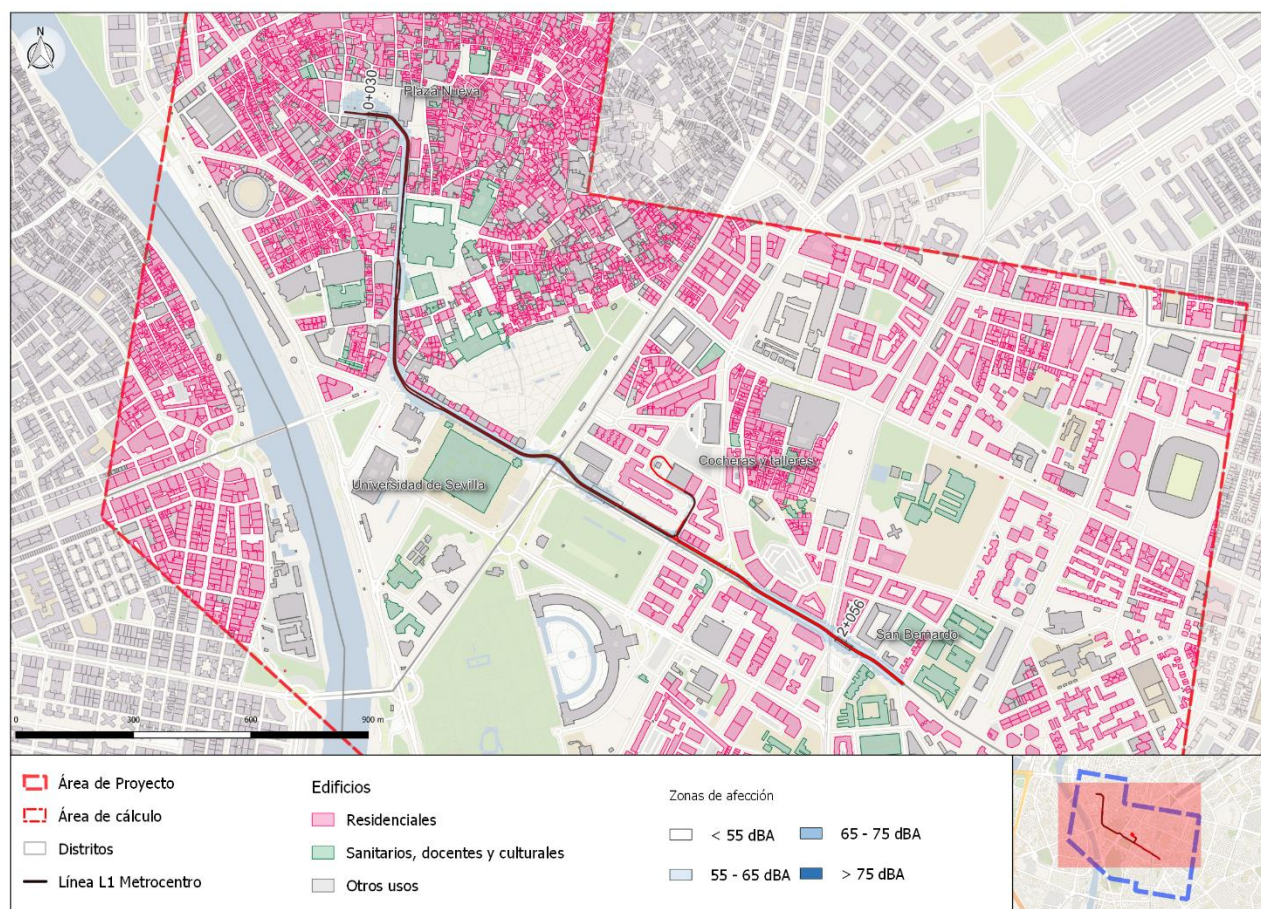


Ilustración 14. Mapa de la zona de afección de la línea del METROCENTRO

7. EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN AFECTADAS SEGÚN LOS OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA EN EL EXTERIOR

Los resultados obtenidos en el Mapa Estratégico de Ruidos de la línea METROCENTRO de Sevilla, nos permiten analizar el grado cumplimiento de los Objetivos de Calidad Acústica fijados por la normativa nacional Real Decreto 1367/2007, autonómica (Decreto 6/2012) y municipal (Ordenanza contra la Contaminación Acústica, Ruido y Vibraciones de Sevilla).

