

CONAMA 2022

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

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.



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.

Autor Principal: **Ignacio Soto Molina** (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas – CEDEX; Centro de Investigación del Transporte, TRANSYT, Universidad Politécnica de Madrid)

Otros autores: **Fernando Segués Echezarreta** (CEDEX), **Rosa Arce Ruiz** (Centro de Investigación del Transporte, TRANSYT, Universidad Politécnica de Madrid)

ÍNDICE

1. Índice
2. Resumen
3. Abstract
4. Introducción
5. Cambios derivados de la Directiva Delegada (UE) 2021/1226, en relación con la asignación de viviendas y habitantes a receptores
6. Análisis de sensibilidad en el cálculo de población expuesta, aplicando los nuevos criterios
7. Discusión
8. Conclusiones y recomendaciones
9. Agradecimientos
10. Bibliografía

RESUMEN

En la Cuarta Fase de la Directiva de Ruido Ambiental (END)¹, cuyo periodo temporal ha comenzado este año 2022, es de aplicación el Método Común Europeo CNOSSOS-EU. La última modificación que ha sufrido END se produce con la publicación de la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 de la Comisión, de 21 de diciembre de 2020, por la que se modifica, para adaptarlo al progreso científico y técnico, su Anexo II².

La Directiva Delegada (UE) 2021/1226 introduce cambios significativos en el Anexo II de END, que recoge el método de cálculo a aplicar en los Mapas Estratégicos de Ruido. Entre estos cambios destacan nuevas metodologías de asignación de viviendas y su población a receptores de fachada de cada edificio.

En esta comunicación se analiza el efecto que puede tener la selección de las distintas metodologías disponibles en el cálculo de población expuesta, así como la problemática que las mismas suponen a la hora de evaluar la evolución de la población afectada de las fuentes de ruido que han realizado MER en fases anteriores. Se han encontrado diferencias significativas

¹ «DOCE» núm. 189, de 18 de julio de 2002, páginas 12 a 25 (14 págs.)

² «DOUE» núm. 269, de 28 de julio de 2021, páginas 65 a 142 (78 págs.)

en la evaluación población expuesta aplicando, al mismo escenario, diferentes métodos de asignación.

Las conclusiones del presente trabajo son de aplicación, en particular, a fuentes lineales y a ruido aeronáutico, es decir, a escenarios acústicos donde existe una única fuente de ruido, estando los receptores ubicados a un lado, o alrededor, de dicha fuente. En el caso de aglomeraciones, donde los receptores pueden estar afectados por más de una fuente, las diferencias en la evaluación de la población expuesta entre los diferentes métodos serán previsiblemente menores.

ABSTRACT

Under the Fourth Round of implementation of the Environmental Noise Directive (END), whose time period has begun in 2022, the Common European Method CNOSSOS-EU is applicable. The last modification of the END was produced with the publication of the Commission Delegated Directive (EU) 2021/1226 (CDD 2021/1226) of 21 December 2020 amending, for the purposes of adapting to scientific and technical progress, Annex II to Directive 2002/49/EC.

CDD 2021/1226 introduces significant changes in END Annex II, including the calculation method to be applied in the Strategic Noise Maps. Some of the most relevant changes include new methodologies for assigning dwellings and their population to receivers on each building façade.

This communication analyses the effect that the selection of different available methodologies can have on the calculation of the exposed population. Besides, this study also presents the difficulties found when evaluating the evolution of the population affected by noise sources during the previous rounds' development of Strategic Noise Maps. Significant differences have been found in the evaluation of the exposed population when applying, to the same scenario, different assigning methods.

The conclusions of this work are applicable, in particular, to linear noise sources and aeronautical noise, that is, to acoustic scenarios where there is a single source of noise, and receivers are located on a side or around of the source. In the case of agglomerations, where receivers may be affected by more than one source, the differences in the evaluation of the exposed population between the different methods are expected to be smaller.

INTRODUCCIÓN

El Área de Ruido Ambiental del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) apoya al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el cumplimiento de las obligaciones del Reino del España derivadas de la Directiva 2002/49/CE del

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.

Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental (END), a través de Encargo entre la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y el CEDEX.

Entre las tareas del encargo figura la *“El desarrollo de nuevas metodologías y requerimientos establecidos en las modificaciones de la regulación Europea, y en particular a la metodología común europea CNOSSOS-EU”*.

Uno de los objetivos principales de estas tareas es apoyar a la normalización y armonización de los criterios técnicos adoptados en los instrumentos de evaluación y gestión del ruido ambiental, es decir, los Mapas Estratégicos de Ruido (MER) y los Planes de Acción contra el Ruido (PAR).

Los MER y PAR pueden considerarse una herramienta de planificación y gestión del ruido ambiental. De acuerdo con lo establecido por END, cada 5 años, a partir de 2007 en el caso de los MER, y de 2008 en el caso de los PAR, los Estados Miembros de la Unión Europea deben elaborar y aprobar estas herramientas, así como implementarlas y medir los resultados. Su objetivo principal es, por tanto, la evaluación de la población expuesta al ruido, y en particular a niveles considerados perjudiciales para la salud (fase MER) y la corrección o mitigación de estos efectos (fase PAR).

END se ha aplicado en el Reino de España desde la Primera Fase (2007), estando actualmente vencidas las tres primeras fases, y en periodo de la Cuarta (iniciada en 2022).

