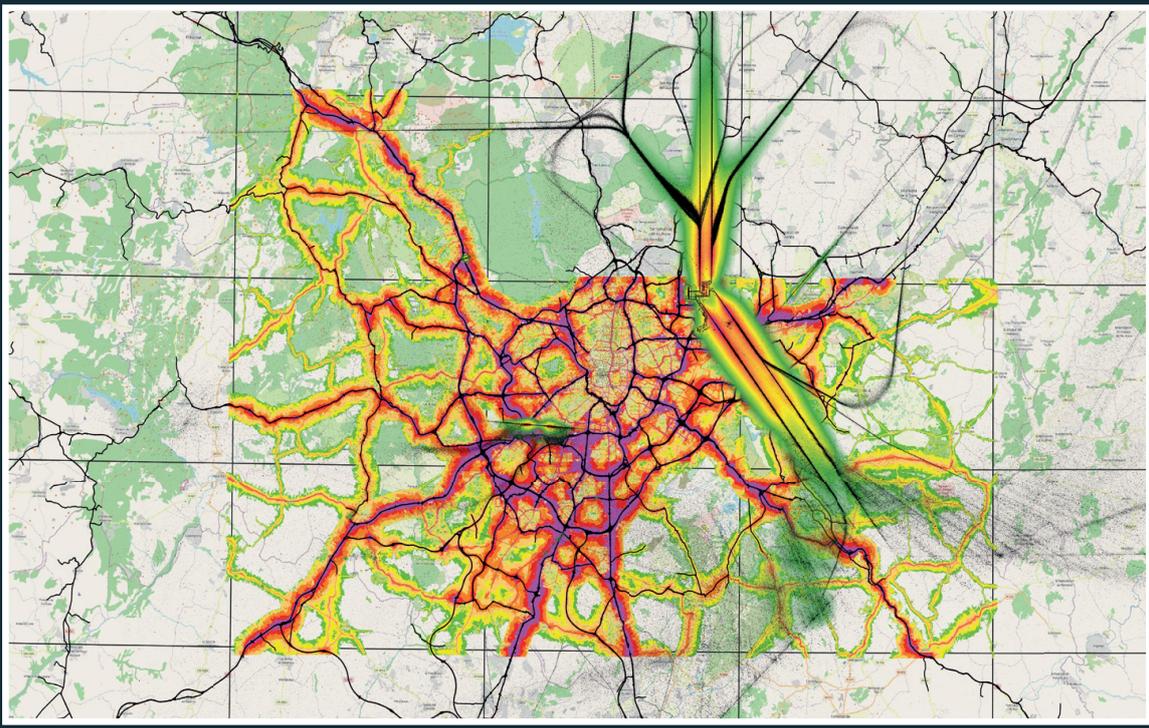


GUÍA TÉCNICA PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO COMÚN EUROPEO DE EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL (CNOSOS-EU) EN LOS ESTUDIOS DE RUIDO EN ESPAÑA



GUÍA TÉCNICA PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO COMÚN EUROPEO DE EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL (CNOSSOS-EU) EN LOS ESTUDIOS DE RUIDO EN ESPAÑA

Enero 2025

AUTORES/AS

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Ignacio Soto Molina (Autor, Coordinación, Supervisión y Revisión)

Miguel Ángel González García (Coordinación y Supervisión)

Carlos Soriano Pastor (Revisión)

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

Javier Cachón de Mesa (Coordinación y Supervisión)

Ramón Querol Herrá (Colaborador)

ASISTENCIA TÉCNICA EUROCONTROL, S.A.

Miguel Ausejo Prieto (Autor)

Rubén García Morales (Autor)

Laura Simón Otegui (Autora)

CENTRO DE ESTUDIOS DE TÉCNICAS APLICADAS (CEDEX)

Catálogo de publicaciones oficiales: <https://cpage.mpr.gob.es/>

Centro Virtual de publicaciones del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible:
<https://publicaciones.transportes.gob.es/>

Tienda de Publicaciones del CEDEX: <https://ceh.cedex.es/tienda/>

Título: Guía técnica para la aplicación del método común Europeo de evaluación del ruido ambiental (CNOSSOS-EU) en los estudios de ruido en España. R-25

Autoría: Autores varios

Año de la edición: 2024

EDITA

Centro de Publicaciones

Secretaría General Técnica

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible

© CEDEX: Servicio de Publicaciones

EDICIÓN DIGITAL

1ª edición electrónica: enero 2025

Formato: PDF

Tamaño: 3 MB

NIPO: 197-24-037-8

Todos los derechos reservados.

Esta publicación no puede ser reproducida ni en todo ni en parte, ni registrada, ni transmitida por un sistema de recuperación de información en ninguna forma ni en ningún medio, salvo en aquellos casos específicamente permitidos por la Ley.

ÍNDICE

1. ASPECTOS GENERALES	9
1.1. OBJETO DE LA GUÍA.....	9
1.2. ÁMBITO DE APLICACIÓN DE LA GUÍA.....	11
1.3. MARCO LEGISLATIVO EN ESPAÑA.....	12
1.4. MÉTODO CNOSSOS-EU.....	13
2. CONSIDERACIONES SOBRE LAS FUENTES DE RUIDO EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO	16
2.1. FUENTES A CONSIDERAR.....	16
2.2. FUENTES DE TRÁFICO RODADO.....	16
2.2.1. <i>Conceptos generales</i>	16
2.2.2. <i>Intensidad del tráfico</i>	17
2.2.3. <i>Clasificación de los vehículos</i>	20
2.2.4. <i>Velocidad</i>	25
2.2.5. <i>Pavimento</i>	27
2.2.6. <i>Pendiente</i>	30
2.2.7. <i>Rotondas y semáforos</i>	31
2.3. FUENTES DE RUIDO FERROVIARIO.....	32
2.3.1. <i>Caracterización del volumen de tráfico ferroviario</i>	33
2.3.2. <i>Velocidad</i>	34
2.3.3. <i>Vehículos</i>	34
2.3.3.1. Ruido de rodadura.....	35
2.3.3.2. Ruido de tracción.....	35
2.3.3.3. Ruido aerodinámico.....	35
2.3.4. <i>Vías</i>	35
2.3.4.1. Ruido de rodadura.....	36
2.3.4.2. Ruido de impacto (intersecciones, cambios y juntas).....	36
2.3.4.3. Chirrido (radio de curvatura).....	37
2.3.4.4. Corrección de la radiación estructural (puentes y viaductos).....	37
2.4. FUENTES INDUSTRIALES O SIMILARES.....	37
2.4.1. <i>Clasificación de los tipos de fuente</i>	37
2.4.2. <i>Nivel de potencia acústica</i>	38
2.4.3. <i>Tiempo y horario de funcionamiento</i>	39
2.4.4. <i>Ubicación de la fuente</i>	39
2.4.5. <i>Tipo de fuente</i>	39
2.4.6. <i>Directividad de la fuente</i>	40
2.5. AGLOMERACIONES.....	40
2.6. FUENTES DE RUIDO AERONÁUTICO.....	41
2.6.1. <i>Nociones básicas</i>	41
2.6.2. <i>Factores Determinantes del Ruido Aeronáutico</i>	41
2.6.2.1. Tipos de aeronave y configuración operativa.....	41
2.6.2.2. Procedimientos de vuelo.....	43
2.6.2.3. Condiciones meteorológicas.....	44
2.6.3. <i>Fuentes de datos</i>	44
2.6.3.1. Bases de datos y registros del aeródromo.....	44
2.6.3.2. Documentos AIP.....	45
2.6.3.3. Servicio de Información Aeronáutica (AIS) y visor INSIGNIA.....	45
2.6.3.4. Sistema WebTrak de AENA.....	46
2.6.3.5. Bases de datos cooperativas y libres.....	47

2.6.4. <i>Fundamentos de las BBDD de ruido aeronáutico</i>	48
2.6.4.1. Base de datos sobre el ruido y el rendimiento de las aeronaves (ANP)	48
2.6.4.2. Base de datos de certificaciones acústicas de aeronaves (ANC)	49
2.6.5. <i>Proceso para Generar un Mapa de Ruido Aeronáutico</i>	51
2.6.5.1. Definición del escenario de cálculo.....	51
2.6.5.2. Recolección y Preparación de Datos.....	52
2.6.5.3. Modelado de Trayectorias de Vuelo y Segmentación.....	52
2.6.5.4. Cálculo del Nivel de Ruido para Cada Segmento.....	52
2.6.5.5. Generación de Isófonas.....	53
2.6.5.6. Validación y Ajuste del Modelo.....	53
2.6.5.7. Presentación del Mapa de Ruido y Conclusiones	53
3. CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO ACÚSTICO	55
3.1. PERIODOS DE EVALUACIÓN	55
3.2. DEFINICIÓN DE ÁREAS DE CÁLCULO.....	55
3.2.1. <i>Aglomeraciones</i>	55
3.2.2. <i>Ejes viarios</i>	57
3.2.3. <i>Ejes ferroviarios</i>	59
3.2.4. <i>Ruido aeronáutico</i>	59
3.2.5. <i>Consideraciones para el cálculo de efectos sobre la salud</i>	61
3.3. TOPOGRAFÍA Y CONDICIONES ATMOSFÉRICAS.....	62
3.3.1. <i>Topografía</i>	62
3.3.2. <i>Elementos geométricos de las infraestructuras</i>	64
3.3.3. <i>Condiciones atmosféricas</i>	64
3.4. TÚNELES, PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS.....	65
3.4.1. <i>Túneles</i>	65
3.4.2. <i>Puentes o pasos elevados</i>	67
3.5. OBSTÁCULOS	67
3.5.1. <i>Topografía</i>	67
3.5.2. <i>Pantallas acústicas</i>	68
3.5.2.1. Ubicación de la pantalla acústica	68
3.5.2.2. Definición de las características de la pantalla	70
3.5.3. <i>Edificaciones</i>	70
3.5.3.1. Fuentes de información sobre edificaciones	71
3.5.3.2. Depuración de la capa de edificaciones.....	71
3.5.3.3. Altura de las edificaciones.....	71
3.6. ABSORCIÓN DEL TERRENO.....	72
4. RECEPTORES ACÚSTICOS	75
4.1. RECEPTORES PUNTUALES	75
4.2. EVALUACIÓN DE RECEPTORES EN EDIFICIOS	75
4.2.1. <i>Uso de las edificaciones</i>	75
4.2.2. <i>Criterios para asignación de uso de edificaciones</i>	77
4.2.3. <i>Asignación de la población a edificios</i>	78
4.2.3.1. Asignación de población conocido el número de viviendas y/o habitantes	78
4.2.3.2. Asignación de población cuando no se dispone de datos sobre el número de habitantes	79
4.2.4. <i>Asignación de puntos de evaluación del ruido a las viviendas y sus habitantes</i>	80
4.2.4.1. Caso 1: Cada fachada se divide en intervalos regulares	80
4.2.4.2. Caso 2: las fachadas se dividen a una distancia predeterminada desde el inicio del polígono.....	81
4.2.5. <i>Asignación de las viviendas y sus habitantes a puntos del receptor</i>	81
4.2.5.1. Situación 1: Se dispone de información sobre la ubicación precisa de las viviendas	81

4.2.5.2.	Situación 2: No se dispone de información sobre la ubicación precisa de las viviendas	82
4.2.5.3.	Consideraciones al asignar viviendas y habitantes a receptores	83
4.2.6.	<i>Evaluación de receptores en ruido aeronáutico</i>	84
4.3.	EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS NOCIVOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD	85
4.3.1.	<i>Enfermedades cardíacas isquémicas (ECI)</i>	86
4.3.2.	<i>Molestias intensas (MI)</i>	87
4.3.3.	<i>Alteraciones graves del sueño (AGS)</i>	88
4.3.4.	<i>Comparación de resultados de las distintas relaciones dosis-efecto en MI y AGS</i>	90
5.	CONFIGURACIONES Y CONTROLES DE CALIDAD PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO	93
5.1.	CONFIGURACIONES Y CONTROLES DE CALIDAD PREVIOS AL CÁLCULO	93
5.1.1.	<i>Revisión de los elementos introducidos en el modelo</i>	93
5.1.1.1.	Topografía de la zona de estudio.....	93
5.1.1.2.	Edificaciones	93
5.1.1.3.	Carreteras.....	93
5.1.1.4.	Ferrocarriles	94
5.1.1.5.	Focos de ruido industrial	94
5.1.1.6.	Pantallas acústicas.....	94
5.1.2.	<i>Configuraciones de cálculo y parámetros de propagación</i>	94
5.1.2.1.	Configuración del método de cálculo.....	94
5.1.2.2.	Radio máximo de búsqueda de fuentes.....	94
5.1.2.3.	Periodos de referencia.....	95
5.1.2.4.	Índices de cálculo	95
5.1.2.5.	Modelo digital del terreno	95
5.1.2.6.	Absorción del terreno	96
5.1.2.7.	Reflexiones.....	96
5.1.3.	<i>Mallado</i>	96
5.2.	CONTROLES DE CALIDAD POSTERIORES AL CÁLCULO	97
5.2.1.	<i>Revisión de la continuidad de las isófonas</i>	97
5.2.2.	<i>Validación del modelo mediante ensayos “in situ”</i>	99
5.2.2.1.	Situación 1: Los datos obtenidos por el modelo se aproximan a los datos obtenidos mediante la campaña de ensayos “in situ”	99
5.2.2.2.	Situación 2: Los datos obtenidos por el modelo predictivo difieren significativamente con los datos obtenidos mediante la campaña de medidas	100
6.	FUENTES DE INFORMACIÓN	102
6.1.	NORMATIVA.....	102
6.2.	PUBLICACIONES	102
6.3.	MANUALES DE SOFTWARE.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1:	CLASES DE VEHÍCULOS SEGÚN CNOSSOS-EU	21
TABLA 2:	GUÍA PARA LA CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS SEGÚN CNOSSOS-EU	21
TABLA 3:	TABLA DE CONVERSIÓN (NMPB96 VS CNOSSOS-EU) PARA CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS	23
TABLA 4:	TIPOS DE PAVIMENTOS SEGÚN EL MÉTODO CNOSSOS-EU	27

TABLA 5: TABLA DE CONVERSIÓN (NMPB96 VS CNOSSOS-EU) PARA CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS	28
TABLA 6: TIPOS DE PAVIMENTOS SEGÚN EL MÉTODO CNOSSOS-EU	28
TABLA 7: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL TIPO DE ASFALTO EN COMPARACIÓN CON LA SUPERFICIE DE REFERENCIA	29
TABLA 8: DEFINICIÓN DE LOS DIFERENTES PERIODOS DE EVALUACIÓN.....	55
TABLA 9: EJEMPLO DE CASOS DE DELIMITACIÓN DE AGLOMERACIONES	56
TABLA 10: ÁREAS DE CÁLCULO ORIENTATIVAS PARA EJES VIARIOS EN FUNCIÓN DE SU IMD	58
TABLA 11: RANGO DE APLICABILIDAD DE LAS RELACIONES DOSIS-EFECTO	62
TABLA 12: VALORES DE G PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO.....	72
TABLA 13: APLICACIÓN DE LAS RDE A LAS FUENTES DE RUIDO	85
TABLA 14: PERIODOS DE EVALUACIÓN.....	95
TABLA 15: PENALIZACIONES PARA EL CÁLCULO DE LDEN	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: IMAGEN DEL VISOR WEB DEL MAPA DE TRÁFICO DEL MITMS.....	18
ILUSTRACIÓN 2: CAPTURA DE LA WEB DE LA DGT DONDE ESTÁ DISPONIBLE LA INFORMACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS PARQUES MUNICIPALES DE VEHÍCULOS	24
ILUSTRACIÓN 3: PARQUE DE VEHÍCULOS EN 2023, POR PROVINCIA Y TIPO. DGT	24
ILUSTRACIÓN 4: PARQUE DE VEHÍCULOS EN MURCIA, EN 2023, POR TIPO DE VEHÍCULOS Y MUNICIPIO	25
ILUSTRACIÓN 5: REGULACIÓN DE VELOCIDADES SEGÚN TIPOLOGÍA DE VÍA EN CIUDAD	26
ILUSTRACIÓN 6: REGULACIÓN DE VELOCIDADES SEGÚN TIPOLOGÍA DE CARRETERA.....	27
ILUSTRACIÓN 7: DIFERENCIA ENTRE ÁREA DE CÁLCULO Y ÁREA DE PROYECTO	57
ILUSTRACIÓN 8: DIFERENCIA ENTRE UN MISMO MODELO CALCULADO CON OBSTÁCULOS (IMAGEN DE LA IZQUIERDA) Y SIN ELLOS (IMAGEN DE LA DERECHA)	58
ILUSTRACIÓN 9: DIFERENCIA ENTRE UN MISMO MODELO CALCULADO CON IMD = 14.000 VEH/DÍA (IMAGEN DE LA IZQUIERDA) Y CON IMD = 56.000VEH/DÍA (IMAGEN DE LA DERECHA)	59
ILUSTRACIÓN 10: HUELLAS DE RUIDO DE LOS AEROPUERTOS ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS Y ALICANTE-ELCHE, CALCULADAS A PARTIR DE DATOS OPENSky NETWORK	60
ILUSTRACIÓN 11: EJEMPLO DE MODELO 3D DE UN TÚNEL	66
ILUSTRACIÓN 12: VISTA 3D DE UN TÚNEL	66
ILUSTRACIÓN 13: EJEMPLO DE MODELO 3D DE UN PASO ELEVADO	67
ILUSTRACIÓN 14: VISTA 3D DE PASO ELEVADO	67
ILUSTRACIÓN 15: MECANISMOS DE MODIFICACIÓN DE LA PROPAGACIÓN DE UNA PANTALLA ACÚSTICA	68
ILUSTRACIÓN 16: EJEMPLO DE MODELO 3D DE UNA PANTALLA CON DIFERENTES ALTURAS	69
ILUSTRACIÓN 17: EJEMPLO DE VISTA 3D DE UNA PANTALLA CON DIFERENTES ALTURAS.....	69
ILUSTRACIÓN 18: EJEMPLO DE MODELO 3D DE UNA PANTALLA UBICADA EN UN PASO ELEVADO	69

ILUSTRACIÓN 19: EJEMPLO DE VISTA 3D DE UNA PANTALLA UBICADA EN UN PASO ELEVADO ..	70
ILUSTRACIÓN 20: EJEMPLO DE UBICACIÓN DE PUNTOS DEL RECEPTOR ALREDEDOR DE UN EDIFICIO DIVIDIENDO LA FACHADA EN INTERVALOS REGULARES	80
ILUSTRACIÓN 21: EJEMPLO DE UBICACIÓN DE PUNTOS DEL RECEPTOR ALREDEDOR DE UN EDIFICIO DIVIDIENDO LA FACHADA EN INTERVALOS REGULARES	81
ILUSTRACIÓN 22: EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN DE RECEPTORES. MÉTODO 1	82
ILUSTRACIÓN 23: EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN DE RECEPTORES. MÉTODO 2	83
ILUSTRACIÓN 24: EJEMPLO DE RECEPTORES CONSIDERADOS EN EL MÉTODO 1 (IZQUIERDA) Y MÉTODO 2 (DERECHA).....	84
ILUSTRACIÓN 25: EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN DE RECEPTORES. MÉTODO AÉREO	84
ILUSTRACIÓN 26: ANÁLISIS GRÁFICO DE LA RDE DE ECI EN TRÁFICO RODADO	86
ILUSTRACIÓN 27: ANÁLISIS GRÁFICO DE LA RDE DE MI EN TRÁFICO RODADO.....	87
ILUSTRACIÓN 28: ANÁLISIS GRÁFICO DE LA RDE DE MI EN TRÁFICO FERROVIARIO.....	87
ILUSTRACIÓN 29: ANÁLISIS GRÁFICO DE LA RDE DE MI EN RUIDO AERONÁUTICO.....	88
ILUSTRACIÓN 30: ANÁLISIS GRÁFICO DE LA RDE DE AGS EN TRÁFICO RODADO.....	89
ILUSTRACIÓN 31: ANÁLISIS GRÁFICO DE LA RDE DE AGS EN TRÁFICO FERROVIARIO.....	89
ILUSTRACIÓN 32: ANÁLISIS GRÁFICO DE LA RDE DE AGS EN RUIDO AERONÁUTICO.....	90
ILUSTRACIÓN 33: COMPARACIÓN DE RDE DE MI PARA LAS DISTINTAS FUENTES	90
ILUSTRACIÓN 34: COMPARACIÓN DE RDE DE AGS PARA LAS DISTINTAS FUENTES.....	91
ILUSTRACIÓN 35: MALLADO DE 5 X 5 M.....	97
ILUSTRACIÓN 36: MALLADO DE 10 X 10 M	97
ILUSTRACIÓN 37: MALLADO DE 20 X 20 M	97
ILUSTRACIÓN 38: MALLADO DE 50 X 50 M	97
ILUSTRACIÓN 39: DISCONTINUIDAD DE ISÓFONAS POR PRESENCIA DE TÚNEL.....	98
ILUSTRACIÓN 40: DISCONTINUIDAD DE ISÓFONAS POR PRESENCIA DE PASO ELEVADO	98
ILUSTRACIÓN 41: DISCONTINUIDAD DE ISÓFONAS POR CAMBIO DE VELOCIDAD, Y PRESENCIA DE OBSTÁCULOS.....	99

1. ASPECTOS GENERALES

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. OBJETO DE LA GUÍA

La **Directiva 2002/49/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental (END), requiere a todos los Estados miembros de la Unión Europea, la elaboración de **Mapas Estratégicos de Ruido (MER)** para las denominadas **fuentes principales de ruido** (*major sources* en inglés) relativas a ejes viarios, ferroviarios, aeropuertos y aglomeraciones, tal y como se recoge en su artículo 7.

Estas fuentes principales son todas las aglomeraciones de más de 100.000 habitantes, todos los ejes viarios con más de 3.000.000 de desplazamientos al año, todos los ferrocarriles con más de 30.000 desplazamientos al año y todos los aeropuertos con más de 50.000 operaciones anuales.

En la primera fase de aplicación, dichos **mapas de ruido** debían estar elaborados y aprobados, a más tardar el 30 de junio de 2007 y, posteriormente, **deben ser revisados y actualizados, en su caso, cada 5 años**.

Del mismo modo, conforme al artículo 7 de la END, **los Planes de Acción** contra el ruido de la primera fase, debían haber sido elaborados y aprobados por las AACC a más tardar el 18 de julio de 2008 y, después, **revisados cada 5 años**.

Las fases de la END son estancas. Es decir, **las fechas** en las que las Autoridades Competentes (AACC) de los Estados miembros deben elaborar y aprobar los MER **son fijas, a contar desde la fecha inicial indicada en la Directiva**.

El Reglamento (UE) 2019/1010 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, relativo a la adaptación de las obligaciones de información en el ámbito de la legislación relativa al medio ambiente y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.o 166/2006 y (UE) n.o 995/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 2002/49/CE, 2004/35/CE, 2007/2/CE, 2009/147/CE y 2010/63/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, los Reglamentos (CE) n.o 338/97 y (CE) n.o 2173/2005 del Consejo, y la Directiva 86/278/CEE del Consejo, **amplía en 1 año la vigencia del PAR de la Tercera Fase, por lo que el PAR de la Cuarta Fase ha debido de ser elaborado y aprobado a más tardar el 18 de julio de 2024**.

A partir de la Cuarta Fase, los Estados miembros van a **disponer de aproximadamente dos años entre la realización de los mapas de ruido y la finalización de la reconsideración o la revisión de los planes de acción**, y no de un año como en la actualidad.

Los MER tienen como objetivo facilitar que las AACC de los distintos Estados miembros identifiquen prioridades a la hora de elaborar planes de acción que acometan distintas actuaciones a llevar a cabo de cara a minimizar los niveles sonoros existentes en un determinado ámbito, así como **evaluar el número de personas expuestas al ruido**. Esta información servirá también para informar al público en general sobre los niveles de ruido a los cuales se encuentran expuestos y, posteriormente, sobre las acciones llevadas a cabo con el fin de minimizar dichos niveles de ruido.

Uno de los **objetivos de la END** es establecer un **marco común en la Unión Europea para evaluar la exposición al ruido ambiental**. Con este propósito se definieron una serie de indicadores comunes denominados Lden (nivel día-tarde-noche) y Ln (nivel nocturno). Por otro lado, el artículo 6.2 de la END, atribuía a la Comisión Europea, competencias para establecer métodos comunes de evaluación para la determinación de los indicadores Lden y Ln.

En el **Reino de España se añaden los índices Ld** (índice de ruido día) y **Le** (índice de ruido tarde), de acuerdo a las definiciones del **Real Decreto 1513/2005**, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la **Ley 37/2003**, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, para los que se han establecido Objetivos de Calidad Acústica (OCAs), de acuerdo al **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.

En 2008, la comisión comenzó a desarrollar un **marco metodológico para la evaluación común del ruido** a través del proyecto «Métodos comunes de evaluación del ruido en Europa» (CNOSSOS-EU) dirigido por el Centro Común de Investigación.

Como resultado de dicho proyecto, se aprobó definitivamente la **Directiva 2015/996**, de la Comisión por la que se **establecen métodos comunes de evaluación del ruido** en virtud de la Directiva 2002/49/CE, los distintos Estados miembros, por la cual se sustituye el anexo II de la Directiva 2002/49/CE por el texto de la Directiva aprobada en 2015, la cual tenía que ser traspuesta al ordenamiento jurídico de cada uno de los Estados miembros, a más tardar, el 31 de diciembre de 2018.

España traspone la Directiva 2015/996 mediante la **Orden PCI/1319/2018**, de 7 de diciembre, por la que se modifica el Anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido en lo referente a evaluación del ruido ambiental.

De acuerdo a dicha Orden, se sustituyen los métodos de cálculo de los índices de ruido por una metodología común de cálculo desarrollada por la Comisión Europea a través del proyecto «Métodos comunes de evaluación del ruido en Europa (CNOSSOS-EU)». La utilización de esta metodología será vinculante para los Estados miembros a partir del 31 de diciembre de 2018.

La aplicación el **nuevo método de cálculo común europeo CNOSSOS-EU** para la elaboración de trabajos de cartografiado del ruido **supone la sustitución de las metodologías de cálculo que venían empleándose en este tipo de trabajos (métodos interinos)** por esta nueva metodología. Esto implica que el técnico responsable de la elaboración de este tipo de trabajos se va a enfrentar a una serie de decisiones técnicas a la hora de construir la información de entrada en el modelo de cálculo (especialmente la forma de describir los emisores acústicos), o de seleccionar la configuración de cálculo a emplear.

La aplicación del método CNOSSOS-EU es obligatoria, no solo para el cartografiado estratégico del ruido, sino para todos los estudios de ruido que se deriven de obligaciones legales en el Reino de España, por ejemplo, los incluidos en procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental o Evaluación Ambiental Estratégica.

En 2021, la **Comisión Europea llevó a cabo una revisión de esta metodología** de cálculo común, que afecta a diferentes aspectos entre los que se encuentran formulaciones para la consideración de las difracciones en la propagación del sonido, o la forma de evaluar la exposición de la población al ruido en las fachadas. **Estos aspectos se introdujeron en el Anexo II de la Directiva de Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental** mediante la aprobación de una nueva Directiva Delegada de la Comisión, de carácter técnica, que modificaba el citado anexo, y que fue publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE) el 28 de julio de 2021: **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.

Esta norma fue traspuesta a nuestra legislación mediante la **Orden PCM/80/2022**, de 7 de febrero, por la que se modifica el anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

La presente guía pretende ser una herramienta de apoyo para los técnicos responsables de elaborar trabajos de cartografiado estratégico del ruido, que sirva para identificar aquellos aspectos o decisiones que puedan tener un mayor impacto en los resultados de los cálculos y para facilitar que las decisiones que se adopten por diferentes técnicos sean coherentes, consiguiendo una mejor definición de la situación acústica existente en la realidad.

La guía no condicionará la elección de un valor o parámetro concreto, pero proporcionará herramientas para que las decisiones tomadas se tomen en base a criterios técnicos motivados.

Esta guía no sustituye a los estudios más específicos que cada Autoridad Competente debe abordar, con el fin de adaptar la aplicación del método de cálculo CNOSSOS-EU a sus particularidades.

Las decisiones que se tomen en la aplicación del Método CNOSSOS-EU, para la elaboración de Mapas Estratégicos de Ruido, son responsabilidad de la Autoridad Competente que elabora y aprueba el MER.

1.2. ÁMBITO DE APLICACIÓN DE LA GUÍA

Los métodos a aplicar, variables según la naturaleza de la fuente sonora, están recogidos en el método europeo CNOSSOS-EU, establecido en la Orden PCI/1319/2018, de 7 de diciembre, por la que se modifica el Anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a la evaluación del ruido ambiental.

Así mismo, se aplican los cambios en la metodología CNOSSOS-EU introducidos por la mencionada Directiva Delegada (UE) 2021/1226 de la Comisión, de 21 de diciembre de 2020, publicada en el DOUE de 28 de julio de 2021 y traspuestos mediante la Orden PCM/80/2022, de 7 de febrero, por la que se modifica el anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

El método europeo CNOSSOS-EU es de aplicación para cualquier fuente de ruido viario, ferroviario, industrial o aeroportuario. Es también de **aplicación a los mapas estratégicos de aglomeraciones**, que incluyen las fuentes citadas.

Esta guía **no aborda otras fuentes de ruido que puedan estar presentes en el área de estudio**, y puedan afectar al confort sonoro de la población, **ya que se centra en el ámbito de aplicación de la Directiva END y las fuentes contempladas en el método CNOSSOS-EU.**

En el caso de fuentes de ruido ferroviario, en ausencia de guía específica de la Autoridad Competente, puede ser de utilidad la consulta de la **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.** Esta guía está disponible en la sección "Documentación" del Sistema Nacional de Información sobre Contaminación Acústica.

1.3. MARCO LEGISLATIVO EN ESPAÑA

En España, la Directiva 2002/49/CE fue traspuesta al ordenamiento jurídico interno mediante la **Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido.**

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

Con posterioridad, se aprobó el **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 evaluación y gestión del ruido ambiental.**

En dicho Real Decreto se definen los **índices de ruido Ld, Le, Ln y Lden**, se establecen los **métodos de evaluación para los indicadores de ruido** que se emplearán en España, se establecen los **métodos de evaluación de los efectos nocivos**, se establecen los **requisitos mínimos sobre el cartografiado estratégico del ruido**, así como el **alcance mínimo de los planes de acción**, se definen los **criterios para la delimitación de una aglomeración** y por último **se establece la información que deberá comunicarse al Ministerio de Medio Ambiente.**

El RD 1513/2005, tiene por objeto desarrollar la Ley 37/2003 en lo referente a evaluación y gestión del ruido ambiental, estableciendo un marco básico destinado a evitar, prevenir o reducir con carácter prioritario los efectos nocivos, incluyendo las molestias, de la exposición al ruido ambiental.
--

En el año 2007, se aprueba 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.

