

## EXIGENCIAS A LOS PARÁMETROS DE CÁLCULO PARA OBTENER INDICADORES REPRESENTATIVOS DE EFECTOS SOBRE LA SALUD

PACS: 43.50-x, 43.15-s

Arias Morales, Nefersson; Bañuelos Irusta, Alberto; Tomás Garrido, Mónica; Baroja Andueza, Unai; Mateos Martínez de Contrasta, Rubén.  
AAC Centro de Acústica Aplicada S.L. Parque Tecnológico de Álava, 01510 Vitoria-Gasteiz, España, 945298233, aac@aacacustica.com.

**Palabras Clave:** ruido, salud, CNOSSOS-EU, precisión, indicadores.

### ABSTRACT.

The calculation of health effects indicators established by European Directive 2020/367 begins to quantify the effects from sound pressure levels considerably lower than those required in the noise maps, so that the incorporation of these indicators to the assessment requires that the calculations of noise levels in facade are representative from levels of the order of 35 dB(A) in the Ln index, so that the model and the calculation process does not distort the results.

To solve this situation it is necessary to increase the requirement in the calculation parameters to take into account all the sources that may affect a receiver, increasing the distances at which sources or reflections are sought to contemplate propagation paths that can reach certain receivers and forces to expand the detail in the identification of sources and in the characterization of secondary sources, with the consequent increase in the modeling process and calculation times.

AAC has studied this problem in recent years and this communication provides some examples of the considerations to be considered in urban noise maps.

### RESUMEN.

El cálculo de los indicadores de efectos sobre la salud que establece la Directiva Europea 2020/367 comienza a cuantificar los efectos desde niveles de presión sonora considerablemente más bajos que los exigidos en los mapas de ruido, por lo que la incorporación de estos indicadores a la evaluación requiere que los cálculos de los niveles de ruido en fachada sean representativos desde niveles del orden de 35 dB(A) en el índice Ln, para que el modelo y el proceso de cálculo no distorsionen los resultados.

Para resolver esta situación es preciso aumentar la exigencia en los parámetros de cálculo para que se tengan en cuenta todos los focos que puedan afectar a un receptor, aumentando las distancias a las que se buscan focos o las reflexiones para contemplar caminos de propagación que pueden alcanzar a determinados receptores y obliga a ampliar el detalle en la identificación de focos y en la caracterización de los focos secundarios, con el consiguiente aumento del proceso de modelización y de los tiempos de cálculo.

AAC ha estudiado esta problemática en los últimos años y en esta comunicación se aportan algunos ejemplos sobre las consideraciones a tener en cuenta en los mapas de ruido urbano.

### 1. INTRODUCCIÓN

La aprobación de la Directiva Europea 2020/367, relativa al establecimiento de métodos de evaluación para los efectos nocivos del ruido ambiental, supone un cambio en la gestión del ruido ambiental al incorporar una cuantificación de efectos entendibles por la población, como es la repercusión del ruido ambiental en la salud, frente a la referencia de sólo niveles de ruido en

decibelios que transmiten poco a quien no está especializado en este campo. Por lo tanto, incorporar resultados más tangibles como los efectos del ruido en la salud, deben tener una repercusión en mejorar las evaluaciones para presentar resultados consistentes y que permitan medir en el tiempo la evolución real del ruido en las ciudades o en las infraestructuras del transporte.

Este nuevo escenario debería obligar a las administraciones a dedicar mayor atención y, como consecuencia, mayores presupuestos, a la evaluación del ruido para que la elaboración de mapas de ruido deje de ser, en un elevado porcentaje de casos, un trámite obligado cada cinco años al que se dedica escasa atención entre dos evaluaciones y, por ello, salvo excepciones, reducidos presupuesto en la contratación de evaluaciones que han aumentado en complejidad y en repercusión.

El hecho de comenzar a medir el impacto en efectos en la salud debería tener un impacto en la seriedad y calidad técnica de las evaluaciones del ruido ambiental y, muy especialmente, en las evaluaciones de aglomeraciones y municipios, que es donde se suma el efecto de todos los focos de ruido para la evaluación global de la afección del ruido sobre la población.

Pero aparte de este esperable efecto, lo que destaca en la evaluación de los indicadores incluidos en la Directiva Europea es que se comienzan a cuantificar efectos del ruido en la salud desde niveles muy por debajo de los valores establecidos como Objetivos de Calidad Acústica (OCA) en la legislación española para el suelo con uso predominantemente residencial y de los umbrales representados en la elaboración de los Mapas Estratégicos de Ruido (MER).