En julio de 2015 se publicó la Directiva 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 Consejo³, conocida como “Directiva CNOSSOS”. Esta Directiva modifica los métodos de cálculo que se habían venido aplicando en las tres primeras fases de END (métodos interinos), para introducir el “Método común de evaluación del ruido ambiental CNOSSOS-EU”.

En la Cuarta Fase, por tanto, dejan de ser de aplicación los denominados “métodos interinos”, aplicándose un método común en toda la UE, que tiene la particularidad de que, para todas las fuentes, salvo el modo aéreo, dispone de un modelo de propagación común.

Algunos investigadores (Bertellino et al., 2016) han realizado trabajos tendentes a determinar las diferencias en el cálculo del ruido ambiental entre el método CNOSSOS-EU y los métodos interinos. Este tema no es baladí, ya que existe la necesidad de poder relacionar y comparar los datos que arrojen los MER de la Cuarta Fase con los estudiados en fases anteriores. De lo contrario, resultará complejo evaluar la tendencia y la eficacia de las medidas tomadas hasta el momento.

En general, existe consenso en que el método CNOSSOS-EU se ajusta a la realidad, incluso mejor que los métodos interinos (Faulkner & Murphy, 2022), probablemente debido a que, por ejemplo, en el caso de carreteras, el método está basado en parques de vehículos más

³ «DOUE» núm. 168, de 1 de julio de 2015, páginas 1 a 823 (823 págs.)

modernos, acordes con los actuales. También se han realizado estudios de sensibilidad de la influencia de los diferentes parámetros de CNOSSOS-EU en el resultado del cálculo, obteniendo que el resultado del cálculo depende de las decisiones que tomen los elaboradores de los mapas y, por tanto, se deben ajustar estas variables a la realidad del escenario de cálculo (Aumond et al., 2021; Balogh et al., 2022).

Tras la aprobación de la Directiva CNOSSOS, se ha realizado un intenso trabajo por parte de la Comisión Europea, con la creación de un grupo de trabajo específico para el Método CNOSSOS-EU, integrado en el Grupo de Expertos de Ruido europeo (Noise Expert Group). El trabajo se inició en respuesta a una investigación previa del Instituto Nacional de Salud y Medio Ambiente de los Países Bajos (RIVM), que puso de manifiesto que el método CNOSSOS-EU: 2015, contenía ambigüedades y errores. Para cada punto en cuestión, el grupo de trabajo explicó por qué lo consideraban un problema y elaboró una propuesta motivada de mejora. La última versión de este documento es del año 2019 (Kok & van Beek, 2019).

Durante este proceso de discusión y enmienda (2018 -2021), que derivó en la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 de la Comisión, de 21 de diciembre de 2020, el Área de Ruido del CEDEX, como asistencia del MITECO, participó en las reuniones del Grupo de Expertos en Ruido europeo.

Fruto de esta participación se detectó que uno de los aspectos más relevantes a la hora de evaluar la población expuesta al ruido es la asignación de viviendas y población a receptores de fachada, dado que el nuevo texto incluiría variaciones en el sistema de asignación.

En noviembre de 2020, el Área de Ruido del CEDEX realizó un estudio sobre la influencia de los nuevos criterios de asignación en el cálculo de la población expuesta (Soto-Molina & Segué, 2020). Este estudio determinó que este factor puede tener una influencia superior en el cálculo de población expuesta que otros factores que influyen en el resultado de un MER. Los resultados de este estudio han sido ahora adaptados al texto definitivo recogido en la Directiva Delegada (UE) 2021/1226, para la presente contribución.

CAMBIOS DERIVADOS DE LA DIRECTIVA DELEGADA (UE) 2021/1226, EN RELACIÓN CON LA ASIGNACIÓN DE VIVIENDAS Y HABITANTES A RECEPTORES

Distribución de receptores en edificios

END propone dos sistemas de distribución de receptores en edificios, que no han sufrido modificación con la Directiva Delegada (UE) 2021/1226. No obstante, es conveniente tenerlos presentes para entender el efecto que los cambios en la asignación de población y viviendas a los mismos pueden tener en la evaluación de la población expuesta.

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.

El primero de estos sistemas, denominado “Caso 1” en el texto de END, consiste en dividir en intervalos regulares la fachada. En este supuesto, los receptores se colocan en la parte central de segmentos de fachada, delimitados en función de la longitud de estos, de acuerdo con criterios determinados en END. El resultado son receptores que se posicionan en la zona de fachada que podría coincidir sensiblemente con la ubicación de las ventanas:

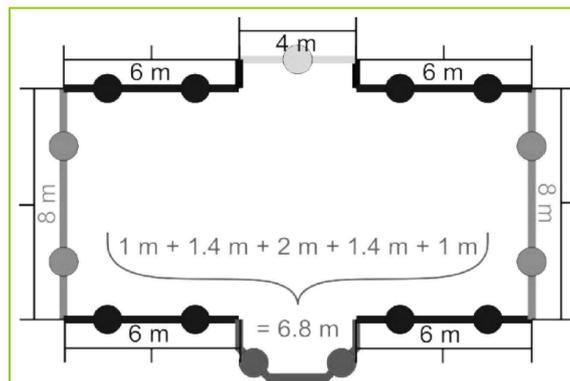


Figura 1. Ejemplo de ubicación de puntos del receptor alrededor de un edificio, según el procedimiento del caso 1 (END)

El segundo de los sistemas (Caso 2) parte de la elección de un segmento de fachada, considerado separadamente, o dividiendo en total de la fachada en segmentos de 5 m. El primer receptor se coloca en el punto medio de dicho segmento, y el resto en el punto medio de los segmentos resultantes de dividir las demás secciones de fachada con el mismo criterio. Aplicando este criterio, la ubicación resultante de receptores es más aleatoria, y podría dar lugar a receptores de esquina, que habitualmente no coinciden con la parte más sensible al ruido de la fachada.