En dicho Real Decreto se definen nuevos índices de ruido (L_{Amax} ; $L_{Aeq,T}$; $L_{K,eq,T}$; $L_{K,x}$), se establecen y definen las diferentes áreas acústicas, se establece la metodología para la aprobación de Zonas de Servidumbre Acústica (ZSA), se definen los Objetivos de Calidad Acústica (OCA) aplicables a las diferentes áreas acústicas, se establecen los valores límite de emisión e inmisión aplicables a los diferentes emisores acústicos, se

aprueban los procedimientos y métodos de evaluación de la contaminación acústica y de los efectos nocivos.

El RD 1367/2007, tiene por objeto establecer las normas necesarias para el desarrollo y ejecución de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

1.4. MÉTODO CNOSSOS-EU

CNOSSOS-EU (*Common Noise Assessment methods in Europe*) fue desarrollado durante el período 2009-2012 por la Comisión Europea en un proceso cooperativo en el que participaron la Agencia Europea de Medio Ambiente, la Organización Mundial de la Salud Europa, la Agencia Europea de Seguridad Aérea y expertos designados por los países de la UE.

Su objeto es proporcionar un marco común que asegure la coherencia en la evaluación del ruido ambiental, facilitando así la implementación de la Directiva Europea sobre el Ruido Ambiental (END).

Fue aprobado por la Directiva (UE) 2015/996 de la Comisión de 19 de mayo de 2015 (DOUE núm. 168, de 1 de julio de 2015).

Aunque, de acuerdo a la Directiva 2015/996, CNOSSOS-EU entra en vigor a partir de 2018, el método ha sido actualizado, entre otras cosas a raíz del documento "*Amendments for CNOSSOS-EU: Description of issues and proposed solutions* [33]" en el que se detectaron diversos problemas en el aparato matemático de CNOSSOS-EU y se propusieron soluciones.

Este proceso de revisión derivó en la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 de la Comisión de 21 de diciembre de 2020 (DOUE núm. 269, de 28 de julio de 2021), que modifica la anterior, y regula la actual configuración del método.

CNOSSOS-EU es en realidad un compendio de métodos de cálculo que podemos resumir en:

- Métodos de cálculo de emisión para:
 - Tráfico viario
 - Tráfico ferroviario
 - Ruido industrial
- Método de cálculo de caminos de propagación
 - Difracciones
 - Reflexiones
- Método de cálculo de la propagación
 - Atenuación por divergencia
 - Atenuación por absorciones
 - Atenuación por efecto del suelo
 - Atenuación por efecto de la difracción
 - Métodos de cálculo en receptores
 - Ruido aeronáutico (asume documento nº 29 de la European Civil Aviation Conference - ECAC)

En este sentido, aunque CNOSSOS-EU se enmarca en los métodos semiempíricos, que implican una simplificación de la realidad para explicar un fenómeno físico, no se trata de un método sencillo, ya que cada uno de los métodos anteriores se compone de una gran cantidad de algoritmos, parámetros y condicionantes, siendo realmente compleja su implementación en softwares.

2. CONSIDERACIONES SOBRE LAS FUENTES DE RUIDO EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO

2. CONSIDERACIONES SOBRE LAS FUENTES DE RUIDO EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO

En este apartado se describen las fuentes de ruido objeto de cartografiado estratégico de acuerdo con la Directiva de Ruido Ambiental.

Se ofrecen claves y recursos para su correcta definición, sin perjuicio de la existencia de otros recursos que, en función de la zona de estudio o de la propia fuente, puedan ser más apropiados.

2.1. FUENTES A CONSIDERAR

Las fuentes consideradas en la presente guía y que, por tanto, se definirán pormenorizadamente en los siguientes apartados serán:

- Tráfico rodado.
- Tráfico ferroviario.
- Focos industriales.
- Tráfico aeronáutico.

2.2. FUENTES DE TRÁFICO RODADO

2.2.1. CONCEPTOS GENERALES

El método CNOSSOS-EU utiliza, para caracterizar el ruido del tráfico viario, una serie de procesos diseñados para modelar con precisión las emisiones sonoras de los vehículos en diferentes condiciones. Estos procesos son:

1. **Clasificación de Vehículos:** Los vehículos se dividen en cinco categorías basadas en sus características de emisión de ruido, que se definen en el apartado 2.2.3.
2. **Representación de las Fuentes Sonoras:**
 - **Fuente Lineal:** Inicialmente el flujo de tráfico se modela como una fuente lineal que suma las emisiones de cada vehículo a lo largo del tiempo y la distancia.
 - **Fuente Puntual:** Internamente, y por algoritmos no definidos en el método, los softwares de cálculo dividen esta fuente lineal en fuentes puntuales que irradian uniformemente, situadas a 0,05 metros sobre el nivel del pavimento.
 - **Ubicación de Fuentes:** En carreteras con múltiples carriles, idealmente se debería modelizar cada carril con una fuente lineal en su centro.
3. **Cálculo de la Emisión Sonora:**
 - **Ruido de Rodadura:** Proviene de la interacción entre los neumáticos y el pavimento.
 - **Ruido de Propulsión:** Generado por el motor, sistema de escape y otros componentes mecánicos.
 - **Vehículos Ligeros y Pesados (Categorías 1-3):** Se considera la suma energética del ruido de rodadura y de propulsión.

- **Vehículos de Dos Ruedas (Categoría 4):** Solo se considera el ruido de propulsión debido a sus modos de conducción específicos.

4. Condiciones de Referencia:

- **Estándares Base:** Se establecen condiciones estándar como velocidad constante, ausencia de pendiente, temperatura del aire de 20°C, pavimento de referencia y seco y neumáticos sin clavos.
- **Superficie de Rodadura de Referencia:** Un pavimento “tipo” basado en aglomerado asfáltico denso y mezclas SMA 0/11, representativo del estado medio de mantenimiento, que no tiene efecto en el cálculo de la emisión, y sirve de referencia para determinar reducciones o incrementos provocados por pavimentos diferentes al de referencia.

5. Aplicación de Correcciones:

- **Tipo de Pavimento:** Ajustes según las propiedades acústicas del pavimento, considerando la absorción y rugosidad que afectan al ruido de rodadura y propulsión, en comparación al pavimento de referencia.
- **Neumáticos con Clavos:** Incremento del nivel de ruido para vehículos ligeros equipados con neumáticos con clavos, común en regiones con condiciones invernales. La utilización de este parámetro es poco común en España.
- **Temperatura del Aire:** Corrección del ruido de rodadura en función de la temperatura media anual, ya que temperaturas más bajas aumentan el ruido emitido.
- **Pendiente de la Carretera:** Ajustes en el ruido de propulsión para considerar el esfuerzo adicional del motor en pendientes ascendentes o descendentes.
- **Aceleración y Desaceleración:** Correcciones en zonas cercanas a intersecciones y glorietas para reflejar los cambios en la emisión sonora debido a variaciones en la velocidad del vehículo.

Estos procesos permiten una modelización detallada y precisa del ruido generado por el tráfico viario, facilitando la evaluación del impacto acústico en diferentes entornos y ayudando en la planificación y gestión del ruido ambiental. Al tener en cuenta diversos factores como la clasificación de vehículos, las características de la carretera y las condiciones de conducción, el método CNOSSOS-EU ofrece una herramienta robusta para abordar los desafíos relacionados con la contaminación acústica en entornos urbanos y rurales.

En los siguientes epígrafes se ofrecen indicaciones, recomendaciones y recursos para la caracterizar cada uno de los parámetros descritos

2.2.2. INTENSIDAD DEL TRÁFICO

El flujo anual de tráfico **es uno de los parámetros más importantes** a la hora de definir correctamente el ruido producido por los vehículos que circulan por un determinado eje viario.

Por ello, para la simulación de niveles sonoros bajo el método CNOSSOS-EU, será necesario **definir dicho flujo correctamente para los diferentes periodos de evaluación (día, tarde y noche).**

Para la obtención de los datos de tráfico de los distintos ejes viarios existen **diversas fuentes** dependiendo de la titularidad del eje viario en cuestión:

- **Ejes viarios de titularidad estatal.** En España, la representación del tráfico por carretera se inició con carácter anual en el año 1960. Desde entonces y sistematizado a través del Plan anual de aforos, se recoge en cada una de las estaciones de aforo (3.265 en el año 2018, en la Red de Carreteras del Estado (RCE)) el tráfico que circula por esa sección de carretera. Los datos más relevantes que se recogen en dichas estaciones de aforo son la IMD, el porcentaje de vehículos pesados y el porcentaje de motocicletas y la velocidad de la vía.

Desde 2015, se presenta además el **Visor web del mapa de Tráfico** (<https://www.transportes.gob.es/carreteras/trafico-velocidades-y-accidentes-mapa-estimacion-y-evolucion/mapas-de-trafico/serie-historica-mapas>), herramienta de navegación en la que se reproduce el Sistema de Información Geográfica de Tráfico y Datos Básicos de la Dirección General de Carreteras (DGC) sobre las cartografías oficiales del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Desde este visor se pueden consultar las capas de tramos y estaciones y los datos asociados de IMD, IMPD (IMD de vehículos pesados) y tipología de carretera según catálogo.



Ilustración 1: Imagen del visor web del mapa de Tráfico del MITMS

- **En el portal *Open Data Movilidad* del Ministerio de Transportes** (<https://www.transportes.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/estudios-de-movilidad-con-big-data/opendata-movilidad>), están disponibles los datos de movilidad en España desde enero de 2022. Este proyecto de datos abiertos ofrece información que permite caracterizar el tráfico de los ejes de gestionados por la Administración General del Estado. Los datos provienen del posicionamiento de teléfonos móviles, cumpliendo con la normativa de protección de datos (Ley Orgánica 3/2018).
 - La información se organiza en carpetas según tipo de estudio y zonificación (municipal, distritos y GAUS), con subcarpetas que incluyen productos específicos y metadatos de calidad. Los estudios disponibles son:

- **Estudios básicos:** Movilidad diaria de residentes en España, generando matrices de viajes, pernoctaciones y personas, actualizados mensualmente hasta junio de 2024. La publicación se retomará en noviembre de 2024.
 - **Estudios completos:** Movilidad semanal de población residente y extranjera, diferenciada por modos de transporte y otros indicadores, con datos disponibles de 2022 a junio de 2024.
 - **Rutas por carretera:** Análisis de rutas seguidas en desplazamientos por carretera en períodos específicos, con datos disponibles de agosto y octubre de 2022 y de octubre de 2023.
- **Ejes viarios de titularidad autonómica.** Cada una de las Comunidades Autónomas cuentan con sus Planes de Aforos autonómicos anuales, la mayoría de ellos publicados anualmente en las correspondientes páginas web autonómicas. En dichos planes de aforo, al igual que ocurre con el estatal, se puede consultar datos tanto de IMD, como de porcentaje de pesados y velocidad de la vía.
 - **Ejes viarios de titularidad municipal.** Esta tipología de ejes viarios, normalmente calles de una aglomeración o ciudad son los ejes de los que, normalmente, hay menos información pública disponible. No obstante, existen multitud de aglomeraciones en España donde también se aforan las calles del municipio. Aunque dichos datos no sean públicos, sí que obran en poder municipal por lo que podría ser el propio Ayuntamiento, el que aportara dichos datos.

Por otro lado, en los Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) de los municipios que dispongan de un PMUS aprobado, se suelen encontrar estudios del tráfico municipal, incluyendo carriles bici, zonas peatonales, rutas de autobuses, etc.

Cabe destacar que, **los datos con los que se debe alimentar el modelo no son los correspondientes a IMD, sino a IMH** (Intensidad Media Horaria), siendo esta diferente para los diferentes periodos de evaluación (día, tarde y noche).

La transformación de los datos de IMD en datos de IMH se puede obtener de diferentes maneras:

- **Datos horarios obtenidos de aforadores.** En caso de existir datos de espiras con conteos diferenciados por horas, se partirá de dichos datos para sacar una IMH promedio de cada periodo de evaluación (día, tarde y noche).
- **Datos horarios extrapolados a partir de conteos manuales.** En caso de no existir datos diferenciados por horas, se podrán realizar conteos de tráfico en los diferentes periodos horarios de manera que se pueda extrapolar una IMH promedio para cada periodo de evaluación (día, tarde y noche) a partir de dichos conteos manuales realizados en un horario representativo de cada periodo de evaluación.
- **Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure.** En caso de no resultar posible ninguna

de las dos opciones anteriores, se podrá asumir una IMH promedio para cada periodo de evaluación basándose en los criterios establecidos en la Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure.

En el caso de las aglomeraciones, todos los ejes viarios presentes en las mismas por los que circulen vehículos deberían quedar caracterizados, simulados y representados en los correspondientes mapas de isófonas, así como tenidos en cuenta a la hora de calcular la población expuesta al ruido.

Por ello, en el caso de **los ejes viarios que no se encuentren aforados por el Ayuntamiento, o la administración territorial correspondiente, y en los cuales no se hayan realizado aforos manuales, el cálculo de la IMD se puede realizar mediante una categorización** viaria de todos los ejes del municipio.

Dicha categorización viaria se puede abordar mediante la clasificación de los distintos ejes viarios del municipio en categorías en función de la entidad de cada eje viario (Grandes avenidas, avenidas, calles principales, calles de servicio, calles vecinales, etc.), de tal manera que, en los casos de los ejes viarios de los que no se disponga de información de IMD se le pueda asignar una IMD en función de los datos de ejes viarios de similar categoría, sin que esto suponga un error de envergadura en el cartografiado del ruido.

Para ello, se recomienda que el incremento entre la IMD de una categoría y la siguiente no sea más del doble, de tal manera que el mayor error que se asuma suponiendo que un determinado eje viario se asignara en una categoría superior o inferior a la que realmente se le debería de asignar, nunca sea superior a 3 dB(A).

2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS

Según el método CNOSSOS-EU, la fuente de ruido del tráfico viario se determinará mediante la combinación de la emisión de ruido de cada uno de los tipos de vehículos que conforman el tráfico que discurre por un determinado eje viario.

Como ya se ha indicado, estos vehículos se agrupan en cinco categorías independientes en función de las características que posean en cuanto a la emisión del ruido:

- Categoría 1. Vehículos ligeros
- Categoría 2. Vehículos pesados medianos
- Categoría 3. Vehículos pesados
- Categoría 4. Vehículos de 2 ruedas
- Categoría 5. Categoría abierta

En el caso de los vehículos de dos ruedas, se definen dos subclases independientes para los ciclomotores y las motocicletas de mayor potencia, ya que los modos de conducción son diversos y, además, suelen variar significativamente en número.

Habitualmente se aplican las primeras cuatro categorías y la quinta es opcional. Esta quinta categoría queda prevista para los nuevos vehículos que puedan fabricarse en el futuro que presenten características suficientemente diferentes en términos de emisiones de ruido. Esta categoría podría englobar, por ejemplo, los vehículos eléctricos

CONSIDERACIONES SOBRE LAS FUENTES DE RUIDO EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS
ESTRATÉGICOS DE RUIDO

o híbridos o cualquier vehículo que se fabrique en el futuro que difiera significativamente de los contemplados en las categorías 1 a 4.

La siguiente tabla recoge, a modo resumen, las principales características de las diferentes categorías de vehículos anteriormente mencionadas.

Tabla 1: Clases de vehículos según CNOSSOS-EU

Categoría	Nombre	Descripción	Categoría de vehículo en CE Homologación de tipo del vehículo completo ¹
1	Vehículos ligeros	Turismos, camionetas ≤ 3,5 toneladas, todoterrenos, vehículos polivalentes, incluidos remolques y caravanas	M1 y N1
2	Vehículos pesados medianos	Vehículos medianos, camionetas > 3,5 toneladas, autobuses, autocaravanas, entre otros, con dos ejes y dos neumáticos en el eje trasero	M2, M3 y N2, N3
3	Vehículos pesados	Vehículos pesados, turismos, autobuses, con tres o más ejes	M2 y N2 con remolque, M3 y N3
4	Vehículos de dos ruedas	4a Ciclomotores de dos, tres y cuatro ruedas	L1, L2, L6
		4b Motocicletas con y sin sidecar, triciclos y cuatriciclos	L3, L4, L5, L7
5	Categoría abierta	Su definición se atenderá a las futuras necesidades	N/A

Fuente: Orden PCI 1319/2018.

En la siguiente tabla se recoge, a modo resumen, una guía para la clasificación de los vehículos según las categorías establecidas por CNOSSOS-EU.

Tabla 2: Guía para la clasificación de vehículos según CNOSSOS-EU

Vehículos ligeros (categoría 1)	
Descripción	Características
Turismos (clasificación CE M1)	Hasta 8 plazas máximo (sin contar el asiento del conductor)
Todoterrenos (Clasificación CE M1)	Hasta 8 plazas máximo (sin contar el asiento del conductor)
Camionetas (clasificación CE N1)	≤ 3,5 toneladas
Remolques y caravanas	Remolque ligero (< 750 kg)
	Caravana que no supere los 3.500 kg junto al vehículo

¹ Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de septiembre de 2007 por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos.

Vehículos pesados medianos (categoría 2)	
Descripción	Características
Camionetas y camiones	> 3,5 y < 12 toneladas. 2 ejes (pueden tener doble neumático en el eje trasero) (clasificación CE N2)
	> 12 toneladas. 2 ejes (pueden tener doble neumático en el eje trasero) (clasificación CE N3)
Autobuses	< 5 toneladas. (clasificación CE M2)
	> 12 toneladas. 2 ejes. (clasificación CE M3)
Autocaravanas	< 5 toneladas. (clasificación CE M2)
Vehículos pesados (categoría 3)	
Descripción	Características
Autobuses	Tres ejes > 5 toneladas (clasificación CE M3)
	Autobús de < 5 toneladas y 2 ejes con remolque. (clasificación CE M2)
Camionetas y camiones > 3,5 toneladas y < 12 toneladas	Con remolque (clasificación CE N2)
Camiones pesados	> Tres ejes. > 12 toneladas. (clasificación CE N3)
Vehículos de dos ruedas (categoría 4)	
Descripción	Características
4.a Ciclomotores de dos, tres y cuatro ruedas	< 50 cc (clasificación CE L1, L2 y L6)
4.b Motocicletas con y sin sidecar, triciclos y cuatriciclos	> 50 cc (clasificación CE L3, L4, L5 y L7)

En la actualidad, muchos de los aforadores existentes no recogen datos de tráfico con un grado de detalle que permita distinguir entre las 5 categorías de vehículos establecidas por CNOSSOS-EU, por lo que, en muchas ocasiones, resultará necesario trabajar con distintas hipótesis.

A continuación, se realizan algunas indicaciones que pueden ayudar a la toma de decisiones en cuanto a la distribución en las distintas categorías de vehículos.

- **Distribución de pesados 50%-50%.** Esta recomendación parte de **valores por defecto recomendados en publicaciones europeas e implementadas por defecto por muchos de los desarrolladores de software de cálculo.**

Esta hipótesis plantea asumir que, dentro del porcentaje de vehículos pesados total establecido para una determinada vía, el 50% de ellos se corresponderán con vehículos pesados medianos (categoría 2) y el 50 % restante se corresponderá con vehículos pesados (categoría 3).

CONSIDERACIONES SOBRE LAS FUENTES DE RUIDO EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS
ESTRATÉGICOS DE RUIDO

Tabla 3: Tabla de conversión (NMPB96 vs CNOSSOS-EU) para categorías de vehículos

Clases de vehículos según NMPB 96 EU	Clases de vehículos según CNOSSOS-EU
Nº de vehículos ligeros	1
50 % del número de vehículos pesados	2
50 % del número de vehículos pesados	3

Fuente: "Develop and Implement Harmonised Noise Assessment Methods. Process Applied to Establish CNOSSOS-EU/National Method Equivalence for Road Source data". CIRCABC (Communication and Information Resource Centre for Administrations, Businesses and Citizens) de la Comisión Europea.

En este sentido, Irlanda llevó a cabo un proyecto (**Noise Adapt Project**) que analizaba la sensibilidad de esta variable simulando diferentes escenarios en la ciudad de Dublín. En dicho proyecto **se categorizaron los vehículos pesados en diferentes proporciones en las dos categorías de vehículos pesados establecidas por CNOSSOS-EU (50/50, 30/70, 70/30)** y considerando diferentes velocidades, **no observándose cambios significativos en los niveles de ruido emitidos por la carretera analizada.**

Por ejemplo, a velocidades de 50 km/h y 60 km/h, el valor estimado de emisión del eje viario entre una categorización de vehículos pesados de 50/50 y una categorización de 30/70, mostró una diferencia aproximada de 0,3 dB(A) y entre una categorización de 50/50 y una de 70/30, existían diferencias de -0,2 dB(A) evaluadas dichas diferencias en seis puntos receptores.

- **Distribución de vehículos de 2 ruedas en función de los datos oficiales de la DGT.** En el caso de ejes viarios de titularidad municipal, se recomienda el uso de los datos oficiales recogidos en la página de la DGT:

<https://www.dgt.es/menusecundario/dgt-en-cifras/>

En esta página se encuentran fichas informativas sobre los aspectos más relevantes relacionados con la seguridad vial en el ámbito municipal. En dichas fichas se pueden consultar, entre otros datos, **la composición del parque de vehículos y sus características**, en función del tamaño poblacional de los municipios.

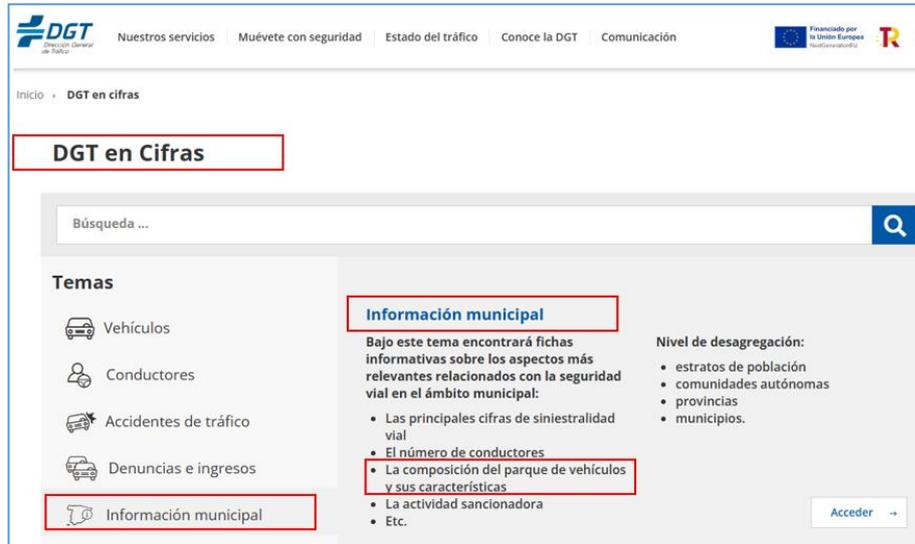


Ilustración 2: Captura de la Web de la DGT donde está disponible la información de la composición de los parques municipales de vehículos

- **Tablas estadísticas del parque de vehículos de la DGT.**

En la siguiente URL se pueden encontrar las tablas estadísticas (Excel) del parque de vehículos ofrecidas por la DGT. Actualmente están disponibles las tablas del año 2023.

<https://www.dgt.es/menusecundario/dgt-en-cifras/dgt-en-cifras-resultados/dgt-en-cifras-detalle/Datos-municipales-informacion-general-2023/>

Municipio	Provincia	Parque Ciclomotores	Parque Motocicletas	Parque Turismos	Parque Furgonetas	Parque Camiones	Parque Total
Cerdà	Valencia/València	33	34	226	14	35	3
Cofrentes	Valencia/València	100	118	627	75	72	1.0
Corbera	Valencia/València	289	363	1.886	127	323	3.0
Cortes de Pallás	Valencia/València	31	56	421	64	70	€
Cotes	Valencia/València	53	20	208	13	19	3
Quart de les Valls	Valencia/València	125	78	578	28	58	€
Quart de Poblet	Valencia/València	739	1.657	13.646	1.293	1.630	20.0
Quartell	Valencia/València	113	128	986	94	154	1.5
Quatretonda	Valencia/València	378	270	1.433	187	357	2.7
Cullera	Valencia/València	2.003	2.792	10.503	623	894	17.1
Chelva	Valencia/València	137	137	947	205	171	1.€
Chella	Valencia/València	244	214	1.410	127	239	2.3
Chera	Valencia/València	44	44	251	55	62	4
Cheste	Valencia/València	689	722	4.726	483	841	7.€
Xirivella	Valencia/València	753	2.262	14.080	1.022	1.232	20.0
Chiva	Valencia/València	900	1.623	9.010	792	910	13.7
Chullilla	Valencia/València	54	75	440	71	68	7
Daimús	Valencia/València	310	507	1.915	166	207	3.1
Domeño	Valencia/València	49	59	458	62	57	7
Dos Aguas	Valencia/València	35	38	179	25	62	3
Eliana, l'	Valencia/València	592	1.774	10.241	679	522	14.1

Ilustración 3: Parque de vehículos en 2023, por provincia y tipo. DGT

- **Estadística autonómica:** Es conveniente revisar las fuentes de información estadísticas autonómicas, ya que pueden ofrecer información de gran utilidad. A modo de ejemplo, en la siguiente URL se encuentra la información estadística del parque de vehículos de la Región de Murcia, clasificados por tipo de vehículos y municipio:

https://econet.carm.es/web/crem/inicio/-/crem/sicrem/PM_Transporte/sec8_c1.html

CONSIDERACIONES SOBRE LAS FUENTES DE RUIDO EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO

1. Parque según municipios y tipo de vehículo, por carburante.

Parque de vehículos - TOTAL - 2023

	TOTAL	Turismos	Motocicletas	Camiones y furgonetas	Autobuses	Tractores Industriales	Cidomotores	Remolques y semi-remolques	Remolques	Semirremolques	Otros vehículos
MURCIA (Región de)	1.267.378	826.196	134.099	157.268	1.946	15.310	91.000	27.947	8.104	19.843	13.611
Abanilla	5.979	3.797	400	946	40	81	426	135	55	80	154
Abarán	11.202	7.249	1.095	1.261	13	44	1.215	261	58	203	64
Águilas	31.792	17.078	5.573	3.510	92	227	4.520	469	146	323	323
Albudeite	1.286	716	118	195	0	6	234	5	5	0	11
Alcantarilla	32.375	22.309	3.422	3.600	4	262	2.065	513	190	323	204
Alcázar (Los)	12.782	9.630	941	1.331	45	54	523	127	63	64	137
Aledo	1.171	734	167	102	12	1	142	4	4	0	5
Alguazas	8.279	5.667	719	859	0	83	704	191	71	120	54
Alhama de Murcia	22.505	12.913	2.673	2.317	8	289	2.424	1.636	133	1.503	245
Archena	15.922	10.135	1.301	2.132	58	202	1.643	286	68	218	161

Ilustración 4: Parque de vehículos en Murcia, en 2023, por tipo de vehículos y municipio

- **Consideración de la prohibición de circulación de determinados tipos de vehículos.** Por último, también resulta recomendable a la hora de establecer los porcentajes de vehículos pesados o de dos ruedas que circulan por un determinado eje, las prohibiciones a la circulación de dichos vehículos por algunas vías.

Según lo recogido en el artículo 38 del Real Decreto 1428/2003, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación, **se prohíbe circular por autopistas y autovías con vehículos de tracción animal, bicicletas, ciclomotores y vehículos para personas de movilidad reducida.** Por tanto, en este tipo de vías, el porcentaje de vehículos de la categoría 4a será igual a 0.

Por otro lado, según lo recogido en el artículo 39 del Reglamento General de Circulación, se podrán establecer limitaciones de circulación, temporales o permanentes, en las vías objeto de la legislación sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, cuando así lo exijan las condiciones de seguridad o fluidez de la circulación. Por ello, **en muchas calles del centro histórico de los cascos urbanos está prohibida la circulación de camiones de > 3,5 toneladas**, por lo que en estos casos el porcentaje de vehículos de la categoría 3 sería igual a 0.

2.2.4. VELOCIDAD

Otra variable a considerar en la correcta definición de la emisión de un eje viario es la velocidad media a la que circulan los diferentes vehículos por la vía.

- **Límites de velocidad en interior de ciudades.** Para definir correctamente los límites de velocidad en el interior de las ciudades, en aquellos casos en los que el Ayuntamiento disponga de una red de aforadores fija, se emplearán las velocidades recogidas por dicha red. En los casos en los que dicha red no exista o no sea capaz de medir datos de velocidad, se recurrirá a las siguientes recomendaciones:

- **Analizar las Zonas 20 o Zonas 30** establecidas en el municipio. Todos los ejes viarios comprendidos dentro de dichas zonas tendrán la velocidad limitada a 20 o 30 km/h respectivamente.
- **Atender a las limitaciones de velocidad genéricas** establecidas por la Dirección General de Tráfico (DGT) para ejes viarios en el interior de las ciudades en función de la tipología de vía:



Ilustración 5: Regulación de velocidades según tipología de vía en ciudad

Fuente: DGT

- **Límite de velocidad en ejes viarios en el exterior de las ciudades.** Los ejes viarios ubicados en el exterior de aglomeraciones suelen corresponderse con carreteras o autovías de mayor entidad donde suele existir una red de aforadores en continuo capaces de registrar la velocidad media de paso de los vehículos. En estos casos, al igual que en las aglomeraciones, se emplearán los datos recogidos por dicha red fija de aforadores.

Como ya se ha mencionado en el apartado referente a la intensidad del tráfico, los planes de aforo, además de recopilar datos sobre IMD de la vía, también recopilan datos de la velocidad media de la misma (https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/Mapas_de_trafico/mapa_velocidades_2018.pdf).