Si en la aplicación del cálculo de los indicadores se debe comenzar con niveles del orden de 35 dB(A) en el periodo nocturno para que el cálculo que se realice aporte resultados representativos es evidente que las evaluaciones en los mapas de ruido de esos niveles también deben serlo, porque los modelos que se utilizan para evaluar el ruido ambiental y, especialmente en el caso del ruido urbano con múltiples focos, ofrecen resultados para todo el ámbito de estudio. Sólo si la caracterización de focos y el proceso de modelización y de cálculo son adecuados, los resultados que se obtengan serán representativos de la situación real, al menos para los focos de ruido contemplados en la modelización, y proporcionará resultados representativos de los indicadores de efectos sobre la salud.

La simplificación de focos en estudios urbanos o la reducción artificial de su zona de afección va a contribuir a minusvalorar los efectos del ruido sobre la salud. Por lo tanto, la incorporación de la obtención de los indicadores de efectos del ruido ambiental en la salud va a requerir un cambio en la elaboración de los MER y mapas de ruido de zonas urbanas, en donde la complejidad en la evaluación es mayor que en los estudios de carreteras, ferrocarriles o aeropuertos, que también deben tener en cuenta esta nueva situación, pero con una problemática menos compleja.

## 2. REPERCUSIÓN EN LA EVALUACIÓN DEL RUIDO URBANO

Por el momento, en la Directiva 2020/367 sólo se ha establecido la evaluación de los efectos sobre la salud para los focos de ruido de tráfico viario, ferroviario y aéreo, estableciéndose evaluaciones diferenciadas para cada tipo de foco, pero ya indica que se continuarán estableciendo indicadores para otros focos. En el caso del ruido urbano, la mayor repercusión es la incidencia del ruido del tráfico viario, ya que está extendido por toda el área urbana y suele incluir los focos de ruido de mayor emisión, como las carreteras de circunvalación o vías rápidas próximas a zonas urbanas.

En un área urbana, el efecto de la obtención de los niveles por ruido de tráfico sobre la precisión en el cálculo de los indicadores de salud se ve afectada en dos formas:

- Por la propia precisión de la evaluación de emisiones y la modelización
- Por la minusvaloración de niveles al no asegurar que las evaluaciones cubren suficientes ámbitos para representar niveles suficientemente bajos.

El primer punto es común a cualquier evaluación del ruido urbano y a los resultados de los mapas de ruido y se aborda de forma específica en otra comunicación a este congreso [1]. Pero el segundo punto afecta directamente al cálculo de los indicadores de efectos a la salud, porque se omiten contribuciones de focos que pueden incrementar los niveles de ruido que se trasladan al cálculo de los indicadores, aunque no afecten al cumplimiento de los OCA.

Así, efectos como la distancia hasta la que se buscan focos de ruido desde un receptor (radio de búsqueda) o tener un número de reflexiones suficiente para que en el cálculo el sonido llegue a contemplarse en determinados entornos, pueden ser efectos que modifiquen la evaluación. Por supuesto es más importante aún el hecho de que determinados focos no se incluyan, como cuando no se contempla la emisión para todas las calles con tráfico en un municipio.

Incorporar estas consideraciones en el cálculo cambia el proceso de modelización y de cálculo e implica un aumento del tiempo de cálculo, adquiriendo mayor importancia la velocidad de cálculo de los modelos de predicción del ruido ambiental. Igualmente, parece evidente que la evaluación se realice sobre una disposición de los receptores que sea representativa de la situación real de la ciudad y de la distribución de la población, para lo que la evaluación a todas las alturas con usos residenciales de los edificios debe ser la referencia, no teniendo mucho sentido la evaluación a 4 m de altura, si se pretende obtener un valor representativo.