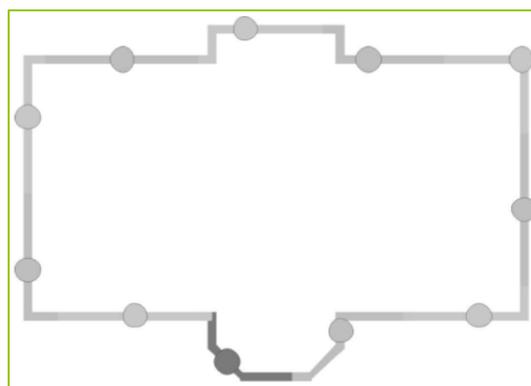


Figura 2: Ejemplo de ubicación de puntos del receptor alrededor de un edificio, según el procedimiento del caso 2 (END)

Dado que la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 no introduce cambios en estos sistemas, la Cuarta Fase de los MER mantendrá este mismo criterio. No obstante, la asignación de viviendas y sus habitantes a estos receptores sí puede variar entre los mapas de esta fase y las anteriores, como veremos en los próximos apartados.

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.

Asignación de viviendas y sus habitantes a receptores antes de la Directiva Delegada (UE) 2021/1226

En las fases anteriores, es decir, Primera Fase (2007), Segunda Fase (2012) y Tercera Fase (2017), el criterio a seguir en la elaboración de los MER, de acuerdo con END, era el siguiente para cualquiera de los dos sistemas o casos de distribución de receptores:

“El número de habitantes asignados a un punto receptor debe ponderarse en función de la longitud de la fachada representada, de tal manera que la suma de todos los puntos del receptor represente el número total de habitantes.”

“En el caso de edificios con sólo una vivienda por planta, se asigna, a efectos estadísticos, el número de habitantes a la fachada más expuesta.”

En la práctica, esto implica una distribución homogénea de receptores en fachada, ponderada por la longitud de fachada que representa el receptor, salvo en el caso de exista una única vivienda por planta, en la que se asigna dicha vivienda y su receptor a la fachada más expuesta.

Lo habitual es que se aplicara el primer criterio (distribución de población en todos los receptores), ya que la mayor parte de los edificios tienen más de una vivienda por planta, salvo en casos concretos, como viviendas unifamiliares y adosados, en los que se ajusta más el segundo criterio.

Por tanto, en la mayor parte de los MER, y en particular en los MER de aglomeraciones, que es donde se concentra la mayor parte de la población expuesta dentro del alcance de END, en las tres primeras fases de la Directiva de Ruido Ambiental se ha venido aplicando una distribución homogénea de receptores en fachada.

Asignación de viviendas y sus habitantes a receptores después de la Directiva Delegada (UE) 2021/1226

La Directiva Delegada (UE) 2021/1226, transpuesta al ordenamiento jurídico español a través de 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 ambiental⁴, modifica los criterios de asignación de viviendas y población a receptores.

Establece dos situaciones posibles:

⁴ «BOE» núm. 35, de 10 de febrero de 2022, páginas 17478 a 17554 (77 págs.)

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.

- Situación 1. Se conoce la distribución de las viviendas en la planta del edificio
- Situación 2: No se conoce dicha distribución. A su vez pueden darse dos casos diferenciados:
 - Caso 1: La información disponible permite determinar que las viviendas del edificio tienen una sola fachada expuesta al ruido
 - Caso 2: Se desconoce el número de fachadas que las viviendas tienen expuestas al ruido, o se conoce que el número de fachadas expuestas de las viviendas es mayor a la unidad.

En función de estas posibles situaciones, se establecen los siguientes criterios de asignación de viviendas y receptores a los edificios:

- Situación 1. Se asignan las viviendas y su población a receptores de fachada localizados en la fachada más expuesta de la vivienda.
- Situación 2. Caso 1: Se utiliza el mismo criterio que en las fases anteriores, asignando la población ponderadamente a la longitud de fachada que representa el receptor.
- Situación 2. Caso 2: Se debería seguir el siguiente procedimiento:
 - Determinar la mediana del nivel de ruido calculado en los receptores.
 - En caso de que sean impares, se excluye el receptor que recibe el menor nivel de ruido para el proceso.
 - Se seleccionan únicamente la mitad superior, respecto de la mediana de ruido, de los receptores.
 - Se asignan, de forma homogénea, las viviendas y su población a los receptores seleccionados.

En la práctica, la Situación 1 y la Situación 2 - Caso 1 son equiparables a los criterios de las fases anteriores, mientras que la Situación 2 - Caso 2, supone un importante cambio metodológico en la Cuarta Fase.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN EL CÁLCULO DE POBLACIÓN EXPUESTA, APLICANDO LOS NUEVOS CRITERIOS

Dificultades para determinar el criterio de asignación

Como se ha expuesto anteriormente, en las primeras tres fases de los MER, el criterio era relativamente evidente, ya que en escenarios acústicos donde predominaran edificios con más

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.

de una vivienda por planta, las viviendas y su población eran repartidas en todos los receptores, teniendo en cuenta la longitud de fachada que representaba cada receptor.