Para los ejes viarios donde no exista un plan de aforos que recopile datos de velocidad se establecen las siguientes recomendaciones:

- **Atender a las limitaciones de velocidad genéricas establecidas por la Dirección General de Tráfico (DGT)** para carreteras en función de la tipología de vía:

LÍMITES DE VELOCIDAD EN VÍAS INTERURBANAS		
DGT	AUTOPISTA/ AUTOVÍA	CONVENCIONAL
<ul style="list-style-type: none"> Turismo Motocicleta Autocaravana de MMA ≤ 3.500 Kg Pick-up 	120	90
<ul style="list-style-type: none"> Autobús Vehículo derivado de turismo Vehículo mixto adaptable 	100	90
<ul style="list-style-type: none"> Camión/Tractocamión Furgón/Furgoneta Autocaravana de MMA > 3.500 Kg Vehículo articulado Automóvil con remolque Resto de vehículos 	90	80

Ilustración 6: Regulación de velocidades según tipología de carretera

Fuente. DGT

- **Análisis de tramos con condiciones especiales**, como pueden ser curvas cerradas, travesías, etc. donde habrá que ajustar la velocidad a lo máximo permitido en dichas situaciones.
- **Protocolos de Aceleración/Deceleración**. Se deberán crear una aceleración o deceleración paulatina a la entrada y salida de rotondas y en incorporaciones y salidas de carreteras. Para ello, se recomienda ir aumentando o disminuyendo la velocidad de circulación en dichos tramos con incrementos o decrementos no superiores a 20 km/h entre tramos contiguos, de manera que no se produzcan cambios de velocidad bruscos.

2.2.5. PAVIMENTO

Otro factor importante para considerar a la hora de establecer las características de un eje viario y que influirá en la potencia acústica del mismo es una correcta definición del tipo y estado del pavimento.

En la siguiente imagen, se recogen las principales superficies de rodadura consideradas por el método CNOSSOS-EU, así como una breve descripción de estas:

Tabla 4: Tipos de pavimentos según el método CNOSSOS-EU

Tipo de pavimento	Descripción del tipo de pavimento
0	Superficie de referencia
NL01	1-capa ZOAB
NL02	2-capas ZOAB
NL03	2-capas ZOAB (fine)
NL04	SMA (Stone mastiek asphalt) -0/5
NL05	SMA (Stone mastiek asphalt) -0/8

Tipo de pavimento		Descripción del tipo de pavimento
NL06	Hormigón cepillado	Hormigón cepillado
NL07	Hormigón cepillado optimizado	Hormigón cepillado optimizado
NL08	Hormigón pulido	Hormigón pulido
NL09	Superficie estabilizada	Superficie con un tratamiento extra en superficie
NL10	Adoquines en espiga	Adoquines en espiga
NL11	Adoquines no colocados en espiga	Adoquines no colocados en espiga
NL12	Adoquines silenciosos	Adoquines silenciosos
NL13	Capa delgada A	Asfalto de capa fina poco ruidoso Tipo A
NL14	Capa delgada B	Asfalto de capa fina poco ruidoso Tipo B

Fuente: Appendix 10: Guide for Mapping Existing National Road Methods to the CNOSSOS-EU Road Source Method.

El documento denominado “Develop and Implement Harmonised Noise Assessment Methods. Process Applied to Establish CNOSSOS-EU/National Method Equivalence for Road Source data” elaborado por el CIRCABC de la Comisión Europea, establece una equivalencia entre los pavimentos empleados según el método interino (NMPB 96 EU) y el método CNOSSOS-EU:

Tabla 5: Tabla de conversión (NMPB96 vs CNOSSOS-EU) para categorías de vehículos.

Superficie de rodadura según NMPB 96 EU	Superficie de rodadura según CNOSSOS-EU
Adoquines de textura rugosa (+6)	NL11
Adoquines de textura suave (+3)	NL10
Hormigón pobre, hormigón y asfalto corrugado (+2)	NL08
Asfalto liso (0 dB)	NL05
Superficie porosa (-1 a -3 dependiendo de la velocidad)	NL13

Fuente: “Develop and Implement Harmonised Noise Assessment Methods. Process Applied to Establish CNOSSOS-EU/National Method Equivalence for Road Source data”. CIRCABC (Communication and Information Resource Centre for Administrations, Businesses and Citizens) de la Comisión Europea.

En la siguiente tabla, se puede observar con un mayor detalle la equivalencia establecida entre la base de datos de pavimentos utilizada por el método CNOSSOS-EU y la empleada hasta diciembre de 2018 según el método interino en España:

Tabla 6: Tipos de pavimentos según el método CNOSSOS-EU

Tipo de pavimento	Descripción del tipo de pavimento	NMPB 96 EU Interim method	
0	Superficie de referencia	Hormigón asfáltico 0/11 – 0/16, Mezcla bituminosa en caliente 0/11	
NL01	1-capa ZOAB	Asfalto poroso	
NL02	2-capas ZOAB	Asfalto poroso de doble capa	
NL03	2-capas ZOAB (fine)	Asfalto poroso de doble capa con capa superior fina	
NL04	SMA (Stone mastiek asphalt) -0/5	Mezcla bituminosa en caliente con árido de máximo 5 mm	
NL05	SMA (Stone mastiek asphalt) -0/8	Mezcla bituminosa en caliente con árido de máximo 8 mm	Asfalto suave
NL06	Hormigón cepillado	Hormigón cepillado	
NL07	Hormigón cepillado optimizado	Hormigón cepillado optimizado	

CONSIDERACIONES SOBRE LAS FUENTES DE RUIDO EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO

Tipo de pavimento		Descripción del tipo de pavimento	NMPB 96 EU Interim method
NL08	Hormigón pulido	Hormigón pulido	Hormigón pobre, hormigón y asfalto corrugado (+2)
NL09	Superficie estabilizada	Superficie con un tratamiento extra en superficie	
NL10	Adoquines en espiga	Adoquines en espiga	Adoquines de textura suave
NL11	Adoquines no colocados en espiga	Adoquines no colocados en espiga	Adoquines de textura rugosa
NL12	Adoquines silenciosos	Adoquines silenciosos	
NL13	Capa delgada A	Asfalto de capa fina poco ruidoso Tipo A	Superficie porosa (-1 a -3 dependiendo de la velocidad)
NL14	Capa delgada B	Asfalto de capa fina poco ruidoso Tipo B	

Fuente: Appendix 10: Guide for Mapping Existing National Road Methods to the CNOSSOS-EU Road Source Method.

No obstante, según datos recogidos en el informe “[Asphalt in figures 2019](#)” publicado por la EAPA (European Asphalt Pavement Association), **en España, el 94,3% de las capas de rodadura están compuestas por mezclas bituminosas de tipo hormigón bituminoso**, el 4,7% por asfalto de matriz o masilla de piedra y el 1% restante por asfalto poroso.

Por tanto, según la categorización establecida por el método CNOSSOS-EU, la categoría de asfalto que se correspondería con el asfalto más utilizado en España (mezcla bituminosa en caliente de tipo hormigón bituminoso) sería la superficie de referencia, la cual se corresponde con superficies de hormigón asfáltico con granulometría de 0 a 11 mm. También podrían incluirse dentro de las categorías NL04 o NL05 en función de la granulometría del asfalto.

En la siguiente tabla, se recoge un análisis comparativo de la variación de la potencia acústica de un eje viario con una Intensidad Media Horaria (IMH) de 600 vehículos/hora y varias velocidades, entre la superficie de referencia según CNOSSOS-EU y el resto de los asfaltos recogidos en el método.

Para dicho análisis se ha considerado una carretera sin pendiente, con un % de pesados de un 10% (50% de vehículos de categoría 2 y 50% de vehículos de categoría 3) y un 10 % de vehículos de 2 ruedas (50% de vehículos de categoría 4a y 50% de vehículos de categoría 4b).

Tabla 7: Análisis comparativo del tipo de asfalto en comparación con la superficie de referencia

Tipo de pavimento		Variación de la potencia acústica del eje			
		30 km/h	50 km/h	90 km/h	120 km/h
0	Superficie de referencia	0 dB (A)	0 dB(A)	0 dB(A)	0 dB(A)
NL01	1-capa ZOAB	-1,1 dB (A)	-1,2 dB(A)	-2 dB(A)	-2,1 dB(A)
NL02	2-capas ZOAB	-3,8 dB (A)	-3,9 dB(A)	-3,9 dB(A)	-3,2 dB(A)
NL03	2-capas ZOAB (fine)	-4,7 dB (A)	-5 dB(A)	-4,8 dB(A)	-3,8 dB(A)
NL04	SMA (Stone mastiek asphalt) -0/5	-0,5 dB (A)	-0,8 dB(A)	-1,2 dB(A)	-1,2 dB(A)
NL05	SMA (Stone mastiek asphalt) -0/8	-0,2 dB (A)	-0,3 dB(A)	-0,6 dB(A)	-0,6 dB(A)

Tipo de pavimento		Variación de la potencia acústica del eje			
		30 km/h	50 km/h	90 km/h	120 km/h
NL06	Hormigón cepillado	0,2 dB (A)	+0,7 dB(A)	+1,3 dB(A)	+1,3 dB(A)
NL07	Hormigón cepillado optimizado	-0,7 dB (A)	-0,4 dB(A)	-0,2 dB(A)	-0,2 dB(A)
NL08	Hormigón pulido	-0,1 dB (A)	+0,6 dB(A)	+2,1 dB(A)	+2,7 dB(A)
NL09	Superficie estabilizada	0,6 dB (A)	+1,4 dB(A)	+1,7 dB(A)	+1,5 dB(A)
NL10	Adoquines en espiga	0,5 dB (A)	+1,3 dB(A)	+1,9 dB(A)	+1,9 dB(A)
NL11	Adoquines no colocados en espiga	2,2 dB (A)	+4 dB(A)	+5,2 dB(A)	+5,1 dB(A)
NL12	Adoquines silenciosos	-0,5 dB (A)	-0,7 dB(A)	-1,3 dB(A)	-1,3 dB(A)
NL13	Capa delgada A	-1,6 dB (A)	-2 dB(A)	-2,5 dB(A)	-2,2 dB(A)
NL14	Capa delgada B	-2 dB (A)	-2,6 dB(A)	-3,1 dB(A)	-2,7 dB(A)

Fuente: Elaboración propia

La Autoridad Competente será la responsable final de verificar que los datos introducidos en el modelo de cálculo se ajustan lo máximo posible a la realidad en base a la información disponible, de manera que no se subestimen los niveles de ruido existentes en la realidad.

En la memoria del MER **se deberá justificar la elección realizada.**

2.2.6. PENDIENTE

La pendiente de una carretera va a tener un doble efecto sobre la emisión de ruido:

- En primer lugar, afecta a la velocidad del vehículo y, por consiguiente, a la emisión de ruido de rodadura y de propulsión del vehículo.
- En segundo lugar, afecta a la carga y la velocidad del motor por la elección de la marcha y, por tanto, a la emisión de ruido de propulsión del vehículo.

Según lo establecido en la Orden PCI 1319/2018, el efecto que la pendiente de la carretera tiene en el ruido de propulsión se tiene en cuenta mediante un término de corrección, que es una función de la pendiente, la velocidad del vehículo y la clase de vehículo.

A la hora de introducir esta variable sobre un determinado eje viario en el software de simulación, se puede hacer de dos maneras:

- **Si se conoce la pendiente exacta** del tramo de carretera objeto de estudio, se puede introducir directamente el valor de la pendiente para cada tramo.
- **En caso contrario**, el caso más habitual, los softwares de simulación suelen permitir el cálculo de la misma de manera automática. Para ello, se debe de conocer en qué sentido ha sido digitalizada la carretera, si se trata de una vía de doble sentido o de sentido único y en qué sentido circulan los coches.

Con estos datos, el software de simulación es capaz de realizar una **interpolación entre los vértices del eje viario objeto de estudio y el MDT** previamente introducido y calcular de manera automática la pendiente de la vía, así como si dicha pendiente es positiva o negativa, aplicando las correcciones que resulten necesarias.

En este caso, **el MDT debe ser lo suficientemente preciso** para permitir la correcta definición del tramo en pendiente.

2.2.7. ROTONDAS Y SEMÁFOROS

Según lo establecido en la Orden PCI 1319/2018, antes y después de las intersecciones reguladas por semáforos y rotondas, se aplicará una corrección para el efecto de la aceleración y la desaceleración.

La primera tarea a realizar para poder aplicar dicha corrección es **identificar cada una de las intersecciones reguladas por semáforos o rotondas** existentes en el área objeto de estudio.

La **identificación de rotondas** es algo que puede resultar más sencillo, ya que pueden obtenerse directamente durante la **revisión de la capa de ejes viarios existentes** en la zona objeto de estudio.

La **identificación de semáforos** puede resultar una tarea bastante más costosa. Determinadas **bases topográficas elaboradas a escala local (1:1.000)** contienen información sobre la ubicación de los semáforos del municipio en cuestión. En caso de carecer de este tipo de base cartográfica, la única manera de ubicar los semáforos existentes en la zona de estudio sería mediante la realización **de visitas “in situ”**.

No obstante, el **Noise Adapt Project** llevado a cabo en **Irlanda**, con el fin de caracterizar el efecto que la semaforización o regulación de intersecciones mediante rotondas puede tener en la realidad, en Dublín **se realizaron ensayos “in situ” en una intersección regulada por semáforos y en una intersección regulada por una rotonda**. Mediante dicha caracterización se pretendía examinar el margen de error existente al aplicar o no aplicar los coeficientes de corrección establecidos por el método CNOSSOS-EU para intersecciones de este tipo.

Con los resultados de dicho experimento se concluyó que el método CNOSSOS-EU se aproxima fielmente a los resultados de los ensayos cuando los coeficientes de corrección tanto para los semáforos como para las rotondas son eliminados.

Por ejemplo, en relación con los ensayos en la **intersección regulada por semáforos**, los resultados indicaban que **el método CNOSSOS-EU sobreestimaba en un promedio de 1,5 dB(A) cuando se aplicaban coeficientes de corrección**, mientras que el modelo **sin coeficientes de corrección únicamente sobreestimaba el resultado de los ensayos en 0,1 dB(A)**.

Por otro lado, **en cuanto a los ensayos en la intersección regulada por una rotonda**, se encontró igualmente una **sobreestimación por parte del método CNOSSOS-EU de 1,5 dB(A) cuando se aplicaban los coeficientes de corrección**, mientras que el **modelo sin coeficientes de corrección resultaba en una sobreestimación de los niveles ensayados de 1,4 dB(A)**.

El **Noise Adapt Project de Irlanda**, **concluía** este experimento recomendando **que no se aplicaran los coeficientes por regularización semafórica o mediante rotondas del tráfico**, debido a que su aplicación no mejoraba la precisión de los resultados.

No se dispone de datos de estudios similares de otros países de la UE, ni de España. La autoridad competente responsable de elaborar y aprobar el mapa deberá justificar la decisión de emplear o no estas correcciones en la memoria de MER.

2.3. FUENTES DE RUIDO FERROVIARIO

El método de **ruido del tráfico ferroviario**, de forma análoga al ruido del tráfico viario, obtiene el nivel de la potencia sonora de una **combinación específica de tipo de vehículo y tipo de vía** que satisface una serie de requisitos descritos en la caracterización de vehículos y vías.

La emisión de ruido originado por la circulación de trenes en cada vía está representada en CNOSSOS-EU por dos fuentes lineales, a 0,5 m y 4,0 m de altura sobre la base de los raíles, caracterizadas por su nivel de potencia sonora direccional por metro y por banda de frecuencia.

Este nivel de potencia acústica se corresponde con la **suma energética de todas las contribuciones de cada uno de los vehículos que circulan**.

Dichas contribuciones son:

- De todos los tipos de vehículos
- A diferentes velocidades
- En condiciones de circulación particulares (velocidad constante)
- Para cada tipo de fuente física (rodadura, impacto, chirridos, tracción, aerodinámica y fuentes con otros efectos, como por ejemplo el ruido de los puentes)

La **caracterización del material rodante** (vehículos ferroviarios), se realiza a partir de los siguientes parámetros:

- **Ruido de Rodadura**
 - **Intensidad del tráfico**
Será necesario definir la intensidad del tráfico ferroviario en los diferentes periodos de evaluación (día, tarde y noche).
 - **Velocidad**
Será necesario definir la velocidad máxima del tren en función de sus características.
 - **Rugosidad de la rueda**
Este parámetro depende del tipo de freno.
 - **Función de transferencia de la rueda**
Este parámetro depende del tamaño de la rueda
 - **Filtro de Contacto rueda-carril**
Este parámetro depende de la carga por eje y del tamaño de la rueda.
- **Ruido de tracción**

Aunque el ruido de la tracción suele ser específico de cada condición de funcionamiento característica entre la velocidad constante, la desaceleración, la aceleración y el ralenti, las únicas dos condiciones modelizadas son la velocidad

constante (que es válida también cuando el tren está desacelerando o cuando está acelerando) y el ralentí.

- **Ruido Aerodinámico**

Representa el ruido generado por el flujo de aire en contacto con el vehículo.

En el caso del material estático (vías), **los elementos más importantes que influyen en la emisión de ruido** son: *la rugosidad del carril, la rigidez de la placa de asiento del carril, la tipología de traviesa, las juntas de los carriles y el radio de curvatura de la vía.*

Los elementos que caracterizan el ruido del material estático en el método CNOSSOS son:

- **Ruido de Rodadura provocado por la vía, que depende de:**

- **Velocidad**

Será necesario definir la velocidad máxima de cada tramo de vía en función de sus características.

- **Rugosidad de la vía**

La rugosidad de la vía depende del estado en que se encuentra la banda de rodadura del carril.

- **Función de transferencia de la vía**

Hace referencia al tipo de traviesa y a la elasticidad de la placa de asiento. Representa una indicación de la rigidez acústica, distinguiéndose entre traviesas mono-bloque, bi-bloque o de madera y amortiguaciones blandas, medias o duras.

- **Ruido de impacto (intersecciones, cambios y juntas)**

El ruido de impacto puede derivar de las intersecciones, los cambios y las juntas o las agujas. Puede variar en magnitud y puede dominar el ruido rodante.

- **Chirrido (radio de curvatura)**

El chirrido en las curvas es una fuente especial que solo resulta relevante para las curvas, y por tanto, está localizado. El chirrido en curvas suele depender de la curvatura, de las condiciones de fricción, de la velocidad del tren y de la dinámica y la geometría de las ruedas y la vía.

- **Corrección de la radiación estructural (puentes y viaductos)**

En el caso de que el tramo de vía se encuentre en un puente, es necesario tener en cuenta el ruido adicional generado por la vibración del puente como resultado de la excitación ocasionada por la presencia del tren.

A continuación, se define cada una de estas variables.

2.3.1. CARACTERIZACIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁFICO FERROVIARIO

El **número de vehículos** de cada tipo se determinará en **cada tramo de vía para cada período considerado en el cálculo del ruido.**

Se expresará como un número promedio de vehículos por tipo y por hora, que se obtiene al dividir el número total de vehículos que circulan durante un periodo de tiempo

determinado entre la duración en horas de dicho periodo. **Se considerarán todos los tipos de vehículos que circulan por cada tramo de vía.**

Ante la ausencia de datos de tráfico ferroviario públicos, dichos datos **se obtendrán solicitándolos directamente al organismo competente en cada caso**, el cual deberá proporcionar datos sobre:

- Código del tramo de vía
- Tipología de estructura de la vía
- Velocidad máxima de la vía (diferenciada por PK)
- PK de inicio y fin del mismo
- Tráficos totales (en número de trenes) por tipología de tren y periodo (día, tarde y noche)
- Composición detallada de cada tipología de tren
- Velocidad máxima por tipología de tren

2.3.2. VELOCIDAD

A la hora de definir la velocidad a la que circularán los diferentes tipos de trenes por un tramo de vía determinado, **habrá que definir 2 factores:**

- Velocidad máxima a la que puede circular cada tipo de tren.
- Velocidad máxima que permite alcanzar la vía. En este sentido, por ejemplo, un tren de alta velocidad es capaz de circular a 310 km/h, no obstante, si lo hace por una vía por la que, por sus características (curvatura, túnel, paso elevado, entrada o salida a estación, etc.) no permite circular a más de 80 km/h, la velocidad de dicho tren se verá limitada a la velocidad máxima de la vía.

Además, **en las proximidades a estaciones** se deberán tener en cuenta los correspondientes **protocolos de aceleración/deceleración**, que podrán ser **diferentes para cada autoridad competente.**

En el caso de ferrocarriles competencia de ADIF, el protocolo puede ser consultado en su 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, disponible en la sección "Documentación" de la Web del Sistema de Información sobre Contaminación Acústica.

2.3.3. 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.

Se pueden dar algunas circunstancias específicas para las subunidades de un tren que forman parte de un conjunto que no se pueden desacoplar, por ejemplo, compartir un bogie entre ellas. A los efectos de este método de cálculo, todas estas subunidades se agrupan en un único vehículo.

2.3.3.1. RUIDO DE RODADURA

La rugosidad de las superficies de la rueda y carril es la principal fuente de ruido para velocidades comprendidas entre 60 y 250 km/h, ya que por debajo de 60 km/h la fuente de ruido principal es la propia maquinaria incorporada en el tren, mientras que por encima de 250 km/h la fuente de ruido principal es la componente aerodinámica.

La contribución del vehículo al ruido de rodadura se divide en:

- **La rugosidad de la rueda** depende del tipo de freno (véase cuadro G-1 del apéndice G de la Directiva (UE) 2015/996 de la Comisión).
- **La función de transferencia de la rueda** (véase cuadro G-3 del apéndice G de la Directiva (UE) 2015/996 y Directiva Delegada (UE) 2021/1226 de la Comisión).
- **Filtro de contacto** (véase cuadro G-2 del apéndice G de la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 de la Comisión).

2.3.3.2. RUIDO DE TRACCIÓN

Aunque el ruido de la tracción suele ser específico de cada condición de funcionamiento característica entre la velocidad constante, la desaceleración, la aceleración y el ralenti, las únicas dos condiciones modelizadas son la velocidad constante que es válida también cuando el tren está desacelerando o cuando está acelerando y el ralenti.

2.3.3.3. RUIDO AERODINÁMICO

Representa el ruido generado por el flujo de aire en contacto con la parte superior del vehículo, asociado al foco de 4 metros, y con su parte inferior, al foco de 0,5 metros. CNOSSOS lo representa con una potencia acústica adicional que depende de la velocidad y que es aplicable cuando la velocidad de circulación es superior a los 200 km/h.

2.3.4. VÍAS

Las vías existentes pueden variar porque hay varios elementos que contribuyen a las propiedades sonoras y las caracterizan. Algunos de los elementos influyen significativamente en las propiedades sonoras, mientras que otros sólo tienen efectos secundarios.

En general, los elementos más importantes que influyen en la emisión de ruido ferroviario son: la rugosidad del carril, la rigidez de la placa de asiento del carril, la tipología de traviesa, las juntas de los carriles y el radio de curvatura de la vía.

El tramo de vía se define como una parte de una única vía, en una línea ferroviaria o en una estación, en la que no cambian los componentes básicos ni las propiedades físicas de la vía.

Será necesario **configurar los siguientes parámetros para definir correctamente las características acústicas de cada tramo de vía:**

2.3.4.1. RUIDO DE RODADURA

La contribución del carril al ruido de rodadura se divide en:

- La rugosidad del carril

La rugosidad de la vía depende del estado en que se encuentra la banda de rodadura del carril.

Según lo establecido en la Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, la diferencia entre la emisión sonora de una vía con un buen mantenimiento y unas ruedas en buen estado con respecto a una vía similar pero en mal estado puede ser superior a 10 dB. Por tanto, es importante establecer correctamente las condiciones de mantenimiento de la vía.

Tal y como se recoge en la tabla G-1 del apéndice G de la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 de la Comisión, se distinguirá entre:

- Bien mantenido y muy liso.
- Normalmente mantenido y liso.

Ante la ausencia del estado de mantenimiento de vías y ruedas, se recomienda emplear un estado de mantenimiento medio.

- La función de transferencia del carril

Hace referencia al tipo de traviesa y a la elasticidad de la placa de asiento. Representa una indicación de la rigidez acústica, distinguiéndose, según se recoge en la tabla G-3 del apéndice G de la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 de la Comisión, entre:

- Traviesa monobloque sobre almohadilla de carril suave.
- Traviesa monobloque sobre almohadilla de carril de rigidez media.
- Traviesa monobloque sobre almohadilla de carril rígida.
- Traviesa bi-bloque sobre almohadilla de carril suave.
- Traviesa bi-bloque sobre almohadilla de carril de rigidez media.
- Traviesa bi-bloque sobre almohadilla de carril rígida.
- Traviesas de madera.
- Sujeción directa en los puentes.

2.3.4.2. RUIDO DE IMPACTO (INTERSECCIONES, CAMBIOS Y JUNTAS)

El ruido de impacto puede derivar de las intersecciones, los cambios y las juntas o las agujas. Puede variar en magnitud y puede dominar el ruido rodante. El ruido de impacto debería considerarse para las vías unidas. En el caso del ruido de impacto generado por cambios, cruces y juntas en los tramos de las vías con una velocidad inferior a 50 km/h (30 km/h solo para tranvías y metros), la modelización deberá evitarse. La modelización del ruido de impacto también debe evitarse en condiciones de circulación al ralentí.

Tal y como se recoge en la tabla G-4 del apéndice G de la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 de la Comisión, se considerarán los cambios de vía únicos, juntas simples o cruces simples existentes cada 100 m.

2.3.4.3. CHIRRIDO (RADIO DE CURVATURA)

El chirrido en las curvas es una fuente especial que solo resulta relevante para las curvas, y por tanto, está localizado. El chirrido en curvas suele depender de la curvatura, de las condiciones de fricción, de la velocidad del tren y de la dinámica y la geometría de las ruedas y la vía.

En aquellos lugares donde se produce chirrido en curvas, generalmente en curvas y agujas de desvíos ferroviarios, es preciso añadir a la potencia de la fuente los espectros de la potencia acústica adicionales correspondientes. El ruido adicional puede ser específico a cada tipo de material rodante, ya que determinados tipos de ruedas y bogies pueden ser considerablemente menos propensos a los chirridos que otros.

Este parámetro hace referencia al radio de curvatura, en metros, del tramo de vía analizado.

2.3.4.4. CORRECCIÓN DE LA RADIACIÓN ESTRUCTURAL (PUENTES Y VIADUCTOS)

En caso de que el tramo de vía se encuentre sobre un puente, **es necesario tener en cuenta el ruido adicional generado por la vibración del puente** como resultado de la excitación ocasionada por la presencia del tren. Habida cuenta de que no es fácil modelizar la emisión de ruido del puente como una fuente adicional, a causa de las formas tan complejas de los puentes, se considera un aumento del ruido de rodadura para representar el ruido del puente. El aumento se modelizará exclusivamente incorporando un aumento fijo de la potencia sonora para cada banda de tercio de octava.

Para ello, **habitualmente los softwares de simulación**, dentro del cuadro de diálogo que permite la configuración de las fuentes ferroviarias, **han generado un campo específico para indicar si un tramo de vía discurre por un puente y qué tipo de puente** o si discurre a nivel del terreno, aplicando las correspondientes penalizaciones por defecto de manera automática en caso necesario.

2.4. FUENTES INDUSTRIALES O SIMILARES

Para definir correctamente las características acústicas de un foco de ruido industrial, será necesario recopilar información, al menos de las siguientes variables:

2.4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE FUENTE

Las fuentes industriales presentan dimensiones muy variables. Puede tratarse de grandes plantas industriales, pequeñas herramientas de trabajo, maquinaria empleada en fábricas, etc. Por ello, resulta necesario emplear una técnica de modelización apropiada para cada tipo de fuente objeto de evaluación.

En función de las dimensiones y de la forma en que varias fuentes independientes se extienden por una zona, todas ellas pertenecientes al mismo emplazamiento industrial, se pueden modelizar como fuentes puntuales, fuentes lineales u otras fuentes de tipo superficie radiante.

Las fuentes sonoras reales se modelizan mediante fuentes sonoras equivalentes representadas por una o varias fuentes puntuales, de forma que la potencia sonora total de la fuente real se corresponda con la suma de las potencias sonoras individuales atribuidas a las diferentes fuentes puntuales.

Las normas generales que deben aplicarse en la definición del número de fuentes puntuales que se usarán son:

- Las fuentes lineales o de tipo área en las que la dimensión mayor es inferior a 1/2 de la distancia entre la fuente y el receptor pueden modelizarse como fuentes puntuales exclusivas.
- Las fuentes en las que la dimensión más grande es mayor que 1/2 la distancia entre la fuente y el receptor deben modelizarse como una serie de fuentes puntuales en una línea o como una serie de fuentes puntuales incoherentes en un área, de forma que para cada una de estas fuentes se cumpla la condición de distancia estable. La distribución por un área puede incluir la distribución vertical de las fuentes puntuales.
- Si se trata de fuentes en las que las dimensiones más grandes en términos de altura superan los 2 m o si están cerca del suelo, cabe prestar especial atención a la altura de la fuente. Duplicar el número de fuentes redistribuyéndolas únicamente en la componente z no puede ofrecer un resultado significativamente mejor para esta fuente.
- Para todas las fuentes, duplicar el número de fuentes sobre el área de la fuente (en todas las dimensiones) no puede ofrecer un resultado significativamente mejor.

No se puede fijar de ante mano la posición de las fuentes sonoras equivalentes, debido al gran número de configuraciones que un emplazamiento industrial puede tener. Por lo general, se aplicarán buenas prácticas.

2.4.2. NIVEL DE POTENCIA ACÚSTICA

Según lo establecido en el apéndice H de la Orden PCI/1319/2018, como las fuentes de ruido industrial son extremadamente específicas en cada zona industrial, los valores adecuados se obtienen de las bases de datos locales, nacionales o internacionales, o a partir de mediciones, según proceda.

Por ello, el dato de potencia acústica se obtendrá, **siempre que sea posible**, de las **fichas de especificaciones técnicas del foco industrial objeto de estudio**.

Cuando esto no resulte posible y se trate de una instalación ya en funcionamiento, se procederá a caracterizar el foco industrial mediante **ensayos “in situ”**, obteniendo datos de nivel de presión sonora en bandas de 1/3 de octava. Una vez obtenidos dichos datos, **se introducirán en el software de simulación y se procederá a calcular la potencia acústica del foco mediante métodos de ingeniería inversa** basados en el nivel de presión sonora obtenido mediante ensayos “in situ”.