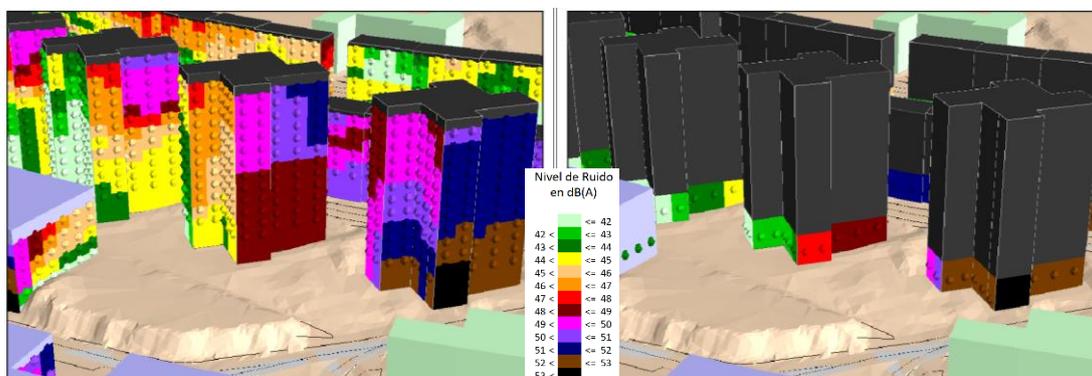


Figura 1 - Mapa de fachadas. Izq.: Valoración a todas las alturas. Dcha.: Valoración a 4 metros.

En las tablas siguientes se analiza el efecto del radio de búsqueda en los resultados, para una situación sencilla. En la primera tabla, se observa que un foco lineal de tráfico con una intensidad media de 40.000 veh/día, una velocidad de 120 km/h y un 24% de vehículos pesados que, a 200 m genera 53 dB(A) sobre suelo duro, sólo baja de 35 dB(A) a partir de 1.500 m, que sería su área de influencia para el cálculo de indicadores. Pero para caracterizar adecuadamente los niveles de ruido en el cálculo, el radio de búsqueda debería ser de, al menos, 2.000 m, lo que ya implicaría admitir que el resultado se estaría minusvalorando en 1 dB respecto a utilizar radios mayores.

Tabla 1 - Ejemplo del efecto del radio de búsqueda sobre suelo duro

Niveles Ln	Suelo duro						
	Altura Receptor: 4m						
Distancia receptor	Radio de búsqueda (m.)						
	800	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	4.000
200	53,1	53,2	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3
400	48,2	48,4	48,6	48,7	48,7	48,8	48,8
600	43,9	44,8	45,4	45,5	45,6	45,6	45,6
800		41,2	42,6	42,9	43	43,1	43,1
1.000			40	40,6	40,8	40,9	41
1.500				35,4	36,1	36,4	36,6
2.000					32,1	32,8	33,3

Para el mismo supuesto anterior, pero en el caso de terreno blando, la distancia a la que existe afección se reduce y el radio de búsqueda podría limitarse a los 1.500 m, como se ve en la tabla siguiente:

Tabla 2 - Ejemplo del efecto del radio de búsqueda sobre terreno poroso a 4 m. de altura

Niveles Ln	Suelo 0,7		Altura Foco: 2 m		Altura Receptor: 4 m		
Distancia receptor	Radio de búsqueda (m.)						
	800	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	4.000
200	51,9	51,9	52	52	52	52	52
400	46	46,2	46,3	46,3	46,3	46,3	46,3
600	41,4	42,1	42,4	42,4	42,4	42,4	42,4
800		37,5	38,4	38,6	38,6	38,6	38,6
1.000			34,8	35,1	35,2	35,2	35,2
1.500				27,1	27,5	27,6	27,7
2.000						21,9	22,1

Pero esto sucede sólo si los receptores están a baja altura, porque si se trata de un terreno poroso con receptores en edificios elevados la atenuación del terreno se va a reducir y, por lo tanto, de nuevo se incrementa la zona de afección y se requiere aumentar el radio de búsqueda para no minusvalorar el resultado, requiriendo en este ejemplo, ir a un radio de búsqueda de, por lo menos, 2.000 m.