Este criterio se corresponde con la actual Situación 2 - Caso 1 de la Directiva Delegada (UE) 2021/1226, con la salvedad de que para poder aplicarlo en la Cuarta Fase se debe tener información que permita determinar que las viviendas de los edificios tienen una sola fachada expuesta.

Y es en este punto donde radica la dificultad en la toma de decisiones, ya que, si la autoridad competente para elaborar y aprobar el MER no puede determinar este extremo, debería aplicar la Situación 2 - Caso 2, en la que las viviendas y su población se distribuyen en la mitad superior de los receptores que se encuentra sobre la mediana del ruido calculado en todos los receptores del edificio.

Estudio de la influencia de la metodología de asignación de la población expuesta

Selección de zonas de estudio

Se han seleccionado 4 zonas de estudio a partir de datos de los mapas estratégicos de ruido elaborados por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento en Fase 2.

Estos datos están a disposición del CEDEX, ya que el Área de Ruido Ambiental ejerció, por encomienda, las labores de control de calidad de realización de estos mapas.

La selección de las zonas obedece a los siguientes criterios:

- Que se disponga de información de edificios, con su población, y receptores originales con nivel de ruido, con un posicionamiento de puntos receptores en fachada de edificios acorde con lo establecido en el Anexo II de END (Método CNOSSOS-EU).
- Que el área abarque 500x500 m y esté suficientemente cerca de la carretera para recibir niveles de ruido superiores a L_{den} 60 dB(A), para poder evaluar adecuadamente la influencia de la utilización de los métodos de distribución de la población propuestos.
- Que la clase de edificios mayoritaria sea de tipo manzana de pisos, con un porcentaje bajo o nulo de viviendas unifamiliares.

Las zonas de estudio se identifican en la figura siguiente:

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.



Figura 3: Zonas de estudio

Métodos considerados de distribución de población en receptores

Método 1: Se distribuye la población expuesta equitativamente en los receptores generados automáticamente por el software de ruido, ponderando en función de la longitud de fachada que abarca cada receptor (equivale al Sistema 2 - Caso 1 de la Directiva Delegada).

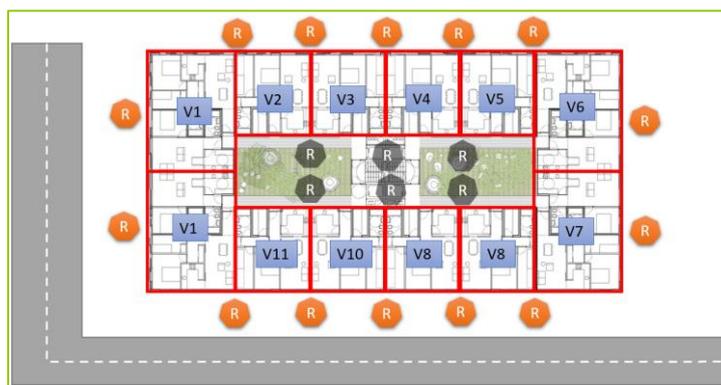


Figura 4: Esquema de distribución de receptores del Método 1. Únicamente se asigna población a los receptores coloreados en naranja.

Método 2: Se selecciona la mitad de los receptores con nivel de ruido más alto de cada edificio (receptores por encima de la mediana de cada edificio), y se distribuye uniformemente la población en ellos (equivale al Sistema 2 - Caso 2 de la Directiva Delegada (UE) 2021/1226).

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.

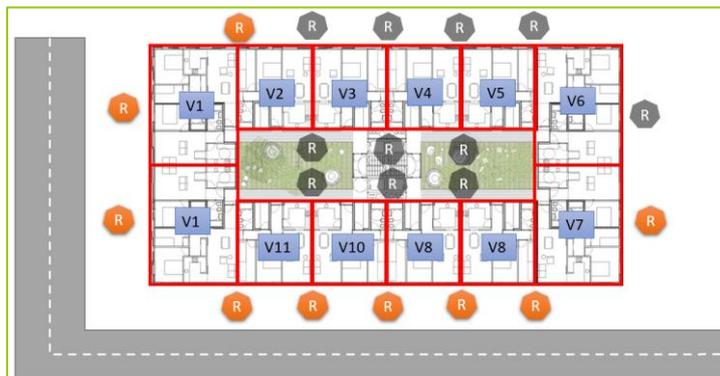


Figura 5: Esquema de distribución de receptores del Método 2. Únicamente se asigna población a los receptores coloreados en naranja.

No se ha tenido en cuenta la Situación 1, ya que en la práctica no sería aplicable en MER de escenarios acústicos amplios. Sí lo sería en estudios de detalle, donde es posible tener información precisa de un grupo pequeño de edificios que se desee evaluar.

Evaluación de la población expuesta

Para las 4 zonas de estudio seleccionadas se ha obtenido la población expuesta resultante de la aplicación de cada uno de los dos métodos considerados. De acuerdo con lo establecido por la Directiva END se han calculado los valores de población expuesta para los intervalos del indicador L_{den} 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, 70-75 y >75 . Se han obtenido también los valores acumulados $L_{den}>55$, $L_{den}>65$ y $L_{den}>75$.

