



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD  
Y AGENDA URBANA

VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**CEDEX**  
CENTRO DE ESTUDIOS  
Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

**JORNADA RUIDO AMBIENTAL MITERD-CEDEX – 8 DE JULIO DE 2022  
- APLICACIÓN DE MODELOS DE IMPACTO EN LA SALUD DE LA OMS**

# APLICACIÓN DE MODELOS DE IMPACTO EN LA SALUD DE LA OMS

IGNACIO SOTO MOLINA  
ÁREA DE RUIDO AMBIENTAL  
CETA/CEDEX



Los métodos de evaluación que se recogen en el texto del Anexo de la Orden PCM/542/2021\* son aquellos en los que, **a la luz del conocimiento actual**, se ha podido establecer una **relación significativa entre los niveles de un indicador acústico provocados por un tipo de fuente de ruido y el efecto nocivo considerado**.

Estos son:

- efecto sobre las **enfermedades cardiacas isquémicas del ruido viario (ECI)**
- **molestias intensas (MI) y alteraciones graves del sueño (AGS)** provocadas por el **ruido viario, ferroviario y de aeronaves**.

La Orden prevé que, en caso de que en el **futuro otros estudios**, con **alta calidad y estadísticamente relevantes**, puedan identificar **métodos de evaluación de los efectos nocivos y describir relaciones dosis-efecto alternativas**, o adaptadas a **situaciones específicas**, se modifique el sistema de valoración de estos efectos.

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

*\*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*



## Enfermedades Cardíacas Isquémicas (ruido viario):

Las **enfermedades cardíacas isquémicas (ECI)** correspondientes a los códigos BA40 a BA6Z de la clasificación internacional CIE-11 establecida por la Organización Mundial de la Salud: <https://icd.who.int/browse11/l-m/es#/http%3a%2f%2fid.who.int%2f%2fentity%2f426429380>

### Tasa de incidencia ECI en España:

A partir de datos del INE. Encuesta de morbilidad hospitalaria

(<https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?tpx=48163>).

Tasas de Morbilidad Hospitalaria por 100.000 habitantes según el diagnóstico principal, el sexo y el grupo de edad.  
Unidades: por 100.000 habitantes

Tabla Gráfico

	Ambos sexos total	Hombres total	Mujeres total
0900 ENFERMEDADES DEL APARATO CIRCULATORIO I00-I99	1.304	1.512	1.104
0901 Enfermedad hipertensiva I10-I15	195	182	207
0902 Angina de pecho I20	28	34	22
0903 Infarto agudo de miocardio I21-I22	126	183	72
0904 Otras enfermedades isquémicas del corazón I23-I25	95	149	44
0905 Enfermedad pulmonar cardíaca y enfermedades de la circulación pulmonar I26-I28	47	44	49
0906 Trastornos de conducción y disritmias cardíacas I44-I49	173	199	147
0907 Insuficiencia cardíaca I50	152	149	155
0908 Enfermedades cerebrovasculares I60-I69	237	260	215
0909 Aterosclerosis I70	45	68	23
0910 Venas varicosas de las extremidades inferiores I83	21	16	25
0911 Otras enfermedades del aparato circulatorio Resto de (I00-I99)	185	226	145

Encuesta de morbilidad hospitalaria. Año 2019

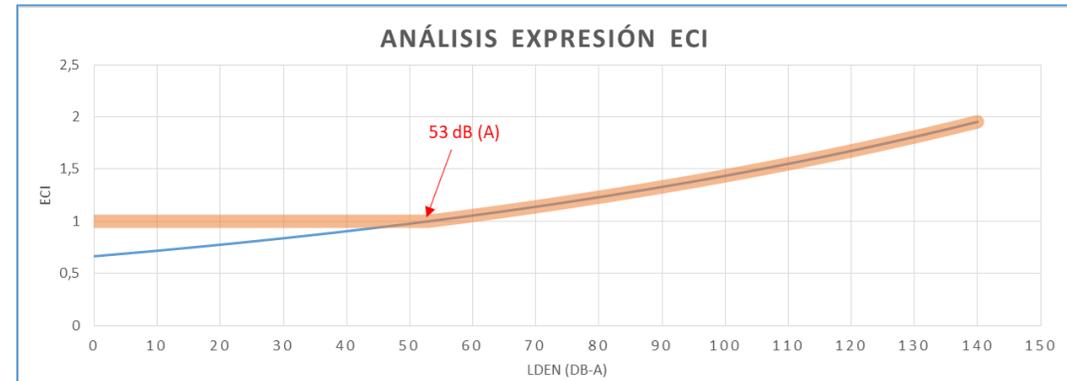
- Resultados nacionales
- Resultados por comunidades autónomas y provincias

## Métodos de evaluación ECI (ruido viario):

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

$$\text{Si ruido} > 53 \text{ db(A)} \rightarrow RR_{ECI,i,vial} = e^{\left[ \left( \frac{\ln(1.08)}{10} \right) * (L_{den} - 53) \right]}$$

$$\text{Si ruido} \leq 53 \text{ db(A)} \rightarrow RR_{ECI,i,vial} = 1$$



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

*La fracción atribuible poblacional (FAP) corresponde a una medida de impacto que estima, una vez asumida la causalidad, cuál es la carga de enfermedad que es atribuible a ese factor en la población. El dato se expresa en proporción (tanto por uno)*

