

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO DE TELECOMUNICACIÓN

Título del proyecto

MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO 2ª FASE. ESTUDIO
COMPARATIVO

Juan Carlos Salinas Hilburg

Tutor: Miguel Arana Burgui

Pamplona, 27 de junio de 2013

Índice

1. Objeto del proyecto	1
2. Introducción	2
3. Conceptos Básicos de Acústica Ambiental	4
4. Legislación	6
5. Efectos del ruido sobre la salud	13
6. Adquisición y manejo de datos	16
7. MER en España. 2ª Fase	19
7.1. Parámetros generales de simulación	24
7.2. Métodos de cálculo de la población afectada	25
7.3. Resultados de los MER en España. 2ª Fase	32
7.3.1. Ruido producido por el tráfico	32
7.3.2. Ruido ferroviario	42
7.3.3. Ruido industrial	44
7.3.4. Ruido Total	46
7.3.5. Grandes Aeropuertos en España	48

7.4. Comparación entre ruido de tráfico y ruido total	50
7.5. Relación entre el porcentaje de afectados en los índices L_{den} y L_n	52
7.6. Relación entre el porcentaje de afectados en los índices L_n y L_d	54
7.7. Relación entre el porcentaje de afectados en los índices L_d y L_e	56
7.8. Indicador Local de Gestión del Ruido (ILGR)	58
7.9. Discusión de los resultados. MER en España	61
8. MER en Europa. 2ª Fase	62
8.1. Ruido de tráfico	62
8.2. Ruido Ferroviario	76
8.3. Ruido Industrial	78
8.4. Ruido Total	80
8.5. Ruido en Grandes Aeropuertos	82
9. Comparaciones entre Fase I y Fase II	84
10. Conclusiones	97
Bibliografía	100

Índice de tablas

1.	Entrega y publicación de resultados. END	8
2.	Aglomeraciones MER España. Segunda fase	20
3.	Empresas encargadas de los MER en España. Segunda fase	21
4.	Metodología y software usado en los MER en España. Segunda fase . . .	22
5.	Porcentaje (%) de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_{den}	34
6.	Número de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_{den} .	34
7.	Porcentaje (%) de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_n	35
8.	Número de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_n . .	35
9.	Porcentaje (%) de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_d	36
10.	Número de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_d . .	36
11.	Porcentaje (%) de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_e	37
12.	Número de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_e . .	37
13.	Porcentaje (%) de personas afectadas por el ruido ferroviario en España	42
14.	Número de personas afectadas por el ruido ferroviario en España	43
15.	Porcentaje (%) de personas afectadas por el ruido industrial en España	45

16.	Número de personas afectadas por el ruido industrial en España	46
17.	Porcentaje (%) de personas afectadas por el ruido total en España	47
18.	Número de personas afectadas por el ruido total en España	47
19.	Número de afectados en aeropuertos españoles	49
20.	Número de personas afectadas en S. Sebastián y Vitoria. Comparación entre ILGR y cálculo de afección a 4 m.	60
21.	Aglomeraciones Europeas. Ruido de Tráfico	63
22.	Aglomeraciones Europeas. Ruido Ferroviario	76
23.	Aglomeraciones Europeas. Ruido Industrial	78
24.	Aglomeraciones Europeas. Ruido Total	80
25.	Ruido en grandes aeropuertos europeos. Número de personas afectadas	82
26.	Aglomeraciones con MER Fase I y Fase II	85

Índice de figuras

1.	Marco legislativo	6
2.	Porcentaje de personas afectadas en rangos acumulados de L_{den} . España	38
3.	Porcentaje de personas afectadas en rangos acumulados de L_n . España	38
4.	Porcentaje de personas afectadas en rangos acumulados de L_d . España	39
5.	Porcentaje de personas afectadas en rangos acumulados de L_e . España .	39
6.	Media y desviación. Porcentaje de afectados en España	40
7.	Comparación entre ruido de tráfico y total. $L_{den} > 55$ dBA	50
8.	Comparación entre ruido de tráfico y total. San Sebastián	51
9.	Comparación entre ruido de tráfico y total. $L_n > 50$ dBA	52
10.	Relación entre L_{den} y L_n	53
11.	Relación entre el porcentaje de afectados en los índices L_d y L_n . España	55
12.	Relación entre L_d y L_e	57
13.	Comparación entre ILGR y laafección a 4 m. A Coruña, índice L_n . . .	59
14.	Ruido de tráfico en Europa. Media por aglomeraciones	64
15.	Ruido de tráfico en Europa. Media por población	65
16.	Relación entre el L_{den} y L_n en aglomeraciones europeas	68
17.	Ratios L_d/L_n en España.	70

18.	Ratios L_d/L_e en España.	70
19.	Comparación entre Alemania y España. Ruido de tráfico. L_{den}	71
20.	Comparación entre Alemania y España. Ruido de tráfico. L_n	72
21.	Relación entre los niveles deafección y densidad poblacional. L_{den}	73
22.	Relación entre los niveles deafección y densidad poblacional (excluyendo la aglomeración de Cádiz) L_{den}	74
23.	Relación entre los niveles deafección y densidad poblacional. L_n	75
24.	Relación entre los niveles deafección y densidad poblacional (excluyendo la aglomeración de Cádiz) L_n	75
25.	Porcentaje de afectados en las aglomeraciones europeas debido al ruido ferroviario	77
26.	Porcentaje de afectados en las aglomeraciones europeas debido al ruido industrial	79
27.	Porcentaje de afectados en las aglomeraciones europeas debido al ruido total	81
28.	Comparación de porcentajes de afectados entre fase I y II, en aglomeraciones Europeas. L_{den}	86
29.	Comparación de porcentajes de afectados entre fase I y II, en aglomeraciones Europeas. L_n	87
30.	Agglomeraciones de Tallin y Poznan. Comparaciones entre fase I y II.	88
31.	Agglomeración de Gelsenkirchen. Comparaciones entre fase I y II.	89

32.	Aglomeraciones de Vilnius y Lublin. Comparaciones entre fase I y II.	90
33.	Aglomeraciones de Bonn, Dublin y Varsovia. Comparaciones entre fase I y II.	91
34.	Aglomeraciones de Bydgoszcz, Gdansk y Gdynia. Comparaciones entre fase I y II.	93
35.	Aglomeraciones de Pamplona y Valencia. Comparaciones entre fase I y II.	94
36.	Aglomeración de Alicante. Comparaciones entre fase I y II.	95
37.	Aglomeración de Berlin. Comparaciones entre fase I y II.	95
38.	Aglomeración de Copenhagen. Comparaciones entre fase I y II.	96

1. Objeto del proyecto

El presente proyecto tiene el objeto de realizar, analizar y evaluar un estudio comparativo de los Mapas Estratégicos de Ruido (MER), 2ª Fase, de España y el resto de países europeos.

Los objetivos principales del proyecto son:

1. Revisión de los mapas estratégicos de ruido realizados en España correspondientes a la segunda fase de la Directiva 2002/49/EC. Análisis comparativo de las metodologías y resultados obtenidos.
2. Revisión de los mapas estratégicos de ruido realizados en países europeos.
3. Evaluación de la población afectada por el ruido ambiental, tanto en España como en países europeos.

2. Introducción

La Directiva Europea 2002/49/CE sobre Ruido Ambiental se elaboró con el objetivo de gestionar y reducir los efectos nocivos del ruido ambiental sobre el bienestar de las personas. En España, dicha Directiva fue traspuesta por la Ley del Ruido del 17 de Noviembre de 2003 y desarrollada por los Reales Decretos: RD 1513/2005, de 16 de diciembre, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, y el RD 1367/2007, de 19 de octubre, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

La herramienta principal de la Directiva 2002/49/CE para evaluar el ruido es la realización de los mapas estratégicos de ruido (MER). Dichos mapas se deben realizar y actualizar cada 5 años. La primera fase de elaboración de los MER fue llevada a cabo en el año 2007 y comprendía a las aglomeraciones de más de 250.000 habitantes, grandes ejes viarios con aforo superior a 6 millones de vehículos anuales, grandes ejes ferroviarios con tránsito superior a 60.000 trenes al año y aeropuertos con más de 50.000 operaciones anuales. En el momento presente las aglomeraciones europeas están aportando los resultados de la segunda fase que comprende a las aglomeraciones de más de 100.000 habitantes, grandes ejes viarios con aforo superior a 3 millones de vehículos anuales, grandes ejes ferroviarios con tránsito superior a 30.000 trenes al año y aeropuertos con más de 50.000 operaciones anuales.

Los indicadores básicos para evaluar los niveles deafección producido por el ruido ambiental son el L_{den} y el L_n , donde el primer indicador evalúa las molestias y el segundo las alteraciones del sueño. Los valores de L_{den} y L_n pueden obtenerse bien mediante cálculos o mediante mediciones (en el punto de evaluación). La Directiva recomienda métodos de cálculos provisionales a aquellos Estados miembros que no poseen un método de cálculo nacional. Los métodos son los siguientes:

Ruido del Tráfico Rodado: el método nacional de cálculo francés «NMPB-Routes-96», mencionado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6» y en la norma francesa «XPS 31-133». Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, esos documentos se

remiten al «Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980».

Ruido de Trenes: el método nacional de cálculo de los Países Bajos, publicado en «Reken — en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996».

Ruido de Aeronaves: ECAC.CEAC Doc. 29 «Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports», 1997. Entre los distintos métodos de modelización de trayectorias de vuelo, se utilizará la técnica de segmentación mencionada en la sección 7.5 del documento 29 de ECAC.CEAC.

Ruido Industrial: ISO 9613-2: «Acoustics — Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation».

En el presente proyecto se estudian y evalúan los resultados de los niveles de afectación obtenidos en los MER de la segunda fase, tanto en España como en el resto de aglomeraciones Europeas. Para realizar dicho estudio el proyecto se ha dividido en tres grandes bloques:

MER en España, 2ª Fase: en este capítulo se analizan los resultados obtenidos de los MER de las aglomeraciones españolas. Un total de 20 aglomeraciones han realizado los MER y se estudian los niveles de afectación en los focos de tráfico viario, tráfico ferroviario, ruido industrial y ruido en grandes aeropuertos.

MER en Europa, 2ª Fase: capítulo dedicado al análisis de los resultados obtenidos de los MER de las aglomeraciones europeas. Un total de 147 aglomeraciones, de 18 países diferentes, han presentado los datos a la EIONET¹. Se evalúan los niveles de afectación en los focos de tráfico viario, ferroviario, ruido industrial y ruido en grandes aeropuertos.

Comparaciones entre los MER de Fase I y II: último capítulo dedicado a la comparación entre los resultados de los MER de Fase I y II de aquellas aglomeraciones europeas que han actualizado sus mapas estratégicos de ruido.

¹European Environment Information and Observation Network

3. Conceptos Básicos de Acústica Ambiental

Las **ondas acústicas** son variaciones de presión que se propagan a través de un fluido compresible. Son ondas longitudinales. El cambio de presión que ocurre cuando un fluido se expande o comprime es la única fuerza restauradora capaz de propagar una onda. Pueden ser sonoras (20Hz-20kHz) infrasónicas (inferiores a 20 Hz) y ultrasónicas (superiores a 20 kHz). El **sonido** es una sensación auditiva excitada por una onda acústica.

El **ruido** es aquel sonido no deseado o que produce molestia. A diferencia de otras áreas de conocimiento, como por ejemplo la electrónica, el ruido se define como una señal de espectro blanco que perturba la señal que deseamos tratar. El ruido en acústica puede, en efecto, ser una señal con la misma potencia en todo el espectro (ruido blanco), desde luego ese tipo de señal produce molestia. Pero el ruido, en acústica, también puede ser la música que se produce en un bar y que se transmite hacia las viviendas aledañas. Para los vecinos dicha música es ruido, ya que produce una molestia, pero para las personas del bar es una sensación auditiva placentera.

El **ruido ambiental** es aquel ruido envolvente que está asociado con un lugar determinado en un momento específico. Dicho ruido está compuesto por varias fuentes próximas y alejadas entre ellas, no siendo, ninguna en particular, dominante.

El ruido puede ser de varios tipos: continuo, transitorio, fluctuante, impulsivo y periódico. Todos los tipos de ruido producen molestia, aunque también depende de la potencia acústica del ruido. Los ruidos periódicos son particularmente molestos debido a que es un ruido que lleva una información asociada.

Nuestro oído tiene un rango para detectar las variaciones de presión muy grande. El rango va desde los 20 μPa hasta los 20 Pa. Por ello se recurren a los decibelios, el nivel de presión sonora en decibelios se define como:

$$L_P = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \text{ dB} \quad (1)$$

Siendo, p la presión acústica eficaz y p_0 una presión de referencia (que suele ser $20 \mu Pa$).

El decibelio no solo se usa debido al gran rango que tiene nuestro oído para detectar las variaciones de presión, el decibelio representa de manera más efectiva el comportamiento del oído debido a que éste detecta las variaciones de presión de forma logarítmica. Un oído humano es capaz de percibir sonidos correspondientes a niveles de presión sonora entre 0 y 120 dB.

Debido a que el oído no tiene la misma sensibilidad en todas las bandas de frecuencia se han creado unos filtros o curvas de ponderación. De esta manera se atenúan las frecuencias bajas y muy altas para reflejar de manera fiel la sensación sonora auditiva. La curva de ponderación que más se utiliza es la curva de ponderación A.

Para evaluar y caracterizar el ruido ambiental es necesario recurrir a los **índices acústicos**. El índice básico es el de nivel de presión sonora, que hemos visto anteriormente. El *nivel de presión sonora continuo equivalente* $L_{Aeq}(T)$ expresa la media de la energía sonora percibida por un individuo en un intervalo de tiempo:

$$L_{Aeq} = 10 \log\left(\frac{1}{T}\right) \int_T \frac{p^2}{p_0^2} dB \quad (2)$$

Donde, T es el tiempo de duración de la medida, P es la presión sonora instantánea en Pascal y P_0 es la presión de referencia en Pascal.

En muchas ocasiones el cálculo del índice L_{Aeq} se realiza sobre niveles de presión sonora L_i medidos en un intervalo t_i :

$$L_{Aeq} = 10 \log\left(\frac{1}{T}\right) \sum 10^{L_i/10} \cdot t_i dB \quad (3)$$

El indicador L_{Aeq} es el que, en general, se utiliza para la evaluación del ruido ambiental, y por lo tanto se obtiene el L_{Aeq} diario, vespertino y nocturno.

4. Legislación

El marco legal de los Mapas Estratégicos de Ruido (MER) de Europa se fundamentan en la *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental* [1], también conocida como *END (Environmental Noise Directive)*. La trasposición española a dicha directiva es la *Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido* o *Ley del Ruido* [2]. La *Ley del Ruido* se desarrolla mediante dos Reales Decretos: *Real Decreto 1513/2005* [3] y *Real Decreto 1367/2007* [4].

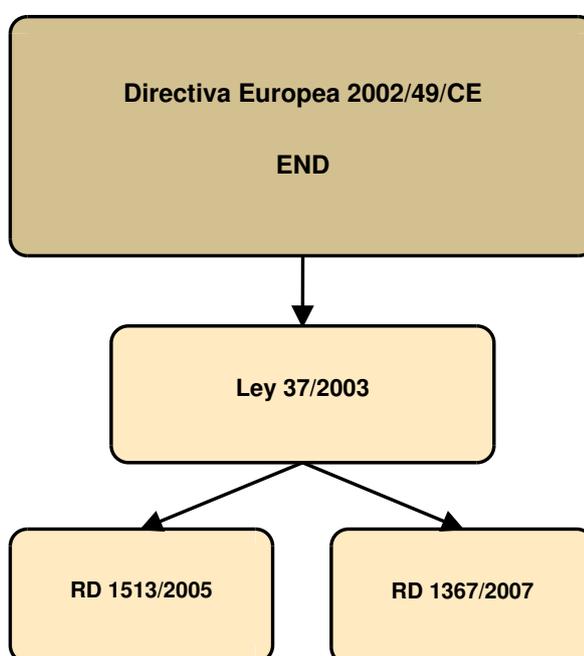


Fig 1: Marco legislativo

Libro Verde de la Comisión Europea 1996

El Libro Verde de la Comisión Europea de 1996 [5] plantea la política futura de lucha contra el ruido ambiental. En dicho documento se indica que el ruido producido por el tráfico y actividades industriales es uno de los principales problemas medioambientales de Europa, pero que hasta ese entonces era más importante combatir otros tipos de contaminación, como la atmosférica o la del agua. El Libro Verde representa el primer paso para desarrollar un programa de actuación frente al ruido.

El documento señala que existe una escasa información sobre la exposición al ruido, por lo que es necesario establecer objetivos y adoptar medidas comunitarias frente al ruido, es decir, establecer un nuevo marco para hacer frente al ruido ambiental. En ese nuevo marco se tendrían las siguientes acciones futuras:

- Propuesta de directiva en la que se prevé el establecimiento de métodos comunes de evaluación de la exposición al ruido. Además, la propuesta podría incluir recomendaciones sobre la elaboración de mapas de ruido y su información al público.
- Prestar especial atención al ruido causado por tráfico, ejes ferroviarios y el transporte aéreo.