Resultados de la aplicación de los métodos considerados a los mismos escenarios

La aplicación del Método 2 incorporado por la Directiva Delegada (UE) 2021/1226), supone incrementar la estimación 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.

Es preciso tener en cuenta que, de acuerdo con la legislación española, el valor límite de referencia estándar para zonas residenciales consolidadas se sitúa en L_{den} 65 (L_{den} 60 para situaciones nuevas y futuras). En los 4 casos analizados, el porcentaje de población respecto a la población total del área de estudio que supera el valor de L_{den} 65 se ha visto notablemente incrementado al aplicar el Método 2.

Para calcular el incremento en la estimación de la población afectada se utiliza la siguiente expresión, calculada sobre los datos del Cuadro nº1.

$$\text{Incremento (\%)} = \frac{\text{población afectada Método 2} - \text{población afectada Método 1}}{\text{población afectada Método 1}}$$

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.

La aplicación del Método 2 incrementa la estimación de población expuesta a $L_{den} > 65$ dB(A) entre 52,95% y un 90,04%, respecto al cálculo realizado en con el Método 1, en los escenarios estudiados, con un valor medio de incremento del 79,21%. Es decir, en los casos estudiados, sería equivalente a multiplicar por un factor corrector el valor de población expuesta a $L_{den} > 65$ dB(A), calculada por el método de las fases anteriores, de 1,5 – 1,9 (de media 1,79).

Cuadro 1. Comparación de resultados de población expuesta entre el Método 1 y el Método 2, respecto a la población que supera el valor de $L_{den} > 65$

| Zona de estudio | Población total estudiada | Pob. Afectada $L_{den} > 65$ Método 1 | Pob. Afectada $L_{den} > 65$ Método 2 | % incremento método 2 s./ método 1 |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Zona 1 | 1364 | 153 | 288 | 88,14% |
| Zona 2 | 637 | 54 | 99 | 85,71% |
| Zona 3 | 9071 | 665 | 1264 | 90,04% |
| Zona 4 | 5910 | 280 | 428 | 52,95% |
| | | | Incremento medio | 79,21% |

Fuente: Adaptado de Soto-Molina et al. 2020 (Soto-Molina & Segué, 2020)

Consideraciones para ruido aéreo dentro de aglomeraciones

Los MER de aglomeraciones deben considerar todas las fuentes de ruido contempladas en la Directiva.

El nuevo modelo de datos europeo (Blanes, Ramos, et al., 2021), aprobado por 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*, aclara que dentro de las aglomeraciones se deben contemplar todas las infraestructuras de transporte, sean consideradas grandes o no.

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.

Cuadro 2. Fuentes de ruido a estudiar dentro de aglomeraciones

| | |
|----------------|---|
| Requirement | Mandatory |
| Description | Noise source of the exposed population values inside agglomeration |
| Reportnet type | 3 Link |
| Format | Only one value is allowed |
| Code list | Code list URL: https://dd.eionet.europa.eu/vocabulary/noise/NoiseSourceValue/ Applicable code list values: <ul style="list-style-type: none"> - agglomerationAir - agglomerationIndustry - agglomerationRoad - agglomerationRailway - agglomerationMajorAirport - agglomerationMajorRoad - agglomerationMajorRailway - agglomerationAllSources |

Fuente: Eionet Report - ETC/ATNI 2021/3 (Blanes, Closa Guillem, et al., 2021)

Es decir, en el caso del ruido aéreo, dentro de aglomeraciones, se deben considerar todos los aeropuertos que afectan a la aglomeración, tengan o no más de 50.000 operaciones al año.

La Directiva Delegada (UE) 2021/1226 establece un método de estimación de población expuesta al ruido diferente para ruido aéreo que para el resto de fuentes. En el caso del ruido aéreo, se indica:

“A fin de calcular el número de viviendas y habitantes expuestos al ruido de aeronaves, se asocian todos los habitantes y viviendas de un edificio al receptor que más ruido registra dentro del propio edificio o, en caso de no haberlo, en la cuadrícula que lo rodea.”

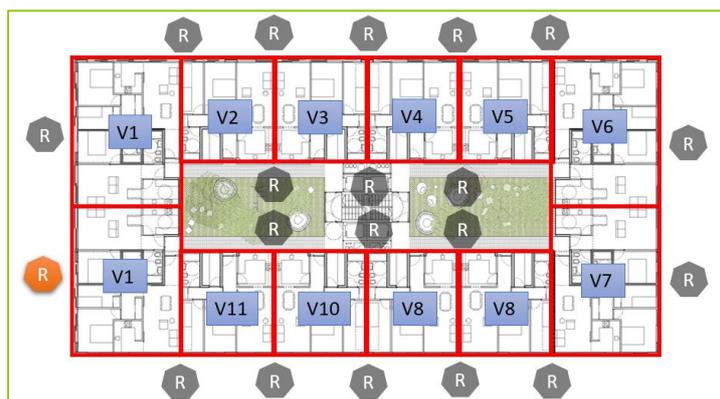


Figura 6: Esquema de distribución de receptores del Método aéreo. Únicamente se asigna población al receptor que más ruido recibe (en naranja).

En fases anteriores se ha dado el caso de que la estimación de población expuesta a ruido aéreo dentro de aglomeraciones, realizada por la autoridad competente responsable del MER de estas, difiere de la evaluada por la autoridad competente para la elaboración y aprobación del MER de la infraestructura aérea.