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

*N<sub>x,y</sub>: número total de caso producido por el efecto nocivo “y” debido a la fuente “x”*  
*FAP<sub>x,y,i</sub> se calcula para la incidencia i,*  
*I<sub>y</sub> es la 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 es la población total del área evaluada (total de la población en las distintas bandas de ruido).*

## Métodos de evaluación MI y AGS:

$RA = \left( \begin{array}{c} \text{Probabilidad de que se produzca el efecto nocivo} \\ \text{en la población expuesta} \\ \text{a un nivel específico de ruido ambiental} \end{array} \right)$

}	MI	$RA_{MI,i,vial} = \frac{78.9270 - 3.1162 * L_{den} + 0.0342 * L_{den}^2}{100}$
		$RA_{MI,i,ferroviario} = \frac{38.1596 - 2.05538 * L_{den} + 0.0285 * L_{den}^2}{100}$
		$RA_{MI,i,aeronaves} = \frac{-50.9693 - 1.0168 * L_{den} + 0.0072 * L_{den}^2}{100}$
}	AGS	$RA_{AGS,i,vial} = \frac{19.4312 - 0.9336 * L_n + 0.0126 * L_n^2}{100}$
		$RA_{AGS,i,ferroviario} = \frac{67.5406 - 3.1852 * L_n + 0.0391 * L_n^2}{100}$
		$RA_{AGS,i,aeronaves} = \frac{16.7885 - 0.9293 * L_n + 0.0198 * L_n^2}{100}$

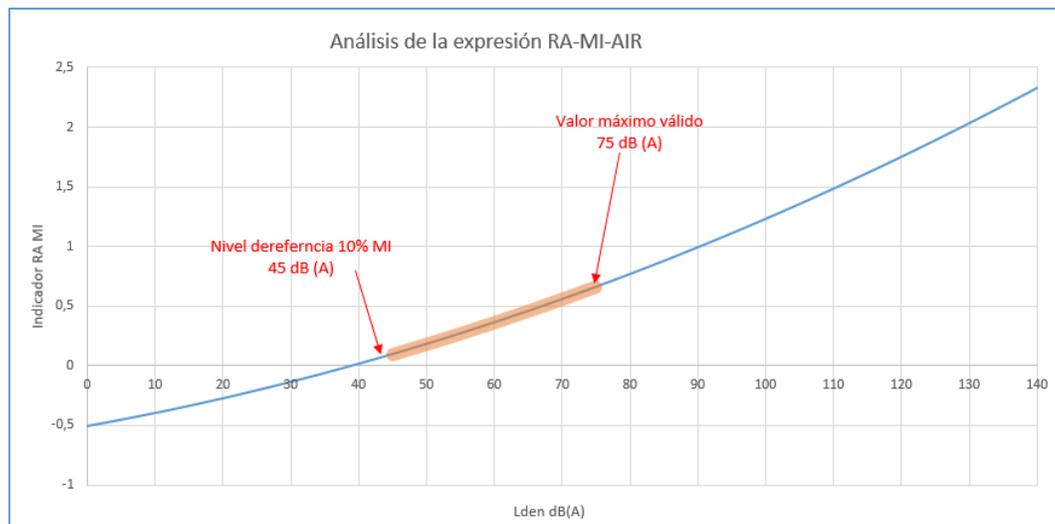
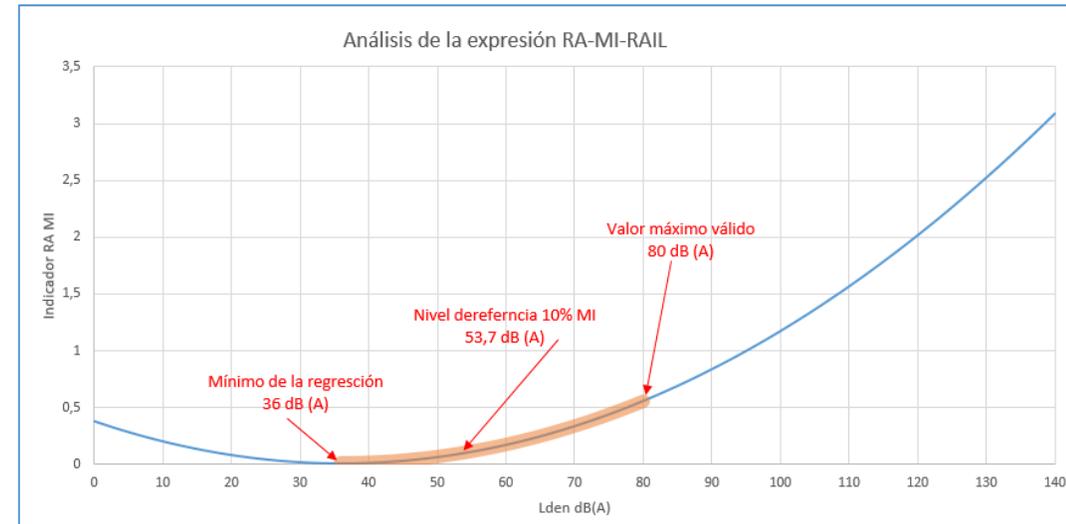
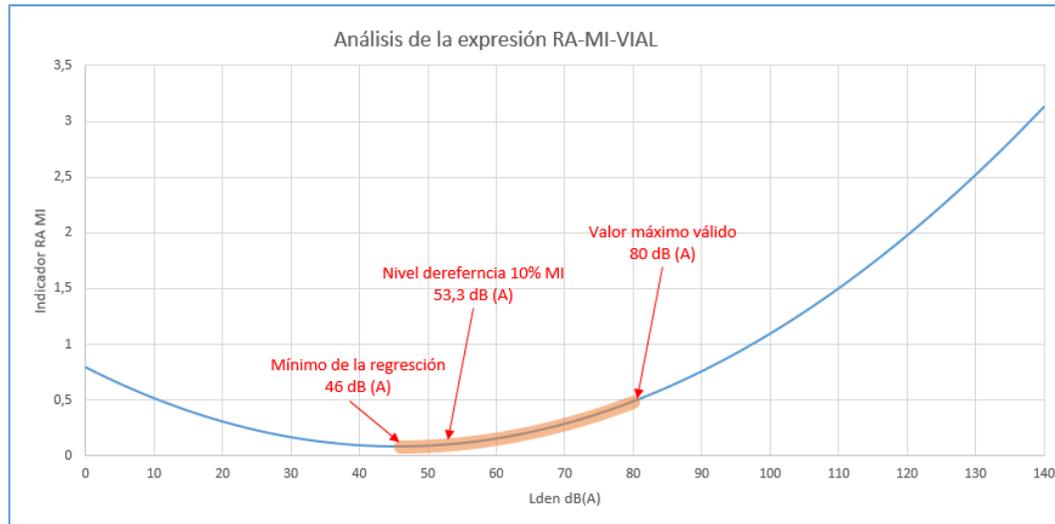
$N_{x,y} - (\text{vial, ferroviario o aeronaves}) = \sum_j [n_j * RA_{j,x,y}]$