Directiva 2002/49/CE (END)

Mediante esta directiva la Comisión Europea se planteó alcanzar un grado elevado de protección frente al ruido ambiental. La directiva tiene el objeto de proporcionar una base para desarrollar medidas con respecto al ruido emitido por cuatro principales fuentes de emisión: tráfico, ferrocarriles, aeronaves e industria. Además, se establece que los Estados Miembros están obligados a realizar los Mapas Estratégicos de Ruido y para ello deben designar autoridades y entidades competentes, que en su caso, aprueben y desarrollen los planes de acción correspondiente.

La Directiva solo se aplica al ruido ambiental, es decir, el ruido procedente de las cuatro principales fuentes de emisión antes mencionadas. No se aplica al ruido producido por la propia persona, por actividades domésticas, por los vecinos, en el lugar de trabajo o ruido procedente de actividades militares.

En la [tabla 1](#) se puede observar las fases de entrega y publicación de los resultados previstos por el END. Cada fase debe ser completada y presentada por cada miembro de la Comunidad Europea (CE). Se aprecia claramente que hay dos fases en las que se deben realizar los Mapas Estratégicos de Ruido: la primera fase (DF4) donde el plazo de presentación era hasta diciembre de 2007, y la segunda fase (DF8) donde el plazo de

presentación era hasta diciembre de 2012. Actualmente algunos países miembros han finalizado la entrega de datos de la segunda fase mientras que otros no han finalizado el proceso.

Tabla 1: Entrega y publicación de resultados. END

Flujo de datos	Información que ha de comunicarse a la CE	Plazo	Actualizaciones	END
DF1	Lista de grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios, grandes aeropuertos y aglomeraciones (para la primera fase de mapas estratégicos de ruido 2007): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aglomeraciones \geq 250.000 habitantes ▪ Grandes aeropuertos \geq 50.000 mov/año ▪ Grandes ejes viarios \geq 6 millones veh/año ▪ Grandes ejes ferroviarios \geq 60.000 trenes/año 	30/06/2005	Obligatorio cada 5 años	Art. 7-1
DF2	Los organismos competentes de los mapas estratégicos de ruido, planes de acción y recopilación de datos.	18/07/2005	En cualquier momento	Art. 4-2
DF3	Valores límites de ruido e información asociada.	18/07/2005	En cualquier momento	Art. 5-4
DF4	Mapas estratégicos de ruido de conformidad con el anexo VI (primera fase) para: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aglomeraciones \geq 250.000 habitantes ▪ Grandes aeropuertos \geq 50.000 mov/año ▪ Grandes ejes viarios \geq 6 millones veh/año ▪ Grandes ejes ferroviarios \geq 60.000 trenes/año 	30/12/2007	Obligatorio cada 5 años	Art. 10-2
DF5	Lista de grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios, grandes aeropuertos y aglomeraciones (para la segunda fase de mapas estratégicos de ruido 2012): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aglomeraciones \geq 100.000 habitantes ▪ Grandes aeropuertos \geq 50.000 mov/año ▪ Grandes ejes viarios \geq 3 millones veh/año ▪ Grandes ejes ferroviarios \geq 30.000 trenes/año 	31/12/2008	En cualquier momento	Art. 7-2
DF6	Medidas y programas de control del ruido que se han llevado a cabo en el pasado para: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aglomeraciones \geq 250.000 habitantes ▪ Grandes aeropuertos \geq 50.000 mov/año ▪ Grandes ejes viarios \geq 6 millones veh/año ▪ Grandes ejes ferroviarios \geq 60.000 trenes/año 	18/01/2009	No se actualiza	Art. 10-2
DF7	Planes de acción en conformidad con el anexo VI <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aglomeraciones \geq 250.000 habitantes ▪ Grandes aeropuertos \geq 50.000 mov/año ▪ Grandes ejes viarios \geq 6 millones veh/año ▪ Grandes ejes ferroviarios \geq 60.000 trenes/año 	18/01/2009	Obligatorio cada 5 años	Art. 10-2

Tabla 1: (continuación)

Flujo de datos	Información que ha de comunicarse a la CE	Plazo	Actualizaciones	END
DF8	Mapas estratégicos de ruido de conformidad con el anexo VI (segunda fase) para: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aglomeraciones ≥ 100.000 habitantes ▪ Grandes aeropuertos ≥ 50.000 mov/año ▪ Grandes ejes viarios ≥ 3 millones veh/año ▪ Grandes ejes ferroviarios ≥ 30.000 trenes/año 	30/12/2012	Obligatorio cada 5 años	Art. 10-2
DF9	Medidas y programas de control del ruido que se han llevado a cabo en el pasado para: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aglomeraciones ≥ 100.000 habitantes & <250.000 hab ▪ Grandes aeropuertos ≥ 50.000 mov/año ▪ Grandes ejes viarios ≥ 3 millones veh/año ▪ Grandes ejes ferroviarios ≥ 30.000 trenes/año 	18/01/2014	No se actualiza	Art. 10-2
DF10	Planes de acción en conformidad con el anexo VI <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aglomeraciones ≥ 100.000 habitantes ▪ Grandes aeropuertos ≥ 50.000 mov/año ▪ Grandes ejes viarios ≥ 3 millones veh/año ▪ Grandes ejes ferroviarios ≥ 30.000 trenes/año 	18/01/2014	Obligatorio cada 5 años	Art. 10-2

Según la directiva es necesario usar unos indicadores de ruido comunes para poder realizar una comparación de resultados entre los Estados miembros. Los indicadores que se establecen son: L_{den} y L_{night} . El primer indicador evalúa las molestias, el segundo las alteraciones del sueño. En la [ecuación 4](#) se observa el procedimiento para calcular el L_{den} descrito en el Anexo I de la Directiva.

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 \times 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \quad (4)$$

Donde,

- L_{day} es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2:1987, determinado a lo largo de todos los períodos diurnos de un año.
- $L_{evening}$ es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2:1987, determinado a lo largo de todos los períodos vespertinos de un

año.

- L_{night} es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2:1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año.

Para determinar los valores de L_{den} y L_{night} se proponen los métodos de evaluación que se describen en el Anexo II de la Directiva. A su vez, la Directiva ofrece la posibilidad a los Estados miembros de utilizar métodos establecidos en sus propias legislaciones. Estos métodos alternativos deben dar resultados equivalentes a los propuestos por la Directiva.

Los métodos propuestos por la Directiva son los que se han comentado anteriormente:

Ruido del Tráfico Rodado: el método nacional de cálculo francés «NMPB-Routes-96», mencionado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6» y en la norma francesa «XPS 31-133». Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, esos documentos se remiten al «Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980».

Ruido de Trenes: el método nacional de cálculo de los Países Bajos, publicado en «Reken — en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996».

Ruido de Aeronaves: ECAC.CEAC Doc. 29 «Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports», 1997. Entre los distintos métodos de modelización de trayectorias de vuelo, se utilizará la técnica de segmentación mencionada en la sección 7.5 del documento 29 de ECAC.CEAC.

Ruido Industrial: ISO 9613-2: «Acoustics — Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation».

La Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea, encargó al Joint

Research Centre (Institute for Health and Consumer Protection) la redacción de un modelo armonizado para la predicción del ruido ambiental, acorde con los objetivos de la Directiva. La Versión 10 (agosto_2012) de dicho modelo está ya operativa. Se conoce tal modelo como CNOSSOS (Common NOise aSSessment MethOdS)[17] y se espera que sea ya el oficial para los mapas de ruido de las siguientes fases.

Los mapas estratégicos de ruido deben tener unos requisitos mínimos para su cartografiado, señalados en el Anexo IV de la Directiva. La Directiva señala que es importante hacer público la siguiente información: el mapa de ruido en forma de gráfico y el número estimado de personas cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de L_{den} en dB a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta: (55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75), distinguiendo entre el tráfico rodado, el tráfico ferroviario, el tráfico aéreo y las fuentes industriales.

Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido (Ley del Ruido)

La Ley del Ruido es la trasposición a la legislación española de la Directiva Europea 2002/49/CE (END). Esta ley tiene un enfoque mucho más amplio que el END, ya que no solo trata de regular y gestionar el ruido sino también los efectos nocivos producidos por las vibraciones. Los objetivos de la Ley del Ruido son claros: Determinar la exposición al ruido ambiental mediante los mapas estratégicos de ruido, poner a disposición de la población la información sobre el ruido ambiental y sus efectos, y adoptar planes de acción tomando como base los resultado de los mapas de ruido.

En el Capítulo I se define claramente el objeto y finalidad de la ley: *“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”*. También, se detalla el ámbito de aplicación de la ley, se muestran diversas definiciones como el de área acústica, calidad acústica, zonas de servidumbre acústica, entre otros.

En el Capítulo II se detallan los tipos de áreas acústicas y los objetivos de calidad en cada una de ellas. A su vez, se definen los índices acústicos y la elaboración de los

mapas de ruido.

En el Capítulo III se describe la prevención y corrección de la contaminación acústica. Se tienen en cuenta la planificación territorial y el planeamiento urbanístico, y se definen los fines y contenidos de los planes de acción.

En el Capítulo IV se informa sobre la inspección y el régimen sancionador. Las infracciones se clasifican en: muy graves, graves y leves.

Real Decreto 1513/2005

El RD 1513/2005 desarrolla la Ley 37/2003 del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental. Tiene la finalidad de prevenir, reducir o evitar los efectos nocivos derivados del ruido ambiental. En este RD se desarrollan los siguientes aspectos: definición de los índices de ruido, los métodos de cálculo, los criterios de delimitación de una aglomeración, los requisitos mínimos sobre el cartografiado de los mapas de ruido, la información que se debe entregar a la Comisión Europea y al Ministerio de Medio Ambiente, y por último, se destacan los plazos para la elaboración de los mapas de ruido.

Real Decreto 1367/2007

El RD 1367/2007 desarrolla la Ley 37/2003 del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. Completa el desarrollo de la Ley del Ruido y establece: los objetivos de calidad acústica, los índices de evaluación acústica, los valores límites de emisión e inmisión, los procedimientos y métodos de evaluación de la contaminación acústica, y por último, los criterios para determinar la inclusión de un sector del territorio en un tipo de área acústica.

5. Efectos del ruido sobre la salud

Un estudio hecho por la Organización Mundial de la Salud ha demostrado la relación entre el ruido y la salud de las personas. En el documento *Guidelines for community noise* (1999) [6] se describe claramente cuáles son los efectos del ruido sobre la salud.

En dicho documento se define un efecto adverso del ruido al cambio tanto morfológico como fisiológico de un organismo que resulta en el deterioro de la capacidad funcional, o el incremento de la susceptibilidad de un organismo a los efectos perjudiciales de otras influencias medioambientales. Los efectos del ruido se pueden clasificar en: deterioro de la audición inducida por el ruido, interferencia en la comunicación hablada, perturbación del sueño, efectos cardiovasculares, salud mental, entre otros.

En el 2009, la Organización Mundial de la Salud publica el documento *Night noise guidelines for Europe* [7]. Esta publicación presenta evidencia más detallada y actualizada del daño en la salud de las personas producida por la exposición al ruido en el período nocturno. Según el documento se recomienda que la exposición al ruido en el período nocturno durante un año no supere los 40 dBA. Un valor de 40 dBA para L_{night} debería ser el objetivo de calidad acústica pero en la actualidad muchos estados miembros tienen un objetivo de 55 dBA.

El documento *Burden of disease from environmental noise* (2011) [8] presenta de forma detallada evidencias que relacionan el ruido ambiental y los efectos en la salud. El objetivo principal de este documento es cuantificar de manera precisa el número de personas afectadas por el ruido ambiental.

Deterioro de la audición inducida por el ruido

El deterioro de la audición se define como el aumento del umbral de audición. El umbral de audición es la mínima presión sonora que llega a nuestro oído y que es capaz de proporcionar una sensación auditiva. Para cuantificar el deterioro de la audición se suele medir el desplazamiento de umbral de audición, es decir, la diferencia entre los

niveles del umbral de audición medidos antes y después de la exposición al ruido. El desplazamiento puede ser temporal o permanente. En el desplazamiento temporal el oído se recupera después de la exposición al ruido, por lo tanto, el desplazamiento del umbral es nulo. En el desplazamiento permanente el oído no se recupera después de la exposición al ruido por lo que el desplazamiento del umbral no es nulo.

Aún así, no está claro que el ruido ambiental (con niveles no excesivamente elevados, digamos, inferiores a 75 dBA) sea causante de pérdida significativa de audición, ya que existen muchos estudios con resultados muy variables entre ellos. Para exposiciones prolongadas a ruidos de elevado nivel, las pérdidas auditivas están bien contrastadas [9].

Interferencia en la comunicación hablada

La interferencia en la comunicación es un enmascaramiento del sonido debido a una señal no deseada (ruido). Si el ruido es mayor la interferencia será mayor, es decir, la inteligibilidad se reduce porque el ruido de fondo aumenta. Hay que tener en cuenta que la interferencia debida al ruido no solo afecta a la comunicación hablada, también afecta otro tipo de sonidos importantes de nuestro día a día: timbre de puertas, teléfonos, reloj despertador y alarmas.

Perturbación del sueño

Uno de los requisitos para tener un buen estado de salud es el sueño ininterrumpido, además, es fundamental para mantener el rendimiento durante el día. La perturbación del sueño es uno de los mayores problemas del ruido ambiental, es una de las quejas más comunes de las poblaciones afectadas por el ruido.

Los efectos básicos del ruido sobre el sueño son: insomnio, sueño no continuado o despertares intermitentes, alteraciones de las fases del sueño, especialmente reducción de la fase de sueño REM². Otros efectos fisiológicos que puede provocar el ruido

²REM = Rapid Eye Movement

sobre el sueño son: incremento de la presión sanguínea, cambios en la respiración, arritmias e incremento de movimientos corporales. Luego, nos encontramos con los efectos secundarios de la perturbación del sueño provocada por el ruido. Estos efectos se aprecian durante el día y son: incremento de la fatiga, falta de ánimo o depresión, bajo rendimiento y deterioro de las funciones cognitivas.

Efectos cardiovasculares y fisiológicos

Estudios indican que la exposición al ruido puede tener un impacto tanto permanente como temporal en las funciones fisiológicas del ser humano. El ruido activa el sistema nervioso autónomo y el sistema hormonal, provocando cambios en la presión sanguínea y aumento de frecuencia cardíaca. Exposiciones prolongadas al ruido pueden provocar hipertensión y cardiopatía isquémica.

Efectos en la salud mental

La salud mental se define como la presencia de un desorden psiquiátrico en la persona. El ruido ambiental no es la causa directa de enfermedades mentales pero si puede acelerar e intensificar el desarrollo de desordenes mentales como: ansiedad, estrés, cambios de humor, psicosis, irritabilidad, neurosis e histeria.

6. Adquisición y manejo de datos

Los datos se han obtenido de tres fuentes principales: European Environment Information and Observation Network (EIONET) [10], Communication and Information Resource Centre for Administrations, Businesses and Citizens (CIRCABC) [11] y el Sistema de Información sobre la Contaminación Acústica (SICA) [12].

EIONET

La Red Europea sobre información y observación ambiental (EIONET) tiene el objetivo de proveer datos actualizados y de alta fiabilidad sobre el medio ambiente europeo. Esta red permite la aplicación, por parte de las autoridades competentes, de políticas eficaces para la protección del medio ambiente, además de la monitorización de dichas políticas para evaluar la efectividad de las mismas.

La EIONET es una red que está en colaboración con la Agencia Europea Medioambiental (European Environment Agency EEA [13]). La labor de la EIONET en su colaboración con la EEA es crucial, ya que se encarga de recoger y organizar todos los datos medioambientales de los Estados Miembros. En general, la red EIONET en conjunto con la EEA está compuesta por aproximadamente 1000 expertos de 39 países y unas 350 agencias nacionales medioambientales.

Los datos en la EIONET se alojan en el Repositorio Central de Datos (Data Central Repository CDR). En el Repositorio Central se encuentran los datos medioambientales de cada Estado Miembro. Los datos concernientes al ruido ambiental se encuentran, generalmente, en el siguiente camino:

país \longrightarrow *EuropeanUnion(EU), obligations* \longrightarrow *EnvironmentalNoiseDirective*

En el caso de Islandia, Noruega y Liechtenstein el camino cambia ligeramente, en vez de entrar en la carpeta *European Union (EU), obligations* hay que entrar en *EFTA*

Surveillance Authority.

Una vez dentro de la sección de ruido ambiental (Environmental Noise Directive), en general, se encuentran 11 carpetas correspondientes a cada flujo de datos (Data Flow). Los datos correspondientes a la segunda fase están en la carpeta *Noise Directive (DF 4 and DF 8) Strategic noise maps*, allí se encuentra en formato *.xls* (Excel) los niveles de afectación en cada rango de L_{den} y L_n en aglomeración, grandes aeropuertos, grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios. En la carpeta *Noise Directive DF5: Report on all major roads, railways, airports and agglomerations* está, en formato *.xls*, el reporte de todas las aglomeraciones (nombre y código de aglomeraciones, población y superficie), grandes aeropuertos, grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios.