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.

En la mayor parte de los casos, esta diferencia supone una estimación a la baja en el cálculo realizado por la aglomeración, frente al cálculo realizado por la autoridad aeronáutica.

Probablemente, el procedimiento realizado por las aglomeraciones que han estimado ruido aéreo ha consistido en extraer el dato de ruido de las isófonas, calculadas por la autoridad aeronáutica, a los receptores utilizados en la aglomeración para el resto de las fuentes.

Por este motivo, en este trabajo se ha evaluado también el efecto que tendría, en el caso de ruido aeronáutico, aplicar un método diferente al contemplado en la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 para el ruido aeronáutico.

Para ello se han utilizado los mismos escenarios y receptores que en el caso anterior, al considerar que lo más relevante es la asignación de viviendas y población a receptores.

En este supuesto, la forma correcta de asignar viviendas y población a receptores consiste en asignar, para cada edificio, todas las viviendas y su población al receptor que recibe más ruido.

Así, a continuación, se realiza una comparación del “Método Aéreo” de asignación, y los Métodos 1 y 2 antes descritos.

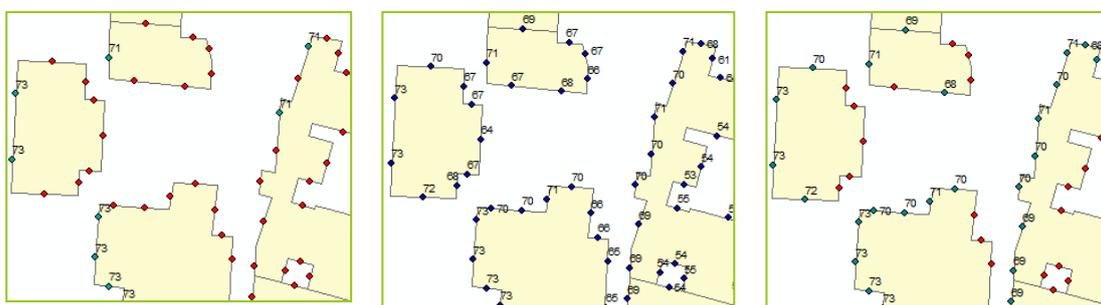


Figura 7: Ejemplo de receptores considerados en el Método Aéreo (izquierda), y considerados en el Método 1 (centro) y Método 2 (derecha). Los receptores excluidos aparecen en rojo.

En primer lugar, observamos que en el Método Aéreo puede aparecer más de un receptor en un edificio con el mismo nivel de ruido. En la práctica, ya que se asigna la población de todo el edificio al receptor con más ruido, no hay diferencia en el cálculo, al repartir en más de un receptor, siempre que todos tengan el mismo nivel.

Como se puede apreciar en el Cuadro nº 3, la aplicación del Método 1 para el cálculo de población afectada a ruido aéreo implicaría una subestimación del orden del 60%, en cuanto a la población afectada a ruido mayor de 65 dB(A) en Lden.

Para calcular la reducción en la estimación de la población afectada se utiliza la siguiente expresión, calculada sobre los datos del Cuadro nº3.

$$\text{Reducción (\%)} = \frac{\text{población afectada Método Aéreo} - \text{población afectada Método 1}}{\text{población afectada Método Aéreo}}$$

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.

Cuadro 3. Comparación de resultados de población expuesta entre el Método Aéreo y el Método 1, respecto a la población que supera el valor de L_{den} 65

| Zona de estudio | Población total estudiada | Pob. Afectada L_{den} > 65 Método aéreo | Pob. Afectada L_{den} > 65 Método 1 | % reducción método 1 s./ método aéreo |
|------------------------|---------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Zona 1 | 1364 | 470 | 153 | 67,47% |
| Zona 2 | 637 | 148 | 54 | 63,84% |
| Zona 3 | 9071 | 1540 | 665 | 56,83% |
| Zona 4 | 5910 | 748 | 280 | 62,56% |
| Reducción media | | | | 62,68% |

Fuente: Adaptado de Soto-Molina et al. 2020 (Soto-Molina & Segué, 2020)

Por su parte, la aplicación del Método 2 en el caso del ruido aéreo, también implica una subestimación, que es menor, ya que este método sólo considera los receptores que reciben un nivel de ruido superior a la mediana de cada edificio. En este caso, la subestimación, para niveles de L_{den} superiores a 65 dB(A) es del orden del 30%.

Para calcular la reducción se utiliza la siguiente expresión, calculada sobre los datos del Cuadro nº4.

$$\text{Reducción (\%)} = \frac{\text{población afectada Método Aéreo} - \text{población afectada Método 2}}{\text{población afectada Método Aéreo}}$$

Cuadro 4. Comparación de resultados de población expuesta entre el Método Aéreo y el Método 2, respecto a la población que supera el valor de L_{den} 65

| Zona de estudio | Población total estudiada | Pob. Afectada L_{den} > 65 Método aéreo | Pob. Afectada L_{den} > 65 Método 2 | % reducción método 2 s./ método aéreo |
|------------------------|---------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Zona 1 | 1364 | 470 | 288 | 38,80% |
| Zona 2 | 637 | 148 | 99 | 32,85% |
| Zona 3 | 9071 | 1540 | 1264 | 17,96% |
| Zona 4 | 5910 | 748 | 428 | 42,73% |
| Reducción media | | | | 33,08% |

Fuente: Adaptado de Soto-Molina et al. 2020 (Soto-Molina & Segué, 2020)

DISCUSIÓN

La aplicación de dos métodos diferentes de asignación de viviendas y su población a edificios arroja resultados significativamente diferentes, tanto en distribución de población en los distintos intervalos de ruido contemplados en END, como en la cantidad de población expuesta a niveles altos de ruido.