  
 Riesgo absoluto en función del nivel de ruido

  
 Nº de personas afectadas



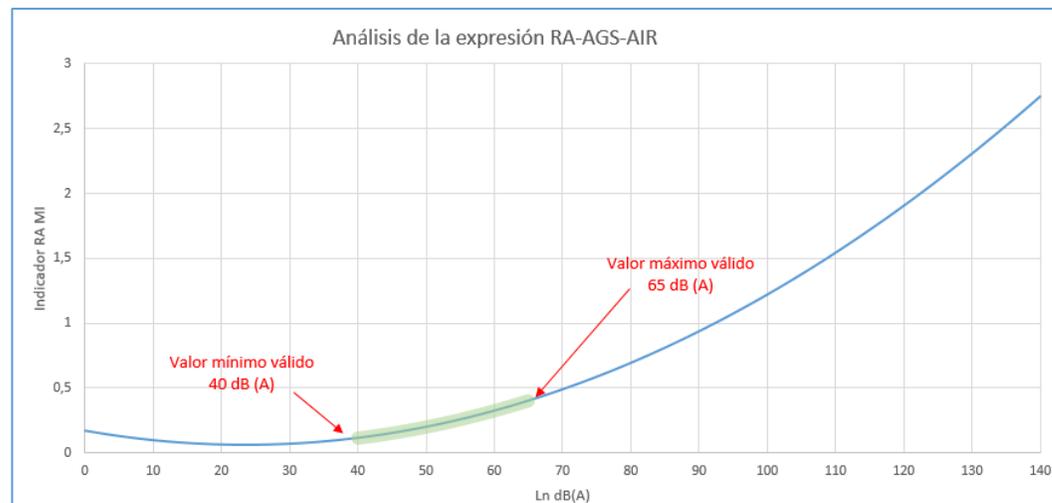
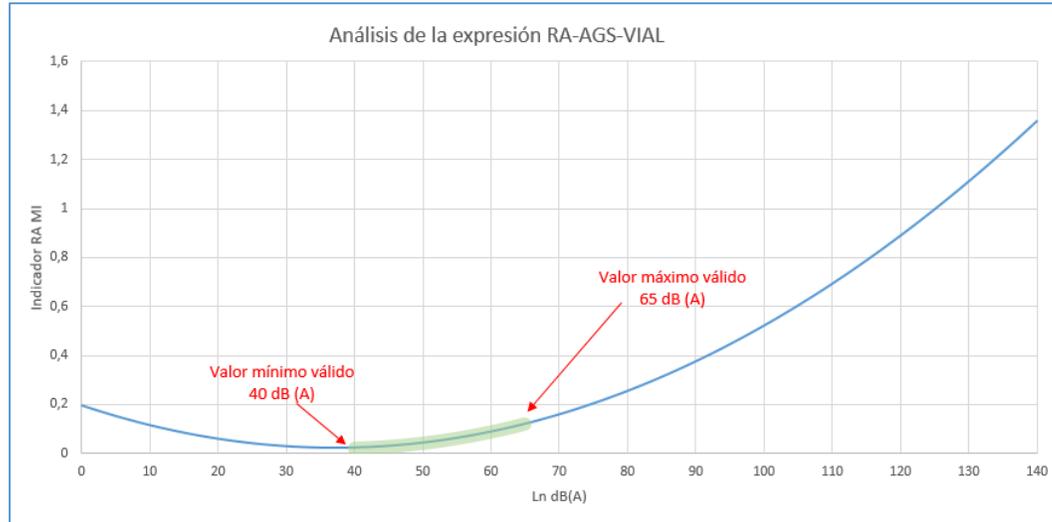
# Rangos de dB (A) RA MI:



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



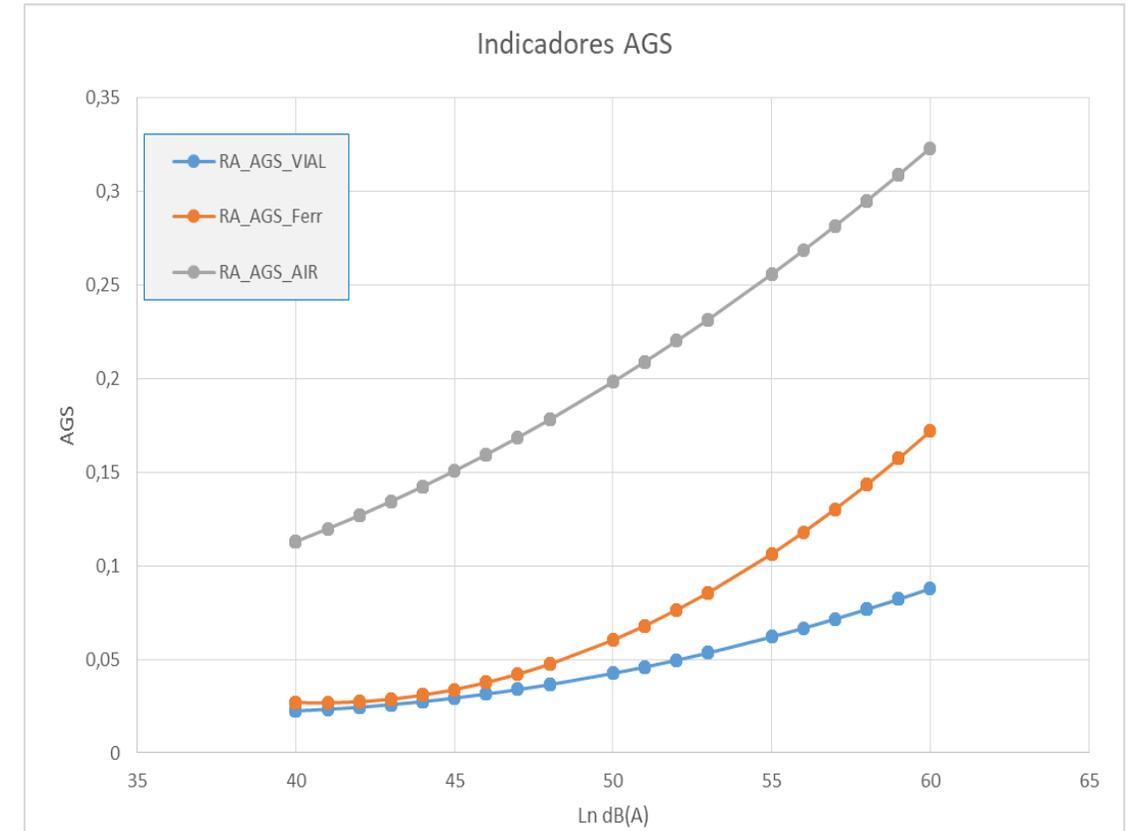
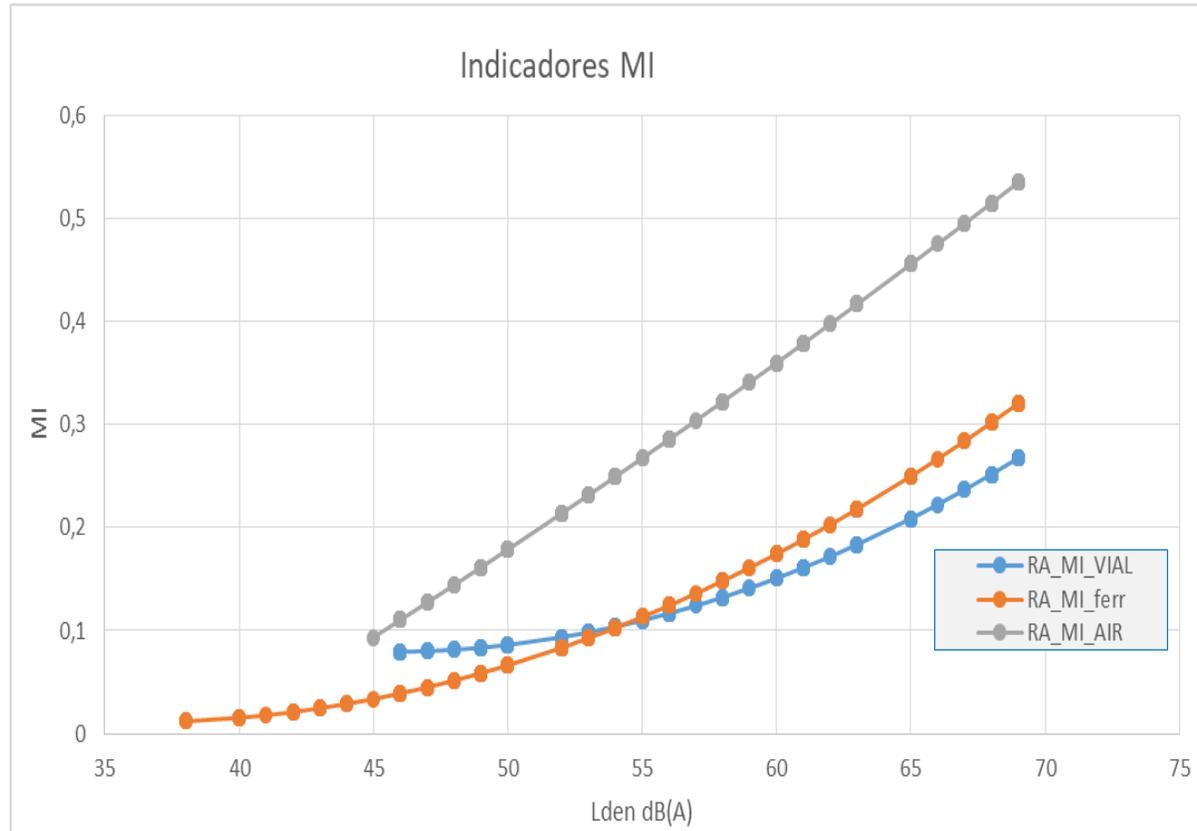
# Rangos de dB (A) RA AGS:



Expresión	Rango de aplicabilidad
$RA_{AGS,i,vial}$	40 – 65 dB(A) Ln
$RA_{AGS,i,ferroviario}$	
$RA_{AGS,i,aeronaves}$	



### Diferencias en el comportamiento de las relaciones dosis-efecto por fuentes:





## Dependencia de las relaciones dosis-efecto y el cálculo de población expuesta

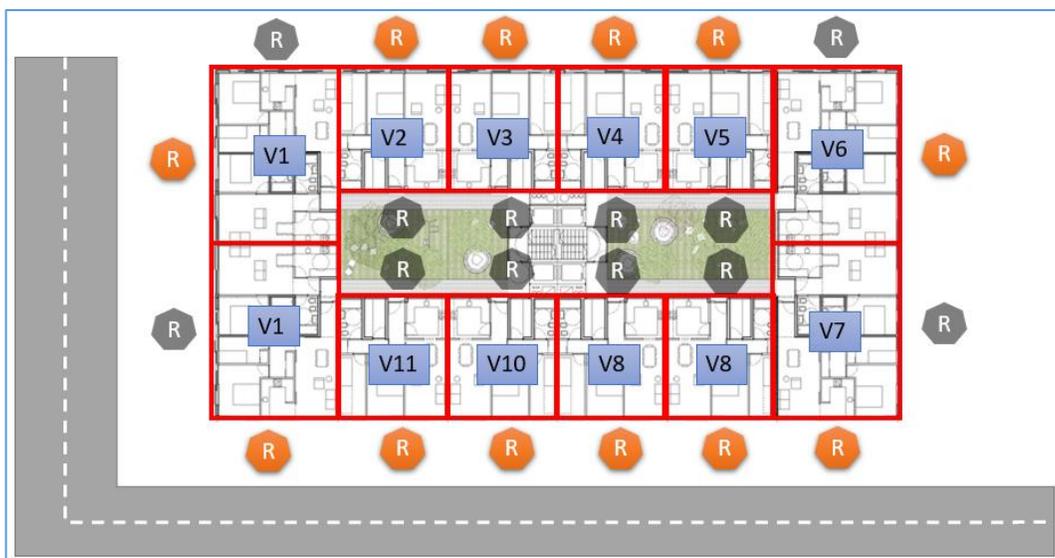
**Sistema de reparto de población en receptores.** CNOSSOS-EU contempla (Anexo III. RD 1513. Ap 2.8. Exposición al ruido):

1. Sistema 2.a): Reparto de la población en receptores por todo el perímetro del edificio (cuando se conoce que las viviendas del edificio solo tienen una fachada expuesta).
2. Sistema 2.b): Reparto de la población únicamente en los receptores ubicados en la mitad superior (mediana), respecto al nivel de ruido (varias fachadas expuestas al ruido, o se desconoce cuántas fachadas de las viviendas están expuestas al ruido).
3. Sistema 1 (erróneamente aplicado): Asignación de toda la población del edificio únicamente en el receptor que recibe mayor nivel de ruido (viviendas unifamiliares, por ejemplo).