En el resto de carpetas está información relacionada con los planes de acción, autoridades competentes y en algunos casos se puede encontrar los datos de la primera fase. La Agencia Europea Medioambiental ha creado una página interactiva donde se pueden visualizar los datos del ruido en Europa: *Noise Observation and Information Service for Europe* [14], en ella se puede observar los niveles de afectación en los diferentes rangos para el L_{den} y L_n , además de las curvas de isófonas.

CIRCABC

El CIRCABC (Comunicación y Centro de Recursos de Información para Administraciones, empresas y ciudadanos) fue el repositorio usado para la organización y recolección de datos de la primera fase. Actualmente, cada Estado Miembro debe alojar los datos correspondientes al ruido de la segunda fase en la EIONET. El repositorio CIRCABC todavía está en uso ya que allí se encuentra los datos de la primera fase y algunos documentos de importancia relacionados con la Directiva 2002/49 CE. Los datos del ruido ambiental se encuentran en el siguiente camino:

Browse categories → *European Commission – Environment* →
→ *Environmental Noise Directive (2002/49/EC)* → *Library*

SICA

El Sistema de Información sobre la Contaminación Acústica (SICA) constituye la base de datos para la organización de la información relativa a la contaminación acústica en España. El SICA depende del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y está gestionado por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Además, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) presta su apoyo técnico para su implantación y mantenimiento.

En la página del SICA se pueden encontrar los mapas estratégicos de ruido de las aglomeraciones españolas, tanto de la primera fase como de la segunda. Los datos se encuentran por aglomeración y están en formato *.pdf*. Además de los datos relacionados con los niveles deafección en los diferentes rangos de L_{den} , L_n , L_d y L_e se puede encontrar las curvas de isófonas para cada fuente de ruido (tráfico, ferroviario, industria, aéreo y total).

Manejo de Datos

Todos los datos obtenidos de las fuentes antes mencionadas se han recopilado en archivos de tipo excel (*.xls*). Se han creado dos grandes bases de datos, en una están los datos relativos a las aglomeraciones españolas y en otra están los datos de todas las aglomeraciones europeas. La decisión de crear una base de datos específica para las aglomeraciones españolas se debe a que se disponen de mas indicadores acústicos que los suministrados en la EIONET, es decir, en el SICA cada aglomeración tiene datos relativos a L_{den} , L_n , L_d y L_e , en cambio en la EIONET solo se tienen datos de L_{den} y L_n . Aún así, es necesario destacar que en la segunda base de datos, la que corresponde a todas las aglomeraciones europeas, también se encuentran las aglomeraciones españolas.

Se ha hecho uso de dos softwares para la organización y presentación de gráficos: Excel 2011 y Matlab 2009.

7. MER en España. 2ª Fase

En conformidad con el artículo 7-2 de la *Directiva 2002/49/CE* (END) para el 30 de junio de 2012 se debían actualizar los mapas estratégicos de ruido de la primera fase y elaborar los mapas estratégicos de ruido correspondientes a la segunda fase, es decir:

- Aglomeraciones con más de 100.000 habitantes.
- Grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los tres millones de desplazamientos al año.
- Grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 30.000 trenes al año.
- Grandes aeropuertos con más de 50.000 movimientos al año.

Según el artículo 10-2 de la *Directiva 2002/49/CE* (END) los Estados miembros debían enviar los resultados a la Comisión a más tardar seis meses después de las fechas mencionadas en el artículo 7. Esto indica que los resultados se debían presentar el 30 de diciembre de 2012 a la comisión, por lo tanto, el SICA emprendió la campaña de recolección de datos de las aglomeraciones españolas en junio de 2012. En España un total de 63 aglomeraciones cumplen con los requisitos para realizar los MER pero solo 20 aglomeraciones han presentado sus resultados. De esas 20 aglomeraciones solo 4 de ellas son actualizaciones de la primera fase, el resto son aglomeraciones que no debían realizar el MER en la primera fase ya que disponían de una población inferior a 250.000 habitantes.

Hay que aclarar que los resultados del MER de Alicante han sido obtenidos de la página del ayuntamiento de Alicante [15] y no del SICA.

Tabla 2: Aglomeraciones MER España. Segunda fase

Agglomeración	Tamaño (km^2)	Población	Código
A Coruña	36.83	247.482	ES_a_ag45
Albacete	29.00	165.443	ES_a_ag44
Alcobendas	27.70	111.882	ES_a_ag36
Alicante	46.60	328.441	ES_a_ag1
Almería	25.25	165.612	ES_a_ag30
Badajoz	20.90	126.177	ES_a_ag49
Burgos	55.40	180.561	ES_a_ag21
Cádiz	4.40	124.530	ES_a_ag26
Cartagena	22.70	122.796	ES_a_ag43
Castellón	107.00	181.243	ES_a_ag33
Comarca de Pamplona	134.12	317.142	ES_a_ag19
Elche	29.40	215.290	ES_a_ag50
Leganés	43.09	186.066	ES_a_ag40
León	39.00	132.744	ES_a_ag22
Móstoles	45.36	206.031	ES_a_ag41
Murcia	886.00	442.064	ES_a_ag10
Salamanca	27.42	158.823	ES_a_ag23
San Sebastián - Donostia	60.73	185.512	ES_a_ag47
Valencia	134.65	799.188	ES_a_ag15
Vitoria - Gasteiz	276.80	240.900	ES_a_ag48

En la [tabla 2](#) se pueden observar las aglomeraciones que han realizado el MER en España. Las aglomeraciones Alicante, Murcia, Pamplona y Valencia han actualizado los MER de la primera fase. Un total de más de 4 millones de personas han sido evaluadas, siendo un 9.6 % ³ de la población total española

Al igual que en la primera fase la información que se debe presentar a la Comisión es la siguiente:

- Descripción general de la aglomeración: superficie, población y ubicación.
- Autoridad responsable.
- Programas de lucha contra el ruido ejecutados en el pasado y medidas vigentes.
- Métodos de medición.
- Número estimado de personas cuyas viviendas están expuestas a diferentes rangos en dBA de L_{den} y L_n , en dB, a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta, distinguiendo entre el tráfico rodado, el tráfico ferroviario, el tráfico aéreo y las fuentes industriales.
- Resumen del plan de acción que aborde los aspectos que se destacan en el anexo V de la directiva.

³Población total española: 46.818.200. Dato del INE (Instituto Nacional de Estadística).

En casi todas las aglomeraciones la autoridad responsable ha sido el Ayuntamiento correspondiente, excepto en Elche (Autoridad Responsable: La Autoridad Responsable del envío del MER de Elche al Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MARM) es la Comunidad Valenciana.) y en Pamplona (Autoridad Responsable: Departamento de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local - Gobierno de Navarra.). Es decir, en 18 aglomeraciones la autoridad responsable ha sido el gobierno municipal y en 2 casos fue el gobierno autonómico el responsable.

Tabla 3: Empresas encargadas de los MER en España. Segunda fase

Aglomeración	Empresa
A Coruña	AAC Acústica + Lumínica
Albacete	Acusttel - Eygema
Alcobendas	AAC Acústica + Lumínica
Alicante	Ayuntamiento de Alicante
Almería	Acusttel - Eygema - Tecnitax
Badajoz	Eygema
Burgos	Audiotec - CTA
Cádiz	Universidad de Cádiz
Cartagena	Acre Ambiental
Castellón	Acusttel
C. Pamplona	Tracasa y Lab. de Acústica del Departamento de Física de la Universidad Pública de Navarra
Elche	Lab. de Ingeniería Acústica y Vibraciones de la Universidad Miguel Hernández de Elche
Leganés	UPM - Univ. Carlos III
León	Lab. de Acústica Aplicada de la Universidad de León
Móstoles	Melissa Consultoría e Ing. Ambiental
Murcia	Acre ambiental
Salamanca	Audiotec - CTA
San Sebastián	AAC Acústica + Lumínica
Valencia	Audiotec
Vitoria	AAC Acústica + Lumínica

En todas las aglomeraciones, excepto en Alicante, la administración responsable ha subcontratado los servicios a empresas de ingeniería o universidades para la realización de los mapas. En la [tabla 3](#) se pueden observar las empresas involucradas en la realización de cada mapa de ruido. En el caso de Cádiz, Pamplona, Elche, Leganés y León los encargados de realizar el mapa de ruido han sido universidades en sus respectivos laboratorios de acústica.

Todos los mapas se han elaborado mediante métodos de predicción siguiendo los métodos de cálculo recomendados en la Directiva 2002/49/CE. En la [tabla 4](#) se puede apreciar la metodología empleada por cada aglomeración y el software utilizado. En los casos donde las aglomeraciones han realizado mediciones éstas se han utilizado para validar el modelo computacional.

Tabla 4: Metodología y software usado en los MER en España. Segunda fase

Aglomeración	Software	Metodología
A Coruña	SoundPlan	Modelización
Albacete	Cadna	Mediciones y Modelización
Alcobendas	SoundPlan	Modelización
Alicante	Cadna	Mediciones y Modelización
Almería	Cadna	Mediciones y Modelización
Badajoz	Cadna	Mediciones y Modelización
Burgos	No se especifica	Modelización
Cádiz	Cadna	Modelización
Cartagena	Predictor	Mediciones y Modelización
Castellón	Cadna	Modelización
C. Pamplona	SoundPlan	Mediciones y Modelización
Elche	Predictor	Mediciones y Modelización
Leganés	Cadna	Mediciones y Modelización
León	Cadna	Modelización
Móstoles	Cadna	Modelización
Murcia	Predictor	Mediciones y Modelización
Salamanca	No se especifica	Modelización
San Sebastián	SoundPlan	Modelización
Valencia	No se especifica	Modelización
Vitoria	SoundPlan	Modelización

A continuación se detallará el tipo de medición que se ha realizado en las diferentes aglomeraciones.

En **Albacete** se han realizado 200 medidas de larga duración en 149 puntos de medida. La distribución de los puntos de medida ha sido la siguiente: 116 en el casco urbano, 23 en el centro de la ciudad, 6 en las pedanías y 4 en urbanizaciones fuera de la ciudad. Para localizar las medidas se ha segmentado el área mediante una cuadrícula de 200x200 m para las medidas del casco urbano, pedanías y urbanizaciones fuera de la ciudad. En el caso de las medidas en el centro de la ciudad la cuadrícula es de 50x50 m. Además, se han realizado 9 medidas para evaluar los niveles sonoros de las infraestructuras de transporte.

En **Alicante** se ha validado el modelo computacional mediante 12 estaciones de medida de larga duración. Se ha comparado el valor obtenido en cada estación con la simulación y se ha observado que las diferencias eran menores a 2 dB.

En **Almería** se han realizado 120 medidas de larga duración con una ventana de muestreo de 1 semana y 500 medidas de corta duración en períodos de 15 minutos. Para la distribución de los puntos de medida, unos puntos se establecen en zonas de afección acústica importante, como las vías principales de comunicación, y el resto de puntos se distribuyen de forma pseudo-aleatoria.

En **Badajoz** se ha establecido la distribución de 150 medidas de larga duración y 100 puntos de medida de corta duración donde se han realizado dos medidas: una en período día y otra en período noche. Los puntos de medida se han distribuido en una malla de 300x300 m a una altura de 4 m. Tanto en las medidas de larga duración como de corta duración 80 % de los puntos se han distribuido de forma aleatoria y 20 % en zonas de interés.

En **Cartagena** las medidas de corta duración se han organizado en dos fases. En la primera fase se han seleccionado 300 puntos de medición y se ha medido durante un período de 15 minutos en distintos intervalos del día. En la segunda fase se han seleccionado 150 puntos, realizándose durante el día dos mediciones entre 5 y 10 minutos cada 5 horas, y durante la noche medidas de 10 minutos cada 2 horas. En total, considerando las dos fases, se han realizado 990 mediciones. Para las medidas de larga duración se han seleccionado 63 puntos distribuidos por toda el área del cálculo.

En **Elche** ha sido necesario realizar 1077 mediciones sonoras en todo el área de cálculo. Las medidas de corta duración han sido 1054 mientras que las de larga duración han sido 23. En **Murcia** se ha validado el modelo mediante 650 puntos de medidas situadas en las pedanías.

Como se puede observar en la [tabla 4](#) se han utilizado tres programas comerciales para la realización de los mapas estratégicos de ruido: Cadna, Soundplan y Predictor, siendo Cadna el más utilizado, seguido por Soundplan y, por último, el programa Predictor. En tres aglomeraciones (Burgos, Salamanca y Valencia) se detalla que se ha

hecho uso de un programa de simulación para la realización de los mapas de ruido pero no se menciona el nombre del programa en cuestión.

7.1. Parámetros generales de simulación

En general, en las memorias descriptivas de cada aglomeración no se detalla de forma concreta los parámetros de simulación para realizar los mapas de ruido. Es decir, en la mayoría de los casos no se especifica el orden de reflexión, el tipo de pavimento, el tamaño del grid o malla, etc.

En las aglomeraciones de Albacete, Almería, Badajoz y Pamplona se ha utilizado un **orden de reflexión de primer orden**. En la aglomeración de Leganés se ha utilizado un **orden de reflexión de segundo orden**. En el resto de aglomeraciones no se menciona el orden de reflexión utilizado pero se asume que mínimo es de primer orden.

En las aglomeraciones de Albacete, Almería, Badajoz, Elche y Leganés el **tamaño del grid** es de 10x10 m en la aglomeración de Cartagena es de 5x5 m. En el resto de aglomeraciones no se indica el tamaño del grid.

En Albacete, Almería, Badajoz y Leganés los **parámetros atmosféricos** se han designado como: temperatura igual a 15 °C y humedad relativa igual a 70 %. En Cartagena y Leganés las **condiciones meteorológicas** son 50 % en periodo de día, 75 % en periodo de tarde y 100 % en periodo de noche. Los porcentajes indican la probabilidad de ocurrencia de condiciones atmosféricas favorables a la propagación del sonido en todas las direcciones de propagación.

En Leganés el suelo se ha considerado totalmente absorbente y los edificios totalmente reflectantes. En Elche los edificios se han considerado con reflexión media (“half reflecting”) y en Pamplona la absorción de edificios se ha asignado como 0.21, es decir, un coeficiente de reflexión igual a 0.79.

7.2. Métodos de cálculo de la población afectada

Para poder evaluar eficazmente los efectos negativos del ruido es necesario calcular el porcentaje de personas afectadas por el ruido. Dicho porcentaje es la cantidad de personas, relativas a la población total, que residen en viviendas cuyas fachadas están expuestas a niveles sonoros expresados en rangos de 5 dBA, en los índices L_{den} y L_n . Es un requerimiento de la Directiva 2002/49/CE y uno de los objetivos de los planes de acción es el de reducir dicho porcentaje si se superan los objetivos de calidad acústica.

El cálculo del porcentaje de afectados es complejo, ya que depende no solo de la correcta información cartográfica (ubicación de los edificios, altura de los mismos, ubicación de las viviendas dentro de los edificios, etc) sino también, de la evaluación del ruido en las fachadas de las viviendas.

Con la finalidad de asignar un nivel de sonoridad a una vivienda es necesario calcular el nivel en la fachada de la vivienda. Los programas de simulación están capacitados para evaluar el nivel por medio de un mapa de fachadas, eliminando la reflexión de la propia fachada, tal como requiere la Directiva 2002/49/CE.

Si se posee la información de la posición de cada fachada de vivienda, en un edificio, cada vivienda debe ser considerada como si fuera un edificio separado y asignar un nivel correspondiente. Si se desconoce la posición de cada fachada se debe determinar los niveles sonoros alrededor del edificio y estimar el máximo nivel de ruido que se debe atribuir a todas las viviendas del edificio.

Con la finalidad de despejar dudas y de proveer un apoyo técnico en la realización de los mapas estratégicos de ruido, se creó el grupo de trabajo *European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise* (WG-AEN). En el documento *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure* [18] se hacen recomendaciones sobre cuestiones que en la Directiva 2002/49/CE no se explican en profundidad. Entre los aspectos que se explican claramente están las relacionadas al cálculo de niveles sonoros en las fachadas de las viviendas. Las recomendaciones del WG-AEN son (sección 2.44 del WG-AEN):

Edificios que consisten de solo una vivienda (viviendas unifamiliares):

Se toma el nivel sonoro de la fachada más expuesta para asignar al edificio. Si no se dispone de un mapa de fachadas pero si de un mapa de grid (cuyos valores típicamente están calculados a una altura de 4 m), se resta 3 dB (para eliminar la reflexión de la propia fachada) y se sigue el procedimiento anterior.

Edificios que contienen múltiples viviendas y la localización de cada vivienda es conocida:

Se determina el nivel máximo de exposición, para cada vivienda, a partir del mapa de fachadas. Si se ha calculado un mapa de grid se resta 3 dB a los niveles y se recorre el exterior del edificio, asignando el nivel máximo del grid a cada vivienda individual. Es decir, a cada vivienda individual del edificio se le asigna el valor más cercano del grid.