En los casos estudiados observamos que las diferencias entre aplicar el denominado en este documento como “Método 2” frente al “Método 1” puede suponer un incremento sustancial de población expuesta al ruido, en particular en escenarios acústicos de una única fuente (carreteras y ferrocarriles), que puede oscilar entre incrementos del 50% y el 90% en estimación de población expuesta. Este incremento puede darse también en MER de aglomeraciones, aunque es previsible que efecto sea inferior debido a la mayor densidad de fuentes, afectando varias de ellas a un mismo edificio, lo que provoca que la mediana del ruido calculado en los receptores de dicho edificio se aproxime a la media, y que la desviación sea menor.

En el caso del ruido aeronáutico, la situación es la inversa, ya que la no aplicación del método de asignación de viviendas y población a receptores, recogido en la Directiva Delegada (UE) 2021/1226, provocaría una subestimación de la población expuesta de entre el 30 y el 60%, que cobra especial importancia cuando es la autoridad competente para la elaboración y aprobación de MER de aglomeraciones quien realiza la estimación de las fuentes de ruido aéreo que afectan a la aglomeración.

Este problema no es nuevo en la historia de aplicación de END. Licitra et al. (2012), ya apuntaban diferencia entre los criterios de cálculo de población expuesta entre diferentes países en la Primera Fase de aplicación de END (MERs de 2007), y proponían un método común, probablemente más simple, que permitiera homogeneizar el criterio, teniendo en cuenta el carácter estratégico de los MER y los PAR. Apuntaban que, si bien el método no era adecuado para estudios epidemiológicos, podría simplificar el cálculo, ser más entendible por la población en general, homogeneizar el criterio, y ayudar a la toma de decisiones en los PAR.

En el mismo sentido se pronuncian Murphy & Douglas (2018), concluyendo que las estimaciones de población expuesta difieren sustancialmente dependiendo del método de cálculo de la exposición estimado. Señalan la posibilidad de subestimar o sobreestimar, en función del método que se aplique, la población expuesta a efectos en la salud debidos al ruido.

Arana et al. (2014), analiza los datos disponibles de varias aglomeraciones europeas, con especial atención a las españolas. Concluyen que la diversidad de métodos aplicados, incluso entre diferentes mapas de la misma aglomeración, dificulta la evaluación de la evolución de la situación acústica de las mismas.

En este trabajo no se han considerado las diferencias que pueden existir al evaluar toda la población a 4 metros, tal como establece END, o colocar los receptores a alturas más acordes con la realidad, lo cual es una posibilidad con los actuales softwares de modelización. Efectivamente, existe una contradicción que aún no ha sido resuelta en el texto de la Directiva. Por un lado, se procura que los receptores se coloquen en la fachada más expuesta de la vivienda

(dweling), pero por otro, se pide que la población expuesta se evalúe a 4 metros de altura (Kephalopoulos et al., 2014).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La aplicación de los diferentes métodos propuestos de asignación de viviendas y población a receptores en la Directiva Delegada (UE) 2021/1226, tiene una repercusión significativa en la evaluación de la población en los diferentes intervalos de niveles de ruido contemplados en END.

En España se ha venido utilizando en las tres fases de elaboración de los MER ya completadas el Método 1, es decir, repartir las viviendas y su población de forma ponderada en cada edificio, en los receptores de fachada, teniendo en cuenta la longitud de fachada que abarca cada receptor, asignando a esta población los niveles de ruido obtenidos en todos los puntos receptores distribuidos por todas las fachadas establecidas.

Este método puede ser el más adecuado en áreas densas, que es el tipo de escenario acústico más habitual en los mapas estratégicos de ruido, cuando la tipología de viviendas se corresponde, en general, con viviendas con fachadas a única calle, o en la mayor parte de las viviendas se da esta circunstancia. Esta situación aconseja, por lo tanto, considerar que todos los puntos receptores de un edificio se corresponden con las fachadas más expuestas de las viviendas del edificio.

La aplicación del Método 2 incorporado por la Directiva Delegada (UE) 2021/1226, supone incrementar la estimación la población expuesta respecto del Método 1, en los niveles de ruido más altos, los de la mitad de los receptores con mayor nivel de ruido.

En este estudio se han analizado cuatro casos diferentes, todos ellos correspondientes originalmente a escenarios de mapas de ruido de grandes ejes viarios. Esta selección se ha debido a que se ha pretendido conocer la repercusión de la aplicación de los diferentes métodos en casos en los que los niveles de ruido de diferentes fachadas del mismo edificio difieren notablemente entre sí, debido a la existencia de una única fuente de ruido, por ejemplo, una carretera o una línea ferroviaria.

Los resultados obtenidos indican que, además del incremento de población asignada que ofrece el Método 2 respecto al Método 1, puede tener también un efecto en los niveles más bajos, incrementando su población asignada o disminuyéndola, dependiendo del número de receptores en los que se hayan obtenido niveles por debajo de los comunicados en la Directiva ($L_{den} > 55$).