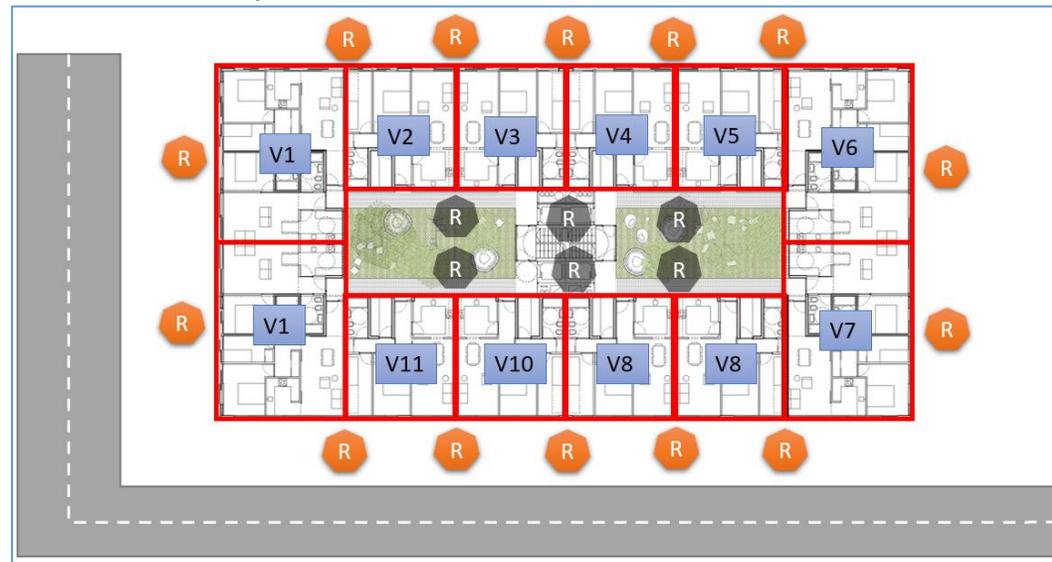
Zona de estudio	Población total de la zona	Porcentaje de personas Lden > 65 Método 1	Porcentaje de personas Lden > 65 Método 2	Porcentaje de personas Lden > 65 Método 3
Zona 1	1364	11,21%	21,09%	34,46%
Zona 2	637	8,40%	15,60%	23,23%
Zona 3	9071	7,33%	13,93%	16,98%
Zona 4	5910	4,74%	7,25%	12,66%