Edificios que contienen múltiples viviendas y la localización de cada vivienda no es conocida:

Si se desconoce la ubicación de cada vivienda individual, dentro del edificio, se asume que se cometerán errores en el cálculo de población afectada. El procedimiento recomendado es seguir una de las aproximaciones anteriores, dependiendo de si se dispone de mapa de fachadas o mapa de grid, considerando el edificio como vivienda unifamiliar. Por lo tanto, el máximo valor se asigna a todas las viviendas del edificio. Esto produce una sobreestimación de la población afectada, ya que algunas viviendas pueden tener sus fachadas muy alejadas de la fachada más expuesta del edificio. Sin embargo, otras aproximaciones tratan de distribuir el rango de niveles de ruido que afectan a las fachadas del edificio en su conjunto a las viviendas dentro del edificio, puede llevar a subestimaciones de la población afectada. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando las viviendas de un edificio atraviesan el ancho del edificio y tienen fachadas expuestas a los máximos y mínimos niveles sonoros que afectan al edificio, tal como patios traseros. Este procedimiento sigue un principio preventivo.

Aún así, existen dos cuestiones que no están resueltas en estas recomendaciones.

La primera cuestión está relacionada a la altura de evaluación, cuando los datos que se usan son los que se obtienen del mapa de grid a 4 metros. Para edificaciones de gran altura, los niveles sonoros serán menores para alturas superiores. La Directiva 2002/49/CE establece que la altura de cálculo debe ser 4 metros, pero permite realizar los cálculos a diferentes alturas donde sea apropiado. El WG-AEN recomienda realizar mapas a diferentes alturas en áreas donde sea realmente necesario, por ejemplo, en áreas urbanas con edificios de gran altura. La segunda cuestión es relativa a la resta de 3 dB sobre los niveles del mapa de grid, la cual se realiza para eliminar la reflexión de la propia fachada evaluada. La resta está perfectamente justificada para puntos del grid muy próximos a la fachada, pero introduce error cuando los puntos del grid están lejos de la misma. El error se considera mínimo siempre que el mapa de grid sea de gran densidad (1x1 o 2x2 m). En los mapas realizados en España, en aquellas aglomeraciones donde se menciona el tamaño del grid, ninguna es menor a 5x5 m.

Según el método o la forma de calcular el porcentaje de afectados se pueden obtener resultados de afección diferentes, tal y como se demuestra en el documento *Using noise mapping to evaluate percentage of people affected by noise* [20]. En dicho documento se realiza el estudio de una trama urbana de la aglomeración de la Comarca de Pamplona y se aplican tres metodologías:

- a) Mapa de ruido de fachadas: representa el valor exacto, y por lo tanto verdadero, del nivel de ruido sobre la fachada de cada vivienda. Los receptores se distribuyen en conformidad con el método alemán VBEB[19]. Se denota como estimación exacta.
- b) Mapa de ruido estratégico: asigna a cada fachada de cada vivienda el nivel de ruido del punto del grid más cercano, evaluado a 4 metros de altura. La asignación se realiza posteriormente al mapa acústico mediante software GIS. Se denota como estimación aproximada.
- c) Estimación END: se asigna a todas las viviendas del edificio el nivel de la fachada más expuesta del edificio, evaluado a 4 metros de altura. Se denota como estimación END.

Los métodos 1 y 3 no tienen en cuenta el sonido reflejado por la propia fachada, por lo tanto se ha utilizado un valor de 0.01 m para el parámetro “mínima distancia

reflector-receptor”. De esta manera el método 2 no sobreestima los valores respecto al resto de métodos.

La superficie de cálculo ($149.600 m^2$) está compuesta por 105 bloques que forman 30 edificios, con alturas variables entre 22 y 55 m, es decir entre 6 y 17 plantas. El número total de residentes en dicha área es de 5.695 personas. El modelo de cálculo de ruido de tráfico utilizado ha sido el francés “NMPB-Routes-96”.

El número de puntos del grid fue de 1.149 ya que los edificios ocupan un área de $34.700 m^2$. Para el cálculo de mapa de fachadas fueron 9.115 los puntos. El tiempo de cálculo para el mapa de fachadas ha sido siete veces superior que el requerido por el grid. Este elevado tiempo de cálculo es el que dificulta la realización de mapas de fachadas en grandes urbes.

Los resultados muestran una gran diferencia entre la estimación exacta y las otras dos estimaciones, aunque las diferencias son mayores respecto a la estimación END. Con la estimación exacta se observa que 22 % de las personas están afectadas por valores superiores a 65 dBA de L_{den} , este porcentaje se eleva a 94 % bajo la estimación END. Con la estimación aproximada el porcentaje de afectados es igual a 50 %. Estas grandes diferencias también se evidencian con respecto al índice L_n .

Esto indica que el método de estimación END no representa el valor real de la población afectada. Por lo tanto, si no se puede realizar un mapa de fachadas se debería utilizar el método de estimación aproximada (el punto del grid más cercano) para evaluar el porcentaje de afección en un área determinada.

En general, en la mayoría de las aglomeraciones españolas no se describe con detalle el método utilizado para calcular el porcentaje de población afectada. Solo una aglomeración, Comarca de Pamplona, describe con detalle el método utilizado y el resto de aglomeraciones informan de una manera muy vaga el método de cálculo. Otras aglomeraciones no describen ni proporcionan indicación alguna sobre el método de cálculo.

La aglomeración de la **Comarca de Pamplona** considera el nivel sonoro en la

propia fachada de la vivienda ya que el cálculo se realizó mediante el mapa de ruido en fachadas.

En las aglomeraciones de **Cádiz** y **Leganés** se menciona los siguiente:

Cádiz:

“El Número total estimado de personas, expresado en centenas, cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos siguientes, a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75, distinguiendo entre el tráfico rodado, ferroviario y aéreo, las fuentes industriales y el ruido total.”

Leganés:

“Siguiendo la normativa se ha determinado el número estimado de personas, expresado en centenas, cuyas viviendas están expuestas a cada uno de los rangos presentados, a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta.”

A pesar de que se menciona que el cálculo se ha hecho en la fachada más expuesta, no queda claro si se asigna un valor a cada vivienda del edificio o se asigna un valor, el de la fachada más expuesta del edificio, a todas las viviendas del edificio.

En la aglomeración de **León** se destaca lo siguiente:

“Una vez incorporados los datos del censo y realizados los cálculos en el programa Cadna A, para obtener la información de población afectada es necesario recurrir al programa ArcGis donde es posible el cruce de datos de las capas de población y de receptores en fachada. Para ello, el modelo predictivo calcula el número de personas expuestas al ruido, en centenas, a partir de la información obtenida en los receptores localizados en las fachadas a una altura de 4 metros.”

Al igual que en las otras aglomeraciones han supuesto que toda la población está a 4 metros de altura, por lo que se descarta la realización de mapa de fachadas. No se indica de forma explícita si los receptores ubicados en las fachadas pertenecen a cada

vivienda del edificio o solo un receptor representa a todo el edificio. Tampoco queda claro si se ha calculado el nivel sonoro en los receptores de la fachada o se asignado el valor del punto del grid más cercano.

En la aglomeración de **Cartagena** se realiza el siguiente comentario:

“... En nuestro caso, el cálculo de la población afectada se ha realizado cruzando los mapas de isófonas obtenidos mediante Predictor y Analyst con los datos de población asociados a cada edificio, calculados a partir de la base de datos del censo de población y la aplicación de un algoritmo que tiene en cuenta la distribución de las distintas franjas ruidosas que establece la normativa sobre los edificios que ocupan el ámbito de estudio.

En primer lugar, se discriminaron todos aquellos edificios no residenciales. Posteriormente y utilizando algebra de mapas se analizan los niveles de ruido que llegan a cada edificio y se asignan porcentajes, de modo que si un edificio está expuesto en un 10 % a niveles entre 65- 75, en un 20 % a niveles entre 60-65 y en un 70 % a niveles entre 55-60, la población residente en dicho edificio estará expuesta en los mismos porcentajes a los mismos niveles de ruido.”

Se indica que el cálculo de la población afectada se ha realizado a través del mapa de curvas isófonas y no de cálculos de niveles sonoros en las fachadas de las viviendas. Aún así, dicho cálculo se puede interpretar como la colocación de un anillo de receptores, a 4 metros de altura, alrededor del edificio.

Aglomeración de **Valencia**:

“Valores de niveles de ruido procedentes de receptores colocados en las fachadas de los edificios, a una altura de cuatro de metros, considerando únicamente el sonido incidente y teniendo en cuenta las posibles reflexiones en el resto de edificios y obstáculos.”

No se define de forma clara la ubicación de los receptores, ya que se desconoce si hay receptores en la fachada de cada vivienda o un receptor en todo el edificio.

En las aglomeraciones de **A Coruña**, **Alcobendas**, **San Sebastián** y **Vitoria** se menciona que se realiza el cálculo de afección asociando toda la población a una altura de 4 metros. Nuevamente, como en las aglomeraciones anteriores, no se define

con claridad si los receptores se ubican en las viviendas de cada edificio, además, no se menciona si el cálculo se ha realizado directamente en el receptor o se ha aproximado al punto del grid más cercano.

En dichas aglomeraciones se ha realizado un análisis complementario de la exposición al ruido con un indicador denominado *Indicador Local de Gestión del Ruido (ILGR)*. Este indicador ofrece una visión más realista de la población afectada ya que tiene en cuenta la distribución de la población a diferentes alturas, por lo que se infiere que este indicador no es más que un cálculo de mapa de fachadas.

En general, los resultados del indicador **ILGR** no se han presentado en rangos de 5 dB de L_{den} , L_n , L_d y L_e , sino que están mostrados en rangos acumulados, por ejemplo, $L_d > 65$ dBA. Esto dificulta una comparación más detallada con los datos calculados a 4 metros de altura, los cuales son los que se han enviado como resultado final al SICA. Aún así, en las memorias descriptivas de las mencionadas aglomeraciones se realiza un pequeño estudio comparativo entre los resultados de las medidas a 4 metros de altura frente a los resultados del indicador **ILGR**. En la siguiente sección, donde se muestran los resultados de los MER en España, hay una mención especial a la comparación entre los resultados del **ILGR** frente a los de 4 metros de altura.

En las aglomeraciones no mencionadas no se especifica de ninguna manera el cálculo de la población afectada.

En definitiva, un parámetro tan importante como el método de cálculo de la población afectada no se define de forma clara y concisa en las memorias descriptivas de las aglomeraciones, excepto en la **Comarca de Pamplona** donde se menciona que el método utilizado es el de cálculo de mapa de fachadas.

Como se ha visto anteriormente, según el método utilizado, el cálculo de la población afectada puede diferir mucho de la realidad, por lo tanto es un parámetro que se debe describir con un alto grado de detalle. Por lo que si el método utilizado no está definido la comparación entre los resultados de afección entre las aglomeraciones es inviable o muy difícil de realizar.

En nuestra opinión, y como conclusión de este apartado, es que el método de cálculo utilizado sea el de mapa de fachadas, ya que calcula el valor real del nivel sonoro en cada fachada de las viviendas de un edificio. Además, se recomienda detallar de forma concisa el método de cálculo utilizado.

7.3. Resultados de los MER en España. 2ª Fase

7.3.1. Ruido producido por el tráfico

El ruido de tráfico, en comparación con el ruido ferroviario e industrial, provoca unos elevados niveles de afección en la población residencial. La metodología de cálculo que se utiliza para evaluar el ruido de tráfico es el método francés: «NMPB-Routes-96», mencionado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6» y en la norma francesa «XPS 31-133».

En general, en las memorias descriptivas de los mapas estratégicos de ruido de las aglomeraciones españolas no se detalla con precisión las variables de entrada que corresponden al modelado de ruido de tráfico. En algunos casos si se mencionan algunas variables:

En las aglomeraciones de Albacete, Almería y Badajoz se introduce un modelo de fuente lineal por cada carril y la velocidad que se introduce es la máxima permitida en la vía.

En la aglomeración de A Coruña en aquellas calles en las que no se poseía estación de aforo, se ha asociado una estación de referencia de las existentes en el municipio de tal forma que el tráfico estimado de la calle guarda relación con el tráfico de la estación a la que está referida.

En la Comarca de Pamplona se han obtenido los datos de tráfico de las vías de tráfico con mayor intensidad mediante las estaciones de aforo. Para el resto de vías, donde no se ha realizado aforación, la cantidad de vehículos por hora se ha obtenido por analogía con viales próximos aforados. Con respecto a la velocidad se ha tomado la

máxima de cada vía. Expresados como ligeros/pesados, las velocidades han sido: 120/90 en autopistas y autovías, 100/80 en rondas con limitación a dichas velocidades, 90/70 en carreteras y 40/40 en rotondas. Con respecto al porcentaje de vehículos pesados, se han tomado los valores reales en todos los viales aforados y se han extrapolado al resto de viales no aforados, por analogía según la categorización del vial.

En Elche la velocidad en carreteras se ha considerado la máxima permitida. Para velocidades inferiores a 70-60 Km/h, se han aplicado correcciones, y para velocidades inferiores a 20 Km/h, se fijan a 20 Km/h.

En Leganés, para caracterizar el tráfico rodado, se han utilizado cuatro fuentes distintas de información: para carreteras (tanto nacionales como autonómicas) se han utilizado datos de aforos publicados en el Mapa de tráfico del Ministerio de Fomento español del año 2007. Se han realizado aforos automáticos durante periodos de al menos 7 días en distintas vías del municipio. Se han realizado aforos manuales, con vistas a obtener datos de tráfico. En aquellas vías donde se desconocía el aforo se ha procedido a catalogarlas según las distintas tipologías consideradas durante las medidas de los aforos, asignándoles valores de tráfico similares a las de aquellas vías aforadas de igual tipología situadas dentro de su barrio.

A continuación, se presentará los resultados del número de afectados para cada aglomeración e índice acústico.

Tabla 5: Porcentaje (%) de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_{den}

Aglomeración	Habitantes	<55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
A Coruña	247482	12.5	9.4	23.6	33.7	17.8	3.0
Albacete	165443	55.9	8.0	16.0	18.0	2.0	0.0
Alcobendas	111882	28.5	20.0	24.8	21.2	5.1	0.4
Alicante	328441	81.0	12.1	6.2	0.7	0.1	0.0
Almería	165612	33.4	28.8	16.1	15.0	4.9	1.8
Badajoz	126177	23.8	9.4	37.6	18.2	10.1	0.8
Burgos	180561	40.6	15.6	20.7	16.0	7.0	0.1
Cádiz	124530	28.0	21.0	19.0	20.2	11.8	0.0
Cartagena	122796	66.4	17.5	11.3	4.5	0.2	0.0
Castellón	181243	2.4	6.7	30.2	41.2	19.1	0.3
C. Pamplona	317142	36.5	26.0	24.6	11.4	1.6	0.0
Elche	215290	18.3	27.3	25.1	17.6	9.2	2.5
Leganés	186066	39.5	24.6	21.8	10.6	3.2	0.3
León	132744	26.8	13.4	21.8	14.8	21.7	1.4
Móstoles	206031	3.4	10.6	43.5	30.4	11.9	0.1
Murcia	442064	52.3	26.5	14.9	5.3	1.0	0.0
Salamanca	158823	36.6	20.2	22.9	15.6	4.7	0.1
San Sebastián	185512	22.9	15.3	22.3	27.2	12.1	0.2
Valencia	799188	31.3	21.7	24.1	14.5	7.5	0.9
Vitoria	240900	31.9	17.8	22.5	19.8	7.9	0.0
Media		33.6	17.6	22.5	17.8	7.9	0.6
St. Dev		19.4	6.9	8.3	9.8	6.3	0.9

Tabla 6: Número de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_{den}

Aglomeración	Habitantes	<55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
A Coruña	247482	30882	23300	58300	83500	44000	7500
Albacete	165443	92443	13240	26510	29840	3370	40
Alcobendas	111882	31882	22400	27800	23700	5700	400
Alicante	328441	265941	39800	20300	2200	200	0
Almería	165612	55252	47740	26640	24870	8090	3020
Badajoz	126177	30077	11900	47500	23000	12700	1000
Burgos	180561	73261	28200	37400	28900	12700	100
Cádiz	124530	34930	26100	23600	25200	14700	0
Cartagena	122796	81596	21500	13900	5500	300	0
Castellón	181243	4405	12091	54780	74740	34631	596
C. Pamplona	317142	115642	82600	77900	36000	5000	0
Elche	215290	39490	58700	54100	37900	19700	5400
Leganés	186066	73466	45700	40600	19800	6000	500
León	132744	35544	17800	29000	19700	28800	1900
Móstoles	206031	7031	21900	89700	62600	24600	200
Murcia	442064	231164	117100	65900	23600	4200	100
Salamanca	158823	58123	32100	36300	24700	7500	100
San Sebastián	185512	42412	28400	41400	50500	22400	400
Valencia	799188	250088	173500	192800	115500	60300	7000
Vitoria	240900	76800	43000	54300	47600	19100	100
Total	4637927	1630429	867071	1018730	759350	333991	28356
Porcentaje (%)		35.2	18.7	22.0	16.4	7.2	0.6