Tabla 3 - Ejemplo del efecto del radio de búsqueda sobre terreno poroso en altura

Niveles Ln	Suelo 0,7		Altura Foco: 6 m		Altura Receptor: 40 m		
Distancia receptor	Radio de búsqueda (m.)						
	800	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	4.000
200	52,6	52,7	52,7	52,8	52,8	52,8	52,8
400	45,6	46	46,3	46,3	46,4	46,4	46,4
600	39,8	41,2	42	42,2	42,3	42,3	42,3
800		37,1	39,3	39,7	39,8	39,9	39,9
1.000			36,9	37,6	37,8	37,9	37,9
1.500				33	33,7	34	34,2
2.000					29,6	30,3	30,7

La potencia sonora de la fuente y las condiciones del entorno serán las referencias para fijar el radio de búsqueda que garantice que el cálculo es adecuado para alcanzar los valores utilizados en la obtención de los indicadores de salud. Pero, en líneas generales, si en los MER se están representando niveles por encima de 50 dB(A) para el índice Ln, y lo que se requiere para calcular los indicadores de salud es bajar al menos 10 dB(A) el umbral de los mapas de ruido, esto implica aumentar los radios de búsqueda de forma muy importante, para cubrir el impacto de los focos de mayor potencia hasta esas distancias.

En los estudios elaborados con carreteras con velocidad límite de 120 km/h y del orden de 40.000 veh/día, la conclusión es que es preciso, al menos, un radio de búsqueda de 2.000 m. Aumentar la intensidad de vehículos al doble supone, aproximadamente, doblar la distancia de afección y, por tanto, el radio de búsqueda, sin entrar en la representatividad de los métodos cálculo a esas distancias.

Con el número de reflexiones sucede algo parecido: si se valoran niveles elevados, las reflexiones pueden pesar poco en el nivel total y, en estos casos, calcular con una reflexión puede ser admisible, pero cuando se busca caracterizar niveles más bajos y dar mayor precisión al cálculo de los efectos del ruido en la salud, si no se aumenta el número de reflexiones puede pasar que el modelo no tenga en cuenta que determinados focos de ruido afectan a determinadas zonas, porque el sonido puede llegar en una segunda o tercera reflexión. Por lo tanto, si se quieren caracterizar estas situaciones, especialmente en zonas urbanas bastante cerradas donde gran parte del ruido puede llegar por caminos de propagación con reflexiones, los niveles se pueden distorsionar.

Por lo tanto, incorporar en los mapas de ruido urbanos el cálculo de indicadores, requiere una evaluación más detallada que tenga en cuenta que es necesario obtener representatividad también en niveles sonoros bajos. Lo cual va a requerir un aumento de los parámetros de cálculo, lo que a su vez va a implicar la necesidad de contar con un mayor potencial de cálculo, Esta problemática se suma al incremento del tiempo de cálculo requerido por CNOSSOS-EU frente al

método NMPB-96, en el caso del ruido de tráfico viario. En este nuevo escenario la velocidad de cálculo y el volumen de información a manejar va a ser un elemento principal en la valoración de los modelos de predicción del ruido ambiental.

### 3. REPERCUSIÓN EN LOS RESULTADOS

Aún se dispone de escasa experiencia en este nuevo escenario de evaluación y el cálculo de los indicadores de efectos sobre la salud, pero en algunas evaluaciones previas se pueden tener algunas referencias que muestran la incidencia de estos aspectos.

Hay que tener en cuenta que cada vez hay más población expuesta a niveles en fachada por debajo de 50 dB(A) en la noche en las ciudades. En los mapas de ruido elaborados por AAC que tienen en cuenta niveles por debajo de este umbral, se obtienen resultados de que más del 50 % de los puntos de evaluación en fachada pueden estar en esta situación.

De esta forma, la Directiva 2020/367 lo que está implicando es un cambio en las metodologías de evaluación del ruido, una mayor demanda en la entrada de datos y en la modelización, un mayor potencial de cálculo de los modelos informáticos y un cambio en la gestión del ruido urbano, para pasar de tener el OCA de suelo residencial como referencia, a orientar la gestión hacia objetivos más ambiciosos como puede ser, al menos, conseguir ciudades con niveles de zonas residenciales tranquilas, es decir pasar del objetivo para el Ln de 55 a 50 dB(A), en la línea que por ejemplo ya inició el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz en el plan de acción de 2018.

Para mostrar la relevancia de estas propuestas, se presentan resultados obtenidos de un análisis en una situación urbana, en la que se analiza la influencia en los resultados de variar el radio de búsqueda y el número de reflexiones. Lógicamente los resultados pueden variar en función de cada situación, pero el ejemplo puede servir como referencia de la línea en la que inciden los parámetros de cálculo.

El ejemplo utilizado para el análisis consiste en un sector urbano dentro de una ciudad, con evaluación a todas las alturas de los edificios residenciales, que en el planteamiento convencional se ve afectado por los focos locales del propio sector (calles urbanas, principalmente), pero que, al evaluar niveles bajos, pasan a estar afectados por calles e infraestructuras alejadas.