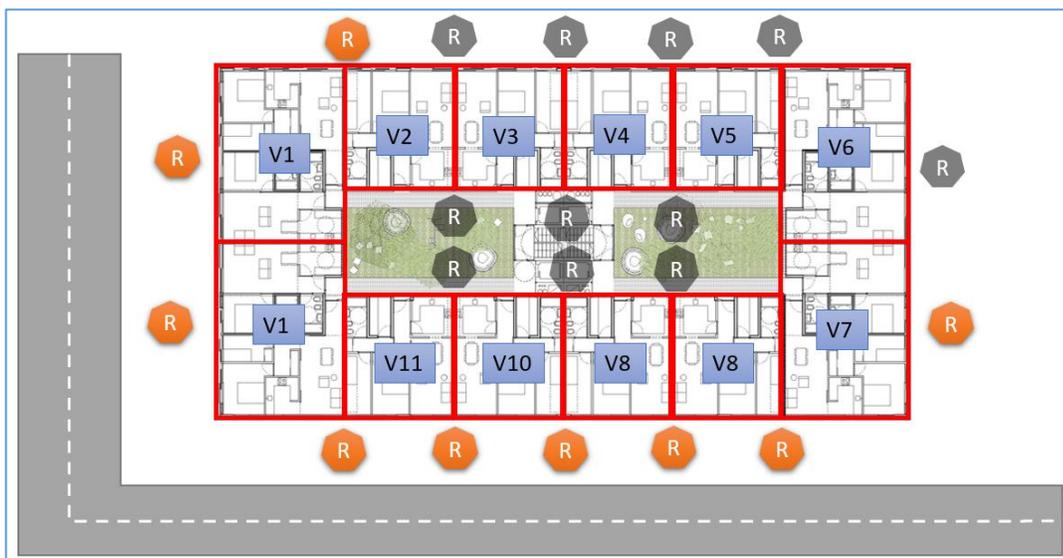
### Sistema 1 – Coeficiente =1



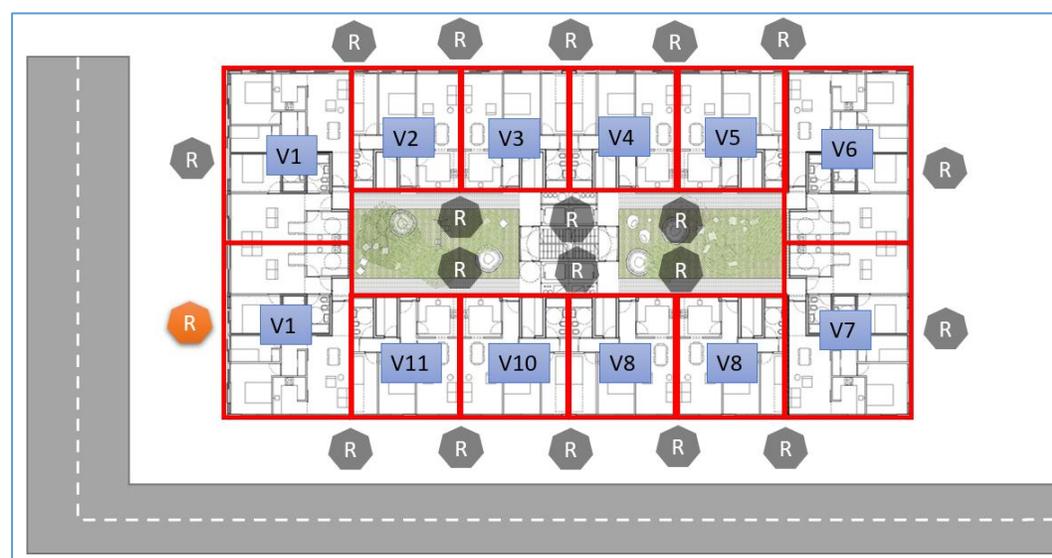
### Sistema 2.a) - Coeficiente ≈1



### Sistema 2.b) - Coeficiente ≈ x2



### Sistema 1 (erróneamente aplicado) - Coeficiente ≈ x3





## ¿Qué se está evaluando mediante las relaciones dosis-efecto de la OMS?:

### **The zero pollution targets for 2030<sup>20</sup>**

Under EU law, Green Deal ambitions and in synergy with other initiatives, by 2030 the EU should reduce:

1. by more than 55% the health impacts (premature deaths) of air pollution;
2. by 30% the share of people chronically disturbed by transport noise;
3. by 25% the EU ecosystems where air pollution threatens biodiversity;
4. by 50% nutrient losses, the use and risk of chemical pesticides, the use of the more hazardous ones, and the sale of antimicrobials for farmed animals and in aquaculture;
5. by 50% plastic litter at sea and by 30% microplastics released into the environment;
6. significantly total waste generation and by 50% residual municipal waste.

Las relaciones dosis – efecto de la OMS se utilizan para evaluar el objetivo de reducción del 30% a 2030, tomando como base 2017 (MER 3F).



## ¿Cómo se está evaluando mediante las relaciones dosis-efecto de la OMS?:

La OMS considera que las relaciones dosis-efecto deben ser aplicadas en todo su rango de validez.

La AEMA aplica las relaciones dosis efecto, en función de los datos disponibles de END de cada estado miembro, no obstante:

- Considera que deben aplicarse en el rango de validez de las fórmulas.
- Disponen de un sistema de estimación, para aplicar las fórmulas en niveles inferiores a los reportados ([https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/eionet\\_rep\\_etcacm\\_2018\\_10\\_healthimplicationsnoise](https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/eionet_rep_etcacm_2018_10_healthimplicationsnoise))

- Recomiendan aplicar las fórmulas en niveles inferiores a las OCAs, en particular para evaluar la mejora en los PAR, ya que reducciones en ECI, MI y AGS en población expuesta por debajo de las OCAs, contribuye al cumplimiento del objetivo de reducción de 30% en 2030

Expresión	Rango de aplicabilidad	Recomendación AEMA
ECI	-	A partir de 53 dB(A) Lden
RA <sub>MI,i,vial</sub>	46-80 dB(A) Lden	A partir de 53 dB(A) Lden
RA <sub>MI,i,ferroviario</sub>	36-80 dB(A) Lden	A partir de 54 dB(A) Lden
RA <sub>MI,i,aeronaves</sub>	45-75 dB(A) Lden	A partir de 45 dB(A) Lden
RA <sub>AGS,i,vial</sub>	40 – 65 dB(A) Ln	A partir de 45 dB(A) Ln
RA <sub>AGS,i,ferrovairio</sub>		
RA <sub>AGS,i,aeronaves</sub>		

## ¿Cuándo aplicar las relaciones dosis-efecto?

**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.

En los Planes de Acción se debe incluir información sobre: *“La **reducción del número de personas afectadas** contiene información sobre las estimaciones en términos de reducción del número de personas afectadas, **incluida la reducción del número de personas cuya salud se ve afectada por el ruido**, que las autoridades competentes tienen previsto alcanzar en los próximos cinco años”.*

Número de personas que experimentan una reducción	Estimación del número de personas que experimentan una reducción del ruido en la zona cubierta por el plan de acción.	Obligatorio si no se notifica ninguno de los elementos comprendidos entre 6.3.9.4 y 6.3.9.6.
Explicación sobre la estimación del número de personas que experimentan una reducción	Explicación textual de la metodología utilizada para estimar el número de personas que experimentan una reducción.	Obligatorio si no se notifica ninguno de los elementos comprendidos entre 6.3.9.4 y 6.3.9.6.