La siguiente tabla recoge los límites de aplicación expuestos para los objetivos de calidad acústica aplicables a áreas urbanizadas existentes.

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L _d	L _e	L _n
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	65	65	55
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	60	60	50

Tabla 13. Valores límites de los Objetivos de Calidad Acústica según el RD1367/2007

Los resultados del Mapa Estratégico ponen de manifiesto que no existe población expuesta a niveles superiores a los Objetivos de Calidad Acústica en el exterior establecidos para usos residenciales en periodo día, tarde y noche. No existen edificaciones donde la contribución sonora de la línea METROCENTRO de Sevilla será superior a 65 dBA en periodo día/tarde o supere los 55 dBA durante el periodo noche.

Intervalo	Población expuesta (en centenas)		
	Día (L _d)	Tarde (L _e)	Noche (L _n)
45 - 55	-	-	153
50 - 55	945	914	0
55 - 60	57	15	0
60 - 65	0	0	0
65 - 70	0	0	0
70 - 75	0	0	0
> 75	0	0	-

Tabla 14. Evaluación de la población expuesta (en centenas) con superaciones de los Objetivos de Calidad Acústica en el Exterior (fondo rojo – superaciones del nivel límite, fondo verde – cumplimiento del límite)

Del mismo modo, no se han identificado edificios sensibles (culturales, docentes o sanitarios) que superen los Objetivos de Calidad Acústica en el Exterior, establecidos para las áreas tipo e en 60 dBA en periodo día/tarde y 50 dBA en periodo noche.

Intervalo	Número de edificios sanitarios, docentes y culturales (unidades)		
	Día (L_d)	Tarde (L_e)	Noche (L_n)
45 - 55	-	-	72
50 - 55	4	4	0
55 - 60	1	1	0
60 - 65	0	0	0
65 - 70	0	0	0
70 - 75	0	0	0
> 75	0	0	-

Tabla 15. Evaluación de edificios sensibles (unidades) con superaciones de los Objetivos de Calidad Acústica en el Exterior (fondo rojo – superaciones del nivel límite, fondo verde – cumplimiento del límite)

En el correspondiente apartado de Anexos, se incluyen mapas de conflicto para el periodo día, tarde y noche considerando los usos de cada edificación y los valores límites de objetivos de calidad acústica establecidos por la normativa para cada uno de ellos. Además, en la siguiente tabla se especifica el grado de cumplimiento de los Objetivos de Calidad Acústica de áreas tipo a residenciales considerando la zonificación acústica publicada por el Ayuntamiento de Sevilla para el área de estudio, expresadas en porcentaje respecto al área total analizada.

Indicador	Objetivo	CUMPLE OBJETIVO	NO CUMPLE OBJETIVO
L_d	65	100%	0%
L_e	65	100%	0%
L_n	55	100%	0%

Tabla 16. Grado de cumplimiento de los Objetivos de Calidad Acústica en el área de estudio

8. CONCLUSIONES

El presente estudio ha elaborado el Mapa Estratégico de la línea METROCENTRO de Sevilla de acuerdo con lo estipulado en la Directiva 2002/49/CE de 25 de junio de 2002 sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental, así como los requerimientos de la normativa nacional (Ley del Ruido y Reales Decreto 1367/07 y 1513/2005), el Reglamento de Protección frente a la Contaminación Acústica en Andalucía (Decreto 6/2012) y la Ordenanza contra la Contaminación Acústica, Ruido y Vibraciones de Sevilla.

Los resultados del Mapa Estratégico ponen de manifiesto que la contribución sonora asociada a la operación de la línea METROCENTRO no genera superaciones de los Objetivos de Calidad Acústica en el exterior establecidos por la normativa de aplicación, no existiendo población, viviendas ni edificios de usos sensibles que superen los valores límites para los indicadores $L_{\text{día}}$, L_{tarde} y L_{noche} .

En consecuencia, no resulta de aplicación la necesidad de elaborar Planes de Acción conforme a lo establecido en el Real Decreto 1513/2005 por el que se desarrolla la Ley 37/2003 en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental. A pesar de ello, TUSSAM dispone un Plan de Mantenimiento de la plataforma viaria con vistas a mejorar el nivel de rugosidad de la vía y garantizar el adecuado funcionamiento de los sistemas de lubricación actualmente en operación. De igual importancia son las labores de mantenimiento que se llevan a cabo periódicamente en el material ferroviario para verificar el perfecto estado de ruedas, sistemas de frenado y demás elementos que condicionan la emisión sonora del tren y que se realiza en los talleres de la línea METROCENTRO en el Prado de San Sebastián.