Es previsible que la diferencia entre ambos métodos 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. Aún así, debe tenerse en cuenta que la aplicación del Método 2 frente al Método 1 puede derivar en un incremento de la población expuesta a niveles altos de ruido, que se explicará por el propio cambio de método de evaluación.

En líneas generales, el cambio de método (utilización del Método 2) de asignación de la población a las fachadas de los edificios representaría por sí solo, en relación con la evaluación que se ha realizado hasta el momento actual, un aumento de la población que superaría los valores límite fijados por la legislación española, además de suponer una ruptura drástica en el seguimiento y evaluación de la eficacia de las medidas adoptadas en los planes de acción contra el ruido, al no poder comparar la población expuesta tras la adopción de las mismas debido al cambio de método.

En términos reales, este incremento en la estimación de población expuesta no tiene por qué suponer un empeoramiento de las condiciones acústicas de la población, debiéndose interpretar la cifra calculada de población expuesta como un indicador, más que como un reflejo real de la situación.

Recomendaciones

En el caso de MER de aglomeraciones, grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios es preciso dedicar esfuerzos a determinar qué método de asignación de viviendas y su población a receptores se ajusta más a la realidad del escenario acústico.

Cuando sea aplicable el Método 2 (asignación de población a la parte de los receptores que se encuentran por encima de la mediana de ruido calculado en cada edificio), es conveniente determinar el impacto que esta decisión tiene en el cálculo de la población expuesta, en relación con el Método 1. Esto permitiría una mejor explicación de los resultados en relación con las anteriores fases de END.

El método de asignación que se seleccione debería mantenerse en sucesivas fases de END, tomando la Cuarta Fase como un punto de partida para las siguientes, en aras de una mejor trazabilidad y evaluación de la evolución de la situación acústica de cada MER.

Cuando una aglomeración esté afectada por ruido aéreo, se debe tener en cuenta que la asignación de viviendas y población a receptores difiere en el modo aéreo del resto de fuentes, debiendo asignar toda la población del edificio al receptor más expuesto del mismo al ruido.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en Proyecto de Investigación “*Mejora e implementación de nuevas metodologías para la elaboración de planes de acción contra el ruido y sistemas integrados de gestión, evaluación y control del ruido ambiental*” del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), y en el ámbito del Encargo entre la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas O.A. y M.P. (CEDEX) para la “*Asistencia técnica a la aplicación de la legislación en materia de ruido ambiental y a la adaptación, mantenimiento y actualización del Sistema Básico de Información sobre Contaminación Acústica (2021-2023)*”

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arana, M., San Martín, R., & Salinas, J. C. (2014). People exposed to traffic noise in European agglomerations from noise maps. A critical review. *Noise Mapping*, 1(1). <https://doi.org/10.2478/noise-2014-0005>
- [2] Aumond, P., Can, A., Mallet, V., Gauvreau, B., & Guillaume, G. (2021). Global sensitivity analysis for road traffic noise modelling. *Applied Acoustics*, 176, 107899. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107899>
- [3] Balogh, E. A., Schmelz, T., & Orosz, L. (2022). Sensitivity of CNOSSOS-EU sound propagation model to digital surface components. *Acta Technica Jaurinensis*, 15(1), 47–57. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00644>
- [4] Bertellino, F., Gerola, F., Clementel, M., Scaramuzza, P., & Nardelli, M. (2016). Noise Mapping of Agglomerations: a comparison of interim standards vs. new CNOSSOS method in a real case study. *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, 253, 3639–3649.
- [5] Blanes, N., Closa Guillem, Ramos María J., Sáinz de la Maza, M., Peris Eulàlia, & Lihteneger Darja. (2021). *Environmental Noise Directive Reporting guidelines. DF4_8 Strategic noise maps. Eionet Report - ETC/ATNI 2021/3*.
- [6] Blanes, N., Ramos, M. J., Sáinz de la Maza, M., Lihteneger, D., Eulàlia, P., & Morrone, S. (2021). *Environmental Noise Directive. Data model documentation version 4.1*.
- [7] Faulkner, J.-P., & Murphy, E. (2022). Road traffic noise modelling and population exposure estimation using CNOSSOS-EU: Insights from Ireland. *Applied Acoustics*, 192, 108692. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108692>
- [8] Kephelopoulou, S., Paviotti, M., Anfosso-Lédée, F., van Maercke, D., Shilton, S., & Jones, N. (2014). Advances in the development of common noise assessment methods

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.

in Europe: The CNOSSOS-EU framework for strategic environmental noise mapping. *Science of The Total Environment*, 482–483, 400–410. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.031>

[9] Kok, A., & van Beek, A. (2019). *Amendments for CNOSSOS-EU: Description of issues and proposed solutions*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2019-0023>

[10] Licitra, G., Ascari, E., & Brambilla, G. (2012). Comparative Analysis of Methods to Estimate Urban Noise Exposure of Inhabitants. *Acta Acustica United with Acustica*, 98(4), 659–666. <https://doi.org/10.3813/AAA.918546>

[11] Murphy, E., & Douglas, O. (2018). Population exposure to road traffic noise: Experimental results from varying exposure estimation approaches. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.11.006>

[12] Soto-Molina, I., & Segués, F. (2020). *Método CNOSSOS-EU. Estudio de la influencia de la metodología de asignación de la población expuesta*. CEDEX. Inédito.