Se presentan resultados para 4 longitudes de radio de búsqueda y considerando calcular con una o tres reflexiones. La situación se analiza para una velocidad límite para el tráfico viario de 30 Km/h. Se analiza por su efecto en los índices  $L_{den}$  y  $L_n$  y en los tres indicadores de efectos en la salud: ECI, MI y AGS, que se obtienen a partir de los índices  $L_{den}$  y  $L_n$ .

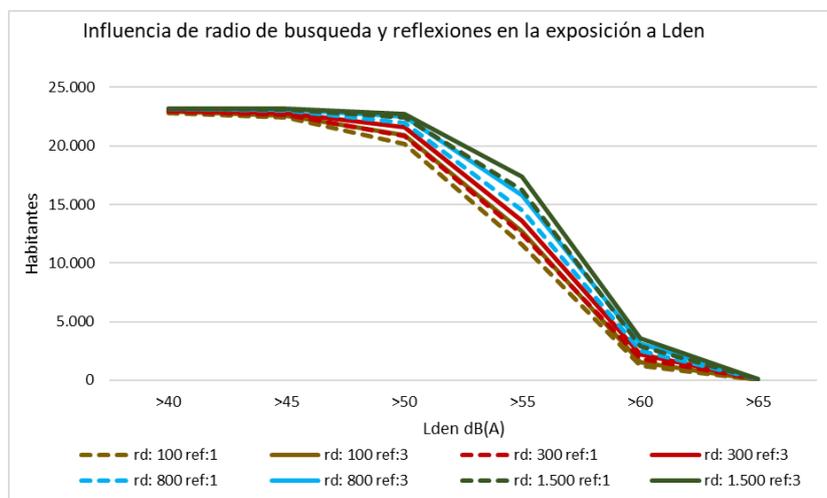


Figura 2 - Curvas acumuladas de exposición al ruido. Índice  $L_{den}$

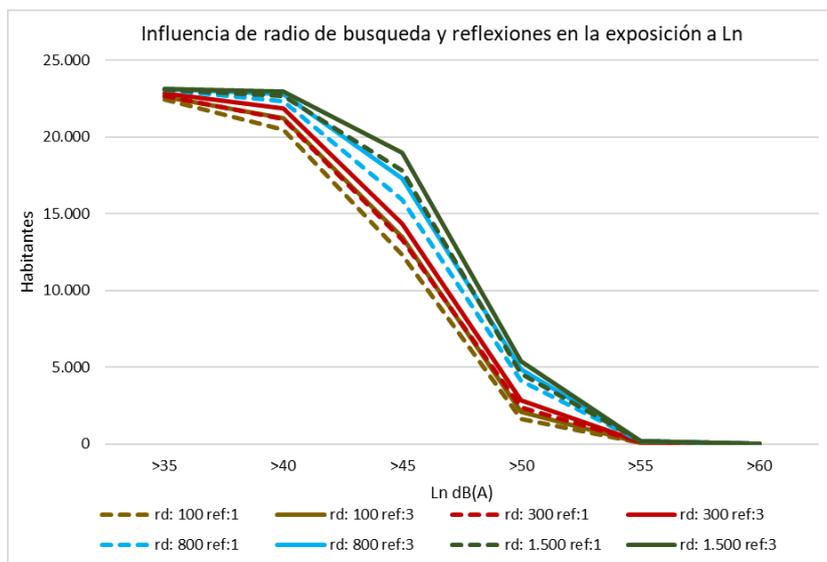


Figura 3 - Curvas acumuladas de exposición al ruido. Índice  $L_n$

Las curvas anteriores indican que pasar de usar un radio de búsqueda de 300 m con una reflexión a un radio de 1.500 m con 3 reflexiones, supone que la exposición a un nivel  $L_{den}$  de 65 dB(A) se incrementa en un 9 % pero a un nivel de 55 dB(A) se incrementa en un 39 %, y en el caso del índice  $L_n$ , la repercusión es mayor para todos los niveles, suponiendo para el nivel de 45 dB(A) un incremento del 43 %, pero es que al nivel  $L_n$  de 50 dB(A) supone un incremento del 125%. De forma que el efecto de aumentar radio de búsqueda y número de reflexiones tiene una clara repercusión, especialmente en niveles bajos por debajo del OCA.