Tabla 7: Porcentaje (%) de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_n

Aglomeración	Habitantes	<50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
A Coruña	247482	18.7	20.3	35.4	18.5	6.5	0.6
Albacete	165443	67.5	22.9	9.3	0.3	0.0	0.0
Alcobendas	111882	54.3	27.2	15.1	2.9	0.4	0.1
Alicante	328441	46.4	22.5	19.0	12.0	0.1	0.0
Almería	165612	62.9	15.8	13.7	5.4	2.2	0.1
Badajoz	126177	45.1	29.2	17.8	7.8	0.2	0.0
Burgos	180561	51.3	19.8	17.1	11.1	0.8	0.0
Cádiz	124530	45.6	18.5	18.9	16.5	0.4	0.0
Cartagena	122796	87.1	9.6	3.2	0.1	0.0	0.0
Castellón	181243	5.3	26.1	39.6	27.7	1.2	0.0
C. Pamplona	317142	69.6	21.9	7.7	0.9	0.0	0.0
Elche	215290	37.1	28.5	19.6	10.9	3.8	0.2
Leganés	186066	61.0	21.0	12.7	4.3	0.9	0.0
León	132744	35.1	17.5	20.8	20.6	6.0	0.0
Móstoles	206031	10.2	35.7	40.5	13.2	0.5	0.0
Murcia	442064	76.0	16.3	5.9	1.7	0.1	0.0
Salamanca	158823	49.6	24.2	17.1	8.8	0.4	0.0
San Sebastián	185512	39.7	23.2	25.8	10.9	0.4	0.0
Valencia	799188	41.6	29.9	15.7	10.5	2.3	0.0
Vitoria	240900	50.4	23.5	19.2	6.7	0.1	0.0
Media		47.7	22.7	18.7	9.5	1.3	0.0
St. Dev		20.7	5.9	10.1	7.3	2.0	0.1

Tabla 8: Número de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_n

Aglomeración	Habitantes	<50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
A Coruña	247482	46382	50200	87500	45900	16100	1400
Albacete	165443	111673	37880	15420	470	0	0
Alcobendas	111882	60782	30400	16900	3300	400	100
Alicante	328441	152441	74000	62300	39500	200	0
Almería	165612	104122	26100	22620	8960	3610	200
Badajoz	126177	56877	36800	22400	9900	200	0
Burgos	180561	92561	35700	30900	20000	1400	0
Cádiz	124530	56830	23100	23500	20600	500	0
Cartagena	122796	106996	11800	3900	100	0	0
Castellón	181243	9668	47330	71859	50281	2091	14
C. Pamplona	317142	220642	69400	24400	2700	0	0
Elche	215290	79890	61300	42100	23500	8100	400
Leganés	186066	113566	39100	23700	8000	1700	0
León	132744	46544	23200	27600	27400	8000	0
Móstoles	206031	20931	73600	83400	27100	1000	0
Murcia	442064	335964	72000	26200	7400	500	0
Salamanca	158823	78723	38400	27200	13900	600	0
San Sebastián	185512	73612	43000	47900	20200	800	0
Valencia	799188	332588	239200	125500	83600	18300	0
Vitoria	240900	121500	56700	46200	16200	300	0
Total	4637927	2222292	1089210	831499	429011	63801	2114
Porcentaje (%)		47.9	23.5	17.9	9.3	1.4	0.0

Tabla 9: Porcentaje (%) de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_d

Aglomeración	Habitantes	<55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
A Coruña	247482	13.7	11.6	33.0	27.4	12.4	1.8
Albacete	165443	56.7	8.0	17.1	16.7	1.3	0.2
Alcobendas	111882	33.8	20.8	24.8	17.5	3.0	0.1
Alicante	328441	53.1	23.4	21.5	1.9	0.2	0.0
Almería	165612	42.1	26.4	16.7	10.4	3.7	0.6
Badajoz	126177	24.9	10.9	38.4	18.8	6.8	0.2
Burgos	180561	48.9	18.4	18.9	11.6	2.1	0.0
Cádiz	124530	36.2	19.4	18.9	20.1	5.5	0.0
Cartagena	122796	70.8	16.0	9.8	3.3	0.2	0.0
Castellón	181243	4.5	19.1	34.0	40.0	2.3	0.1
C. Pamplona	317142	43.5	26.7	20.9	8.1	0.7	0.0
Elche	215290	29.6	26.9	21.6	14.3	6.5	1.0
Leganés	186066	47.4	24.8	18.9	7.3	1.6	0.0
León	132744	34.5	12.4	24.9	20.9	7.0	0.4
Móstoles	206031	10.5	28.3	41.2	17.6	2.3	0.1
Murcia	442064	66.1	20.1	10.2	3.3	0.2	0.0
Salamanca	158823	39.7	24.3	18.4	16.6	1.0	0.0
San Sebastián	185512	28.1	18.0	26.2	22.3	5.3	0.1
Valencia	799188	39.7	30.3	16.2	11.2	2.6	0.0
Vitoria	240900	40.4	20.0	21.9	15.6	2.0	0.0
Media		38.5	20.3	22.7	14.9	3.3	0.2
St. Dev		17.2	6.2	8.4	9.0	3.1	0.5

Tabla 10: Número de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_d

Aglomeración	Habitantes	<55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
A Coruña	247482	33982	28800	81700	67800	30700	4500
Albacete	165443	93773	13310	28250	27680	2160	270
Alcobendas	111882	37782	23300	27700	19600	3400	100
Alicante	328441	174241	76900	70500	6200	600	0
Almería	165612	69732	43760	27710	17300	6130	980
Badajoz	126177	31377	13800	48400	23700	8600	300
Burgos	180561	88361	33300	34100	21000	3800	0
Cádiz	124530	45030	24200	23500	25000	6800	0
Cartagena	122796	86896	19600	12000	4100	200	0
Castellón	181243	8165	34627	61665	72517	4129	140
C. Pamplona	317142	138042	84800	66200	25800	2300	0
Elche	215290	63690	58000	46600	30700	14100	2200
Leganés	186066	88166	46100	35200	13600	3000	0
León	132744	45744	16400	33100	27700	9300	500
Móstoles	206031	21631	58400	84800	36300	4700	200
Murcia	442064	292264	88900	45100	14600	1100	100
Salamanca	158823	63023	38600	29300	16300	1600	0
San Sebastián	185512	52112	33300	48600	41400	9900	200
Valencia	799188	317088	242300	129200	89500	21000	100
Vitoria	240900	97300	48300	52800	37700	4800	0
Total	4637927	1858399	1026697	986425	618497	138319	9590
Porcentaje (%)		40.1	22.1	21.3	13.3	3.0	0.2

Tabla 11: Porcentaje (%) de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_e

Aglomeración	Habitantes	<55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
A Coruña	247482	15.4	13.6	35.0	25.2	10.3	0.5
Albacete	165443	59.4	10.1	22.4	8.1	0.0	0.0
Alcobendas	111882	34.6	21.8	25.9	15.2	2.4	0.1
Alicante	328441	53.1	23.4	21.5	1.9	0.2	0.0
Almería	165612	41.7	27.2	16.7	10.3	3.4	0.6
Badajoz	126177	26.5	20.7	32.7	14.5	5.5	0.1
Burgos	180561	49.0	18.8	18.7	11.6	1.8	0.0
Cádiz	124530	37.9	19.3	19.4	21.2	2.2	0.0
Cartagena	122796	74.2	15.3	8.5	2.0	0.0	0.0
Castellón	181243	4.6	21.5	37.3	35.1	1.6	0.0
C. Pamplona	317142	42.8	27.2	21.7	7.8	0.5	0.0
Elche	215290	36.4	27.4	20.0	11.5	4.4	0.4
Leganés	186066	55.8	23.6	14.1	5.9	0.6	0.0
León	132744	36.8	12.7	24.6	22.1	3.8	0.0
Móstoles	206031	9.9	29.1	42.0	17.5	1.4	0.0
Murcia	442064	68.2	19.4	10.0	2.3	0.1	0.0
Salamanca	158823	46.4	24.4	18.4	10.0	0.9	0.0
San Sebastián	185512	30.8	19.4	29.1	17.4	3.2	0.1
Valencia	799188	39.5	30.4	16.2	11.2	2.7	0.0
Vitoria	240900	35.3	18.0	23.1	18.5	5.1	0.0
Media		39.9	21.2	22.9	13.5	2.5	0.1
St. Dev		17.8	5.6	8.8	8.4	2.5	0.2

Tabla 12: Número de personas afectadas a diferentes rangos para el índice L_e

Aglomeración	Habitantes	<55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
A Coruña	247482	38182	33600	86600	62400	25500	1200
Albacete	165443	98333	16640	37010	13390	70	0
Alcobendas	111882	38682	24400	29000	17000	2700	100
Alicante	328441	174241	76900	70500	6200	600	0
Almería	165612	69012	45110	27670	17120	5680	1020
Badajoz	126177	33477	26100	41200	18300	7000	100
Burgos	180561	88561	33900	33800	21000	3300	0
Cádiz	124530	47230	24000	24100	26400	2800	0
Cartagena	122796	91096	18800	10400	2500	0	0
Castellón	181243	8253	38917	67563	63637	2851	22
C. Pamplona	317142	135742	86300	68700	24700	1700	0
Elche	215290	78390	58900	43000	24800	9400	800
Leganés	186066	103766	43900	26200	11000	1200	0
León	132744	48844	16900	32700	29300	5000	0
Móstoles	206031	20331	60000	86600	36100	2900	100
Murcia	442064	301364	85700	44400	10100	500	0
Salamanca	158823	73623	38700	29200	15900	1400	0
San Sebastián	185512	57212	35900	54000	32300	5900	200
Valencia	799188	315688	242700	129500	89500	21700	100
Vitoria	240900	85100	43300	55700	44600	12200	0
Total	4637927	1907127	1050667	997843	566247	112401	3642
Porcentaje (%)		41.1	22.7	21.5	12.2	2.4	0.1