Por otro lado, para la elaboración de los **mapas de ruido industrial de los MER de aglomeraciones**, se podrá recurrir a **datos recogidos en los informes de los Planes de Vigilancia Ambiental (PVA) en explotación de las actividades sometidas a Evaluación Ambiental (EA) o a Autorización Ambiental Integrada (AAI)**. En aquellas actividades sometidas a EA o AAI, en las cuales el ruido se considere un factor ambiental relevante, se suelen establecer PVAs que contemplan la realización de campañas de control del ruido de periodicidad, mínimo, anual, por lo que, para la realización de MER de aglomeraciones, se recomienda recopilar los informes derivados de los PVA de dichas instalaciones con el fin de poder alimentar el modelo mediante métodos de ingeniería inversa basados en los datos de los ensayos llevados a cabo dentro de dichos PVAs.

Cuando ninguna de las dos opciones anteriores resulte posible, se recurrirá a **bibliografía existente o a datos de fuentes similares**, por ejemplo, misma máquina de distintos fabricantes.

En cualquier caso, **en la memoria del MER se deberá especificar el origen de los datos de potencia utilizados**.

2.4.3. TIEMPO Y HORARIO DE FUNCIONAMIENTO

Para el cálculo de los niveles de ruido de los focos industriales, se deberá considerar la **situación promedio anual**.

Para ello, **se considerarán las horas que el foco de ruido industrial se encuentra en funcionamiento** en cada uno de los **periodos de evaluación** (día, tarde y noche) y en el **promedio anual**, en el caso de focos que no funcionen de manera homogénea durante todos los días del año.

2.4.4. UBICACIÓN DE LA FUENTE

Se definirá correctamente la ubicación de la fuente, tanto en sus **coordenadas X e Y**, como en altura (**coordenada Z**).

2.4.5. TIPO DE FUENTE

Como se ha mencionado anteriormente, existen tres tipos de fuentes: Puntos, líneas y áreas.

Para establecer qué tipo de fuente emplear en cada caso, se recurrirá a las **recomendaciones mencionadas en el apartado “Clasificación de los tipos de fuentes”**.

Como norma general, cualquier **fente industrial que no tenga grandes dimensiones** o que se encuentre a una elevada distancia de los receptores más cercanos, **se simulará como fuente puntual** (bombas, unidades exteriores de aire acondicionado, válvulas, ventiladores, soplantes, etc.).

Las **fuentes lineales** estarán orientadas a aquellos focos de ruido que tienen una morfología claramente lineal como tuberías, cintas transportadoras, oleoductos, etc.

También se emplearán **fuentes lineales para la representación de vehículos en movimiento**, como puede ser el caso de circuitos de karts, motocross, etc. En este caso se considerará la potencia acústica de los vehículos como fuentes puntuales, la velocidad a la que circulan los mismos y el número de vehículos que circulan por dicha línea durante los diferentes periodos de evaluación (día, tarde y noche).

Las fuentes de tipo área, ya sean **horizontales o verticales**, estarán orientadas a la simulación de grandes focos industriales como pueden ser naves industriales, grandes calderas de combustión industrial, etc.

2.4.6. DIRECTIVIDAD DE LA FUENTE

La directividad de la fuente está estrechamente relacionada con la posición de la fuente sonora equivalente próxima a las superficies cercanas.

Para **fuentes puntuales** se definirá la directividad como una función de tres coordenadas ortogonales (x, y, z).

Para **fuentes lineales** la directividad se definirá como una función de dos coordenadas ortogonales en el eje de la línea de la fuente.

Habida cuenta de que el método de propagación tiene en cuenta la superficie cercana y la absorción sonora, es necesario definir correctamente la ubicación de las superficies cercanas. En general, se distinguen dos casos:

- Se considera un nivel de potencia sonora y una directividad obtenidos a partir de una situación real de una determinada fuente cuando esta se encuentra al aire libre (excluido el efecto del terreno). Esto está en consonancia con las definiciones establecidas para la propagación, siempre que se suponga que no hay ninguna superficie cercana a menos de 0,01 m de la fuente y si se incluyen las superficies a 0,01 m o más en el cálculo de la propagación.
- Se considera un nivel de potencia sonora y una directividad obtenidos a partir de una situación real de una determinada fuente cuando esta se sitúa en una ubicación específica y, por tanto, el nivel de potencia sonora de la fuente y la directividad son "equivalentes a los de la fuente real", ya que incluye la modelización del efecto de las superficies cercanas. Se define en el "campo semilibre", en función de las definiciones establecidas para la propagación. En este caso, las superficies cercanas modelizadas deberán excluirse del cálculo de la propagación.

2.5. AGLOMERACIONES

En cualquier aglomeración se pueden encontrar cualquiera de los tres focos de ruido descritos anteriormente:

- Tráfico viario
- Tráfico ferroviario
- Focos de ruido industrial

Además, las aglomeraciones urbanas **pueden estar también afectadas por ruido aéreo**, ya sea de grandes aeropuertos afectados por la END, en cuyo caso se dispondrá

de su propio MER, como de otros tipos de aeródromos que no alcancen los umbrales establecidos en la END.

Para la correcta definición de los focos de ruido contenidos en cualquier aglomeración, se atenderá a los criterios definidos para cualquiera de los focos de ruido descritos en la presente guía de manera individual.

2.6. FUENTES DE RUIDO AERONÁUTICO

En este apartado se describen de forma genérica las fuentes de ruido aeronáutico. Lo indicado en este apartado, así como otros apartados de esta guía relativos al ruido aeronáutico, no sustituye a los estudios y criterios más específicos que ha realizado e implementado la Autoridad Competente de grandes aeropuertos, con el fin de adaptar la aplicación del método de cálculo CNOSSOS-EU a sus particularidades.

2.6.1. NOCIONES BÁSICAS

El ruido aeronáutico es el **sonido no deseado generado por las operaciones de las aeronaves**, incluyendo despegues, aterrizajes, rodajes y maniobras en vuelo. Este ruido puede afectar significativamente a las comunidades cercanas a los aeropuertos, impactando en la salud y el bienestar de las personas.

En el contexto de los **Mapas Estratégicos de Ruido**, se analiza principalmente el ruido generado en los grandes aeropuertos con más de **50.000 operaciones anuales**, concentrándose los estudios en el **entorno aeroportuario civil**.

El **Documento 29 de la Conferencia Europea de Aviación Civil (ECAC)** es la referencia estándar en Europa para el cálculo y modelado del ruido aeronáutico. En su cuarta edición, proporciona un marco metodológico detallado que incluye procedimientos estandarizados para la evaluación y predicción del ruido, considerando variables como las características de las aeronaves, los perfiles de vuelo y las condiciones operativas.

2.6.2. FACTORES DETERMINANTES DEL RUIDO AERONÁUTICO

El ruido generado por las aeronaves es el resultado de múltiples factores que influyen en su emisión y propagación. Comprender estos factores es esencial para el modelado preciso y la gestión efectiva del ruido aeronáutico. Algunos de estos factores se describen a continuación. Asimismo, en el apartado 2.6.5 se describe el proceso de generación de un mapa de ruido aeronáutico, con especial atención a la definición del escenario de cálculo.

2.6.2.1. TIPOS DE AERONAVE Y CONFIGURACIÓN OPERATIVA

Los niveles de ruido generados por una aeronave dependen de sus características técnicas, como el tipo de motor, la configuración aerodinámica (flaps, tren de aterrizaje), y el peso. Las aeronaves modernas suelen tener motores más silenciosos y diseños optimizados para reducir el consumo y la emisión de ruido, mientras que las aeronaves más antiguas tienden a ser más ruidosas.

Habitualmente se dispondrá de códigos identificativos de cada aeronave, como puede ser el ICAO24, y de códigos que permiten relacionar las aeronaves con las bases de datos de ruido aeronáutico como ANP (Aircraft Noise and Performance) o ANC (Aircraft Noise Certificate).

También puede ser útil la consulta del Doc 8643 - Aircraft Type Designators, que es un documento publicado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) que proporciona designadores estandarizados para los distintos tipos de aeronaves utilizadas comúnmente en los servicios de tránsito aéreo (ATS). Estos designadores son códigos cortos y reconocidos internacionalmente que identifican el modelo específico de una aeronave, facilitando así la comunicación, la coordinación y el intercambio de información entre las distintas dependencias de control del tráfico aéreo y los sistemas automatizados de gestión.

En determinados contextos, como en estudios preliminares, de alternativas o en análisis que no requieran un alto grado de precisión, es posible emplear el **código de referencia aeroportuario de la Convención de Aviación Civil Internacional (OACI)** como una herramienta de simplificación para categorizar aeronaves en grupos con comportamientos acústicos aproximados. Aunque este sistema no está diseñado específicamente para fines acústicos, puede servir como una **metodología de análisis rápido**.

El **código de referencia aeroportuario** de la OACI es un sistema de clasificación que permite identificar las características mínimas necesarias en un aeropuerto para dar cabida a diferentes tipos de aeronaves. Este código es una combinación de un número y una letra que describe dos aspectos clave de las aeronaves: **longitud de pista necesaria para el despegue** y **dimensiones físicas de la aeronave** (específicamente la envergadura y el tren de aterrizaje).

Estructura del código de referencia aeroportuario

1. **Número (1, 2, 3 o 4)**: Indica la **longitud de campo de referencia** en metros, es decir, la longitud mínima de pista que una aeronave necesita para despegar en condiciones estándar a nivel del mar.
 - **1**: Longitud de pista menor a 800 metros
 - **2**: Longitud de pista entre 800 y 1.200 metros
 - **3**: Longitud de pista entre 1.200 y 1.800 metros
 - **4**: Longitud de pista mayor a 1.800 metros
2. **Letra (A, B, C, D, E o F)**: Representa las dimensiones físicas de la aeronave, con dos criterios:
 - **Envergadura**: Es la distancia de punta a punta de las alas
 - **Distancia externa del tren de aterrizaje principal**: La separación entre las ruedas de soporte de la aeronave

Las letras se asignan así:

- **A**: Envergadura de hasta 15 metros y tren de hasta 4.5 metros
- **B**: Envergadura de 15 a 24 metros y tren de hasta 6 metros
- **C**: Envergadura de 24 a 36 metros y tren de hasta 9 metros

- **D:** Envergadura de 36 a 52 metros y tren de hasta 9 metros
- **E:** Envergadura de 52 a 65 metros y tren de hasta 14 metros
- **F:** Envergadura de 65 a 80 metros y tren de hasta 16 metros

Así, un avión con un campo de referencia de 1.800 metros y una envergadura de hasta 36 metros tendría un código de **4C** (por ejemplo, Boeing 737-800 ó Airbus A320).

Si bien esta metodología no tiene una relación directa con las características acústicas, puede proporcionar una aproximación útil para diferenciar tipos de aeronaves en función de su tamaño y requerimientos operativos. En estudios preliminares, su aplicación puede ahorrar tiempo y recursos, permitiendo avanzar hacia análisis más detallados en etapas posteriores.

Sin embargo, en estudios donde la precisión acústica sea un requisito, es preferible utilizar herramientas y bases de datos diseñadas específicamente para este propósito, como la **base de datos Aircraft Noise and Performance (ANP)**, que incorpora relaciones ruido-potencia-distancia (NPD) y perfiles de rendimiento detallados. Estas herramientas ofrecen una mayor fiabilidad al considerar parámetros acústicos clave, como el tipo de motor y la certificación de tipo.

2.6.2.2. PROCEDIMIENTOS DE VUELO

Los tipos de procedimientos operativos desempeñan un papel importante en la generación y propagación del **ruido aeronáutico**, ya que determinan las **trayectorias y perfiles operativos** de las aeronaves durante las distintas fases del vuelo. En el **cartografiado estratégico de ruido**, se consideran específicamente las siguientes operaciones, tal como se detalla en el **Documento 29 de la ECAC**.

Habitualmente es el propio **software** el que ya relaciona automáticamente la **tasa de ascenso y la emisión de ruido**, proporcionando los **resultados de manera automática**. Los **perfiles de ascenso** utilizados en estos modelos son los disponibles en las herramientas de cálculo.

- **Despegue y ascenso inicial:** Incluye la carrera de despegue en la pista y la fase inicial de ascenso. Se evalúan los perfiles de potencia y configuración de la aeronave (uso de flaps, posición del tren de aterrizaje) y se consideran los procedimientos de reducción de ruido al despegue, que buscan minimizar el impacto acústico en las áreas cercanas al aeropuerto.
- **Ascenso en ruta:** Tras el ascenso inicial, las aeronaves siguen perfiles de ascenso en ruta que pueden variar según las restricciones de tráfico aéreo y las condiciones meteorológicas. Se modelan las rutas estándar de salida y se analiza cómo las variaciones en la tasa de ascenso y potencia afectan la emisión de ruido.
- **Crucero:** Aunque el ruido generado en esta fase tiene menos impacto en tierra debido a la altitud, se debe considerar en casos donde las rutas pasan sobre áreas sensibles a menor altitud, especialmente en aproximaciones escalonadas o circuítos de espera.
- **Descenso y aproximación:** Incluye las fases de descenso desde altitud de crucero hasta la aproximación final. Se tienen en cuenta los procedimientos de descenso continuo, que permiten a las aeronaves descender con mínima potencia, reduciendo así el ruido. También se analizan las configuraciones de la aeronave, como la extensión gradual de flaps y tren de aterrizaje.

- **Aproximación final y aterrizaje:** Se evalúa el impacto acústico durante la fase final de aproximación y el aterrizaje, incluyendo el uso de empuje inverso y sistemas de frenado.
- **Rodaje y operaciones en tierra:** El ruido generado durante el rodaje hacia y desde las pistas, el uso de unidades de potencia auxiliar y las pruebas de motores en tierra se pueden incluir en el modelado, ya que contribuyen al nivel de ruido percibido en las inmediaciones del aeropuerto.
- **Operaciones nocturnas y restricciones horarias:** Las operaciones durante períodos nocturnos suelen estar sujetas a restricciones más estrictas debido a la mayor sensibilidad al ruido. Se incluyen en el cartografiado las limitaciones operativas y procedimientos especiales implementados para reducir el impacto acústico en horas de descanso.

2.6.2.3. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Las condiciones atmosféricas, como el viento, la temperatura, la humedad y la presión, influyen en la propagación del sonido. El viento puede transportar o desviar las ondas sonoras, aumentando o disminuyendo el nivel de ruido percibido en determinadas áreas. La temperatura y la humedad afectan la absorción atmosférica del sonido, alterando su alcance e intensidad.

Los modelos de ruido aeronáutico deben considerar estas variables meteorológicas para proporcionar estimaciones precisas del impacto acústico en diferentes condiciones climáticas. Al menos, en el cartografiado estratégico, se deben considerar las condiciones medias anuales, para lo que se recomienda recopilar datos de series de un mínimo de 10 años consecutivos.

2.6.3. FUENTES DE DATOS

Las fuentes de datos para la realización de estudios de ruido aeronáutico son varias.

2.6.3.1. BASES DE DATOS Y REGISTROS DEL AERÓDROMO

Cada aeropuerto o aeródromo suele disponer de una base de datos, habitualmente gestionada por entidades y organismos de control de tráfico aéreo, que registra las operaciones y actividades aéreas realizadas en sus instalaciones. Estas bases de datos son esenciales para la planificación operativa, el análisis ambiental y la gestión del tráfico aéreo, y suelen contener información detallada sobre cada vuelo, incluyendo el número de vuelo, horario de salida y llegada, tipo de aeronave, aerolínea, pista utilizada, y la fase de operación (despegue, aterrizaje o tránsito).

Además, estas bases de datos también incluyen las trayectorias de las aeronaves, que registran posiciones en términos de latitud, longitud y altitud en intervalos temporales. Esta información es útil para modelar el impacto de las operaciones, especialmente en el ámbito acústico.

2.6.3.2. DOCUMENTOS AIP²

La Publicación de Información Aeronáutica (AIP) es el manual básico de información aeronáutica.

Contiene la información de carácter permanente y cambios temporales de larga duración, su utilización es esencial para la navegación aérea y las operaciones aeroportuarias. Se divide en tres partes:

- **Generalidades (GEN):** consta de cinco secciones que contienen información de carácter administrativo y explicativo.
- **En ruta (ENR):** consta de siete secciones que contienen información relativa al espacio aéreo y su utilización: procedimientos y normas ATS, descripción del espacio aéreo, etc.
- **Aeródromos (AD):** consta de cuatro secciones que contienen información relativa a los aeródromos/helipuertos del territorio español y su utilización: datos geográficos y administrativos, características físicas, cartografía asociada, etc.

Toda la información suministrada por la AIP se mantiene actualizada mediante enmiendas regulares, enmiendas AIRAC, suplementos y NOTAM.

2.6.3.3. SERVICIO DE INFORMACIÓN AERONÁUTICA (AIS) Y VISOR INSIGNIA

El **AIS (Aeronautical Information Service)** es un servicio esencial para garantizar la seguridad, eficiencia y regularidad de las operaciones aeronáuticas. Su función principal es proporcionar información actualizada, precisa y confiable a todos los usuarios del espacio aéreo, incluyendo pilotos, operadores y controladores. Este servicio es administrado por ENAIRE, el proveedor nacional de servicios de navegación aérea en España.

Entre la información que proporciona podemos encontrar:

- Publicaciones aeronáuticas oficiales: Elabora y mantiene actualizadas las publicaciones aeronáuticas, como el AIP (Publicación de Información Aeronáutica), los boletines NOTAM (Avisos a los aviadores) y las enmiendas.
- Suministro de datos esenciales: Proporciona información sobre aeropuertos, ayudas a la navegación, espacio aéreo, rutas, procedimientos y cualquier cambio relevante para las operaciones.
- Apoyo a la planificación de vuelos: Facilita herramientas y recursos que permiten a los pilotos y operadores planificar sus vuelos con base en la información más reciente.

Por su parte, **INSIGNIA (Plataforma Digital de ENAIRE)** es una plataforma digital desarrollada por ENAIRE que facilita el acceso rápido y eficiente a los servicios de información aeronáutica. Es una herramienta diseñada para adaptarse a las necesidades de los profesionales de la aviación, proporcionando acceso a datos

² <https://www.enaire.es/servicios/AIS/AIP>

aeronáuticos actualizados y permitiendo realizar consultas y trámites de manera digital. Ofrece los siguientes servicios:

- **Acceso centralizado:** Permite consultar información relacionada con vuelos, procedimientos, espacio aéreo y boletines aeronáuticos desde un único lugar.
- **Herramientas digitales avanzadas:** Proporciona funcionalidades como el acceso al **AIP digital**, la visualización de NOTAMs en tiempo real y herramientas de planificación.
- **Optimización del tiempo:** Simplifica los procesos operativos, facilitando la gestión y planificación de vuelos para pilotos y operadores.

INSIGNIA representa un avance en la digitalización de los servicios aeronáuticos, mejorando la accesibilidad y usabilidad de los datos para la aviación. Es una plataforma clave para cualquier profesional que requiera información aeronáutica confiable y actualizada.

2.6.3.4. SISTEMA WEBTRAK DE AENA

El sistema **WebTrak** es una herramienta interactiva implementada por Aena en varios aeropuertos españoles para proporcionar a los residentes de las áreas circundantes información detallada y transparente sobre las operaciones aeronáuticas y los niveles de ruido asociados. Este sistema permite a los usuarios visualizar en tiempo real las trayectorias de las aeronaves que despegan o aterrizan, así como consultar los niveles acústicos registrados por los terminales de monitorización de ruido instalados en las proximidades de los aeropuertos.

Características principales de WebTrak:

- **Visualización de trayectorias de vuelo:** Los usuarios pueden observar las rutas que siguen las aeronaves durante las operaciones de despegue y aterrizaje. Esta información se presenta con un desfase de 30 minutos. La consulta histórica está limitada a los 60 días previos a la fecha en que se realiza.
- **Datos detallados de las aeronaves:** La herramienta proporciona información como el número de vuelo, tipo de avión, altitud y trayectoria utilizada por cada aeronave.
- **Niveles de ruido asociados:** WebTrak muestra los niveles acústicos generados por las operaciones aéreas, facilitando la comprensión del impacto sonoro en las comunidades cercanas.
- **Consulta histórica:** Es posible acceder a datos históricos de hasta 60 días, lo que permite analizar patrones y tendencias en las operaciones y niveles de ruido.
- **Presentación de quejas:** La plataforma ofrece la opción de registrar quejas o reclamaciones relacionadas con el ruido de una aeronave específica, enviando directamente la información al aeropuerto correspondiente para su análisis.

Aeropuertos que disponen de WebTrak:

Actualmente, Aena ha implementado el sistema WebTrak en los siguientes aeropuertos:

- A.S. Madrid-Barajas
- Alicante-Elche
- Bilbao

- César Manrique-Lanzarote
- Fuerteventura
- Gran Canaria
- Ibiza
- Josep Tarradellas Barcelona-El Prat
- Málaga-Costa del Sol
- Palma de Mallorca
- Sevilla
- Tenerife Norte-Ciudad de La Laguna
- Tenerife Sur
- Valencia

2.6.3.5. BASES DE DATOS COOPERATIVAS Y LIBRES

Existen también opciones de datos abiertos, que puede ser de utilidad para determinados tipos de estudios, o para complementar cuando no existe suficiente información. Como ejemplo **OpenSky Network** y la **Open Performance Data Initiative (OPDI)** son iniciativas que recopilan y ponen a disposición datos relacionados con el tráfico aéreo, cada una con enfoques específicos pero complementarios en cuanto al análisis y monitoreo de operaciones aéreas.

Ambas ofrecen datos históricos valiosos sobre vuelos, pero se diferencian en el alcance y tipo de información que proporcionan.

OpenSky Network es una plataforma de código abierto diseñada para recopilar y poner a disposición datos detallados sobre el tráfico aéreo global. Utiliza tecnologías como ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast), Mode S y TCAS para obtener información directamente de las aeronaves. Su principal fortaleza radica en la capacidad de recopilar datos de posición y trayectoria de los vuelos, incluyendo registros precisos de latitud, longitud, altitud, velocidades y rumbo.

Estos datos permiten reconstruir trayectorias completas de las aeronaves, proporcionando una visión detallada de su comportamiento en el espacio aéreo.

Además, OpenSky almacena identificadores únicos de las aeronaves, como el código ICAO de 24 bits, junto con información asociada al número de vuelo y la aerolínea. Con datos históricos que se remontan a 2013, la plataforma ofrece un vasto archivo de información para análisis retrospectivos.

Por su parte, la **Open Performance Data Initiative (OPDI)** se centra en estructurar y estandarizar los datos relacionados con el rendimiento operativo de vuelos y aeropuertos. A diferencia de OpenSky, que proporciona principalmente datos de vigilancia aérea, OPDI organiza esta información en tablas temáticas que permiten un análisis más enfocado y detallado.

Por ejemplo, su tabla de vuelos (FLIGHT) incluye información básica sobre cada operación, como los aeropuertos de salida y llegada, identificadores únicos y duración del vuelo. También se registra información sobre eventos clave de los vuelos, como despegues, aterrizajes y sobrevuelo de puntos específicos, con marcas de tiempo precisas que permiten un seguimiento detallado de las operaciones.

Además, OPDI proporciona datos enriquecidos sobre trayectorias de vuelo, vinculándolos a posiciones geográficas y temporales para facilitar análisis sobre eficiencia y sostenibilidad.

Un aspecto destacado de OPDI es su integración de mediciones asociadas, como niveles de ruido y emisiones, a través de su tabla de medición (MEASUREMENT). Esto permite estudiar no solo la operación de las aeronaves, sino también su impacto ambiental, haciéndolo especialmente valioso para investigaciones sobre sostenibilidad.

También incluye datos sobre la infraestructura aeroportuaria, con detalles sobre aeropuertos y pistas que son fundamentales para evaluar la capacidad operativa y los desafíos logísticos.

Aunque ambas iniciativas se ocupan de datos históricos sobre vuelos, cada una tiene un enfoque distinto. OpenSky se especializa en el registro detallado y granular de mensajes de vigilancia aérea, ofreciendo datos técnicos en bruto que son esenciales para reconstruir trayectorias y analizar la operativa aérea en tiempo real o histórico. En cambio, OPDI organiza estos datos dentro de un marco más amplio y estructurado, incluyendo métricas de rendimiento y eventos asociados, lo que lo hace más accesible para estudios de sostenibilidad, eficiencia y planificación operativa. Ambas plataformas se complementan, ofreciendo herramientas imprescindibles para investigadores y profesionales que buscan analizar el tráfico aéreo, evaluar su impacto ambiental o mejorar la gestión de las operaciones aeronáuticas.

2.6.4. FUNDAMENTOS DE LAS BBDD DE RUIDO AERONÁUTICO

A continuación, se describen someramente las dos bases de datos de referencia en ruido aeronáutico, sin perjuicio de la existencia de otras fuentes de información, y bases de datos propias de los softwares de modelado acústico.

2.6.4.1. BASE DE DATOS SOBRE EL RUIDO Y EL RENDIMIENTO DE LAS AERONAVES (ANP)

La base de datos Aircraft Noise and Performance (ANP) es una herramienta fundamental para el modelado del ruido aeronáutico.

Deriva del mandato dado a la EASA, de conformidad con el artículo 7(3) del Reglamento (UE) n.º 598/2014, para recopilar, verificar y poner a disposición información sobre el ruido y el rendimiento de las aeronaves con fines de modelización del ruido.

Estos datos se utilizan para respaldar el cálculo de los contornos de ruido alrededor de los aeropuertos utilizando la metodología descrita en el documento 9911 de la OACI, el **documento 29 de la ECAC o el anexo II de la Directiva 2002/49/CE.**

Esta es, por tanto, la base de datos que fundamentalmente se utiliza en el cartografiado estratégico del ruido de entornos de los grandes aeropuertos definidos en la Directiva de Ruido Ambiental.

Esta base de datos contiene información detallada sobre las características acústicas y de rendimiento de una amplia variedad de aeronaves utilizadas en la aviación comercial.

La base de datos ANP incluye **las relaciones ruido-potencia-distancia (NPD)**, que describen cómo varía el nivel de ruido en función de la potencia del motor y la distancia al receptor. Estas relaciones se obtienen a partir de mediciones en condiciones controladas y se ajustan para reflejar las configuraciones operativas de las aeronaves durante las distintas fases del vuelo, como despegue, ascenso, crucero y aterrizaje.

Además de las relaciones NPD, la base de datos **ANP proporciona información sobre el rendimiento de las aeronaves, incluyendo el perfil de ascenso y descenso.**

En la práctica habitual, la **base de datos ANP** constituye la **primera referencia** para la **selección del modelo de aeronave** a emplear en modelización acústica. Si se presenta el caso de que un determinado modelo **no figura en la base de datos**, se pueden consultar esos modelos en la base de datos **ANP aircraft substitutions**.

Para llevar a cabo esta **sustitución**, se siguen criterios establecidos por **documentos de referencia de EASA**, comenzando por elegir un modelo con un **número y tipo de motores lo más similares posible**. En segundo lugar, se considera el **tamaño y el peso máximo al despegue** a la hora de determinar la aeronave sustituta.

Finalmente, se asigna un **factor de corrección (FC)** que representa la **configuración de avión más ruidosa** para cada pareja **OACI/ANP**, tanto en operaciones de **despegue** como de **aterrizaje**. Este factor resulta imprescindible para asegurar la **coherencia y precisión en la modelización acústica** cuando se efectúa la sustitución.

2.6.4.2. BASE DE DATOS DE CERTIFICACIONES ACÚSTICAS DE AERONAVES (ANC)

El **Apéndice 2** del **Anexo 16** de la **ICAO, Volumen I** se centra en los **métodos de certificación de ruido para aeronaves**. Específicamente, describe los procedimientos y los estándares necesarios para evaluar el nivel de ruido de las aeronaves y determinar si cumplen con los límites establecidos para la certificación de ruido. Este apéndice incluye:

1. **Puntos de medición:** especifica las posiciones de las áreas donde se mide el ruido en relación con la trayectoria de vuelo.
2. **Requisitos de instrumentación:** define los equipos y sus características para registrar el ruido de manera precisa y estandarizada.
3. **Condiciones de operación:** establece las condiciones de operación de la aeronave durante las pruebas, como el peso, la velocidad, y el ángulo de ascenso o descenso, entre otros parámetros específicos.
4. **Procedimientos de cálculo y evaluación:** explica los métodos para calcular el nivel de ruido efectivo de las aeronaves y cómo estos datos se deben presentar para la certificación.

El objetivo del Apéndice 2 es asegurar que todas las aeronaves certificadas cumplan con un estándar mínimo de ruido, lo cual ayuda a controlar y reducir la contaminación acústica en las áreas cercanas a los aeropuertos.

La **Agencia Europea para la Seguridad Aérea (EASA)** proporciona, a partir de las citadas certificaciones, una **base de datos detallada, denominada "Aircraft Noise**

Certificate Database” (ANC) de los niveles de ruido certificados para diversas aeronaves.

La ANC contiene información de cada tipo de aeronave, y sus modificaciones, para tres tipos de mediciones:

Medición Lateral (Despegue)

- La medición lateral se realiza a 450 metros a cada lado de la trayectoria de despegue de la aeronave, a la altitud de la pista.
- Durante el despegue, los motores están operando a alta potencia, lo que genera un nivel de ruido significativo. La medición lateral permite evaluar el impacto de este ruido en los laterales de la pista, donde normalmente hay áreas residenciales cercanas.

Medición de Flyover (Sobrevuelo)

- La medición se realiza en un punto directamente debajo de la trayectoria de la aeronave cuando vuela a una altitud específica (habitualmente 300 metros, equivalentes a 1,000 pies), y a una distancia del punto de despegue de 6.500 metros.
- El flyover es relevante para evaluar el ruido percibido en áreas directamente bajo la ruta de vuelo, donde la aeronave está en pleno ascenso. Este punto es importante porque el ruido puede extenderse a áreas pobladas durante el ascenso inicial.

Medición de Approach (Aproximación)

- La medición se realiza en un punto directamente debajo de la aeronave mientras está en descenso para aterrizar, a una altitud de 120 metros, y unos 2.000 metros antes del punto de aterrizaje.
- Durante el aterrizaje, el ruido es distinto al del despegue porque los motores funcionan a una potencia reducida y la configuración de los flaps y tren de aterrizaje genera ruido adicional. Esta fase es importante para evaluar el impacto en comunidades cercanas al aeropuerto que se ven afectadas por el ruido de aproximación.

La información está disponible para aeronaves ligeras, pesadas, jets y helicópteros.