Si en el mismo ejemplo, se traslada esta comparación al efecto en los indicadores de efectos sobre la salud, se observa que también hay incrementos importantes que justifican aumentar los parámetros de cálculo. En la figura siguiente se muestran los resultados para los tres indicadores.

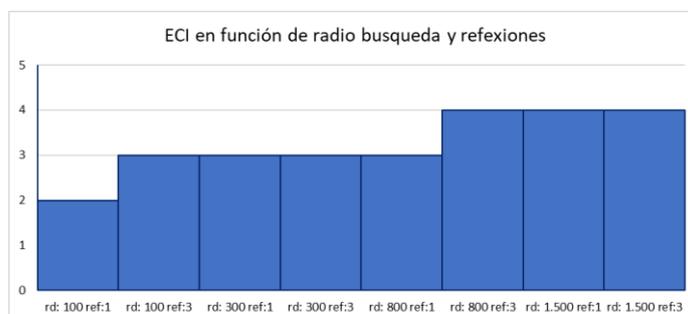


Figura 4 – Resultados para el indicador ECI en función de parámetros de cálculo

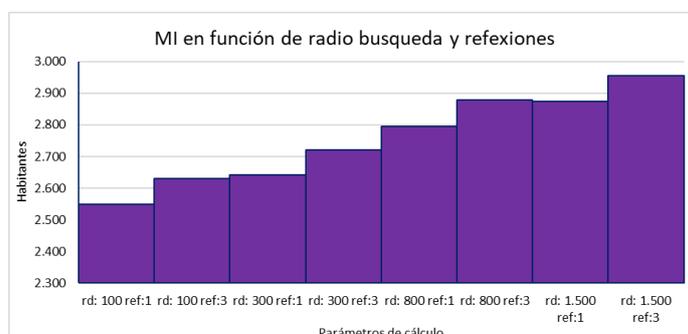


Figura 5 – Resultados para el indicador MI en función de parámetros de cálculo

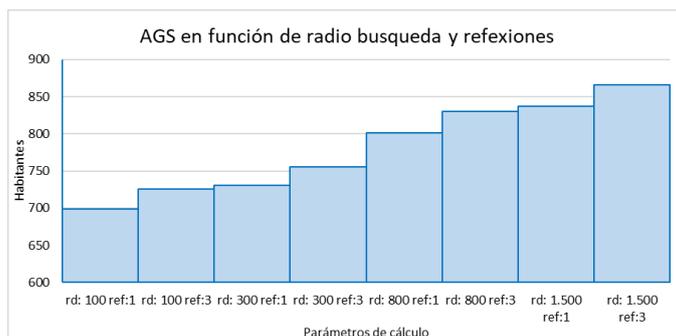


Figura 6 – Resultados para el indicador AGS en función de parámetros de cálculo

Los gráficos anteriores indican que pasar de usar un radio de búsqueda de 300 m con una reflexión a un radio de 1.500 m con 3 reflexiones, el resultado del indicador ECI aumenta en un 33 %. En el caso del indicador MI se incrementa en un 12 % y en el AGS en un 18 %, que se resume en la tabla siguiente para las situaciones consideradas en este ejemplo.

Tabla 4. Incremento de indicadores sobre la salud en función de parámetros de cálculo

Indicador	Incrementos respecto a Radio Busq.: 300 m y Reflex: 1				
	RB:300 Rfl:3	RB:800 Rfl:1	RB:800 Rfl:3	RB:1.500 Rfl:3	RB:1.500 Rfl:3
<b>ECI</b>	0,0%	0,0%	33,3%	33,3%	33,3%
<b>MI</b>	3,0%	5,9%	9,0%	8,9%	11,9%
<b>AGS</b>	3,4%	9,6%	13,5%	14,5%	18,5%

Por lo tanto, el efecto de aumentar los parámetros de cálculo es significativo en los resultados de los indicadores de efectos sobre la salud. Aumentar la precisión en estas evaluaciones, especialmente en los mapas de ruido urbano, va a implicar aumentos importantes en los tiempos de cálculo, adquiriendo un papel principal en la selección de los modelos de cálculo, su potencial y velocidad de cálculo. En la tabla siguiente se muestra un ejemplo del efecto en tiempos de cálculo obtenidos con el modelo SoundPLAN, a pesar de que presenta buenas prestaciones al aumentar los parámetros de cálculo.