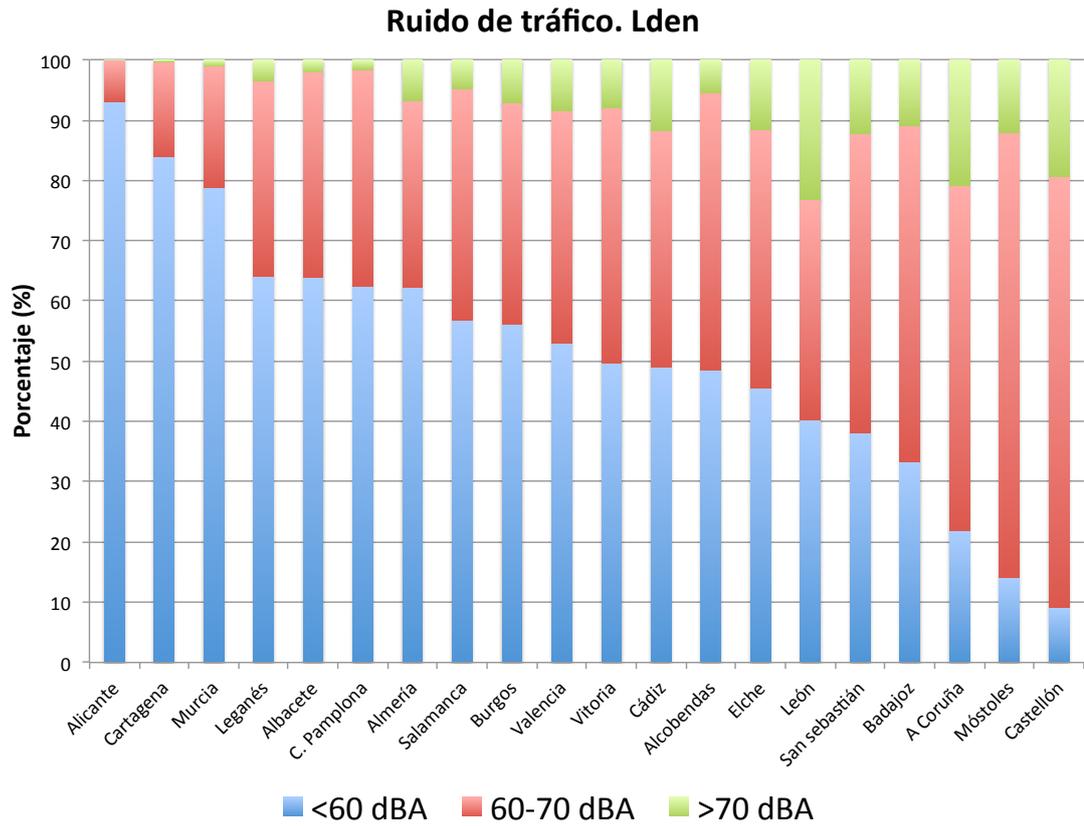


Fig 2: Porcentaje de personas afectadas en rangos acumulados de Lden. España

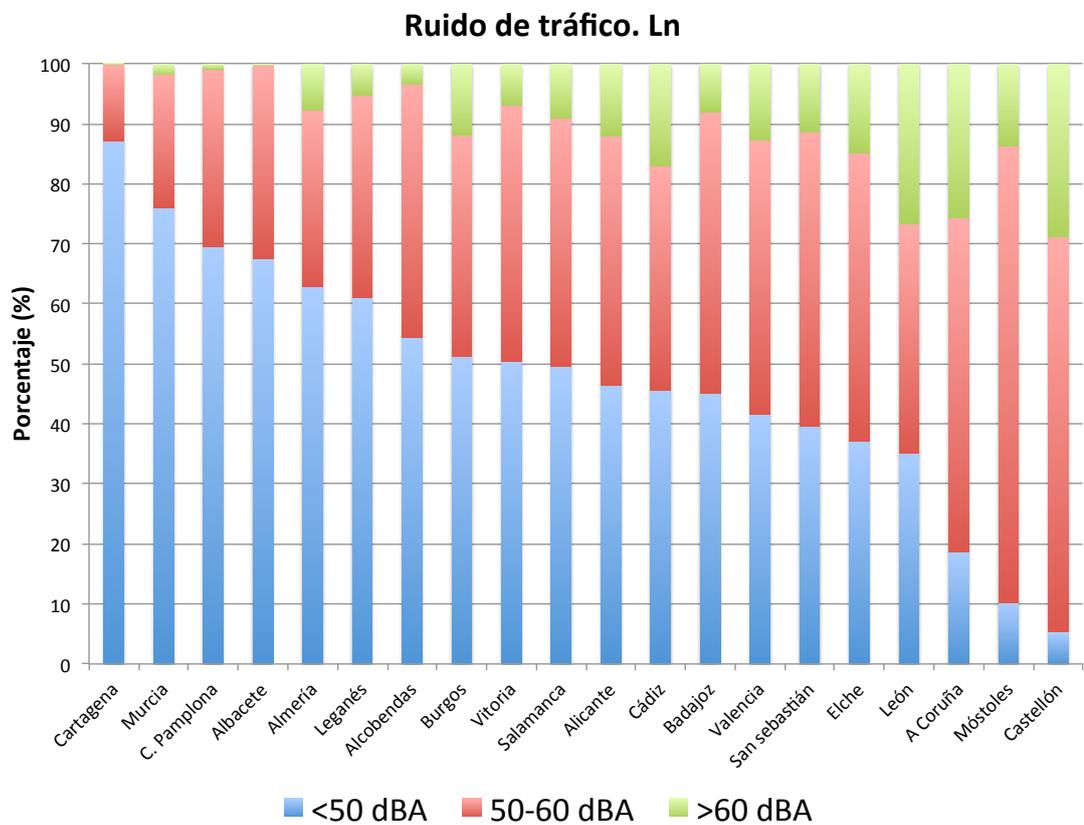


Fig 3: Porcentaje de personas afectadas en rangos acumulados de Ln. España

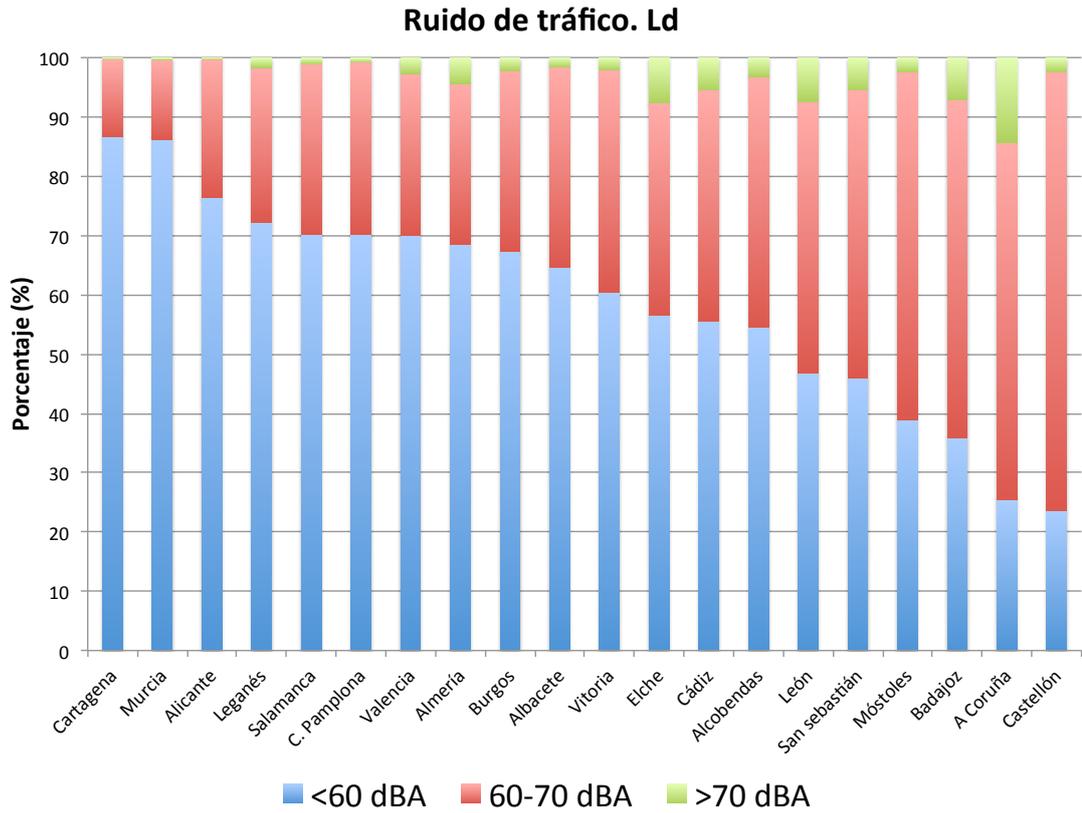


Fig 4: Porcentaje de personas afectadas en rangos acumulados de Ld. España

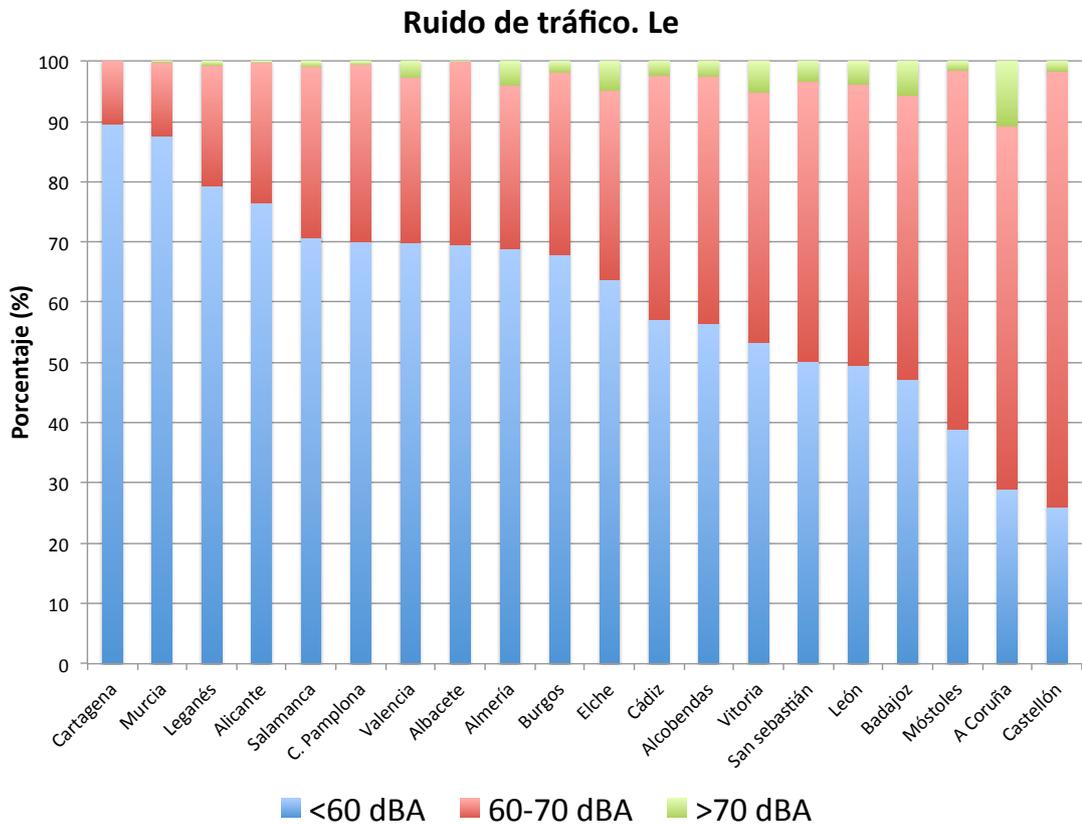


Fig 5: Porcentaje de personas afectadas en rangos acumulados de Le. España

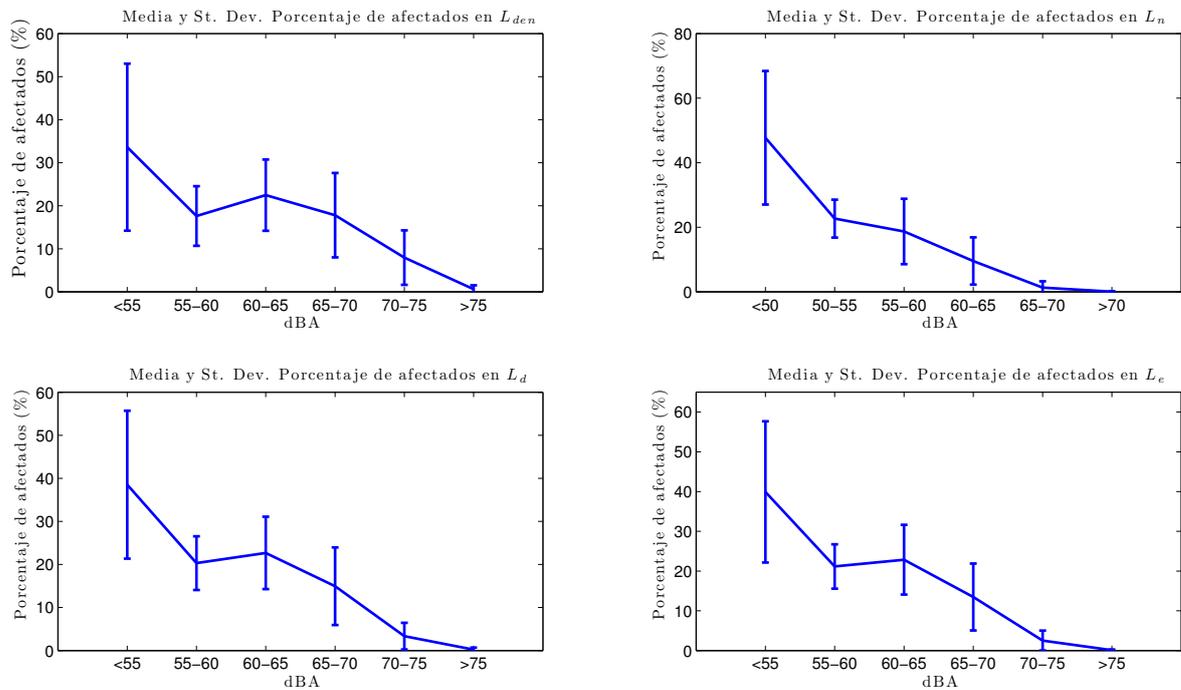


Fig 6: Media y desviación. Porcentaje de afectados en España

En todos los índices acústicos se observa unos niveles de dispersión elevados en cada rango. Esto indica que no hay homogeneidad en los resultados de afección en las aglomeraciones españolas. Hay aglomeraciones como Cartagena que tiene unos porcentajes de afección muy bajos, más del 65 % de las personas están expuestas a niveles inferiores a 55 dBA en los índices L_{den} , L_d y L_e , es decir, menos del 35 % de personas presentan una afección superior a 55 dBA en los índices indicados. Por otra parte, la aglomeración de Castellón presenta unos niveles de afección altos, más del 90 % de las personas están afectadas por niveles superiores a 55 dBA en los índices antes indicados.

En la figura 2, figura 3, figura 4 y figura 5 se observa el porcentaje de afectados en cada aglomeración ordenado de menor a mayor afección. Además, se pueden apreciar tanto las diferencias como las similitudes de los niveles de afección entre las aglomeraciones.

Por ejemplo, en el índice L_{den} se pueden destacar tres zonas claramente diferenciadas. La primera consiste en las aglomeraciones de Alicante, Cartagena y Murcia, donde más del 70 % de la población está por debajo de 60 dBA. La segunda zona está comprendida entre las aglomeraciones de Leganés y Badajoz, donde los porcentajes de afección, menores a 60 dBA, varían entre el 30 y 60 %. Por último, la tercera zona

la comprenden las aglomeraciones de A Coruña, Móstoles y Castellón, donde el porcentaje de personas afectadas a niveles inferiores a 60 dBA está por debajo del 25 %. La distinción entre las tres zonas ocurre por el gran salto porcentual entre Murcia y Leganés (primera zona a segunda zona), y entre Badajoz y A Coruña (segunda zona a tercera zona).

La segunda zona tiene disminución gradual del porcentaje de personas afectadas a niveles inferiores a 60 dBA. Existe claramente una similitud entre las aglomeraciones de Leganés, Albacete, Pamplona y Almería. Todas ellas tienen unos niveles inferiores a 60 dBA similares y por encima del 60 %. Luego, existe una clara similitud entre Salamanca y Burgos, donde el porcentaje está por debajo del 60 %. También, existe una gran similitud entre las aglomeraciones de Vitoria, Cádiz y Alcobendas. Podemos observar que la aglomeración de León, aunque tiene cierta similitud con San Sebastián, tiene unos porcentajes de afectados a niveles superiores a 70 dBA, muy altos comparados con el resto de aglomeraciones, más del 20 %.

De la tercera zona se puede destacar la aglomeración de Castellón, ésta posee unos porcentajes de personas afectadas muy elevados, sobretodo a niveles superiores a 70 dBA.

En los índices L_n , L_d y L_e el comportamiento es similar al L_{den} , las diferencias se deben al orden de afección de las aglomeraciones. La aglomeración de Alicante tiene el menor número de afección con respecto al índice L_{den} pero según el L_n tiene el puesto número 11. Esta diferencia es muy grande, más adelante comprobaremos matemáticamente que los resultados de L_{den} y L_n no se corresponden.

Observando la media, mostrada en la [figura 6](#), se puede apreciar que la distribución de afectados por el ruido de tráfico en rangos de L_{den} , L_d y L_e no es uniforme, ya que la media en el rango 60-65 es mayor que la media en el rango 55-60. Es decir, en media, hay más población afectada en el rango 60-65 que en el rango 55-60. En el índice L_n sí existe uniformidad en la distribución de afectados.

7.3.2. Ruido ferroviario

En España existe una gran infraestructura ferroviaria y en prácticamente todas las aglomeraciones españolas existe una estación de trenes o vías de paso de tren. El porcentaje de personas afectadas por el ruido ferroviario en aglomeraciones españolas es extraordinariamente inferior al de personas afectadas por ruido de tráfico.

El método utilizado para el cálculo de ruido ferroviario es el método Holandés: «Reken — en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996».

En la [tabla 13](#) se observa el porcentaje de afectados en cada índice acústico. Se muestran los valores por encima de 55 dBA en el caso de L_{den} , L_d y L_e , y en el índice L_n se destacan los valores por encima de 50 dBA. Se aprecia que en ningún caso se supera el 3% de personas afectadas y en algunos casos no existen personas afectadas en ninguno de los rangos.

Tabla 13: Porcentaje (%) de personas afectadas por el ruido ferroviario en España

	Habitantes	Lden >55	Ln >50	Ld >55	Le >55
A Coruña	247482	0.4	0.2	0.2	0.2
Albacete	165443	0.3	0.2	0.0	0.0
Alcobendas	111882	0.0	0.0	0.0	0.0
Alicante	328441	0.8	0.5	0.6	0.6
Almería	165612	0.1	0.0	0.0	0.0
Badajoz	126177	0.0	0.0	0.0	0.0
Burgos	180561	0.0	0.0	0.0	0.0
Cádiz	124530	0.0	0.0	0.0	0.0
Cartagena	122796	0.0	0.0	0.0	0.0
Castellón	181243	0.2	0.2	0.2	0.2
C. Pamplona	317142	0.4	0.3	0.2	0.1
Elche	215290	2.3	1.3	1.7	1.3
Leganés	186066	1.2	0.7	0.9	0.6
León	132744	0.0	0.0	0.0	0.0
Móstoles	206031	0.2	0.1	0.1	0.1
Murcia	442064	0.5	0.3	0.5	0.2
Salamanca	158823	0.9	0.6	0.4	0.3
San Sebastián	185512	2.9	1.8	1.8	1.8
Valencia	799188	2.1	1.2	1.7	1.6
Vitoria	240900	2.4	2.0	1.2	1.1

La [tabla 14](#) muestra el número de personas afectadas por el ruido ferroviario. Las

aglomeraciones de Alcobendas, Badajoz, Burgos, Cádiz, Cartagena y León no presentan personas afectadas por el ruido ferroviario. Estos resultados se deben tanto a la ubicación de las líneas férreas como a su distribución a lo largo de las mencionadas aglomeraciones. En Alcobendas y Cádiz gran parte de las líneas férreas están soterradas, y en Badajoz, Burgos, Cartagena y León el paso del tren está alejado de zonas residenciales.

La aglomeración que tiene más personas afectadas en cada índice acústico es Valencia, seguido por Vitoria, San Sebastián y Elche. La causa es que la circulación de trenes y tranvías atraviesan muchas zonas residenciales.

En el resto de aglomeraciones, donde también existe un cierto impacto acústico, las líneas férreas atraviesan pocas zonas residenciales, sobretodo aquellas que se encuentran cerca de las estaciones.

Como se ha comentado anteriormente, se observa que el impacto acústico del foco de ruido ferroviario es muy bajo y local. El ruido se localiza cerca de las líneas férreas y las zonas residenciales no suelen estar cerca de éstas.

Tabla 14: Número de personas afectadas por el ruido ferroviario en España

	Habitantes	Lden >55	Ln >50	Ld >55	Le >55
A Coruña	247482	900	500	400	600
Albacete	165443	420	380	40	40
Alcobendas	111882	0	0	0	0
Alicante	328441	2700	1500	2000	1900
Almería	165612	90	50	30	30
Badajoz	126177	0	0	0	0
Burgos	180561	0	0	0	0
Cádiz	124530	0	0	0	0
Cartagena	122796	0	0	0	0
Castellón	181243	432	350	432	381
C. Pamplona	317142	1300	800	500	300
Elche	215290	4880	2800	3600	2900
Leganés	186066	2200	1300	1600	1100
León	132744	0	0	0	0
Móstoles	206031	500	300	300	300
Murcia	442064	2400	1400	2400	900
Salamanca	158823	1400	900	700	400
San Sebastián	185512	5300	3400	3400	3400
Valencia	799188	16400	9200	13300	12700
Vitoria	240900	5800	4700	3000	2600
Total	4637927	44722	27580	31702	27551
Porcentaje (%)		1.0	0.6	0.7	0.6

7.3.3. Ruido industrial

Al igual que en el ruido provocado por la infraestructura ferroviaria, el porcentaje de personas afectadas por el ruido industrial es inferior al de personas afectadas por ruido de tráfico.

El método utilizado para el cálculo de ruido industrial es: ISO 9613-2: «Acoustics — Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation».

En las aglomeraciones de A Coruña, Albacete, Alcobendas, Murcia y San Sebastián se han realizados medidas “in situ” para medir los niveles de emisión acústica de las zonas industriales.

En las aglomeraciones de Almería y Badajoz se ha supuesto que las fachadas de las construcciones industriales radian energía acústica de manera que en los límites de dichas construcciones, los niveles de inmisión acústica sean los objetivos de calidad acústica establecidos por el *R.D 1367/2007*.

En la Comarca de Pamplona se ha utilizado el método recomendado (ISO 9613-2), teniendo en cuenta que el modelo de propagación es condiciones favorables. Los valores de Cmet utilizados han sido de: 2, 1 y 0 dB para el día, tarde y noche, respectivamente. Las potencias acústicas se han obtenido realizando medidas “in situ”, para ello se han ajustado las potencias introducidas en el software de simulación con los resultados de las medidas. El ajuste se dio por válido cuando las diferencias encontradas entre la simulación y las medidas “in situ” no superaran el valor de 1 dBA.

En la aglomeración de Leganés el proceso de caracterización del ruido industrial se ha hecho en función del tipo de ruido: Para las zonas de ocio se han llevado a cabo medidas “in situ”. Para las zonas industriales se ha utilizado la base de datos de fuente de ruido industrial elaborada dentro del Proyecto Europeo IMAGINE⁴.

En la [tabla 15](#) se observa el porcentaje de afectados en cada índice acústico. En ninguna aglomeración se supera el 2.5 % de personas afectadas en cada índice acústico

⁴Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment.

y, como en el caso de ruido ferroviario, no existen personas afectadas en los rangos mostrados de cada índice acústico.