Los valores de ruido que ofrece la ANC están expresados en ENPdB. La unidad **ENPdB** no debe confundirse con **nivel de emisión de potencia sonora (Lw)**. Es la unidad de medición del nivel de ruido percibido ajustado (Effective Perceived Noise Level / EPNL).

El EPNL representa el **nivel de ruido percibido** en puntos específicos alrededor de la trayectoria de vuelo de una aeronave, y están ajustados para reflejar la percepción humana del ruido en lugar de la energía sonora total emitida. No representa la emisión total de energía acústica, sino el nivel de ruido que sería "percibido" en esos puntos.

Teóricamente es posible derivar el nivel de potencia acústica (Lw), que se expresaría en dB a partir del nivel de ruido percibido (EPNL), expresado en ENPdB, aunque para obtener un valor de Lw fiable a partir de EPNL, se debe recurrir a modelos complejos de

propagación y disponer de acceso a datos específicos sobre la distancia de medición y las características de dispersión del sonido de la aeronave en cada fase.

2.6.5. PROCESO PARA GENERAR UN MAPA DE RUIDO AERONÁUTICO

2.6.5.1. DEFINICIÓN DEL ESCENARIO DE CÁLCULO

En el proceso de elaboración del mapa de ruido aeronáutico es necesario definir con claridad el escenario de cálculo, ya que este determina las condiciones bajo las cuales se estimarán los niveles de ruido.

La elección del escenario adecuado permite reflejar con mayor precisión la situación acústica del aeropuerto a lo largo del año, considerando su estacionalidad y variabilidad operacional. De acuerdo con las recomendaciones del Doc 9911, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Escenario de cálculo. Número de operaciones:** Se seleccionará un “día medio” representativo del total anual de operaciones, evitando así la sobreestimación o subestimación del ruido. Esto resulta especialmente importante en aeropuertos con marcada estacionalidad (como Palma de Mallorca o Málaga), en contraste con otros más constantes en su distribución operativa (Madrid, Barcelona, Valencia).
- **Tipo de Aeropuerto (no estacional/estacional):** La naturaleza estacional del aeropuerto influye directamente en la elección del escenario de cálculo. En aeropuertos con tráfico turístico concentrado en determinados periodos del año, es imprescindible que el escenario refleje el promedio operativo global y no sólo un periodo pico o valle.
- **Tipo de aeronave:** Se deben incluir las aeronaves más representativas del aeropuerto, considerando su peso, potencia, características acústicas y frecuencia de operación.
- **Volumen de despegues y aterrizajes, en total y durante períodos específicos:** El escenario debe contemplar el número total de operaciones diarias, así como su distribución horaria (día, tarde, noche), pues el impacto acústico varía según el momento del día.
- **Periodo del día en que se llevan a cabo las operaciones aeronáuticas:** Es necesario diferenciar el ruido producido durante las distintas franjas horarias, dado que el impacto en la comunidad puede percibirse de forma distinta en función del horario.
- **Pista/s empleada/s:** La selección de las pistas utilizadas para despegues y aterrizajes afecta directamente las trayectorias y, por ende, la distribución espacial del ruido.
- **Trayectorias reales de vuelo que se utilizan:** Es fundamental considerar las trayectorias operacionales reales para reflejar fielmente las condiciones locales, incluyendo las desviaciones por meteorología, control de tráfico aéreo u otros factores.
- **Meteorológicas predominantes:** Las condiciones climatológicas (viento, temperatura, humedad, presión atmosférica) influyen en el rendimiento acústico de las aeronaves y deben ser incorporadas en el escenario de cálculo.
- **Topografía del aeropuerto y del área circundante:** La orografía y los elementos que rodean al aeropuerto modulan la propagación del ruido. Por

ello, el escenario debe incluir la topografía local para obtener resultados más realistas.

- **Procedimientos operacionales utilizados:** Las maniobras de aproximación, despegue, rodaje, asimetrías operativas y rutas preferenciales afectan la distribución del ruido. Incorporar los procedimientos establecidos, operaciones nocturnas, operaciones restringidas, etc. garantiza un escenario de cálculo coherente con la práctica operativa.

2.6.5.2. RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE DATOS

De acuerdo con el Documento ECAC-CEAC Doc 29, el primer paso para generar un mapa de ruido aeroportuario es la recopilación de datos precisos sobre las operaciones de vuelo. Esto incluye:

- **Datos de movimientos de aeronaves:** Información detallada sobre los tipos de aeronaves, las trayectorias de vuelo, el peso y la configuración durante las distintas fases del vuelo. Estos datos se obtienen de registros operativos y de sistemas de radar.
- **Condiciones operativas del aeropuerto:** Incluyen la ubicación geográfica, la altitud, las características de las pistas (longitud, orientación) y las condiciones meteorológicas (temperatura, viento, humedad). También las restricciones operativas en pistas, periodos del año, horarios, rutas, etc.
- **Datos de rendimiento acústico (ANP):** Los datos de la base ANP proporcionan las relaciones NPD específicas para cada tipo de aeronave, que son fundamentales para calcular el nivel de ruido emitido.

2.6.5.3. MODELADO DE TRAYECTORIAS DE VUELO Y SEGMENTACIÓN

- **Segmentación de la trayectoria:** Según el Documento 29, la trayectoria de vuelo se divide en segmentos para facilitar el cálculo del ruido. Cada segmento se caracteriza por una altitud, velocidad y configuración específicas. Esta segmentación permite evaluar con precisión la contribución al ruido de cada fase del vuelo.
- **Trayectorias en 3D:** La combinación de la trayectoria en tierra y el perfil vertical del vuelo permite crear una representación tridimensional del recorrido de la aeronave.
- **Dispersiones verticales y lateral:** Las dispersiones de las trayectorias se modelan para representar la variabilidad en las operaciones reales, debido a factores como las condiciones meteorológicas y el control del tráfico aéreo.

2.6.5.4. CÁLCULO DEL NIVEL DE RUIDO PARA CADA SEGMENTO

- **Aplicación de la relación NPD:** Para cada segmento de la trayectoria, se utiliza la relación ruido-potencia-distancia (NPD) para calcular el nivel de ruido emitido. Esta relación depende de la potencia del motor y la distancia entre la aeronave y el punto receptor. El Documento 29 describe cómo ajustar estos cálculos en función de las condiciones locales, como la presión atmosférica y la temperatura.
- **Ajustes por condiciones locales:** Los niveles de ruido se ajustan considerando factores como la absorción atmosférica, la temperatura y las características topográficas. Estos ajustes son fundamentales para que el modelo refleje con precisión las condiciones reales del entorno.

- **Integración del ruido total:** El nivel total de ruido en un punto específico se calcula sumando las contribuciones de ruido de todos los segmentos que influyen en ese punto. Este cálculo se realiza para cada punto de una malla de observación que cubre el área de estudio.

2.6.5.5. GENERACIÓN DE ISÓFONAS

- **Creación de mapas de ruido:** A partir de los niveles de ruido calculados en cada punto de la malla, se generan las isófonas, que son líneas que conectan puntos con el mismo nivel de ruido. Estas curvas permiten visualizar el impacto del ruido en las áreas circundantes al aeropuerto y son utilizadas para la planificación y la gestión del impacto acústico.
- **Consideración de distintos períodos:** Los mapas de ruido se generan para diferentes períodos del día (día, tarde, noche) para reflejar la variabilidad en la exposición al ruido. Esto permite identificar las horas más críticas y planificar medidas específicas para reducir el impacto en esos momentos.

2.6.5.6. VALIDACIÓN Y AJUSTE DEL MODELO

- **Comparación con mediciones reales:** Una vez generado el mapa de ruido, se puede validar comparando los resultados del modelo con mediciones reales tomadas en puntos estratégicos alrededor del aeropuerto.
- Sin embargo, desde el punto de vista aeronáutico, no es sencillo ni plenamente adecuado comparar directamente las mediciones con las simulaciones. Este tipo de análisis comparativo implica que las mediciones cumplan con los mismos requisitos y condiciones del escenario de cálculo utilizado en el modelo, lo cual resulta complejo.
- Entre las variables a considerar se incluyen la utilización del mismo escenario de cálculo, la disponibilidad de monitores registrando datos las 24 horas, así como la adecuada identificación y correlación de los eventos de ruido atribuibles a operaciones aeronáuticas. Estas consideraciones permiten ajustar el modelo para mejorar su precisión y asegurar una evaluación más fiable del impacto acústico real.
- **Ajustes para escenarios futuros:** El modelo puede ajustarse para incorporar cambios previstos en la operación del aeropuerto, como aumentos en el tráfico aéreo o la introducción de nuevas rutas. Esto permite evaluar el impacto del ruido en diferentes escenarios y planificar medidas de mitigación proactivas.

2.6.5.7. PRESENTACIÓN DEL MAPA DE RUIDO Y CONCLUSIONES

- **Mapa final:** El mapa de ruido final se presenta en formato gráfico, mostrando las isófonas superpuestas en un mapa geográfico del área de influencia del aeropuerto. Este mapa identifica claramente las zonas afectadas por diferentes niveles de ruido y permite a las autoridades y planificadores tomar decisiones informadas.
- **Recomendaciones y Plan de Acción:** A partir de los resultados del mapa de ruido, se proponen recomendaciones para reducir el impacto del ruido, como ajustes en las rutas de vuelo, restricciones horarias y mejoras en la infraestructura del aeropuerto. También se identifican áreas donde podrían implementarse medidas específicas, como la insonorización de edificios residenciales.

3. CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO ACÚSTICO

3. CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO ACÚSTICO

3.1. PERIODOS DE EVALUACIÓN

Será necesario definir el régimen de funcionamiento de las fuentes en los diferentes periodos de evaluación:

Tabla 8: Definición de los diferentes periodos de evaluación

Periodos de evaluación	Horario
Día	De 07:00 h a 19:00 h
Tarde	De 19:00 h a 23:00 h
Noche	De 23:00 h a 07:00 h

3.2. DEFINICIÓN DE ÁREAS DE CÁLCULO

3.2.1. AGLOMERACIONES

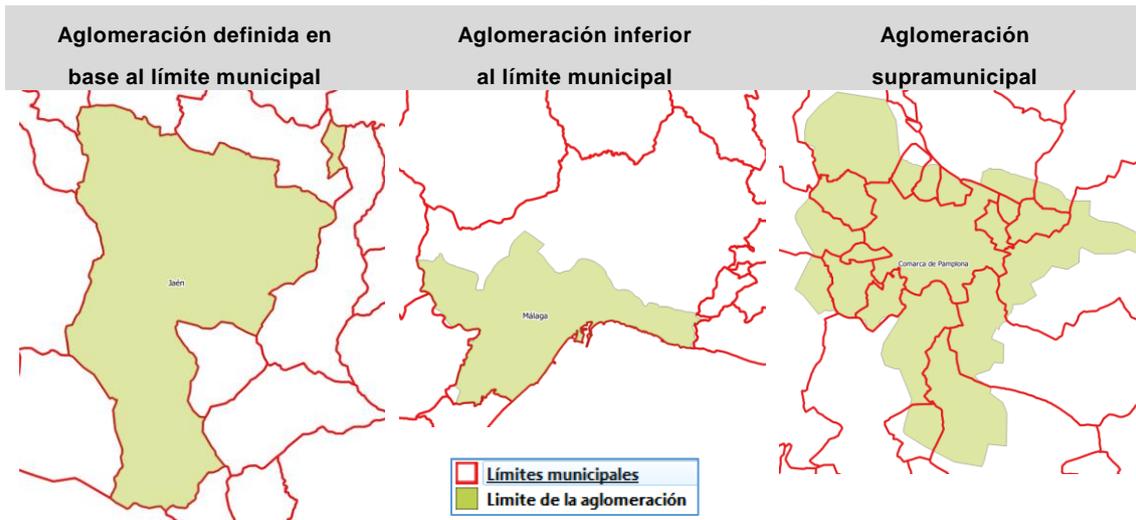
Los **criterios para delimitación de aglomeraciones** son los indicados en el **Anexo VII del Real Decreto 1513/2005**, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

Como se indica en el Anexo VII.1.a, **la entidad territorial básica sobre la que se definirá una aglomeración será el municipio**. No obstante, **el ámbito territorial de la aglomeración podrá ser inferior al del municipio**, por aplicación de los siguientes criterios:

- Se considerarán todos aquellos sectores del territorio cuya densidad de población sea igual o superior a 3.000 personas/km².
- Para la estimación de la densidad de población se utilizarán preferentemente los datos de población y extensión territorial de las correspondientes secciones censales.
- Si existen dos o más sectores del territorio en los que, además de verificarse la condición del punto anterior, se verifica que la distancia horizontal entre sus dos puntos más próximos sea igual o inferior a 500 m. Es decir, aquellas secciones censales cuya densidad de población sea igual o superior a 3.000 personas/km² pero que se encuentren a una distancia superior a 500 m de otra sección censal que también cumpla dicha característica, no tienen por qué estar incluidas dentro de la delimitación de la aglomeración.
- La suma de los habitantes comprendidos en los sectores del territorio que cumplen con los requisitos de los puntos anteriores deberá ser mayor a 100.000 habitantes para constituir una aglomeración.
- El ámbito territorial de una aglomeración se delimitará trazando la línea poligonal cerrada que comprende a todos los sectores del territorio que cumplan los criterios anteriores.

Adicionalmente, pueden definirse **aglomeraciones supramunicipales**, cuando se cumplan los criterios indicados en el Anexo VII del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre.

Tabla 9: Ejemplo de casos de delimitación de aglomeraciones



A los efectos de la obligación de elaborar MER, **se tendrá en cuenta única y exclusivamente el número de habitantes que integran la aglomeración**. Este número será el de los habitantes de derecho con arreglo al último censo realizado antes del año en que corresponda la comunicación al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) de la relación de las aglomeraciones sobre las que deben realizarse este tipo de mapas.

En las zonas en las que se produzcan variaciones estacionales de importancia que hagan aconsejable tener en cuenta la población transeúnte con objeto de mejorar la protección de la población, la comunidad autónoma competente podrá incluir esta aglomeración urbana dentro de la relación, teniendo en cuenta la población de hecho o cualquier método por el que se valore la población transeúnte (incremento del consumo de agua, incremento en la tasa de generación de residuos, etc.), advirtiendo esta circunstancia que será tenida en cuenta para la confección del MER correspondiente.

El tamaño, **en número de habitantes**, de la aglomeración será la **suma total de los habitantes comprendidos en los sectores del territorio que constituyen la aglomeración**, por aplicación de los criterios descritos anteriormente.

Para establecer el área de cálculo de una aglomeración, resulta imprescindible abordar la definición de **dos conceptos**:

- **Área de cálculo.** Coincidirá con el límite de la aglomeración, de manera que se calculen niveles de ruido en todos los puntos contenidos dentro de la aglomeración, así como población expuesta en todos aquellos edificios contenidos dentro de los límites de la misma.
- **Área de proyecto.** El área de proyecto será superior al área de cálculo con el fin de contemplar todos aquellos focos de ruido que, aun quedando fuera de los límites de la aglomeración, los niveles de ruido generados por los mismos puedan suponer una afección dentro de los límites de la aglomeración.

A efectos de elaboración del MER, **es recomendable definir un área de proyecto ligeramente más amplia que el área de cálculo**, con el fin de incluir focos de ruido que, aun quedando fuera del ámbito de la aglomeración definido según los criterios expuestos con anterioridad, pueden tener una influencia en los niveles de ruido existentes o previstos dentro del ámbito de la aglomeración.

En estos casos, una vez delimitado correctamente el ámbito de la aglomeración, **se recomienda generar un buffer en torno a la misma con una distancia que será variable en función del tipo de foco de ruido próximo al límite de la aglomeración** y que pueda tener una influencia sobre la misma.

Dicha distancia dependerá, en el caso de los ejes viarios y ferroviarios, del tráfico que discurra por los mismos, por lo que **se empleará como base para establecer dicha distancia, los criterios recogidos en los apartados de la presente guía relativos a la delimitación del área de cálculo** para ejes viarios y ferroviarios.

A continuación, se recoge una imagen donde se puede ver claramente la diferencia entre el área de proyecto y el área de cálculo:

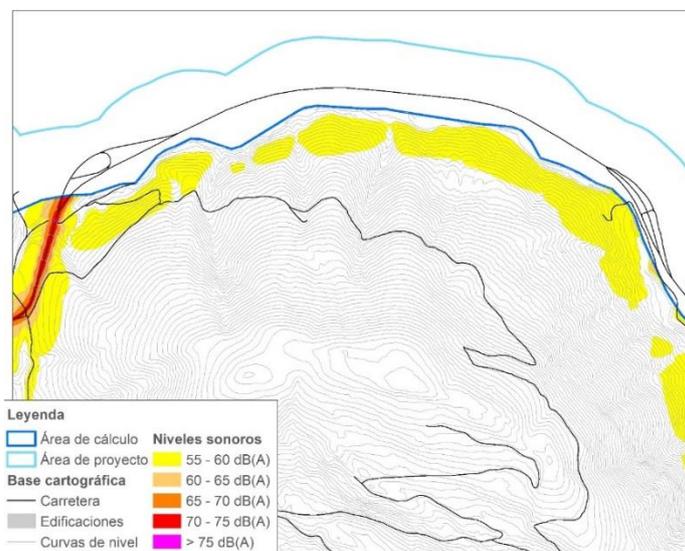


Ilustración 7: Diferencia entre área de cálculo y área de proyecto

Como se puede observar en la imagen anterior, existe una carretera muy próxima al límite de la aglomeración que, aunque no queda dentro de la aglomeración, los niveles de ruido ocasionados por la carretera sí producen una afección dentro del perímetro de la aglomeración, ya que dicha carretera sí se encuentra contemplada dentro del área de proyecto definida.

3.2.2. EJES VIARIOS

El área de cálculo de un eje viario **dependerá de la cantidad de tráfico que discurra por el mismo**, es decir de su Intensidad Media Diaria (IMD). **A mayor IMD**, más altos serán los niveles de ruido ocasionados por la circulación y, por tanto, **más amplia deberá ser el área de cálculo** a considerar.

Además de la IMD del eje viario objeto de estudio, **también influirán otros factores como son la presencia de obstáculos a la propagación del sonido** (edificios, pantallas, etc.) **o lo abrupto que resulte el terreno** por el que discurre dicho eje viario, así como la **velocidad a la que discurran los vehículos** y la **tipología de vehículos** que discurran por el mismo.

Cuanto más abrupto sea el terreno y mayor sea la presencia de obstáculos, menor propagación del sonido y, por tanto, menor área de cálculo será necesario considerar.



Ilustración 8: Diferencia entre un mismo modelo calculado con obstáculos (imagen de la izquierda) y sin ellos (imagen de la derecha)

Por tanto, en la definición del área de cálculo de una infraestructura viaria influirán, principalmente, 5 factores:

- **IMD** del eje viario objeto de estudio.
- **Velocidad** de los vehículos que circulan por ella.
- **Tipología de los vehículos** que circulan por ella.
- **Obstáculos** presentes en las proximidades del eje viario.
- **Modelo Digital del Terreno**.

No obstante, **el factor más importante a la hora de delimitar el área de cálculo de un eje viario será la IMD**, por lo que, en la siguiente tabla, a modo orientativo, se establecen distintos radios de área de cálculo (buffer) que podrían ser considerados para definir un área de cálculo promedio de un eje viario según la IMD total del mismo (incluyendo todos los sentidos del eje analizado):

Tabla 10: Áreas de cálculo orientativas para ejes viarios en función de su IMD

IMD	Radio del área de cálculo en torno al eje viario (metros)
< 5.000	500
5.000 – 10.000	800
10.000 – 20.000	1.100
20.000 – 40.000	1.400
40.000 – 80.000	1.600
80.000 – 160.000	1.800
160.000 – 300.000	≥ 2.000

Las distancias recogidas en la tabla anterior han sido calculadas considerando una baja presencia de obstáculos. Dichas distancias podrían reducirse en caso de ejes viarios que discurren, por ejemplo, en zonas densamente edificadas.

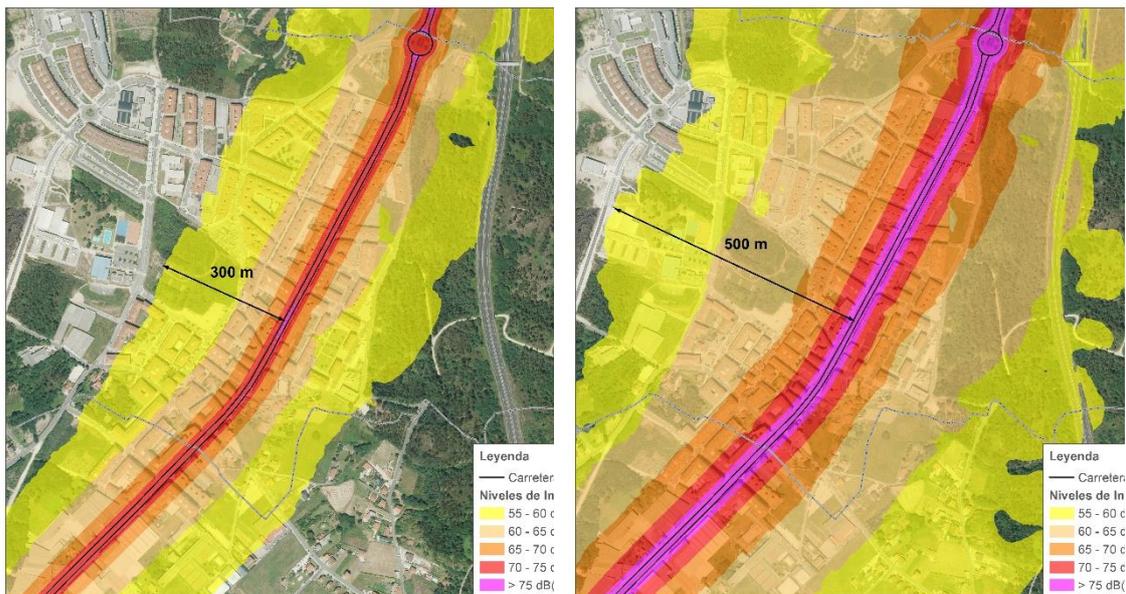


Ilustración 9: Diferencia entre un mismo modelo calculado con $IMD = 14.000$ veh/día (imagen de la izquierda) y con $IMD = 56.000$ veh/día (imagen de la derecha)

3.2.3. EJES FERROVIARIOS

Al igual que ocurre con los ejes viarios, el área de cálculo de un eje ferroviario dependerá de distintos factores.

Por tanto, en la definición del área de cálculo de una infraestructura ferroviaria influirán, **principalmente 6 factores**:

- **Tráfico** del eje ferroviario objeto de estudio.
- **Velocidad** tanto de los trenes como de la vía.
- **Tipología de trenes**.
- **Tipología de vía**.
- **Obstáculos** presentes en las proximidades del eje ferroviario.
- **Modelo Digital del Terreno**.

Igual que ocurre con el tráfico viario, cuanto más abrupto sea el terreno y mayor sea la presencia de obstáculos, menor propagación del sonido y, por tanto, menor área de cálculo será necesario considerar.

Se recomienda establecer un **área de cálculo mínima de 500 m en torno al eje ferroviario** que, al igual que se ha mencionado para el tráfico viario, será mayor cuanto mayor sea el tráfico que discurre por la vía y la velocidad a la que discurre el mismo.

Se aconseja **realizar un cálculo preliminar**, una vez se disponga de la caracterización de la fuente, teniendo en cuenta la topografía, y sin considerar obstáculos, con el fin de delimitar la zona de alcance de las isófonas indicadas en el párrafo anterior.

3.2.4. RUIDO AERONÁUTICO

En el caso de del ruido provocado por aeropuertos, es complejo establecer un criterio de área mínima de cálculo. Esta área dependerá de las trayectorias de las aeronaves, tanto en la horizontal como en la vertical.

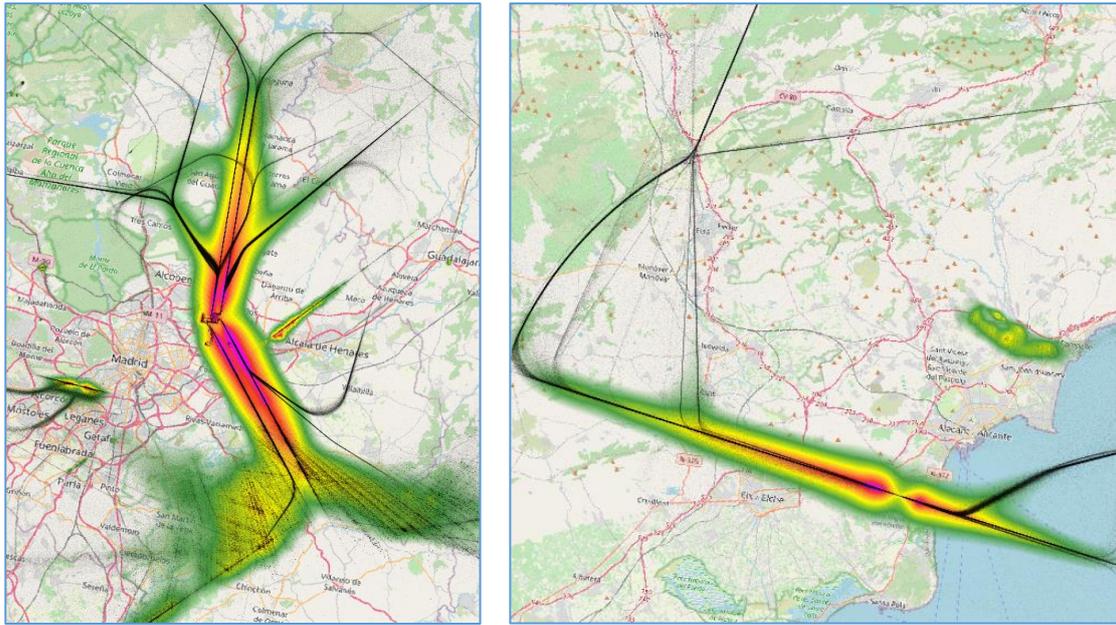


Ilustración 10: Huellas de ruido de los aeropuertos Adolfo Suárez Madrid-Barajas y Alicante-Elche, calculadas a partir de datos OpenSky Network

NOTA: En la Ilustración 10, también se representan aeródromos próximos, como la base aérea de Torrejón y el aeródromo de Cuatro Vientos en Madrid, o el aeródromo de Mutxamel en Alicante, que no son objeto de cartografiado estratégico en el ámbito de la Directiva de Ruido Ambiental.

Como criterio general se puede establecer un perímetro circunscrito por una elipse con centro en el punto medio de cada pista, con un semieje mayor de 25 kilómetros, alineado con la pista, y semieje menor de 5 kilómetros, aunque estos valores dependerán de las características de cada aeropuerto.

En el caso de que las trayectorias se desvíen de la alineación de las pistas, se debe considerar la altura de vuelo en cada punto de la trayectoria próximo al aeropuerto, y establecer incrementos del área mínima de cálculo según el caso.

Las consideraciones del **Documento 10031 de la OACI**, especialmente las indicadas en su Tabla 3-1, proporcionan criterios importantes para evaluar la relevancia del ruido generado por aeronaves en función de su **altura sobre el nivel del suelo (AGL)**. Estas consideraciones son útiles como referencia para estudios de ruido aeronáutico, especialmente en el contexto de la planificación y evaluación de procedimientos operativos.

A continuación, se resumen los puntos clave sobre **Altura AGL y Relevancia del Ruido**:

1. Inferior a 1 000 ft (300 m):

- El ruido se clasifica como **potencial**, pero bajo restricciones legales vigentes no se aplican procedimientos de salida para atenuación del ruido a alturas inferiores a **800 ft (240 m)** por encima del nivel del aeródromo (AAL). Esto está en conformidad con los **PANS-OPS (Doc 8168)** de la OACI.

2. Entre 1 000 y 3 000 ft (300 a 900 m):

- El ruido es considerado **relevante**. Esta franja de altitud incluye operaciones críticas como la fase inicial del ascenso, donde el ruido tiene un impacto significativo en las áreas cercanas al aeropuerto.

3. **Entre 3 000 y 10 000 ft (900 a 3 000 m):**

- El ruido sigue siendo **relevante**, especialmente en áreas urbanas o donde las trayectorias de vuelo afectan zonas pobladas.

4. **Superior a 10 000 ft (>3 000 m):**

- El ruido se clasifica como **potencial**, pero se recomienda evaluar los niveles de ruido en áreas con niveles de ruido de fondo muy bajos, como en áreas protegidas por la ley.
- En estos casos, puede considerarse un umbral superior de **18 000 ft (5 500 m)** o más, dependiendo de las circunstancias y la sensibilidad ambiental de la región.

En el caso de aeródromos de usos restringido, destinados a aviación privada y deportiva, los trabajos aéreos o las escuelas de vuelo, la "**Guía de tramitación ambiental de proyectos de establecimiento o modificación de aeródromos y helipuertos de uso restringido**"³, de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, establece criterios específicos para la delimitación de estas áreas.

3.2.5. CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DE EFECTOS SOBRE LA SALUD

Además, es conveniente **tener en cuenta** que, en el nuevo modelo de datos elaborado por la Comisión Europea, **se prevé el aporte de información relativa a los efectos del ruido en la salud de la población, de acuerdo a la Directiva (UE) 2020/367** de la Comisión, de 4 de marzo de 2020 por la que se modifica el anexo III de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al establecimiento de métodos de evaluación para los efectos nocivos del ruido ambiental, incorporada al ordenamiento interno español a través de la **Orden PCM/542/2021**, de 31 de mayo, por la que se modifica el Anexo III del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

Los datos relativos a los efectos nocivos del ruido en la salud se deberán obtener en la elaboración de los Planes de Acción contra el ruido, y valorarse en términos de reducción de dichos efectos, teniendo en cuenta las medidas contempladas en el PAR.