Tabla 5. Incidencia en los tiempos de cálculo de los parámetros de cálculo

	Radio de Búsqueda (m)			
	100	300	800	1.500
<b>1 Reflexión</b>	x	4*x	17*x	41*x
<b>3 Reflexiones</b>	5*x	15*x	46*x	107*x

Otra repercusión importante para la gestión del ruido es el efecto que tiene el empleo de estos indicadores en la evaluación de las mejoras que se adoptan. Hasta ahora el principal objetivo era reducir la población expuesta a niveles por encima del OCA, pero los indicadores relativos a los efectos sobre la salud fijan un umbral muy inferior, especialmente para MI y AGS. Un ejemplo, siguiendo el mismo caso de estudio, es analizar el efecto de cambiar la velocidad de 50 a 30 km/h en los mismos índices de ruido y en los indicadores de efectos sobre la salud. Los resultados se muestran en la tabla siguiente, en ambos casos para una situación con un radio de búsqueda de 800 m y una reflexión.

Tabla 6 - Repercusión de reducir la velocidad sobre índices de ruido e indicadores de efectos

Rad.B. 800 m	Velocidad Km/h		Reducción
Reflex: 1	50	30	%
<b>Lden &gt; 65 dB(A)</b>	620	116	81%
<b>Ln &gt; 55 dB(A)</b>	1.040	167	84%
<b>ECI</b>	6	3	50%
<b>MI</b>	3.380	2.796	17%
<b>AGS</b>	990	801	19%

En este caso, el efecto de la reducción de la velocidad supone reducir la población por encima del OCA para una zona residencial,  $L_n=55$  dB(A), en un 84 %, pero el efecto sobre los indicadores de efectos sobre la salud es que su reducción es muy inferior, con un 17 % y un 19% en el caso de MI y AGS, respectivamente.

Por lo tanto, al referir los planes de acción a estos indicadores se atenúan las mejoras, porque la meta se está poniendo en objetivos de calidad acústica muy inferiores a los actuales. Es decir que, al incluir indicadores más tangibles, como los efectos en la salud, se incrementa de forma importante la exigencia a los planes de acción y, debería ser motivo para dar una mayor trascendencia al ruido en la gestión ambiental y una mayor relevancia, y presupuesto, a los estudios y los planes de acción para reducir el impacto del ruido sobre la salud de la población.

#### 4. CONCLUSIONES

Incorporar los indicadores de efectos del ruido sobre la salud establecidos por la Directiva Europea 2020/367, aparte de incluir una valoración más tangible de los resultados de los mapas estratégicos de ruido, supone un reto en la evaluación especialmente en los mapas estratégicos de ruido de aglomeraciones, al tener que abordar la obtención de resultados representativos en niveles bajos, del orden de 35 dB(A) para el índice  $L_n$ .

Este cambio supone tener que asumir un aumento de los parámetros de cálculo que implica una mayor exigencia tanto en el planteamiento de la modelización para incluir todas las fuentes que pueden incidir, como en el potencial de cálculo del modelo y de los tiempos de cálculo.

Adicionalmente representa una atenuación en la evaluación de las mejoras, ya que implica fijar metas a alcanzar mucho más ambiciosas que el cumplimiento de OCA, por lo que las mejoras que se adopten se van a valorar con menores reducciones del impacto. Pero este hecho debe incrementar la atención que desde las administraciones ambientales y desde los gestores de focos de ruido se dedique al ruido ambiental.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las entidades que han subvencionado proyectos de I+D+i en los que se han efectuado desarrollos que han incluido las evaluaciones realizadas, así como los desarrollos de los procesos que está permitiendo a AAC abordar este nuevo escenario.

Proyecto NoisEnv4.0 (2019-2021) que ha sido objeto de ayuda en el programa HAZITEK con cargo al presupuesto de gastos del Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Proyecto HAND-AI (2022) que ha sido objeto de ayuda en el programa HAZITEK con cargo al presupuesto de gastos del Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

#### REFERENCIAS

- [1] Tomás Garrido, Mónica; Bañuelos Irusta, Alberto; Giraldo Valencia, José Omar; Mateos Martínez de Contrasta, Rubén. CNOSSOS-EU una oportunidad para aumentar la precisión y la representatividad real de los mapas de ruido de ciudades para ser el soporte de una gestión eficaz, Techniacustica 2022.