Tabla 15: Porcentaje (%) de personas afectadas por el ruido industrial en España

	Habitantes	Lden >55	Ln >50	Ld >55	Le >55
A Coruña	247482	0.0	0.0	0.0	0.0
Albacete	165443	0.7	0.5	0.6	0.6
Alcobendas	111882	0.0	0.0	0.0	0.0
Almería	165612	2.1	0.8	1.5	1.5
Badajoz	126177	0.4	0.1	0.2	0.2
Burgos	180561	0.3	0.2	0.2	0.1
Cádiz	124530	0.3	0.0	0.1	0.1
Castellón	181243	1.4	0.5	1.0	1.0
C. Pamplona	317142	0.2	0.1	0.0	0.0
Leganés	186066	0.1	0.1	0.0	0.1
León	132744	0.0	0.0	0.0	0.0
Móstoles	206031	0.0	0.0	0.0	0.0
Murcia	442064	0.0	0.0	0.0	0.0
Salamanca	158823	0.0	0.0	0.0	0.0
San Sebastián	185512	0.2	0.0	0.1	0.1
Valencia	799188	0.0	0.0	0.0	0.0

La [tabla 16](#) muestra el número de personas afectadas por el ruido industrial. Las aglomeraciones de Alcobendas, León, Móstoles, Salamanca y Valencia no tienen personas afectadas, en los rangos mostrados, en cada índice acústico. Esto es debido a que las zonas industriales se encuentran alejadas de las zonas residenciales.

Almería presenta los mayores niveles de afección, seguido por Castellón. Los niveles de afección se deben a que algunas zonas industriales son colindantes con zonas residenciales.

Como ocurre en el caso de ruido ferroviario, el ruido industrial no tiene unos niveles de afección elevados si se compara con el ruido de tráfico. En general, las zonas industriales están alejadas de las zonas residenciales.

Tabla 16: Número de personas afectadas por el ruido industrial en España

	Habitantes	Lden >55	Ln >50	Ld >55	Le >55
A Coruña	247482	100	100	0	0
Albacete	165443	1240	760	1020	1020
Alcobendas	111882	0	0	0	0
Almería	165612	3400	1320	2490	2490
Badajoz	126177	500	100	200	200
Burgos	180561	600	300	300	100
Cádiz	124530	400	0	100	100
Castellón	181243	2481	988	1872	1872
C. Pamplona	317142	600	300	0	0
Leganés	186066	100	100	0	100
León	132744	0	0	0	0
Móstoles	206031	0	0	0	0
Murcia	442064	200	100	200	200
Salamanca	158823	0	0	0	0
San Sebastián	185512	300	0	100	100
Valencia	799188	0	0	0	0
Total	3730500	9921	4068	6282	6182
Porcentaje (%)		0.3	0.1	0.2	0.2

7.3.4. Ruido Total

El ruido total se calcula considerando la afección acústica conjunta de todos los focos de ruido. Esta no se obtiene sumando la población afectada por cada foco por separado, ya que es posible que exista un porcentaje de la población sin afección, si se consideran los focos por separado, pero que al activar todos los focos ese porcentaje si esté afectado. Es por ello que el ruido total siempre es mayor que el ruido proporcionado por cada foco por separado, pero se puede dar el caso que el ruido total sea muy parecido al ruido de tráfico, debido a que el ruido de tráfico es el que predomina sobre los otros focos de ruido.

Tabla 17: Porcentaje (%) de personas afectadas por el ruido total en España

	Habitantes	Lden >55	Ln >50	Ld >55	Le >55
A Coruña	247482	87.6	81.5	85.3	84.7
Albacete	165443	56.6	43.7	55.6	53.1
Alcobendas	111882	71.5	45.7	66.2	65.4
Alicante	328441	40.3	53.7	54.5	53.6
Almería	165612	67.6	38.0	59.1	59.4
Badajoz	126177	76.2	55.0	75.7	74.7
Burgos	180561	59.6	48.9	51.2	51.1
Cádiz	124530	72.6	54.4	64.3	62.3
Cartagena	122796	33.6	12.9	29.2	25.8
Castellón	181243	97.6	94.8	95.5	95.5
C. Pamplona	317142	64.1	31.3	56.8	57.3
Elche	215290	88.1	66.2	75.1	68.4
Leganés	186066	60.8	39.4	53.0	44.7
León	132744	76.0	67.1	67.3	64.9
Móstoles	206031	96.6	89.8	89.5	90.1
Murcia	442064	48.2	24.6	34.6	31.2
Salamanca	158823	64.1	51.0	54.4	54.0
San Sebastián	185512	75.8	61.2	72.4	66.4
Valencia	799188	69.7	58.8	61.1	61.3
Vitoria	240900	67.9	50.4	59.7	64.7

Tabla 18: Número de personas afectadas por el ruido total en España

	Habitantes	Lden >55	Ln >50	Ld >55	Le >55
A Coruña	247482	216900	201600	211200	209600
Albacete	165443	93630	72280	91968	87920
Alcobendas	111882	80000	51100	74100	73200
Alicante	328441	132200	176500	179100	176000
Almería	165612	111980	62980	97830	98380
Badajoz	126177	96200	69400	95500	94200
Burgos	180561	107600	88300	92500	92200
Cádiz	124530	90400	67800	80100	77600
Cartagena	122796	41200	15800	35900	31700
Castellón	181243	176852	171867	173134	173146
C. Pamplona	317142	203200	99300	180000	181800
Elche	215290	189647	142474	161600	147300
Leganés	186066	113100	73400	98700	83100
León	132744	100900	89100	89300	86200
Móstoles	206031	199000	185100	184400	185700
Murcia	442064	213200	108700	152900	137900
Salamanca	158823	101800	81000	86400	85700
San Sebastián	185512	140600	113500	134400	123100
Valencia	799188	557300	470100	488700	489800
Vitoria	240900	163500	121500	143700	159900
Total	4637927	3129209	2461801	2851432	2790446
Porcentaje (%)		67.5	53.1	61.5	60.2

En la [tabla 17](#) y la [tabla 18](#) se observa el porcentaje de afección y el número de

afectados en cada índice acústico.

En general, en la mayoría de las aglomeraciones el ruido total difiere muy poco del ruido de tráfico. Solo se encuentran pequeñas diferencias y estas serán comentadas más adelante.

7.3.5. Grandes Aeropuertos en España

En España los mapas estratégicos de ruido de los grandes aeropuertos los realiza *Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea* (AENA) y su publican en su página web. En las fechas en que se ha realizado este proyecto, los resultados de los mapas estratégicos de ruido de los aeropuertos españoles no han estado disponibles. Lo que si ha estado disponible es un documento alojado en el SICA donde se muestran los resultados de tres grandes aeropuertos españoles correspondientes a la segunda fase de los MER.

El documento es correspondiente a unas jornadas técnicas sobre la segunda fase de los MER realizado por el SICA. Es una presentación de Mónica Solbes Galiana, jefa del departamento de evaluación acústica y atmosférica [16].

Los resultado se corresponden a tres grandes aeropuertos: Aeropuerto de Madrid/Barajas (LEMD), Aeropuerto de Barcelona El Prat (LEBL) y Aeropuerto de Palma de Mallorca (LEPA).

El modelo de cálculo empleado es el INM⁵ 6.0 c. La variable de temperatura media es similar en los tres aeropuertos: 15.9 °C en Madrid, 16.6 °C en Barcelona y 17.3 °C en Palma de Mallorca.

⁵Integrated Noise Model

Tabla 19: Número de afectados en aeropuertos españoles

ICAO	Mov / año	Lden (dBA)				
		55-60	60-65	65-70	70-75	>75
LEMD	429390	28400	1000	1800	100	0
LEBL	303054	2800	100	100	100	100
LEPA	180152	8200	1000	200	100	0
ICAO	Mov / año	Ln (dBA)				
		50-55	55-60	60-65	65-70	>70
LEMD	429390	2500	100	100	0	0
LEBL	303054	100	100	100	100	0
LEPA	180152	800	100	100	0	0

En la [tabla 19](#) se muestra los resultados de número de personas afectadas para el índice L_{den} y L_n en los tres aeropuertos. En Madrid hay el mayor número de afectados, sobretodo en el rango de 55-60 del L_{den} con 28400 personas. En el aeropuerto de Barcelona se observa que hay 100 personas afectadas con niveles superiores a 75 dBA en el índice L_{den} . En el índice L_n se reportan menor número de afectados, comparado con el L_{den} . En Barcelona se observa que hay 100 personas en el rango de 65-70 del L_n .

7.4. Comparación entre ruido de tráfico y ruido total

A fin de observar la relación entre el ruido de tráfico y total se ha decidido realizar una comparación con los índices L_{den} y L_n . Mediante este análisis se pretende verificar cuantitativamente el aporte del ruido de tráfico al ruido total.

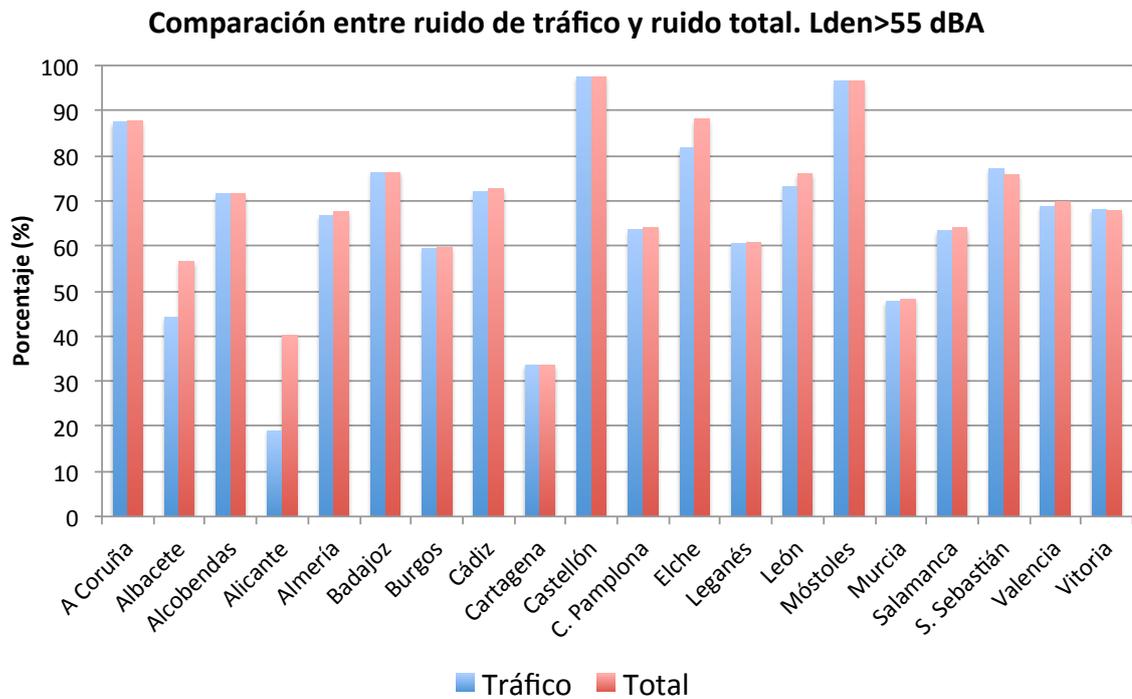


Fig 7: Comparación entre ruido de tráfico y total. $L_{den} > 55$ dBA

La figura 7 muestra el porcentaje de afectados, en el índice L_{den} , por encima de 55 dBA tanto del ruido de tráfico como del ruido total. En la gran mayoría de las aglomeraciones el ruido de tráfico es prácticamente igual al ruido total, indicando de esta manera que en esas aglomeraciones el foco de ruido predominante es el de tráfico.

En la aglomeración de Albacete el porcentaje de afectados por el ruido total supera en más del 10% a los afectados por el ruido de tráfico. La diferencia se debe a que en los límites de la aglomeración existe un gran eje viario y paralelo a ésta hay una vía férrea. La contribución de ambas fuentes produce el aumento del ruido total en comparación con el ruido de tráfico.

En la aglomeración de Alicante los resultados muestran que la contribución del

ruido de tráfico al ruido total es solo del 50 %. En la memoria descriptiva del MER de Alicante se menciona que no hay afección por ruido industrial y el ruido aéreo no está calculado ya que el MER del Aeropuerto de Alicante lo realiza AENA ⁶. La única fuente de ruido diferente de la viaria es la ferroviaria y ésta no parece tener una afección tan significativa como para aportar el 50 % de afección en el ruido total. Es por ello que este resultado no parece lógico y confirma que los valores de L_{den} de la aglomeración de Alicante no están bien calculados.

En la aglomeración de San Sebastián el ruido de tráfico es ligeramente mayor al ruido total. Esto no puede ocurrir y debe ser un error. La figura 8 muestra de manera más detallada el ruido de tráfico y total en la aglomeración de San Sebastián, se observa que los porcentajes de ruido de tráfico son mayores, en el índice L_e , que el ruido total. Esto podría explicar por qué el índice L_{den} tiene unos porcentajes de afección mayores en el ruido de tráfico que en el ruido total. En todo caso, los resultados que se muestran en el índice L_e son erróneos, el porcentaje de afección por ruido total nunca puede ser menor al porcentaje de afección por un foco de ruido aislado, en este caso el foco viario.

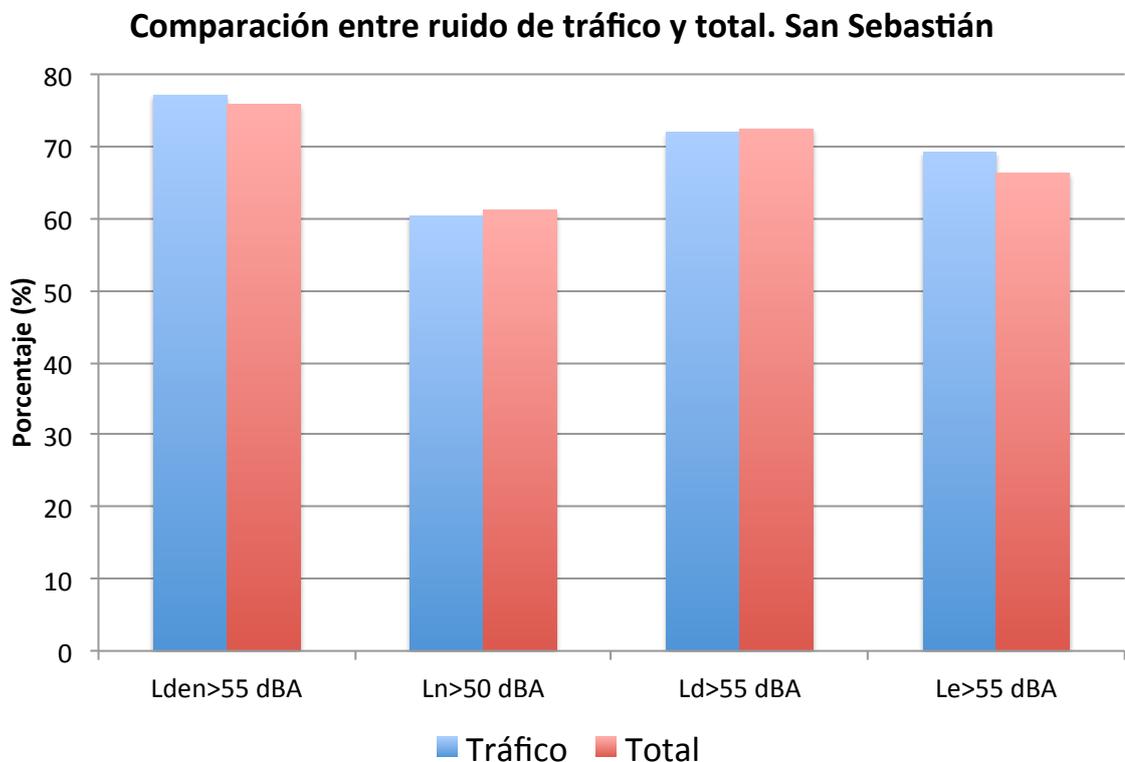


Fig 8: Comparación entre ruido de tráfico y total. San Sebastián

⁶Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea.

En la figura 9 se aprecia la comparación del porcentaje de afectados por ruido viario y total. Los resultados son similares a los vistos en el índice L_{den} pero con dos claras diferencias en las aglomeraciones de Alicante y San Sebastián. En Alicante se observa que el ruido de tráfico y total son muy similares, resultado que no ocurre en el índice L_{den} . En la aglomeración de San Sebastián el porcentaje de afección por ruido total es mayor que el viario, indicando un resultado lógico.