Teniendo en cuenta lo anterior, **las AACC pueden obtener durante la elaboración del MER, los datos de exposición de intervalos de ruido contemplados en la Orden PCM/542/2021, de 31 de mayo, con el fin de facilitar la elaboración posterior del PAR.**

³ <https://www.seguridadeaerea.gob.es/es/ambitos/sostenibilidad/evaluacion-ambiental/material-guia-de-aesa>

Concretamente, **para calcular el riesgo relativo (RR) respecto a enfermedades cardíacas isquémicas (ECI), será necesario emplear las isófonas de Lden = 53 dB(A).**

Por otro lado, **para calcular el riesgo absoluto (RA), a molestias intensas (MI) y alteraciones graves del sueño AGS), se tienen en cuenta los siguientes rangos de aplicación de las expresiones propuestas por la Orden PCM/542/2021, de 31 de mayo:**

Tabla 11: Rango de aplicabilidad de las relaciones dosis-efecto

Expresión	Rango de aplicabilidad
$RA_{MI,i,vial}$	46-80 dB(A) Lden
$RA_{MI,i,ferroviario}$	36-80 dB(A) Lden
$RA_{MI,i,aeronaves}$	45-75 dB(A) Lden
$RA_{AGS,i,vial}$	40 – 65 dB(A) Ln
$RA_{AGS,i,ferroviario}$	
$RA_{AGS,i,aeronaves}$	

Fuente: Elaboración propia a partir de *Environmental Noise Guidelines for the European Region (WHO, 2018)*

Por este motivo, se aconseja que **el MER abarque, en Lden y Ln al menos hasta las isófonas indicadas en la tabla anterior**, según el tipo de fuente. Es decir:

- **MER de aeropuertos:** En Lden hasta la isófona de 45 dB (A), y en Ln hasta la isófona de 40 dB (A).
- **MER de carreteras:** En Lden hasta la isófona de 45 dB (A), y en Ln hasta la isófona de 40 dB (A).
- **MER de ferrocarril:** En Lden hasta la isófona de 35 dB (A), y en Ln hasta la isófona de 40 dB (A).
- **MER de aglomeraciones:** a determinar en función de las fuentes consideradas en la aglomeración.

Se aconseja realizar un cálculo preliminar, una vez se disponga de la caracterización de la fuente, teniendo en cuenta la topografía, y sin considerar obstáculos, con el fin de delimitar la zona de alcance de las isófonas indicadas en el párrafo anterior.

En el caso de que los MER no abarquen estas isófonas, será necesario realizar ese cálculo para la elaboración del PAR.

3.3. TOPOGRAFÍA Y CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

3.3.1. TOPOGRAFÍA

La topografía de la zona de estudio resulta **un factor fundamental** para la propagación del sonido. Es por ello, por lo que resulta fundamental realizar un esfuerzo en definir correctamente la topografía de la zona de estudio.

En la actualidad existen **distintos recursos cartográficos** muy útiles a la hora de definir correctamente la topografía de una zona, tanto a nivel nacional como a nivel autonómico:

- **Modelo Digital del Terreno (MDT)** disponible para descarga en el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Dicho MDT está disponible para descarga con un paso de malla de 5 m o de 2 m. Son MDT 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. Son archivos de tipo ráster (ASCII) que contienen información de elevación del terreno desnudo.

<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

- **Modelo Digital de Superficies (MDS05)** disponible para descarga en el CNIG. Dicho MDS está disponible para descarga con un paso de malla de 5 m. Se trata de un MDS obtenido por interpolación a partir de las clases terreno, vegetación y edificación de vuelos LIDAR de la primera cobertura del PNOA. Son archivos de tipo ráster (ASCII) que contienen información de elevación de la superficie, es decir, del terreno considerando, vegetación, edificaciones, puentes, túneles, etc.
Tanto el MDT como el MDS mencionados en los puntos anteriores están disponibles para su descarga en el siguiente enlace:

<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

- **Modelos Digitales de Elevaciones (MDE)** disponibles en las diferentes Infraestructuras de Datos Espaciales autonómicas:

<https://www.idee.es/centros-de-descarga/autonomico>

A partir de dichos MDE, se generarán las curvas de nivel que será necesario importar al correspondiente software de simulación.

Con el fin de **agilizar el tiempo de cálculo sin comprometer la fiabilidad** de los resultados obtenidos, es recomendable generar unas **curvas de nivel con un intervalo entre curvas pequeño**, por ejemplo, de **1 o 2 metros entre curvas, activando en el software de simulación, la opción de considerar sólo topografía explícita**. Además, **se recomienda igualmente realizar una simplificación de la geometría de dichas curvas de nivel**, con el mismo objetivo anteriormente expuesto.

Para la simplificación de geometrías se pueden emplear **varios algoritmos propios de cualquier sistema de información geográfica, así como los propios softwares de simulación**, los cuales suelen contar con herramientas de simplificación del modelo.

El grado de simplificación dependerá de las necesidades del modelo. Por ejemplo, los MER de aglomeraciones, en zonas densamente edificadas, admiten un mayor grado de simplificación sin pérdida de calidad en el cálculo, ya que la topografía tendrá menos influencia que los obstáculos generados por los edificios. En el caso de grandes ejes viarios y ferroviarios, la simplificación deberá realizarse con mayor precaución, en particular en zonas próximas a elevaciones, túneles o pasos superiores e inferiores.

Una vez realizado lo anterior, **se realizará una comprobación del modelo tridimensional generado**, eliminando todos aquellos accidentes geográficos generados en el modelo e inexistentes en la realidad y generando aquellos otros que no estén representados en el modelo (taludes, elevaciones, hundimientos, entradas a túneles, etc.).

Cada Autoridad Competente deberá decidir cuál de las fuentes disponibles se ajusta mejor a la realidad del territorio de estudio, buscando el equilibrio adecuado entre la representación precisa del terreno, y el tiempo de cálculo.

3.3.2. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LAS INFRAESTRUCTURAS

Además de la topografía que se puede obtener curvando los modelos de elevaciones del terreno, de la manera arriba mencionada, puede resultar muy conveniente definir de manera precisa en el modelo de cálculo aquellos elementos físicos (aristas de difracción) cercanas a la fuente de ruido y que se encuentran presentes en la infraestructura en estudio o en otros elementos cercanos.

Así, mejora sensiblemente la calidad del modelo informático de cálculo la incorporación al modelo de:

- **Las aristas de ambos márgenes de la plataforma de la infraestructura**, y que pueden construirse mediante paralelas tridimensionales al eje 3D de la infraestructura que luego se usará como fuente de ruido en el programa de cálculo, a la distancia que corresponda.
- **Las aristas (al menos las exteriores) de los taludes** situados a ambos márgenes de la infraestructura.
- **Otras aristas de difracción relevantes** de elementos no correctamente recogidos en el curvado de isolíneas de nivel que se haya conseguido, como pueden ser bordes/aristas de otras vías o calles, aristas inferiores o superiores de muros o resaltes verticales...

Algunos de estos elementos pueden estar asociados a superficies reflectantes verticales o muy inclinadas, que puede ser conveniente incorporar al modelo de cálculo.

3.3.3. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Dado que **la definición de la trayectoria de los rayos sonoros depende de las condiciones meteorológicas**, cuando fuera posible se recopilarán datos estadísticos sobre temperatura, humedad relativa y velocidad del viento.

Además, condiciones meteorológicas como la temperatura, presencia de nieve o humedad, influyen en los niveles sonoros obtenidos tras la simulación acústica.

En la actualidad, en **España, existen diversas fuentes** de las que es posible recopilar datos meteorológicos históricos:

- **Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)**. Aquí se pueden encontrar datos promedio mensuales y anuales históricos de las principales estaciones meteorológicas existentes en las grandes ciudades. Entre los datos aquí disponibles se encuentran la temperatura media, la humedad relativa, precipitación mensual, número de días de nieve, etc.).

<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos>

- **Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios**. Se trata de un visor dependiente del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en el que se encuentran datos meteorológicos termo-pluviométricos en un gran número de estaciones meteorológicas distribuidas por toda la geografía española. Entre los datos aquí disponibles se encuentran los datos de precipitación, temperatura media, periodo frío o de heladas, etc.

<https://sig.mapama.gob.es/siga/>

- **Agencias Meteorológicas Autonómicas.** Determinadas Comunidades Autónomas disponen de agencias meteorológicas propias de las que poder descargar datos meteorológicos históricos del territorio de la Comunidad Autónoma en cuestión.

Para la elaboración de los MER se partirá de datos meteorológicos promedios anuales, ya que un MER representa la situación promedio anual.

Únicamente en el caso de aglomeraciones con una gran variabilidad estacional de población, se podrá considerar generar dos situaciones promedio, una para la época estival y otra para el resto del año.

Por otro lado, además de los datos meteorológicos concretos del lugar objeto de estudio, se debe configurar la probabilidad de ocurrencia de condiciones favorables de propagación, considerándose, como norma general, una probabilidad de ocurrencia de condiciones favorables de propagación de un 50% en periodo diurno, un 75% en periodo vespertino y un 100% en periodo nocturno.

3.4. TÚNELES, PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS

3.4.1. TÚNELES

Los efectos de las bocas de los túneles no son tratados por el método CNOSSOS-EU.

No obstante, en los casos de infraestructuras viarias que discurren por el interior de un túnel, cuando sea posible, se modelizará un foco de ruido que simule la emisión de la boca de túnel. **El procedimiento a seguir será el siguiente:**

1. Se utilizará, en caso de existir, el elemento túnel definido en el software utilizado.
2. En caso de no existir en el software utilizado un elemento específico para la definición acústica de túneles, se seguirá la recomendación que proporcione el manual del software utilizado.
3. En caso de no existir elemento túnel ni recomendación para su modelización, para el caso del tráfico rodado (carreteras) se podrá modelizar mediante la creación de un foco puntual en la boca del túnel con la potencia acústica para cada periodo de evaluación resultante de aplicar la siguiente fórmula, procedente del manual del software MITHRA:

$$LW_b = LW + 2 + 10 \log h - 10 \log \left(2 (h + l) \alpha + \frac{Q}{1000V} + \frac{5hxl}{1000} \right)$$

donde

- LW_b potencia del foco puntual que simula el túnel
 LW potencia del foco acústico que representa la carretera
 H altura de la boca del túnel
 α parámetro relacionado con la absorción de las superficies internas del túnel,
 $\alpha = 0$, totalmente reflejante
 $\alpha = 1$, totalmente absorbente

- I* anchura de la boca del túnel
Q tráfico asignado a la carretera, en intensidad media de vehículos hora
V velocidad media de circulación

Existen otras formulaciones disponibles en la bibliografía, que también pueden ser aplicadas, por ejemplo, Sakamoto, S. (2020)⁴.

4. No se dispone de formulación análoga para tráfico ferroviario. En caso de que el software utilizado no disponga de elemento túnel, ni indicaciones para su toma en consideración, se interrumpirá la emisión de la fuente en el tramo tunelado.

En cualquier caso, la topografía generada por el túnel deberá ser tenida en cuenta.

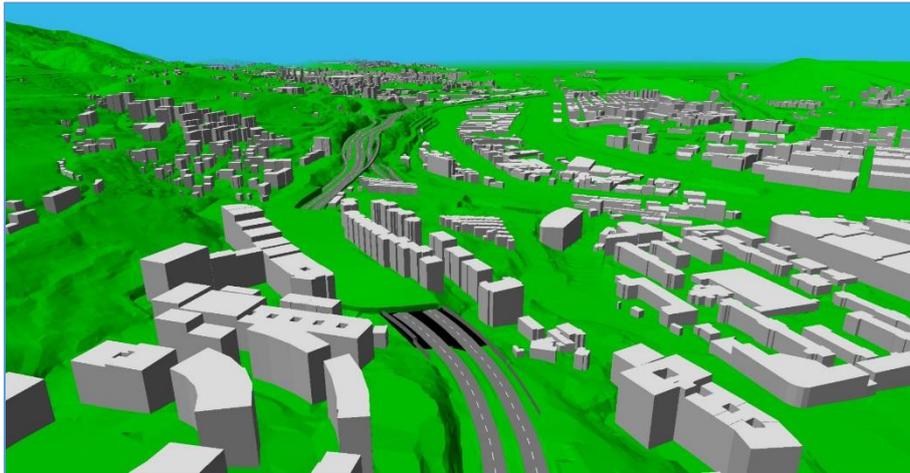


Ilustración 11: Ejemplo de modelo 3D de un túnel



Ilustración 12: Vista 3D de un túnel

⁴ Sakamoto, S. (2020). Road traffic noise prediction model "ASJ RTN-Model 2018": Report of the Research Committee on Road Traffic Noise. *Acoustical Science and Technology*, 41(3), 529-589.

3.4.2. PUENTES O PASOS ELEVADOS

En el caso de que una infraestructura lineal (carreteras o vías férreas) discorra sobre un puente o paso elevado, dicha estructura deberá ser introducida en el modelo. Para ello, será fundamental tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Cualquier infraestructura que discorra sobre un puente, lo hará a una determinada distancia del suelo, por lo que, en primer lugar, habrá que **asignar una altura relativa/absoluta a cada vértice del tramo de eje viario o ferroviario** que discorra sobre un paso elevado, de tal manera que dicho paso elevado quede perfectamente representado en el software de simulación.
- Además, habrá que **generar un elemento puente o activar el autoapantallamiento** del tramo de eje viario o ferroviario que discorra sobre un paso elevado con el fin **de minimizar la emisión de ruido bajo el puente**, simulándolo por tanto de la manera más realista posible. Los niveles sonoros existentes justo debajo de un puente son inferiores ya que la propia estructura del puente ejerce de apantallamiento a la propagación del ruido generado por la carretera o la vía férrea.

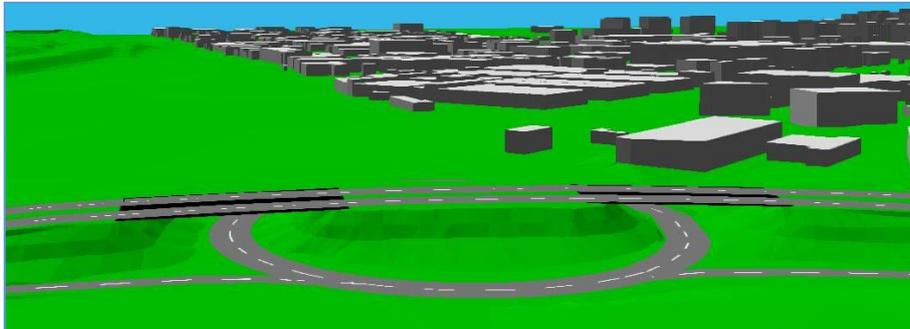


Ilustración 13: Ejemplo de modelo 3D de un paso elevado



Ilustración 14: Vista 3D de paso elevado

3.5. OBSTÁCULOS

Los principales obstáculos que considerar en un modelo de simulación, además del propio terreno, son las pantallas acústicas y las edificaciones existentes.

3.5.1. TOPOGRAFÍA

Es importante disponer de un MDT coherente con el territorio modelado.

La topografía puede suponer un obstáculo a la propagación del ruido que se debe tener en cuenta. Así, elevaciones, motas, montículos, etc. actúan como pantallas acústicas.

Por este motivo, la topografía debe ser fiel al terreno en toda el área de cálculo.

3.5.2. PANTALLAS ACÚSTICAS

La interposición de una pantalla acústica en la trayectoria de la onda sonora modifica la propagación e intensidad de la misma a través de los siguientes mecanismos:

- **Transmisión.** Parte de la onda se transmite a través de la barrera (E_t). Depende de las características de los materiales de construcción de la propia pantalla (densidad, rigidez y factor de pérdidas), de la frecuencia del sonido y del ángulo de incidencia del mismo.
- **Difracción.** Parte de la onda se difracta sobre las aristas de la barrera (E_d). Es el fenómeno a través del cual el sonido penetra en la zona protegida por la pantalla, denominada zona de sombra.
- **La reducción derivada de la difracción** depende fundamentalmente del incremento del camino de propagación entre el trayecto más corto evitando el obstáculo y el trayecto directo entre emisor y receptor (sin obstáculo) y de la frecuencia del sonido.
- **Reflexión.** Parte de la onda se refleja (E_r). La parte de la onda sonora que se refleje en la pantalla no afectará al receptor ubicado al otro lado de la misma.
- **Absorción.** Parte de la onda es absorbida por la barrera (E_a). La cantidad de energía absorbida dependerá de las características del material de la pantalla, de sus dimensiones geométricas y de su espesor. Las pantallas absorbentes o muy absorbentes se suelen utilizar en aquellos casos en los que las reflexiones de la pantalla pueden estar siendo recibidas por otros receptores cercanos.

En la siguiente imagen se pueden observar dichos conceptos de manera gráfica:

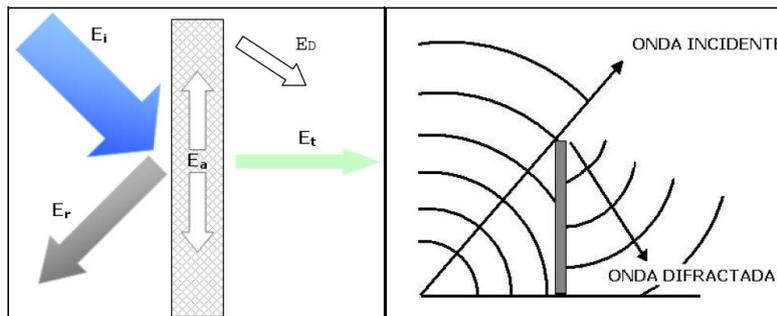


Ilustración 15: Mecanismos de modificación de la propagación de una pantalla acústica

A la hora de introducir una pantalla acústica en el modelo de simulación, es importante definir correctamente, al menos, **los siguientes parámetros**:

3.5.2.1. UBICACIÓN DE LA PANTALLA ACÚSTICA

En primer lugar, será necesario **definir correctamente la ubicación exacta de la pantalla acústica** sobre el terreno tanto en **sus coordenadas X e Y**, como su altura (coordenada **Z**).

En el caso de pantallas que no presenten discontinuidades, pero presenten diferentes alturas, se deberá **simular cada tramo de pantalla con una altura diferente de manera independiente**, de tal manera que el modelo en 3D sea una representación lo más exacta posible de la realidad.



Ilustración 16: Ejemplo de modelo 3D de una pantalla con diferentes alturas



Ilustración 17: Ejemplo de vista 3D de una pantalla con diferentes alturas

Por otro lado, en el caso de pantallas ubicadas sobre puentes o pasos elevados, estas deberán simularse de tal manera que su inicio en cota Z coincida con la altura a la que se encuentra el paso elevado.

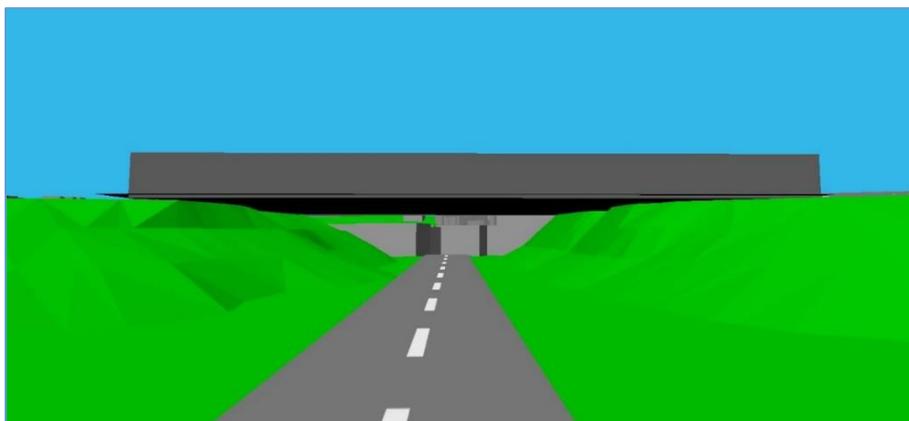


Ilustración 18: Ejemplo de modelo 3D de una pantalla ubicada en un paso elevado



Ilustración 19: Ejemplo de vista 3D de una pantalla ubicada en un paso elevado

3.5.2.2. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PANTALLA

De cara a definir las características de una pantalla, existen varias opciones:

- En el caso de estudios de detalle o cuando se conozca exactamente el material de la pantalla implantada o a implantar y se disponga de unos valores de absorción desglosados en bandas de octava o en bandas de 1/3 de octava, estos valores serán introducidos directamente en el software de simulación.
- En aquellos casos, en los que únicamente se conozca el tipo de pantalla implantada o a implantar, se asignarán unos valores estándar en función del material del que esté compuesto la pantalla.

Para ello es necesario definir los siguientes conceptos:

- DL_{Anrd} : Índice de evaluación del comportamiento de absorción sonora expresado como la diferencia de niveles de presión sonora ponderados A.
- DL_R : Índice de evaluación del comportamiento de aislamiento al ruido aéreo, calculado como la diferencia entre niveles de presión sonora ponderados A.

Los diferentes **softwares de cálculo emplean diferentes tipologías de entradas de datos:**

- Cualitativa, por su tipo de reflexión (pantalla lisa y dura, silenciosa, absorbente, etc.).
- Cuantitativa por “coeficiente de reflexión” en bandas de tercio de octava.
- Cuantitativa por pérdidas de reflexión (en dB) y en cada cara de la pantalla.

En cualquiera de los casos, **el documento elaborado para el Mapa Estratégico de Ruido debe aclarar qué metodología se está empleando para la definición de las características acústicas de las pantallas**, y justificar de manera adecuada por qué se emplea.

3.5.3. EDIFICACIONES

Los edificios actúan como barreras a la propagación del sonido.

Pero 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.

A la hora de obtener los datos básicos para abordar cualquier MER o Estudio Acústico, se considera que los edificios son elementos clave, tanto en su condición de “contenedor” de viviendas (población) y usos, como por su influencia en los cálculos acústicos al conformar un obstáculo a la propagación del sonido.

3.5.3.1. FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE EDIFICACIONES

Como base para la obtención de la capa de edificaciones de cualquier municipio se pueden emplear los siguientes recursos cartográficos:

- **Cartografía catastral.** La capa BUILDINGS de la cartografía catastral INSPIRE contiene los edificios recogidos en catastro a una escala 1:1.000 para zonas urbanas y a una zona 1:5.000 para zonas rústicas. El conjunto de datos que se puede descargar desde este servicio está completo para el 95% del territorio responsabilidad de la D.G. de Catastro (todo el territorio español excepto País Vasco y Navarra). Además, este servicio se encuentra en constante actualización

<http://www.catastro.meh.es/webinspire/index.html>

- **BTN25.** La Base Topográfica Nacional a escala 1:25.000 está disponible a nivel nacional en la web del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Se trata de una base de datos tridimensional con cobertura completa y continua para España. Contiene capas de información geográfica con datos topográficos y temáticos.

<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

- **Bases Topográficas autonómicas.** Muchas comunidades autónomas disponen de bases topográficas a menor escala (1:10.000 o 1:5.000) disponibles en las correspondientes ideas autonómicas.

<https://www.idee.es/centros-de-descarga/autonomico>

- **Bases Topográficas locales.** Igualmente, existen Ayuntamientos que disponen de una base cartográfica propia a una escala de mayor detalle (1:1.000). No obstante, dichas bases cartográficas no están disponibles de manera pública, por lo que habría que solicitarlas expresamente a cada Ayuntamiento independientemente.

3.5.3.2. DEPURACIÓN DE LA CAPA DE EDIFICACIONES

Una vez descargada la base cartográfica de edificios, se realizará una primera revisión de la misma eliminando aquellas edificaciones inexistentes en la actualidad y añadiendo aquellas otras que, existen en la realidad, pero no se encuentran recogidas en la base cartográfica oficial descargada.

3.5.3.3. ALTURA DE LAS EDIFICACIONES

En cuanto a la altura de las edificaciones, dicho atributo se podrá obtener mediante varias técnicas:

- **Interpolación entre el MDT y la capa de edificaciones** previamente depurada.
- **Asignación de altura en función del número de plantas del edificio.** Dicho dato se podrá obtener, bien mediante los atributos de la cartografía catastral descargada, bien mediante visitas “in situ”. Como criterio general se asumirá que la planta baja de cualquier edificación tendrá un mínimo de 4 m y para edificaciones residenciales, la altura de cada planta será de 3 m.

En ocasiones puede ser necesario tener en cuenta el uso de las edificaciones para calcular su altura. Por ejemplo, en el caso de naves industriales. Por este motivo, se aconseja clasificar las edificaciones en función de uso antes de determinar su altura, de acuerdo a las indicaciones del apartado 4.2.1.

3.6. ABSORCIÓN DEL TERRENO

Las propiedades de la absorción sonora del suelo están estrechamente relacionadas con su porosidad. **El suelo compacto suele ser reflectante, mientras que el suelo poroso es absorbente.**

A efectos de los requisitos de cálculo operativo, **la absorción sonora de un suelo se representa mediante un coeficiente adimensional G, que oscila entre 0 y 1.** G es independiente de la frecuencia. En la siguiente tabla se muestran los valores de G del suelo en exteriores. En general, la media del coeficiente G con respecto a un trayecto adopta valores comprendidos entre 0 y 1.

Tabla 12: Valores de G para diferentes tipos de suelo

Descripción	Tipo	Valor G
Muy blando (con nieve o con hierba)	A	1
Suelo forestal blando (con brezo corto y denso o musgo denso)	B	1
Suelo blando no compacto (césped, hierba o suelo mullido)	C	1
Suelo no compacto normal (suelo forestal y suelo de pastoreo)	D	1
Terreno compactado y grava (césped compactado y zonas de parques)	E	0,7
Suelo denso compactado (carretera de grava o aparcamientos)	F	0,3
Superficies duras (hormigón y asfaltado convencional)	G	0
Superficies muy duras y densas (asfalto denso, hormigón y agua)	H	0

Las características, desde el punto de vista de la absorción del sonido, de las diferentes zonas del territorio que se incluyan en el modelo de cálculo, deberían ser descritas de manera adecuada, lo que puede llevarse a cabo a partir de la cartografía de usos del suelo que se encuentran disponibles del territorio español en formato Shapefile, a escala 1:25.000.

En este sentido, una fuente de información útil puede ser el SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España) es la base de datos de ocupación del suelo en España, de la cual puede encontrarse información en su propia web y en el Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG):

<https://www.siose.es>

<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=SIOSE>

Esta información puede ser interpretada, en función del tipo de uso de suelo presente en cada zona, como características de absorción del terreno. En zonas muy homogéneas, en las que el tipo de terreno sea muy similar para toda el área, pueden plantearse coeficientes de absorción del terreno únicos para todo el modelo.

4. RECEPTORES ACÚSTICOS

4. RECEPTORES ACÚSTICOS

4.1. RECEPTORES PUNTUALES

Además del cálculo de isófonas, **los softwares de simulación permiten el cálculo de niveles sonoros en receptores puntuales.**

Dichos receptores se pueden ubicar en lugares concretos con el fin de:

- **Validar el modelo de cálculo** comparando los niveles simulados en dichos puntos con los niveles medidos en los mismos puntos.

Un ejemplo claro de este uso sería el de aquellas aglomeraciones que dispongan de una red de monitorización de ruido en continuo que se emplee para validar los resultados del MER. Para ello, se podrían colocar receptores puntuales en los lugares donde se ubiquen las estaciones de monitorización y a la misma altura a la que se ubiquen las mismas, con el fin de verificar si los resultados obtenidos en el MER se aproximan a los resultados medidos por la red de monitorización en continuo implantada por el Ayuntamiento.

- **Calcular los niveles de ruido existentes en puntos concretos**, por ejemplo, en las ventanas de determinados edificios.
- **Asignar potencia acústica a focos industriales mediante métodos de ingeniería inversa** a partir de datos medidos.

Como se comentaba en el apartado de configuración de focos industriales, ante la ausencia de fichas técnicas de los equipos existentes en una industria, el modelo se podrá alimentar basándose en medidas tomadas “in situ”. En este caso, los receptores puntuales se ubicarían en las mismas coordenadas X e Y que los ensayos realizados “in situ” en la industria a evaluar y a la misma altura a la que hubieran sido tomadas las medidas, con el fin de poder ir asignando potencia acústica a las fuentes existentes en la industria de manera que los niveles simulados y medidos en dichos puntos no difieran demasiado.

4.2. EVALUACIÓN DE RECEPTORES EN EDIFICIOS

Para la evaluación de edificios es necesario:

- Asignar el uso de las edificaciones
- Asignación de población a edificios
- Asignar receptores a edificios
- Asignar población a los receptores de edificios.

4.2.1. USO DE LAS EDIFICACIONES

Una vez descargada la cartografía base **se asignará un uso a cada edificación** contenida en el área de estudio.

Dichos usos coincidirán con los usos definidos por la normativa de aplicación **para las diferentes las áreas acústicas**, es decir, se deberá establecer una equivalencia entre los usos establecidos en función de la cartografía topográfica o

catastral y las distintas categorías de áreas acústicas establecidas por la normativa vigente.

Esto no implica que el uso de las edificaciones deba coincidir con el área acústica donde estén ubicadas. Las áreas acústicas se definen a una escala menos precisa que el uso de las edificaciones individuales. Por ejemplo, pueden existir edificaciones de tipo industrial (tipo b) en áreas acústicas residenciales (tipo a).

No obstante, **el uso de las edificaciones debe coincidir con alguno de los previstos para la clasificación de las áreas acústicas:**

Áreas acústicas de tipo a). Sectores del territorio de uso residencial:

Se incluirán tanto los sectores del territorio que se destinan de forma prioritaria a este tipo de uso, espacios edificados y zonas privadas ajardinadas, como las que son complemento de su habitabilidad tales como parques urbanos, jardines, zonas verdes destinadas a estancia, áreas para la práctica de deportes individuales, etc.

Las zonas verdes que se dispongan para obtener distancia entre las fuentes sonoras y las áreas residenciales propiamente dichas no se asignarán a esta categoría acústica, se considerarán como zonas de transición y no podrán considerarse de estancia.

Áreas acústicas de tipo b). Sectores de territorio de uso industrial:

Se incluirán todos los sectores del territorio destinados o susceptibles de ser utilizados para los usos relacionados con las actividades industrial y portuaria incluyendo; los procesos de producción, los parques de acopio de materiales, los almacenes y las actividades de tipo logístico, estén o no afectas a una explotación en concreto, los espacios auxiliares de la actividad industrial como subestaciones de transformación eléctrica etc.

Áreas acústicas de tipo c). Sectores del territorio con predominio de uso recreativo y de espectáculos:

Se incluirán los espacios destinados a recintos feriales con atracciones temporales o permanentes, parques temáticos o de atracciones, así como los lugares de reunión al aire libre, salas de concierto en auditorios abiertos, espectáculos y exhibiciones de todo tipo con especial mención de las actividades deportivas de competición con asistencia de público, etc.

Áreas acústicas de tipo d). Actividades terciarias no incluidas en el epígrafe c):

Se incluirán los espacios destinados preferentemente a actividades comerciales y de oficinas, tanto públicas como privadas, espacios destinados a la hostelería, alojamiento, restauración y otros, parques tecnológicos con exclusión de las actividades masivamente productivas, incluyendo las áreas de estacionamiento de automóviles que les son propias etc.