Por último, se recomienda desarrollar una campaña de ensayos acústicos para ampliar el alcance de la verificación de los modelos de predicción sonora realizados hasta la fecha. Este punto se considera relevante de cara a mejorar la caracterización acústica del material ferroviario de METROCENTRO especialmente en estas primeras fases de aplicación de la metodología CNOSSOS, garantizando la representatividad de los resultados y mejorar la precisión de resultados en las sucesivas fases y actualizaciones de los mapas.

ANEXO I. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

La estimación de los niveles sonoros (modelización de la propagación de ruido generado por el Proyecto) se ha efectuado mediante el empleo del software de predicción sonora **CadnaA**.

En concreto, se ha empleado el método de cálculo basado en el método común de evaluación del ruido en Europa (CNOSSOS-EU) para la estimación de la contribución del Proyecto (ruido de origen industrial).

El modelo CNOSSOS-EU ha sido desarrollado a partir de las normas HARMONOISE, IMAGINE y NORD2000, por lo que tiene en cuenta las condiciones de refracción sonora existente bajo condiciones favorables de propagación. El modelo cuenta con un modelo de propagación único para las fuentes de tráfico rodado, ferroviario e industrial, una vez definida la potencia acústica mediante procedimientos específicos para cada una de ellas.

El modelo calcula la atenuación del ruido durante su propagación en exteriores, atendiendo a dos tipos particulares de condiciones atmosféricas:

- Condiciones de propagación por refracción descendentes (pendiente vertical positiva de la celeridad acústica efectiva) desde la fuente al receptor,
- Condiciones atmosféricas homogéneas (pendiente vertical nula de celeridad acústica efectiva) con respecto al área completa de propagación.

De forma simplificada, el modelo define que el nivel de presión sonora en condiciones favorable (L_F) para un trayecto (S, R) se relaciona con la potencia acústica de la fuente de la siguiente manera:

$$L_F = L_{w,0,dir} + A_F$$

El término A_F representa la atenuación total a lo largo del trayecto de propagación en condiciones favorables y se desglosa como sigue:

$$A_F = A_{div} + A_{atm} + A_{boundary,F}$$

- A_{div} es la atenuación por divergencia geométrica.
- A_{atm} es la atenuación por absorción atmosférica.
- $A_{boundary,F}$ es la atenuación por el límite del medio de propagación en condiciones favorables. Puede contener los siguientes términos:
 - $A_{ground,F}$ es la atenuación por el terreno en condiciones favorables
 - $A_{dif,F}$ es la atenuación por la difracción en condiciones favorables.

Cabe destacar que sólo las atenuaciones debido al efecto suelo (A_{ground}) y a la difracción (A_{dif}) se ven afectadas por las condiciones meteorológicas.

En la siguiente tabla se muestran los principales parámetros de la norma CNOSSOS:

Efectos de propagación	CNOSSOS
Cálculo espectral	Bandas de octava 63 Hz a 8Khz. La frecuencia de 31,5 Hz está expresamente excluida.
Atenuación absorción atmosférica	Basada en absorción atmosférica ISO9613-1 con un factor corrector para determinar la atenuación del tercio octava en función de la banda central.
Reflexiones del terreno	Método específico de cálculo para condiciones favorables y homogéneas.
Reflexiones de obstáculos	Método de fuentes imágenes con atenuación basada en la absorción del obstáculo.
Atenuación del suelo	Método específico de cálculo para condiciones favorables y homogéneas.
Atenuación debido a apantallamiento	Método de cálculo para la difracción individual. Las cubiertas parciales y obstáculos que se inclinan más de 15º respecto a la vertical están fuera del ámbito de aplicación de este método de cálculo.
Difracción lateral	Cálculo mediante método propia en base a la longitud del trayecto de propagación y las atenuaciones del terreno y atmosféricas.
Múltiples obstáculos en la vía de propagación	Método específico de cálculo tratando las rutas como un conjunto de difracciones individuales.
Efecto meteorología	Categorías meteorológicas específicas basadas en estabilidad atmosférica, velocidad de viento y dirección.
Áreas de absorción de suelo	Absorción acústica en base a la porosidad y definición de regiones de emisor y receptor.

Tabla 17. Principales parámetros del modelo CNOSSOS-EU (Datakustik GmbH, 2015)