Reducción de las molestias graves	Estimación de la reducción del número de personas que sufren graves molestias en la zona cubierta por el plan de acción.	Opcional
Reducción de las alteraciones graves del sueño	Estimación de la reducción del número de personas que sufren alteraciones graves del sueño en la zona cubierta por el plan de acción.	Opcional
Reducción de las enfermedades cardíacas isquémicas	Para los ejes viarios, estimación de la reducción del número de casos de enfermedades cardíacas isquémicas en la zona cubierta por el plan de acción. En el caso de los ejes ferroviarios y del tráfico aéreo, estimación de la reducción del número de personas con mayor riesgo de sufrir enfermedades cardíacas isquémicas en la zona cubierta por el plan de acción.	Opcional

En los MER no hay obligación de reportar ECI, MI ni AGS

# ¿Es conveniente calcular las relaciones dosis-efecto en los MER?:

De acuerdo a la [Decisión de Ejecución \(UE\) 2021/1967](#) de la Comisión de 11 de noviembre de 2021 **NO ES NECESARIO.**

## RECOMENDACIONES:

- Cuando se redacte el PAR (2024) será necesario calcular las relaciones dosis-efecto derivadas de los datos de los MER (2022)
- Para ello será necesario disponer de los datos de ruido en receptores, asociados a población expuesta, en el rango e validez de las fórmulas o, al menos, a partir del valor recomendado por la AEMA.
- Por ello, se recomienda calcular en los MER, al menos hasta el valor recomendado por AEMA, siendo aconsejable hacerlo hasta el rango de validez de la fórmula.

Expresión	Rango de aplicabilidad	Recomendación AEMA
ECI	-	A partir de 53 dB(A) Lden
RAMI,i,vial	46-80 dB(A) Lden	A partir de 53 dB(A) Lden
RAMI,i,ferroviario	36-80 dB(A) Lden	A partir de 54 dB(A) Lden
RAMI,i,aeronaves	45-75 dB(A) Lden	A partir de 45 dB(A) Lden
RAAGS,i,vial	40 – 65 dB(A) Ln	A partir de 45 dB(A) Ln
RAAGS,i,ferroviario		
RAAGS,i,aeronaves		

## Resultados en caso práctico:

Se ha tomado un grupo de receptores, obtenidos de un MER real (UME A66\_2 en Oviedo, de la Segunda Fase. Aportado por MITMA).

Se evalúan un total de 274 receptores que equivalen a 5.910 habitantes. La media de personas/receptor es de 21,57

<b>FAP<sub>x,y</sub>=</b>	0,0289523	2,895%
<b>Tasa ECI</b>	0,0131000	Tasa España ECI <sup>6</sup>
<b>N<sub>xy</sub> (abs.)</b>	2,24	personas
<b>N<sub>xy</sub> (%)</b>	0,038%	s./total personas

<sup>6</sup>  
<https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t15/p414/a2018/10/&file=01024.px#!:tabs-tabla>



	Absoluto (personas)		Relativo	
	MI_Nxy	AGS_Nxy	MI_Nxy	AGS_Nxy
<b>VIAL</b>	734	209	12,43%	3,54%
<b>FERROCARRIL</b>	695	333	11,77%	5,64%
<b>AIR</b>	1460	906	24,70%	15,33%



## Consideraciones generales

Los indicadores propuestos por la Orden PCM/542/2021 deben considerarse aproximaciones o estimaciones.

La propia Orden asume que estas relaciones dosis-efecto pueden ser adaptadas o sustituidas por otras más adecuadas, una vez realizados los estudios oportunos.

Aunque las relaciones dosis-efecto se han generado a partir de un conjunto amplio de estudios, carecen de algunos parámetros de ajuste que pueden ser representativos a la hora de valorar los efectos sobre la salud, como pueden ser aspectos culturales o relativos a la población objetivo, u otros más técnicos, como la existencia de viviendas aisladas al ruido.

Las relaciones dosis-efecto dependen directamente del cálculo de población afectada, el cual depende del sistema de reparto de población en receptores. Es aconsejable que este sistema se asemeje lo máximo posible a la realidad en la zona de estudio.



## Consideraciones para la aplicación

La orden adolece de algunas indicaciones técnicas importantes para la aplicación de las relaciones dosis – efecto que propone. Un ejemplo de esto es la aplicabilidad de las mismas en función del rango de ruido.

En cuanto a la obtención del número total de casos, la Orden PCM/542/2021 propone una agrupación por bandas de un máximo de 5 dB(A), tomando el valor medio de la banda para asignar a la población.

Ya sea para calcular la población afectada por bandas, o total en el ámbito de un MER o PAR, lo habitual es disponer del dato exacto de nivel de ruido y población asignado a cada receptor.

La agrupación que propone la Orden implica una complicación adicional del cálculo, así como la posible comisión de errores por asignación de un valor teórico diferente al real del receptor.

Esta metodología, incrementa los errores que ya se producen en los MER por asignación de toda la población de los edificios a receptores situados a 4 metros de altura, independientemente de la altura real a la que reside la población asignada.

Se propone, por tanto, la aplicación directa de las relaciones dosis efecto a los receptores, sin agrupación previa por bandas, sin perjuicio de la presentación de resultados en bandas de 5 dB(A)