Áreas acústicas de tipo e). Zonas del territorio destinadas a usos sanitario, docente y cultural que requieran especial protección contra la contaminación acústica.

Se incluirán las zonas del territorio destinadas a usos sanitario, docente y cultural que requieran, en el exterior, una especial protección contra la contaminación acústica, tales como las zonas residenciales de reposo o geriatría, las grandes zonas hospitalarias con pacientes ingresados, las zonas docentes tales como “campus” universitarios, zonas de estudio y bibliotecas, centros de investigación, museos al aire libre, zonas museísticas y de manifestación cultural etc.

Áreas acústicas de tipo f). Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte y otros equipamientos públicos que los reclamen.

Se incluirán en este apartado las zonas del territorio de dominio público en el que se ubican los sistemas generales de las infraestructuras de transporte viario, ferroviario y aeroportuario.

Áreas acústicas de tipo g). Espacios naturales que requieran protección especial.

Se incluirán los espacios naturales que requieran protección especial contra la contaminación acústica. En estos espacios naturales deberá existir una condición que aconseje su protección bien sea la existencia de zonas de cría de la fauna o de la existencia de especies cuyo hábitat se pretende proteger.

Asimismo, se incluirán las zonas tranquilas en campo abierto que se pretenda mantener silenciosas por motivos turísticos o de preservación del medio.

En el caso de que exista normativa autonómica o municipal vigente, se aplicarán las áreas acústicas recogidas en las mismas.

4.2.2. CRITERIOS PARA ASIGNACIÓN DE USO DE EDIFICACIONES

Para la asignación de usos a las distintas edificaciones existentes en el área de estudio se emplearán los siguientes criterios:

- En primer lugar, **se identificarán todas las edificaciones de uso sanitario, docente o cultural**. Dicha información puede ser consultada en el Catálogo Nacional de Hospitales, para las edificaciones de uso sanitario y en las administraciones competentes en materia de educación de cada comunidad autónoma, de tal manera que queden perfectamente identificadas todas las edificaciones más sensibles.

<https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/prestaciones/centrosServiciosSNS/hospitales/home.htm>

- Para el resto de los edificios se irá asignando uso en función de la zonificación acústica o planeamiento urbanístico vigente, visitas in situ” u otras herramientas como Google Street View.

4.2.3. ASIGNACIÓN DE LA POBLACIÓN A EDIFICIOS

A los efectos de evaluar la exposición de las viviendas y de sus habitantes al ruido, sólo se deben tener en cuenta los edificios residenciales, por lo que no se debe asignar ninguna vivienda o población a edificios que no sean para uso residencial, como los usados exclusivamente como colegios, hospitales, edificios para oficinas o fábricas. La asignación de las viviendas y de sus habitantes a edificios residenciales debe basarse en los últimos datos oficiales.

El número de viviendas y de personas que residen en ellas, en los edificios residenciales son parámetros intermedios importantes para estimar la exposición al ruido, pero no siempre se dispone de datos relativos a estos parámetros.

A continuación, se especifica **cómo pueden obtenerse estos parámetros a partir de datos que se encuentran disponibles con mayor frecuencia:**

4.2.3.1. ASIGNACIÓN DE POBLACIÓN CONOCIDO EL NÚMERO DE VIVIENDAS Y/O HABITANTES

CASO 1: Se conoce el número de habitantes o se ha calculado en función del número de viviendas.

- El número de habitantes de un edificio será, en este caso, la suma del número de habitantes de todas las viviendas del edificio.
- Determinados municipios disponen de datos de población por portal vinculados a una cartografía con información de portales por lo que la asignación de población a cada edificio es inmediata.

CASO 2: Sólo se conoce el número de viviendas o de habitantes para entidades más grandes que un edificio

En caso de disponer de población por sección censal, distrito censal, manzanas, barrios o a nivel municipal el número de habitantes se podrá calcular en función del volumen del edificio.

Si tampoco se conoce el número de plantas, debe usarse un valor predeterminado para el número de plantas representativo del barrio o del municipio.

El volumen del edificio se calculará multiplicando su superficie por su altura. En el caso de no conocer la altura del edificio, ésta será calculada en función del número de plantas, considerando una altura media por planta de 3 m.

El **Instituto Nacional de Estadística (INE)** recoge, en España, los censos de población y viviendas que se elaboran cada 10 años. Dicho censo ofrece **datos de población y viviendas por sección censal**.

Por otro lado, **existen datos más actualizados de población a nivel nacional mediante el padrón**, datos también disponibles en la página web del INE.

Estos datos **están disponibles únicamente a escala municipal**, pero son actualizados anualmente.

Por otro lado, la mayor parte de los municipios españoles disponen de datos de población por sección censal actualizados, aunque no disponibles de manera pública en todos los casos, por lo que será necesario recopilarlos mediante consulta.

Por último, **la cartografía catastral dispone de un atributo sobre el número de viviendas existente en cada edificación**, por lo que otro método para la asignación de población a un edificio residencial, conociendo los datos de población por sección censal, consistiría en:

- Obtención del dato de población por sección censal.
- Cálculo del número total de viviendas existente en la sección censal a partir de los datos de número de viviendas obtenidos de la cartografía catastral.
- Cálculo del Tamaño Medio del Hogar (TMH), es decir, el número de personas promedio que constituyen un hogar en dicha sección censal. Este dato se obtiene dividiendo la población total de la sección censal entre el número total de viviendas existente en dicha sección censal.
- Cálculo de la población por edificio. Una vez calculado el TMH, se multiplicará el mismo por el número de viviendas contenido en un edificio (dato obtenido de la cartografía catastral).

4.2.3.2. ASIGNACIÓN DE POBLACIÓN CUANDO NO SE DISPONE DE DATOS SOBRE EL NÚMERO DE HABITANTES

En este caso, el número de habitantes se calcula en función de la superficie útil media por habitante.

La superficie útil se conoce en función del número de viviendas:

En este caso, el número de habitantes de cada vivienda se calcula dividiendo la superficie útil de cada vivienda entre la superficie útil media por habitante. Mediante este cálculo se obtiene el número de habitantes por vivienda, por lo que multiplicando el valor obtenido por el número de viviendas totales del edificio se obtendría el valor de población a asignar a cada edificio.

La superficie útil se conoce para todo el edificio:

En este caso, el dato de población por edificio se obtendría dividiendo la superficie útil del edificio entre la superficie útil media por habitante.

Sólo se conoce la superficie útil de entidades más grandes que un edificio:

Cuando únicamente se conoce la superficie útil de entidades superiores a un edificio (secciones censales, distritos censales, barrios, manzanas o el municipio entero) el número de habitantes de un edificio se calcula en función del volumen del edificio.

Dividiendo el dato de superficie útil por entidad (sección censal, distrito censal, barrio, etc.) entre la superficie útil media por habitante, se obtiene el número de habitantes de dicha entidad.

Se desconoce la superficie útil:

En el caso de no conocer la superficie útil, se aplicará un factor de 0,8 para calcular la superficie útil a partir de la superficie total del edificio. De esta manera un edificio de 100

m² de superficie total, tendría una superficie útil de 80 m². Si se conoce otro factor representativo de la zona objeto de estudio, deberá utilizarse y documentarse con claridad.

Una vez calculada la superficie útil se procederá de la misma manera que en el caso de ya conocer la superficie útil del edificio.

4.2.4. ASIGNACIÓN DE PUNTOS DE EVALUACIÓN DEL RUIDO A LAS VIVIENDAS Y SUS HABITANTES

Para calcular el número de viviendas y de habitantes expuestos a fuentes de ruido terrestres, los puntos del receptor se colocan aproximadamente a 0,1 m delante de las fachadas de los edificios residenciales.

Las reflexiones de la fachada objeto de examen deben excluirse del cálculo. Para colocar los puntos del receptor **debe seguirse alguno de los siguientes procedimientos:**

4.2.4.1. CASO 1: CADA FACHADA SE DIVIDE EN INTERVALOS REGULARES

- Los segmentos con una longitud de más de 5 m se dividen en intervalos regulares de la máxima longitud posible, pero inferior o igual a 5 m. los puntos del receptor se colocan en el medio de cada intervalo regular.
- Los demás segmentos por encima de una longitud de 2,5 m se representan mediante un punto del receptor en el medio de cada segmento.
- Los demás segmentos adyacentes con una longitud total de más de 5 m se tratan como objetos de varias líneas de manera similar a lo descrito en los dos puntos anteriores.

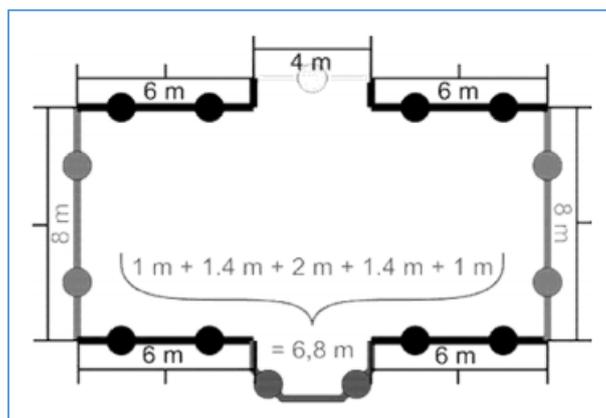


Ilustración 20: Ejemplo de ubicación de puntos del receptor alrededor de un edificio dividiendo la fachada en intervalos regulares

4.2.4.2. CASO 2: LAS FACHADAS SE DIVIDEN A UNA DISTANCIA PREDETERMINADA DESDE EL INICIO DEL POLÍGONO

- Las fachadas se consideran por separado o se dividen cada 5 m desde la posición inicial en adelante, con una posición del receptor ubicada en la mitad de la fachada o de un segmento de 5 m.
- El resto de la sección tiene el punto del receptor en su punto medio.

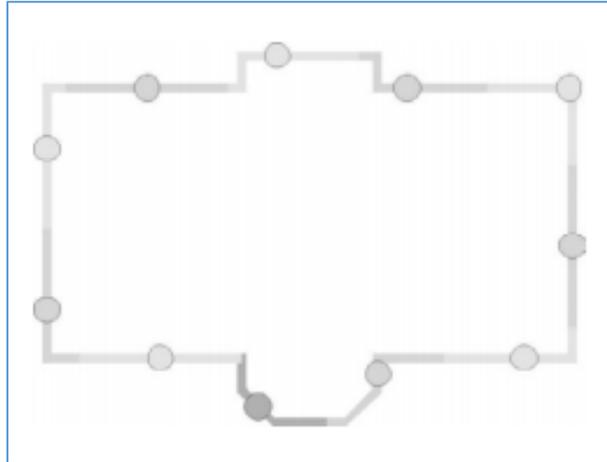


Ilustración 21: Ejemplo de ubicación de puntos del receptor alrededor de un edificio dividiendo la fachada en intervalos regulares

4.2.5. ASIGNACIÓN DE LAS VIVIENDAS Y SUS HABITANTES A PUNTOS DEL RECEPTOR

Para la asignación de viviendas y habitantes a cada receptor, se atenderá a lo dispuesto en 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.

Se pueden dar dos situaciones:

4.2.5.1. SITUACIÓN 1: SE DISPONE DE INFORMACIÓN SOBRE LA UBICACIÓN PRECISA DE LAS VIVIENDAS

Cuando se dispone de información sobre la ubicación de las viviendas en las plantas de los edificios, dichas viviendas y sus habitantes se asignan al punto del receptor situado en la fachada más expuesta de la vivienda en cuestión.

Por ejemplo, en el caso de las casas aisladas, las casas adosadas de dos en dos y las casas pareadas o los edificios de apartamentos cuando se conozca la división interna del edificio, o los edificios en que la superficie de las plantas indique que sólo hay una vivienda por planta o los edificios en que la altura y la superficie de las plantas indiquen que sólo hay una vivienda por edificio.

4.2.5.2. SITUACIÓN 2: NO SE DISPONE DE INFORMACIÓN SOBRE LA UBICACIÓN PRECISA DE LAS VIVIENDAS

Cuando no se disponga de información sobre la ubicación de las viviendas en las plantas de los edificios, **deberá usarse uno de los dos métodos siguientes**, según proceda en cada caso concreto, para calcular la exposición al ruido de las viviendas y de sus habitantes.

- **Método 1**

La información disponible muestra que **las viviendas están dispuestas dentro de un edificio de forma que solo tienen una fachada expuesta al ruido**

En este caso, la asignación del número de viviendas y de sus habitantes a los puntos del receptor deberá ponderarse por la longitud de la fachada representada según los procedimientos expuestos anteriormente, de modo que la suma de todos los puntos del receptor represente el número total de viviendas y de sus habitantes asignados al edificio.

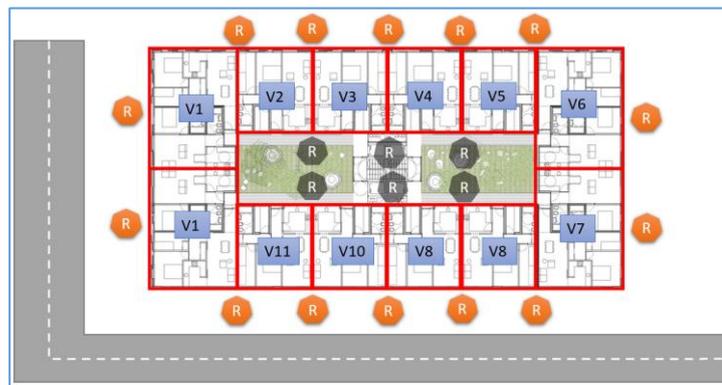


Ilustración 22: Ejemplo de distribución de receptores. Método 1

Únicamente se asigna población a los receptores coloreados en naranja

- **Método 2:**

La información disponible muestra que **las viviendas están dispuestas dentro de un edificio de apartamentos de forma que tienen varias fachadas expuestas al ruido**, o se desconoce cuántas fachadas de las viviendas están expuestas al ruido.

En este caso, el conjunto de ubicaciones del receptor asociadas a cada edificio debe dividirse en una mitad superior y una mitad inferior en función de la mediana de los niveles de evaluación calculados para cada edificio. Si los puntos del receptor son impares, se sigue dicho procedimiento excluyendo la ubicación del receptor que registre un nivel de ruido menor.

Para cada punto del receptor ubicado en la mitad superior del conjunto de datos, el número de viviendas y de habitantes debe distribuirse de manera uniforme, de modo que la suma de todos los puntos del receptor en la mitad superior del conjunto de datos represente el número total de viviendas y de habitantes. No se asignarán viviendas ni habitantes a los receptores situados en la mitad inferior del conjunto de datos.

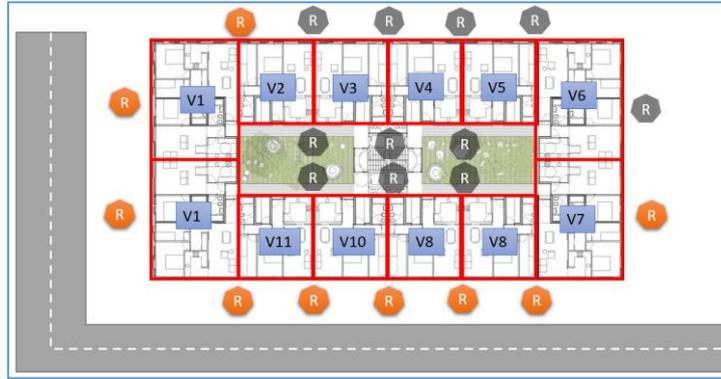


Ilustración 23: Ejemplo de distribución de receptores. Método 2

Únicamente se asigna población a los receptores coloreados en naranja

En cualquiera de las situaciones, el documento elaborado para el Mapa Estratégico de Ruido debe aclarar que metodología se está empleando, y justificar de manera adecuada por que se emplea, de acuerdo a los criterios establecidos en la citada Directiva Delegada (UE) 2021/1226.

4.2.5.3. CONSIDERACIONES AL ASIGNAR VIVIENDAS Y HABITANTES A RECEPTORES

La metodología de asignación de viviendas y habitantes a cada receptor tiene, además de limitaciones en función de la información disponible, una serie de connotaciones sobre los resultados y su comparativa con los resultados de los MER de fases anteriores.

- La situación 1, en la práctica, resulta de difícil aplicación en MER de escenarios acústicos amplios. Esta metodología es aplicable en estudios de detalle, donde es posible tener información precisa de un grupo pequeño de edificios que se desee evaluar.
- Respecto a la situación 2, el método 2, incorporado por la Directiva Delegada (UE) 2021/1226), supone un incremento de la población expuesta en los niveles de ruido más altos, los de la mitad de los receptores con mayor nivel de ruido, con respecto al método 1, más acorde con lo aplicado en fases anteriores.
- A partir de estudios de casos reales de grandes ejes viarios (Análisis de sensibilidad en el cálculo de población expuesta en los mapas estratégicos de ruido de la Cuarta Fase, en función de los métodos propuestos por la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 para la distribución de población en receptores. Soto Molina, Ignacio; Segués Echezarreta, Fernando; Arce Ruiz, Rosa. 2022), la aplicación del método 2 incrementa la estimación de población expuesta a $L_{den} > 65$ dB(A) entre un 52,95% y un 90,04% respecto al cálculo realizado con el método 1, siendo el valor medio de incremento del 79,21%.
- Es previsible que la diferencia entre el método 1 y el método 2 en el caso de aglomeraciones sea inferior, debido a la mayor densidad de fuentes, y a la mayor proximidad entre la media y la mediana de los niveles de ruido en los receptores de cada edificio.
- Aun así, debe tenerse en cuenta que el cambio de método (aplicación del método 2) frente al método utilizado en los MER de fases anteriores (similar al método 1) puede derivar en un incremento de la población expuesta a niveles altos de ruido, que puede estar motivado por el propio cambio de método de

evaluación y no necesariamente supone un empeoramiento de las condiciones acústicas de la población.

- El método de asignación que se seleccione debería mantenerse en sucesivas fases de END para una mejor trazabilidad y evaluación de la evolución de la situación acústica de cada MER.

A continuación, se presenta un ejemplo de receptores considerados según el método establecido para ruido aéreo con los métodos 1 y 2 de la situación 2 indicada en apartados anteriores.

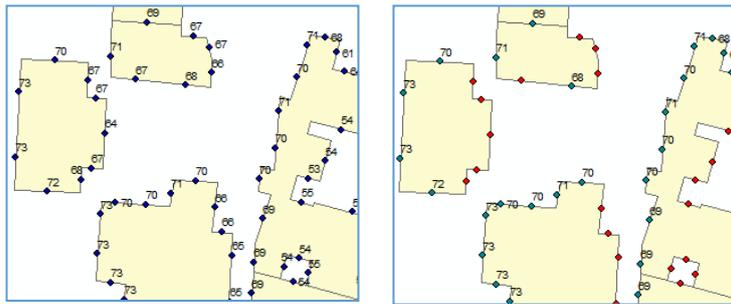


Ilustración 24: Ejemplo de receptores considerados en el método 1 (izquierda) y método 2 (derecha)
Los receptores excluidos del método 2 aparecen en rojo.

4.2.6. EVALUACIÓN DE RECEPTORES EN RUIDO AERONÁUTICO

En el caso del ruido aéreo, la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 establece un método de estimación de población expuesta al ruido diferente al establecido para el resto de las fuentes. En el caso del ruido aéreo, se indica que se deben asociar todos los habitantes y viviendas de un edificio al receptor más expuesto del edificio o, en caso de no haberlo, en la cuadrícula que lo rodea.

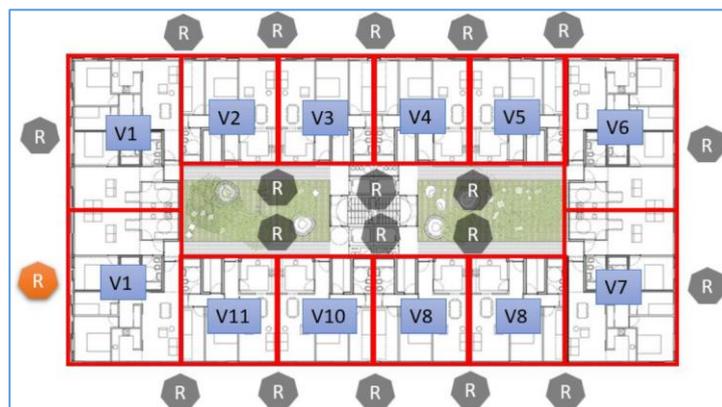


Ilustración 25: Ejemplo de distribución de receptores. Método aéreo
Únicamente se asigna población al receptor que más ruido recibe (en naranja)

4.3. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS NOCIVOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD

Como ya se ha mencionado en el apartado 3.2.4, la **Orden PCM/542/2021** traspone al derecho interno español la **Directiva (UE) 2020/367** por la cual se establecen los datos relativos a los efectos nocivos del ruido en la salud que se deberán obtener en la elaboración de los Planes de Acción contra el ruido.

La **Decisión de Ejecución (UE) 2021/1967** de la Comisión de 11 de noviembre de 2021 por la que se crea un archivo de datos obligatorio y un mecanismo obligatorio de intercambio de información digital de conformidad con la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo establece el esquema del modelo de datos que los Estados Miembros deben generar para el reporte de los resultados de los Mapas Estratégicos de Ruido (MER) y los Planes de Acción contra el Ruido (PAR) a partir de la Cuarta Fase.

Este modelo de datos contempla el cálculo de las **relaciones dosis-efecto (RDE)** que permiten estimar el número de personas afectadas por **enfermedades cardíacas isquémicas (ECI), molestias intensas (MI) y alteraciones graves del sueño (AGS)**. Si bien estos cálculos son de aplicación solo en los PAR, **es importante tener en cuenta sus requisitos desde la fase de MER** para evitar problemas operativos en los casos en que las entidades encargadas de la redacción del PAR sean distintas de las que redactan el MER.

Como se indica en los siguientes apartados, las **RDE no son aplicables para todos los niveles de ruido**, por lo que resulta imprescindible aplicar los cálculos en los rangos establecidos en cada caso para evitar valores distorsionados de población afectada.

El cálculo de los efectos sobre la salud se lleva a cabo en función de la fuente de ruido, siendo de aplicación los siguientes casos

Tabla 13: Aplicación de las RDE a las fuentes de ruido

Efecto	Fuente aplicable
ECI	Ruido de carreteras
MI	Ruido de carreteras
AGS	Ruido ferroviario Ruido aeronáutico

Fuente: Análisis crítico de la aplicación de la Orden PCM/542/2021 (Soto Molina, Ignacio; Arce Ruiz, Rosa. 53º Congreso Español de Acústica. XII Congreso Ibérico de Acústica. Elche, 2022.)

Para el cálculo de los efectos nocivos indicados se tiene en cuenta el Riesgo Relativo (RR) de los mismos para las ECI y el Riesgo Absoluto (RA) para el resto.

$$RR = \left(\frac{\text{Probabilidad de que se produzca un efecto nocivo en la población expuesta a un nivel específico de ruido ambiental}}{\text{Probabilidad de que se produzca el efecto nocivo en la población no expuesta a ruido ambiental}} \right) \quad RA = \left(\text{Probabilidad de que se produzca el efecto nocivo en la población expuesta a un nivel específico de ruido ambiental} \right)$$

Una vez obtenidos, se calcula la población afectada por cada efecto y cada fuente.

4.3.1. ENFERMEDADES CARDÍACAS ISQUÉMICAS (ECI)

El Riesgo Relativo de ECI en relación al ruido de carreteras se calcula mediante siguiente expresión:

$$\text{Si } L_{den} > 53 \text{ dB(A)} \rightarrow RR_{ECI,i,vial} = e^{\left[\left(\frac{\ln(1,08)}{10}\right) * (L_{den} - 53)\right]}$$

$$\text{Si } L_{den} \leq 53 \text{ dB(A)} \rightarrow RR_{ECI,i,vial} = 1$$

Por debajo de 53 dB(A) en L_{den} el valor 1 corresponde con el riesgo habitual de la población no expuesta a este tipo de ruido. El ruido de tráfico por encima de 53 dB(A) aumenta el riesgo de ECI según la gráfica siguiente.

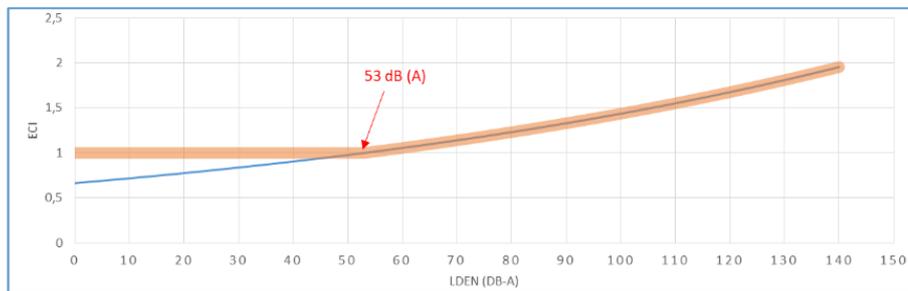


Ilustración 26: Análisis gráfico de la RDE de ECI en tráfico rodado

Una vez calculado el Riesgo Relativo, se calcula la fracción atribuible de la población (FAP) mediante la siguiente expresión:

$$FAP_{x,y} = \left(\frac{\sum_j [p_j * (RR_{j,x,y} - 1)]}{\sum_j [p_j * (RR_{j,x,y} - 1)] + 1} \right)$$

donde

el conjunto de bandas de ruido j está formado por bandas únicas que abarcan un máximo de 5 dB

p_j proporción de la población general P en la zona evaluada expuesta a la banda de exposición, asociada a un RR dado de un efecto nocivo específico $RR_{j,x,y}$

Y, a partir de la FAP se calcula el número total N de casos de ECI debido a la fuente x (ruido viario):

$$N_{x,y - vial} = FAP_{x,y,i} * I_y * P$$

donde

$FAP_{x,y,i}$ se calcula para la incidencia i

I_y tasa de incidencia de ECI en la zona evaluada, que puede obtenerse a partir de estadísticas sobre salud en la región o el país en el que se encuentra dicha zona

P población total del área evaluada (total de la población en las distintas bandas de ruido)

4.3.2. MOLESTIAS INTENSAS (MI)

El cálculo del Riesgo Absoluto de MI difiere en función de la fuente de ruido.

El RA de MI en relación al ruido de tráfico rodado se calcula mediante siguiente expresión:

$$RA_{MI,i,vial} = \frac{78.9270 - 3.1162 * L_{den} + 0.0342 * L_{den}^2}{100}$$

Para evitar valores distorsionados o fuera del rango de los estudios considerados, esta expresión presenta un rango de uso de 46 dB(A) a 80 dB(A).

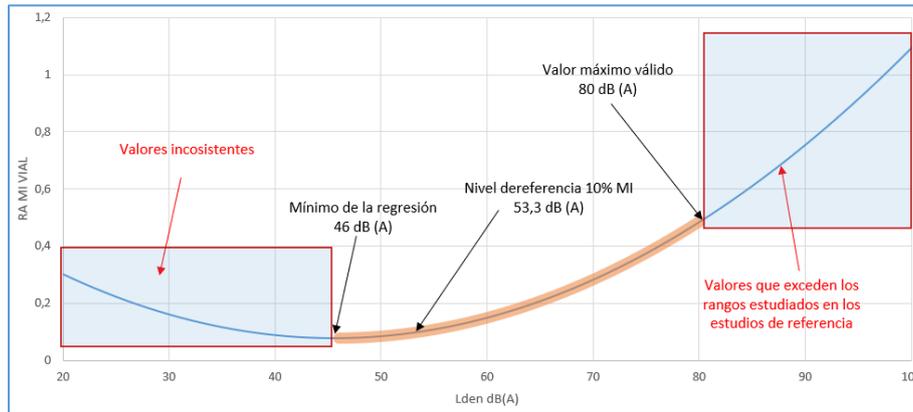


Ilustración 27: Análisis gráfico de la RDE de MI en tráfico rodado

El RA de MI en ruido de tráfico ferroviario se basa en la expresión:

$$RA_{MI,i,ferroviario} = \frac{38.1596 - 2.05538 * L_{den} + 0.0285 * L_{den}^2}{100}$$

Esta expresión es válida entre los 36 dB(A) y los 80 dB(A). Por debajo de ese rango genera valores distorsionados y por encima queda fuera del rango de los estudios considerados.

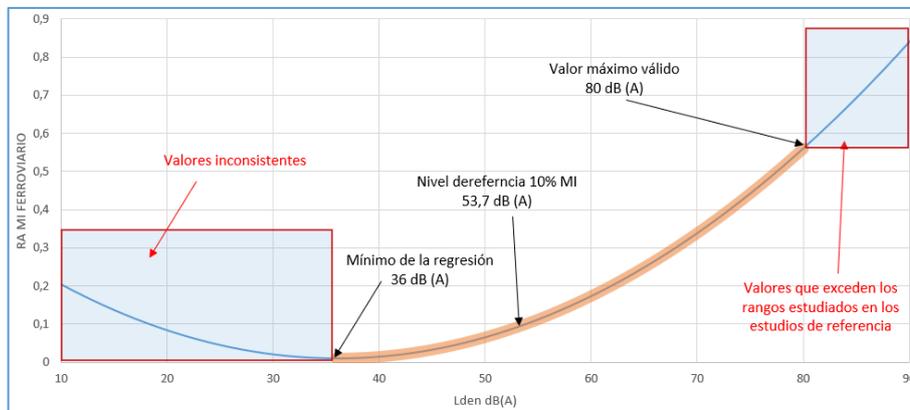


Ilustración 28: Análisis gráfico de la RDE de MI en tráfico ferroviario

El cálculo del RA de MI en ruido aeronáutico se realiza mediante la siguiente expresión:

$$RA_{MI,i,aeronaves} = \frac{-50.9693 - 1.0168 * L_{den} + 0.0072 * L_{den}^2}{100}$$

Esta expresión es válida entre los 40 dB(A) y los 75 dB(A).

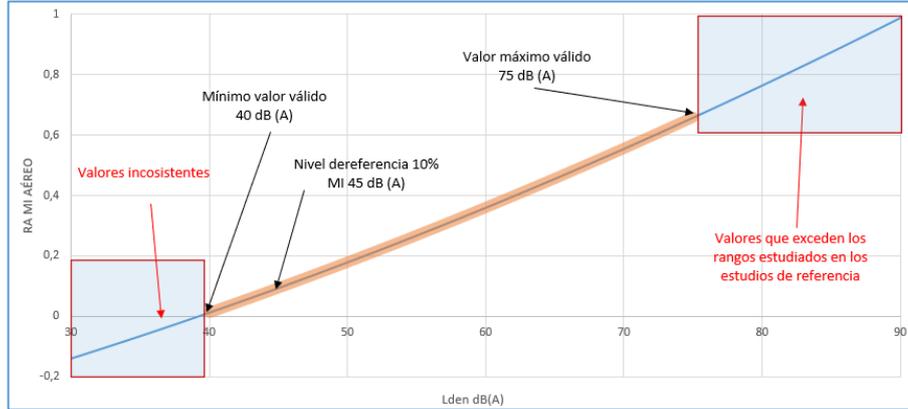


Ilustración 29: Análisis gráfico de la RDE de MI en ruido aeronáutico

Para los casos anteriores, a partir del RA se calcula el número total N de casos de MI debido a la fuente x (ruido viario, ferroviario o aeronáutico):

$$N_{x,y} - (\text{vial, ferroviario o aeronaves}) = \sum_j [n_j * RA_{j,x,y}]$$

donde

$RA_{j,x,y}$ RA del efecto nocivo pertinente (MI) en la banda “j” de nivel de ruido
 n_j número de personas expuestas a la banda “j” de nivel de ruido

4.3.3. ALTERACIONES GRAVES DEL SUEÑO (AGS)

Al igual que en el caso anterior, el cálculo del Riesgo Absoluto de AGS es diferente en función de la fuente de ruido.

En todos los casos los estudios de referencia indican que las siguientes expresiones son válidas en el rango de Ln de 40 dB(A) a 65 dB(A).

El RA de AGS en ruido de tráfico rodado se calcula mediante siguiente expresión:

$$RA_{AGS,i,vial} = \frac{19.4312 - 0.9336 * L_n + 0.0126 * L_n^2}{100}$$

RECEPTORES ACÚSTICOS

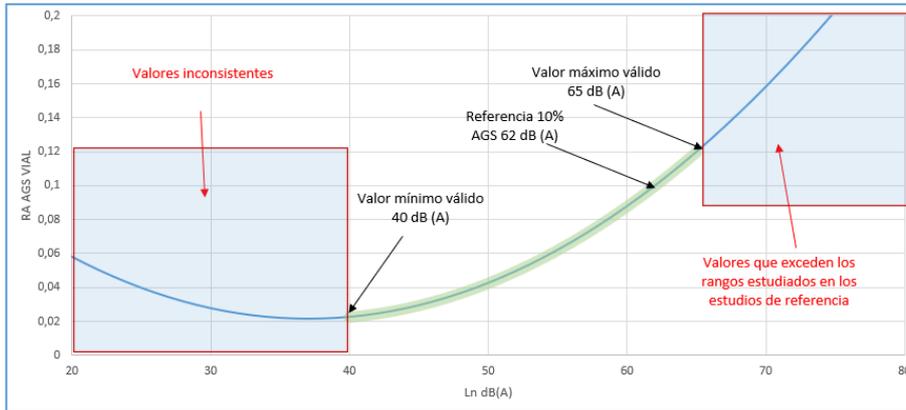


Ilustración 30: Análisis gráfico de la RDE de AGS en tráfico rodado

Para el cálculo del RA de AGS en ruido de tráfico ferroviario se utiliza siguiente expresión:

$$RA_{AGS,i,ferroviario} = \frac{67.5406 - 3.1852 * L_n + 0.0391 * L_n^2}{100}$$

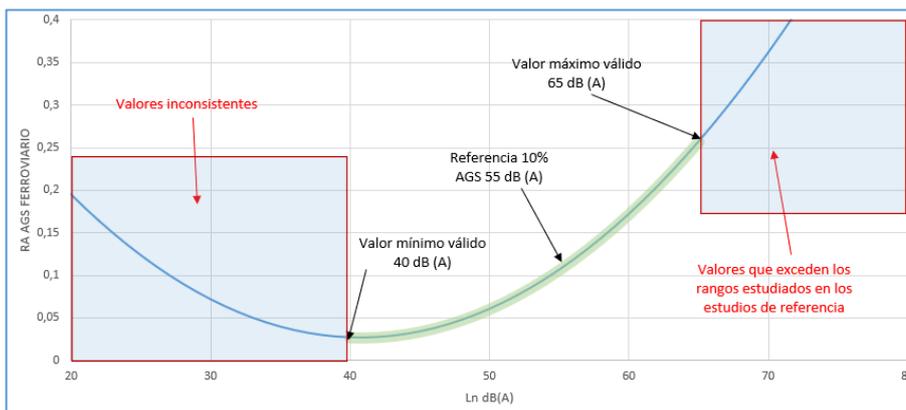


Ilustración 31: Análisis gráfico de la RDE de AGS en tráfico ferroviario

El cálculo del RA de AGS en ruido aeronáutico se realiza mediante la siguiente expresión:

$$RA_{AGS,i,aeronaves} = \frac{16.7885 - 0.9293 * L_n + 0.0198 * L_n^2}{100}$$

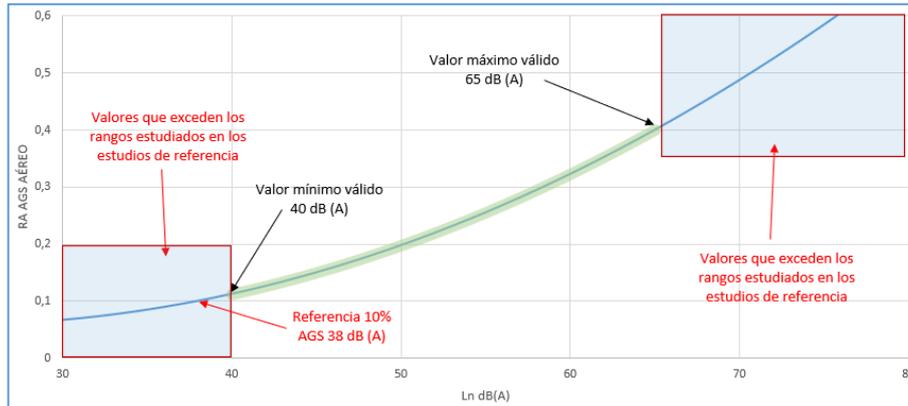


Ilustración 32: Análisis gráfico de la RDE de AGS en ruido aeronáutico

Al igual que para Molestias Intensas (MI), para los casos de AGS partir del RA se calcula el número total N de casos debido a la fuente x (ruido viario, ferroviario o aeronáutico):

$$N_{x,y} - (\text{vial, ferroviario o aeronaves}) = \sum_j [n_j * RA_{j,x,y}]$$

donde

RA_{j,x,y} RA del efecto nocivo pertinente (AGS) en la banda “j” de nivel de ruido
 n_j número de personas expuestas en la banda “j” de nivel de ruido

4.3.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS DISTINTAS RELACIONES DOSIS-EFECTO EN MI Y AGS

Comparando los resultados de la relación dosis-efecto de MI para cada fuente de ruido se observa que, a igual nivel de exposición el riesgo de padecer molestias intensas por ruido aeronáutico es muy superior al de ruido viario y ferroviario.

Las fuentes de ruido viario y ferroviario presentan valores similares si bien para valores inferiores a 54 dB(A) el riesgo de MI por ruido ferroviario es inferior y a partir de este valor de Lden se invierte la tendencia.

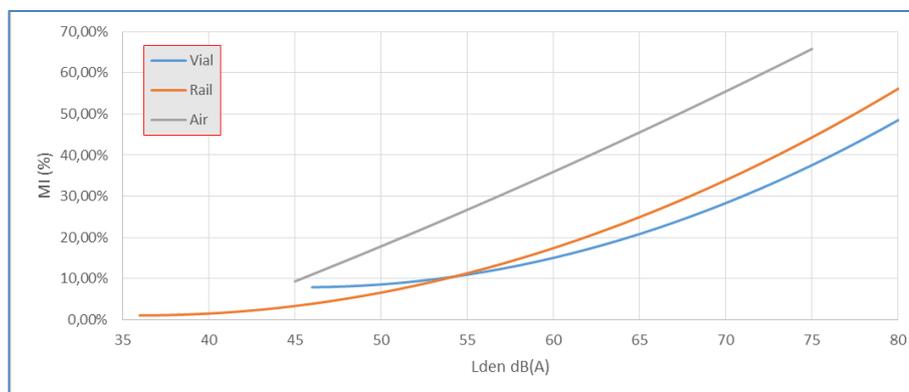


Ilustración 33: Comparación de RDE de MI para las distintas fuentes

De similar forma el Riesgo Absoluto de AGS es superior, a igual nivel de exposición, para ruido aeronáutico.

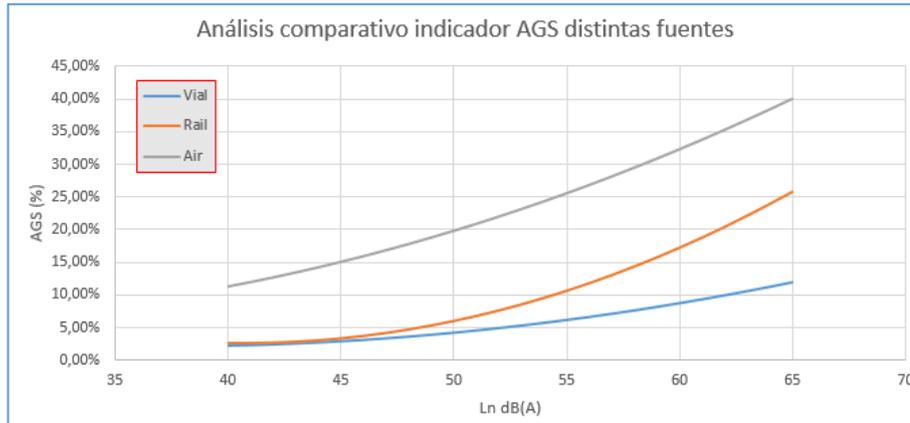


Ilustración 34: Comparación de RDE de AGS para las distintas fuentes

Las RDS penalizan los ruidos que, por su naturaleza, por nivel máximo, discontinuidad, o comportamiento impulsivo pueden causar más molestia a la población expuesta.

Aunque las fuentes de ruido aeronáuticas y ferroviarias presenten una respuesta más acusada a la molestia, en términos globales, las personas expuestas a ellas son menos numerosas que las expuestas a ruido de tráfico rodado.

5. CONFIGURACIONES Y CONTROLES DE CALIDAD PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO

5. CONFIGURACIONES Y CONTROLES DE CALIDAD PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO

5.1. CONFIGURACIONES Y CONTROLES DE CALIDAD PREVIOS AL CÁLCULO

5.1.1. REVISIÓN DE LOS ELEMENTOS INTRODUCIDOS EN EL MODELO

Una vez generado el modelo en el software de cálculo, previo al cálculo de isófonas, resulta recomendable revisar ciertos elementos del modelo para asegurarse de que se han introducido correctamente:

5.1.1.1. TOPOGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se realizará una revisión en 3D de la orografía importada al software de simulación, prestando especial atención a las zonas más próximas a los focos de ruido existentes en cada caso. Se revisará, por un lado, la presencia en el modelo de accidentes orográficos inexistentes en la realidad y, por otro lado, la presencia en la realidad de accidentes orográficos que la topografía importada al modelo no tenga recogidos. Se eliminarán todos aquellos accidentes orográficos inexistentes en la realidad y se generarán aquellos otros que, existiendo en la realidad, no estén contemplados en el modelo.

5.1.1.2. EDIFICACIONES

Se revisará, por un lado, que se han importado todos los atributos asignados a cada edificio (uso, población, altura, etc.) y, por otro lado, que no existan edificaciones que estén parcialmente enterradas. En caso de encontrar alguna edificación parcialmente enterrada, se procederá a corregir su altura en el modelo de manera que quede representada de la manera más similar posible a la realidad.

5.1.1.3. CARRETERAS

Se revisarán, al menos, los siguientes aspectos:

- Correcta importación de todos los atributos necesarios. IMD, IMH, % de pesados medianos, % de pesados, % de vehículos de dos ruedas (distinguiendo entre ciclomotores y motocicletas), velocidad, asfalto, pendiente, ancho de la vía, etc.
- Inexistencia de zonas soterradas, que no deban estarlo. Se revisará que la carretera vaya correctamente asentada sobre una plataforma recta y que no existan zonas o tramos enterrados o semienterrados. Igualmente se revisará que la carretera discurra correctamente asentada sobre el suelo.
- Revisión de zonas de pasos elevados y túneles. Se prestará especial atención a todas aquellas zonas en las que la carretera discurra en un paso elevado o túnel, revisando que dichos elementos se hayan generado correctamente.

- Revisión de protocolos de aceleración y deceleración. Previo a la introducción al modelo se revisará que, en las rotondas, carriles de aceleración y carriles de deceleración se hayan generado correctamente los protocolos de aceleración y deceleración necesarios.

5.1.1.4. FERROCARRILES

Se revisarán, al menos, los siguientes aspectos:

- Correcta importación de todos los atributos necesarios. Tipología de vehículos, número de vehículos por hora y por periodo de evaluación, tipología de vía, velocidad, etc.
- Inexistencia de zonas soterradas, que no deban estarlo. Se revisará que las vías de ferrocarril vayan correctamente asentadas sobre una plataforma recta y que no existan zonas o tramos enterrados o semienterrados. Igualmente se revisará que la vía discurra correctamente asentada sobre el suelo.
- Revisión de zonas de pasos elevados y túneles. Se prestará especial atención a todas aquellas zonas en las que la vía férrea discurra en un paso elevado o túnel, revisando que dichos elementos se hayan generado correctamente.
- Revisión de protocolos de aceleración y deceleración. Previo a la introducción al modelo se revisará que, en las proximidades de las estaciones, se hayan generado correctamente los protocolos de aceleración y deceleración propios a entrada y salida de estación.

5.1.1.5. FOCOS DE RUIDO INDUSTRIAL

Se revisará la correcta ubicación de los mismos, tanto en planta como en altura, así como la correcta asignación de potencia acústica.

5.1.1.6. PANTALLAS ACÚSTICAS

Se revisará la correcta ubicación, tanto en planta como en altura, de todas las pantallas acústicas identificadas. Se prestará especial atención a la correcta configuración de aquellas pantallas ubicadas sobre pasos elevados.

5.1.2. CONFIGURACIONES DE CÁLCULO Y PARÁMETROS DE PROPAGACIÓN

5.1.2.1. CONFIGURACIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO

Como método de cálculo para todos los Mapas Estratégicos de Ruido así como para cualquier estudio acústico que se realice mediante simulación se seleccionará el método CNOSSOS-EU.

5.1.2.2. RADIO MÁXIMO DE BÚSQUEDA DE FUENTES

El radio máximo de búsqueda de fuentes será, aquel que contenga las isófonas indicadas en el apartado 3.2.4

Como ayuda para definir este parámetro, en los apartados de configuración de fuentes referentes a carreteras y ferrocarriles, se han dado unas pautas para definir el área de cálculo que pueden emplearse igualmente para definir el radio máximo de búsqueda de fuentes por el software de simulación.

A menor radio de búsqueda de fuentes, menor tiempo de cálculo. No obstante, un radio de búsqueda de fuentes pequeño puede hacer que, alguna fuente dominante que se encuentre fuera de dicho radio de búsqueda no sea considerada en el cálculo. Por ello, es importante establecer un radio de búsqueda de fuentes de tal manera que todos los puntos del territorio expuestos a niveles indicados en el apartado 3.2.4 queden correctamente calculados.

5.1.2.3. PERIODOS DE REFERENCIA

Se deberán definir correctamente los periodos de referencia considerados en cada estudio. Como norma general, se emplearán los definidos por la normativa estatal Ley 37/2003, Real Decreto 1513/2005 y Real Decreto 1367/2007.

Tabla 14: Periodos de evaluación

Periodo	Horario
Día	07:00 – 19:00 h
Tarde	19:00 – 23:00 h
Noche	23:00 – 07:00 h

En caso de que exista otra normativa autonómica vigente que establezca horarios diferentes, la autoridad competente puede realizar cálculos adicionales en periodos distintos, pero los resultados a comunicar al Ministerio y que este debe reportar a la Unión Europea, deben corresponderse con los establecidos en la Directiva de Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental.

Además, se configurarán igualmente las penalizaciones asignadas a los periodos día, tarde y noche para el cálculo del indicador Lden.

Tabla 15: Penalizaciones para el cálculo de Lden

Periodo	Penalización
Día	0 dB(A)
Tarde	5 dB(A)
Noche	10 dB(A)

5.1.2.4. ÍNDICES DE CÁLCULO

Se indicará qué índices de cálculo se desea calcular. En el caso del cartografiado estratégico del ruido se calcularán y representarán los niveles sonoros existentes para todos los periodos de evaluación (Ld, Le, Ln) así como para el indicador Lden.

5.1.2.5. MODELO DIGITAL DEL TERRENO

En función de la calidad y grado de detalle del modelo digital del terreno introducido en el software de simulación acústica, se podrá configurar para que únicamente considere

topografía explícita (en el caso de haber introducido un MDT de buena calidad y elevado grado de detalle) o establecer dicha configuración para que el propio software de simulación realice las triangulaciones necesarias entre los elementos topográficos introducidos de manera que se interpole el terreno existente entre curvas de nivel (en el caso de que el MDT introducido no posea un elevado grado de detalle).

5.1.2.6. ABSORCIÓN DEL TERRENO

Se puede considerar una absorción del terreno global para toda la zona de estudio, cuando no existen tipologías de terreno muy diferentes, o se puede utilizar un mapa de absorción del terreno, por ejemplo, en el caso de que existan grandes zonas con un coeficiente de absorción muy diferente al resto del terreno.

5.1.2.7. REFLEXIONES

Todos los mapas estratégicos de ruido deberán calcularse, al menos, con una reflexión, siendo recomendables dos reflexiones. En el caso de que se calcule solamente con una reflexión, se justificará esta decisión en la memoria del MER. No obstante, para el cálculo de receptores en fachada, no se tendrá en cuenta el sonido reflejado en la propia fachada.

5.1.3. MALLADO

Un mallado inadecuado puede suponer errores muy elevados en las inmediaciones de las fuentes de ruido, en las isófonas más altas, pudiendo ocasionar errores de hasta 10 dB(A) de diferencia.

Por ello, resulta fundamental, previo al cálculo, configurar correctamente el mallado que se va a utilizar. **Se recomienda emplear un mallado de paso máximo de 10x10 metros** para el cartografiado estratégico del ruido y **altura relativa igual a 4 metros sobre el nivel del suelo**. De esta manera se puede garantizar una representación gráfica correcta de los niveles de ruido en todo el territorio.

En el caso de que se requiera un mayor grado de detalle en la salida gráfica de la malla de cálculo, puede resultar útil emplear mallados mucho más exactos, como pueden ser de 1 x 1 metro.



Ilustración 35: Mallado de 5 x 5 m



Ilustración 36: Mallado de 10 x 10 m



Ilustración 37: Mallado de 20 x 20 m



Ilustración 38: Mallado de 50 x 50 m

5.2. CONTROLES DE CALIDAD POSTERIORES AL CÁLCULO

5.2.1. REVISIÓN DE LA CONTINUIDAD DE LAS ISÓFONAS

Una vez realizados los cálculos, se verificarán, en primer lugar, las isófonas obtenidas, revisando que no existan discontinuidades en las mismas o que dichas discontinuidades están justificadas por cambios de velocidad, cambios en el flujo de tráfico, presencia de pasos elevados, presencia de túneles, etc.

En caso de detectarse alguna discontinuidad en las isófonas para la que no se encuentre una justificación adecuada, se revisarán tanto los atributos como la ubicación (en 3D) de los focos de ruido próximos a dicha discontinuidad con el fin de corregir los datos que la pudieran estar provocando de manera injustificada y se volverá a lanzar el cálculo con las correcciones necesarias.

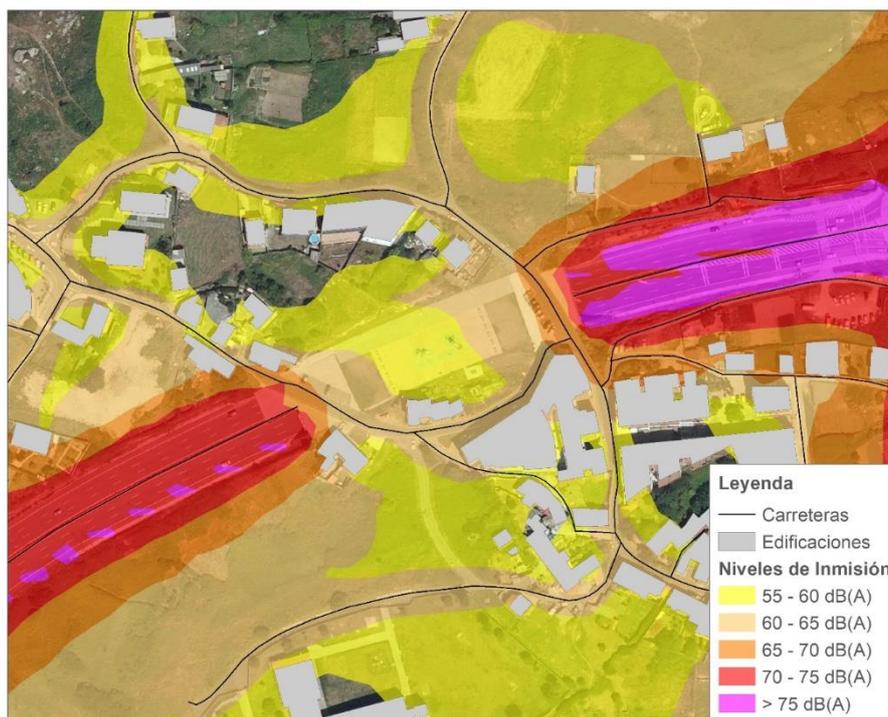


Ilustración 39: Discontinuidad de isófonas por presencia de túnel



Ilustración 40: Discontinuidad de isófonas por presencia de paso elevado



Ilustración 41: Discontinuidad de isófonas por cambio de velocidad, y presencia de obstáculos

5.2.2. VALIDACIÓN DEL MODELO MEDIANTE ENSAYOS “IN SITU”

En caso de disponer de ensayos “in situ” se podrán emplear los mismos con el fin de validar el modelo de simulación.

Para ello, se introducirán como receptores puntuales en el modelo de cálculo los puntos donde se hayan realizado los ensayos “in situ”, y se simularán los niveles sonoros existentes o previstos en dichos puntos. Una vez obtenidos los resultados en el modelo de cálculo, se procederá a la validación de los mismos mediante su contrastación con los niveles de ruido proporcionados por la campaña de ensayos. Para ello, se emplearán los resultados de las mediciones, para comprobar que los niveles estimados mediante el software de simulación se ajustan fielmente a la realidad acústica de la zona objeto de estudio.

En este proceso de validación se distinguirán dos posibles situaciones:

5.2.2.1. SITUACIÓN 1: LOS DATOS OBTENIDOS POR EL MODELO SE APROXIMAN A LOS DATOS OBTENIDOS MEDIANTE LA CAMPAÑA DE ENSAYOS “IN SITU”

En este caso, se dan por buenos los datos obtenidos con el modelo predictivo.

Los criterios seguidos para considerar que un dato medido y un dato obtenido mediante simulación son equivalentes y, por tanto, validables, contemplan aspectos como la incertidumbre de las medidas y la precisión de los métodos de cálculo, así como otras variables como la localización de las mediciones, la velocidad y la dirección del viento

durante los procesos de medida, o las características de los edificios, para establecer la desviación máxima admitida, en dB(A), entre medición y simulación.

Como norma general, se considerará válido aquel mapa de ruido cuya desviación entre niveles simulados y niveles medidos sea $\leq 3\text{dB(A)}$.

5.2.2.2. SITUACIÓN 2: LOS DATOS OBTENIDOS POR EL MODELO PREDICTIVO DIFIEREN SIGNIFICATIVAMENTE CON LOS DATOS OBTENIDOS MEDIANTE LA CAMPAÑA DE MEDIDAS

En este caso, se procederá a llevar a cabo un proceso de análisis y evaluación de las causas que pudieran haber influido en dicha variación.

Ante tal situación, no es recomendable la opción de “calibrar” los resultados del mapa, aplicando una corrección general (offset) a los resultados. Para solucionar este caso hipotético, se recomienda seguir las siguientes pautas:

- Realizar una nueva visita “in situ” a la zona de evaluación para contrastar los datos de partida que se hayan introducido al modelo acústico (ubicación de edificios, altura de edificios, existencia de focos sonoros que pudieran influir en los resultados, absorción de las barreras y obstáculos de la zona, etc.) respecto a la situación real.
- Corregir los errores detectados en los datos de partida y repetir la simulación acústica de la zona con la nueva información de entrada.
- Programar un nuevo muestreo “in situ” de los niveles sonoros existentes en el punto de evaluación con el objeto de contrastar el dato real con el nuevo dato obtenido mediante la simulación.

6. FUENTES DE INFORMACIÓN

6. FUENTES DE INFORMACIÓN

6.1. NORMATIVA

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

Directiva (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.

Reglamento (UE) 2019/1010 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, relativo a la adaptación de las obligaciones de información en el ámbito de la legislación relativa al medio ambiente y por el que se modifican los Reglamentos (CE) nº 166/2006 y (UE) nº 995/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 2002/49/CE, 2004/35/CE, 2007/2/CE, 2009/147/CE y 2010/63/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, los Reglamentos (CE) nº 338/97 y (CE) nº 2173/2005 del Consejo, y la Directiva 86/278/CEE del Consejo.

Directiva (UE) 2020/367 de la Comisión de 4 de marzo de 2020 por la que se modifica el anexo III de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al establecimiento de métodos de evaluación para los efectos nocivos del ruido ambiental.

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

Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.

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

Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Orden PCI/1319/2018, de 7 de diciembre, por la que se modifica el Anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a la evaluación del ruido ambiental.

Orden PCM/542/2021, de 31 de mayo, por la que se modifica el Anexo III del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

Orden PCM/80/2022, de 7 de febrero, por la que se modifica el anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

6.2. PUBLICACIONES

ADIF, 2022. 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.

Ausejo, M.; Recuero, M.; Asensio, C.; Pavón, I.; Pagán, R. Study of Uncertainty in Noise Mapping. INTERNOISE 2010, Lisboa (Portugal), June 2010.

Ausejo, M.; Recuero, M.; Asensio, C.; Pavón, I. Reduction in calculated uncertainty of a noise map by improving the traffic model data through two phases. Acta Acustica United with Acustica, Vol. 97 (2011) 761-768.

CIRCABC (Communication and Information Resource Centre for Administrations, Businesses and Citizens) de la Comisión Europea. Appendix 10: Guide for Mapping Existing National Road Methods to the CNOSSOS-EU Road Source Method.

CIRCABC (Communication and Information Resource Centre for Administrations, Businesses and Citizens) de la Comisión Europea. Develop and Implement Harmonised Noise Assessment Methods. Process Applied to Establish CNOSSOS-EU/National Method Equivalence for Road Source data.

EAPA (European Asphalt Pavement Association). Asphalt in figures 2019.

Echazarreta, F. S., & Marrades, D. M. A. (2006). Gestión del ruido en infraestructuras de transporte: metodología para elaboración de mapas de ruido y técnicas de reducción de los niveles sonoros mediante pavimentos absorbentes y sistemas de apantallamiento. Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, (150), 124-155.

EPA Research. Report No. 382. Transitioning to Strategic Noise Mapping under CNOSSOS-EU (Noise-Adapt).

European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN). Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure.

García Morales, Rubén; Ausejo Prieto, Miguel; Zabala Martín, Lander; Simón Otegui, Laura; Pereira Nieto, Javier; Ruiz Larsson, Daniel; Tijero Sanz, Félix. Realización de los Mapas Estratégicos de Ruido de las Carreteras de Bizkaia Correspondientes a la 3ª Fase, Tecniacústica 2017, A Coruña, España

Kephalopoulos, S., Paviotti, M., & Anfosso-Lédée, F. (2012). Common noise assessment methods in Europe (CNOSSOS-EU), 180-p.

Kephalopoulos, S., Paviotti, M., Anfosso-Lédée, F., Van Maercke, D., Shilton, S., & Jones, N. (2014). Advances in the development of common noise assessment methods in Europe: The CNOSSOS-EU framework for strategic environmental noise mapping. Science of the Total Environment, 482, 400-410.

Notario Tévar, A., Ausejo Prieto, M., Simón Otegui, L., García Morales, R. Benchmark tests to decide the best technology to be applied in large strategic noise mapping. INTERNOISE 2019. Madrid (Spain), 2019.

Simon Shilton, Nigel Jones, Alan Stimac, Miguel Ausejo. Improving consistency through quality control with a large strategic noise mapping project. INTERNOISE, Innsbruck (Austria), September 2013.

Sakamoto, S. (2020). Road traffic noise prediction model "ASJ RTN-Model 2018": Report of the Research Committee on Road Traffic Noise. Acoustical Science and Technology, 41(3), 529-589.

Soloaga, I. A., & Echazarreta, F. S. (2011). CNOSSOS-EU: desarrollo de un método común de evaluación del ruido ambiental en la Unión Europea. Ingeniería civil, (164), 25-33.

World Health Organization. (2018). Environmental noise guidelines for the European region.

Soto Molina, Ignacio; Arce Ruiz, Rosa. Análisis crítico de la aplicación de la Orden PCM/542/2021, de 31 de mayo, por la que se modifica el anexo III del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido Ambiental, en la cuarta fase de la Directiva de ruido ambiental. 53º Congreso Español de Acústica. XII Congreso Ibérico de Acústica. Elche, 2022.

Soto Molina, Ignacio; Segués Echazarreta, Fernando; Arce Ruiz, Rosa. Análisis de sensibilidad en el cálculo de población expuesta en los mapas estratégicos de ruido de la Cuarta Fase, en función de los métodos propuestos por la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 para la distribución de población en receptores. Congreso Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, CONAMA Madrid 2022.

6.3. MANUALES DE SOFTWARE

Manual de usuario del software CadnaA.

Manual de usuario del software IMMI.

Manual de usuario del software LimA/Predictor.

Manual de usuario del software MITHRA.

Manual de usuario del software Soundplan.

Documentación del software [Noise Modelling](#)



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

R-25