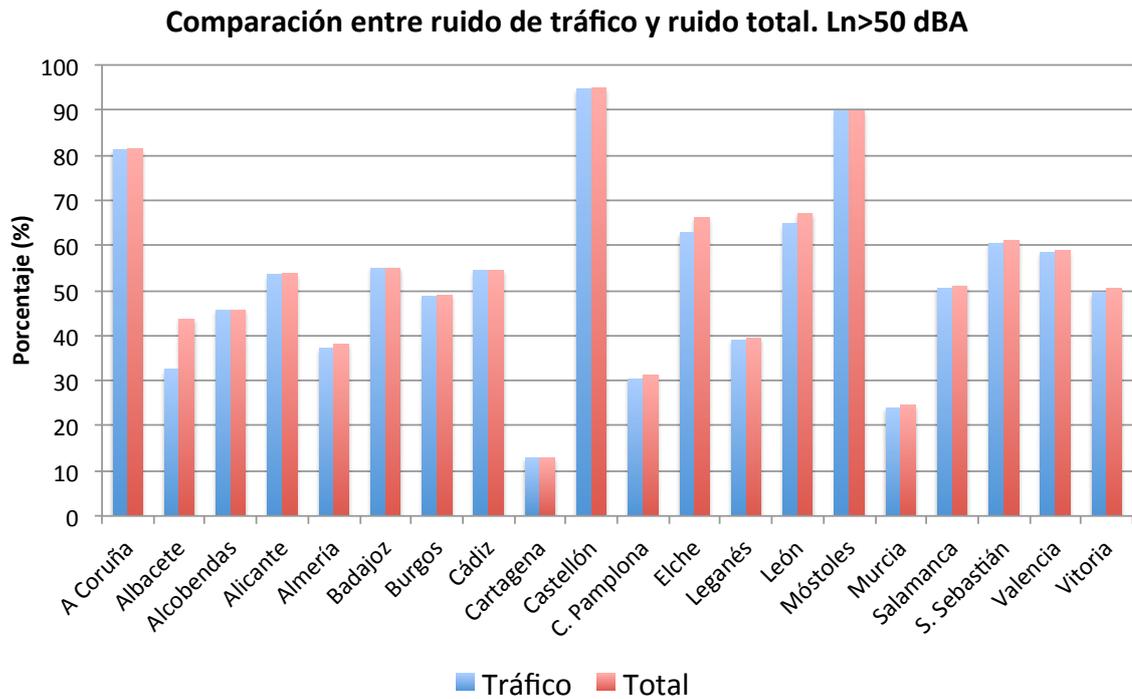


Fig 9: Comparación entre ruido de tráfico y total. $L_n > 50$ dBA

7.5. Relación entre el porcentaje de afectados en los índices

L_{den} y L_n

El índice acústico L_{den} se calcula mediante la ecuación 5. Si se imponen ciertas hipótesis se puede encontrar una relación entre L_{den} y L_n .

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 \times 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \quad (5)$$

La hipótesis que se plantea es que los niveles de L_d y L_e sean iguales a cero. Esta hipótesis es restrictiva e irreal pero sirve para imponer una relación mínima entre el

L_{den} y L_n . Imponiendo la hipótesis obtenemos la [expresión 6](#), se observa que el L_{den} es siempre superior al L_n y siempre lo va a superar como mínimo en 5 dBA.

$$L_{den} \geq L_n + 5 \text{ (dBA)} \quad (6)$$

La [expresión 6](#) no solo indica que el índice L_{den} es siempre superior al L_n , también indica que si un porcentaje de la población está por encima de un cierto nivel de L_n ese mismo porcentaje debería estar como mínimo en el nivel marcado por el L_n más 5 dBA en el L_{den} . Por ejemplo, si el 40% de las personas tienen un nivel de afección superior a 50 dBA en el L_n , ese mismo porcentaje de personas como mínimo deben tener un porcentaje de afección superior a 55 dBA en el L_{den} .

Teniendo en cuenta esta relación se ha calculado el ratio $L_{den} > 55/L_n > 50$ en todas las aglomeraciones españolas con la intención de verificar que sea siempre mayor a la unidad. El resultado se aprecia en la [figura 10](#).

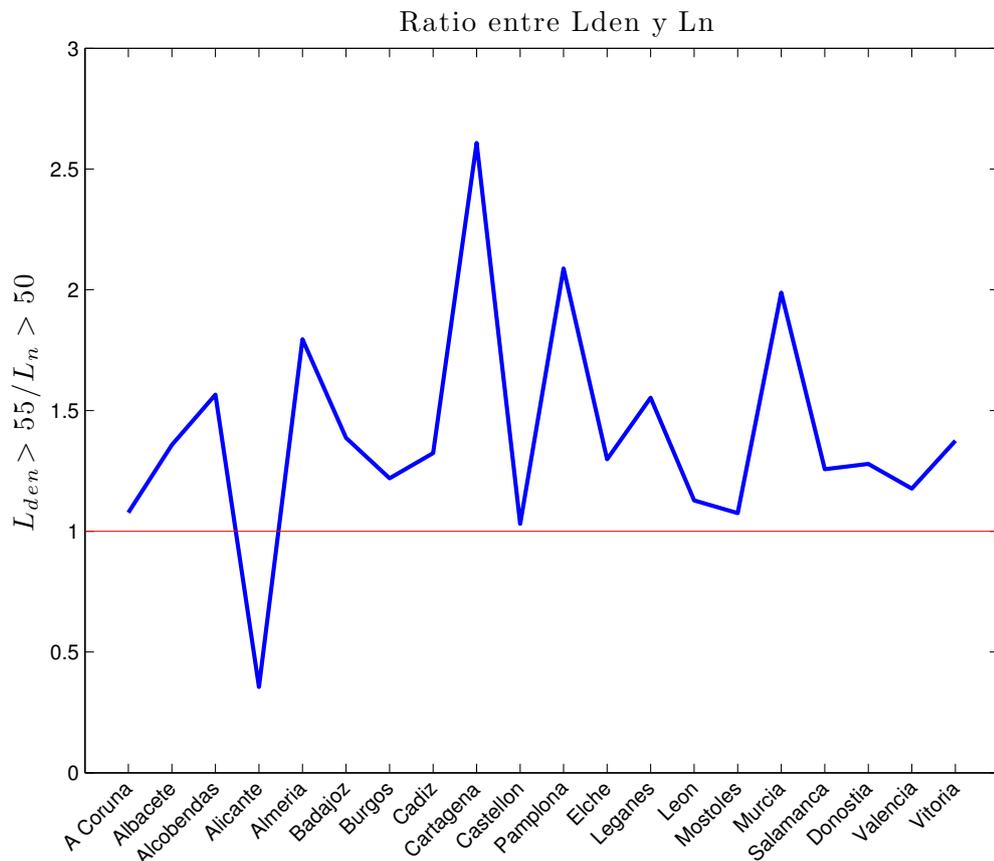


Fig 10: Relación entre L_{den} y L_n .

Una primera inspección de la [figura 10](#) destaca que los resultados de la aglomeración de Alicante son erróneos. Es decir, los resultados de L_{den} y L_n en la aglomeración de Alicante no tienen una correspondencia mutua y son matemáticamente imposibles.

El resto de aglomeraciones tienen el ratio $L_{den} > 55/L_n > 50$ por encima a la unidad, tal y como se esperaba. Aún así, las aglomeraciones de Castellón, Móstoles y A Coruña tienen unos valores muy cercanos a la unidad.

7.6. Relación entre el porcentaje de afectados en los índices

L_n y L_d

Es razonable pensar que la diferencia en decibelios de los niveles sonoros entre el periodo de día y el periodo de noche sea igual a 10 dB. Por lo tanto, el porcentaje de afectados debe reflejar dicha diferencia entre los periodos de día y de noche.

Para estudiar la relación entre el porcentaje de afectados en los índices L_d y L_n se ha calculado un ratio: $Ratio_{L_d, L_n}$. Dicho ratio relaciona el porcentaje de afectados a niveles superiores de 65 dBA en el índice L_d con el porcentaje de afectados a niveles superiores de 55 dBA en el índice L_n :

$$Ratio_{L_d, L_n} = \frac{\% \text{ afectados } L_d > 65 \text{ dBA}}{\% \text{ afectados } L_n > 55 \text{ dBA}} \quad (7)$$

La [figura 11](#) muestra la aplicación del $Ratio_{L_d, L_n}$ en todas las aglomeraciones españolas.

En las aglomeraciones de **Alcobendas**, **Badajoz**, **Cartagena** y **Pamplona** se observa que el porcentaje de afectados a niveles superiores de 65 dBA en el periodo diurno es similar al porcentaje de afectados a niveles superiores de 55 dBA en el periodo nocturno. Esto indica que en efecto, en estas aglomeraciones, los niveles sonoros diurnos superan en 10 dB a los niveles sonoros nocturnos.

En **Albacete**, el $Ratio_{L_d, L_n}$ tiende a 2. Es decir, en los rangos de L_d y L_n estudiados,

laafección en el periodo diurno es el doble que en el periodo nocturno. El resultado es llamativo debido a que es la única aglomeración que presenta un valor del $Ratio_{L_d,L_n}$ tan elevado.

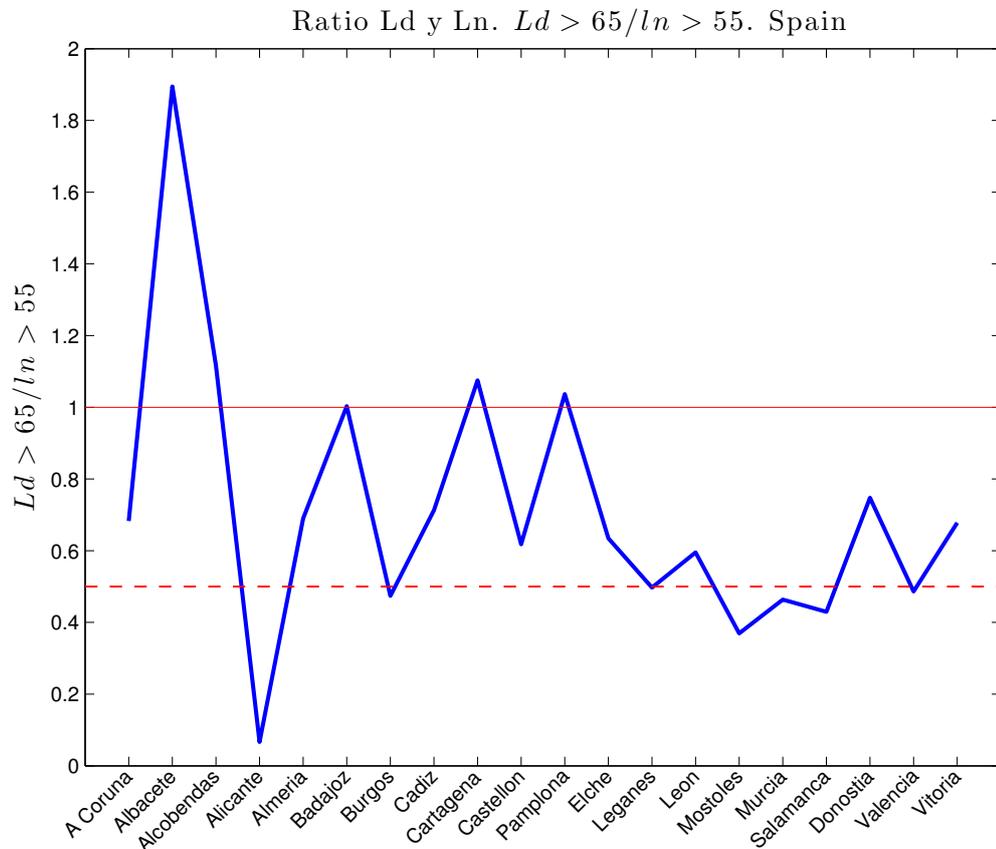


Fig 11: Relación entre el porcentaje de afectados en los índices L_d y L_n . España

El resto de aglomeraciones presenta valores por debajo de la unidad. La mayoría de esas aglomeraciones tienen valores del $Ratio_{L_d,L_n}$ mayores a 0.5. Las aglomeraciones de **Burgos**, **Leganes**, **Murcia** y **Valencia** tienen valores iguales a 0.5, indicando que laafección del periodo nocturno es el doble que la del periodo diurno en los rangos de los índices L_d y L_n estudiados.

Luego, observamos que las aglomeraciones de **Alicante**, **Móstoles** y **Salamanca** presentan valores por debajo del 0.5. El valor de **Alicante** tiende a cero, es decir, que los afectados a niveles superiores de 55 dBA en el índice L_n son mucho mayores que los afectados a niveles superiores de 65 dBA en el índice L_d .

En definitiva, las aglomeraciones de Alcobendas, Badajoz, Cartagena y Pamplona presentan un valor del $Ratio_{L_d,L_n}$ igual a la unidad, por lo tanto, se puede concluir que

en esas aglomeraciones los niveles sonoros del día y la noche tienen una diferencia de 10 dB. En Albacete, dicha diferencia es mayor, debido a que el valor del $Ratio_{L_d, L_n}$ tiende a 2. En el resto de aglomeraciones la diferencia de los niveles sonoros es menor a 10 dB, sobretodo en el caso de Alicante.

7.7. Relación entre el porcentaje de afectados en los índices

L_d y L_e

En España, a diferencia de otros países europeos, los niveles sonoros entre el periodo diurno y el periodo vespertino difieren muy poco. Es decir, en los periodos diurnos y vespertinos la diferencia en niveles sonoros no es muy alta y por lo tanto, los niveles deafección entre ambos periodos es similar.

Se ha calculado un ratio: $Ratio_{L_d, L_e}$. Dicho ratio relaciona el porcentaje de afectados a niveles superiores de 60 dBA en el índice L_d e índice L_e :

$$Ratio_{L_d, L_e} = \frac{\% \text{ afectados } L_d > 60 \text{ dBA}}{\% \text{ afectados } L_e > 60 \text{ dBA}} \quad (8)$$

La [figura 12](#) muestra el resultado del $Ratio_{L_d, L_e}$ en todas las aglomeraciones españolas. Se observa que la media tiende a la unidad, por lo que se confirma que en las aglomeraciones españolas los niveles deafección entre el periodo de día y de tarde son similares.

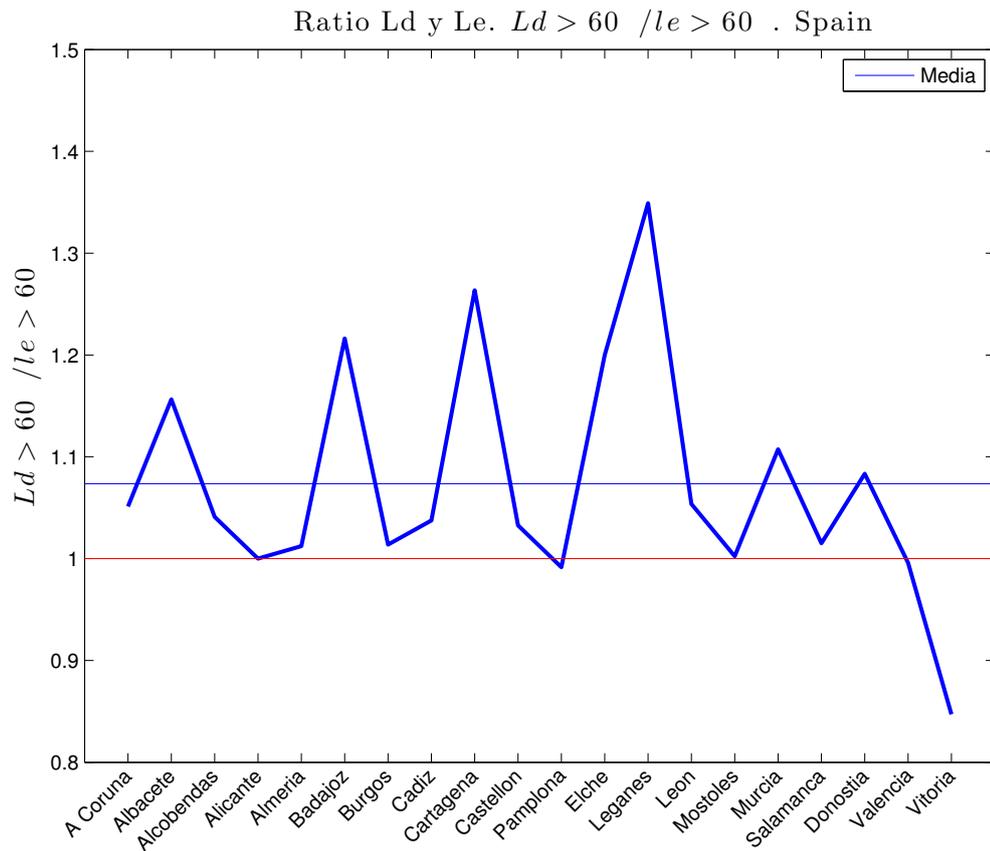


Fig 12: Relación entre L_d y L_e .

Hay aglomeraciones que se encuentran por encima de la media: **Albacete**, **Badajoz**, **Cartagena** y **Leganés**. Aún así, los valores están por debajo de 1.4, indicando que el 70% de las personas afectadas por niveles superiores a 60 dBA en el periodo diurno también lo están en el periodo vespertino, a niveles superiores a 60 dBA. Es decir, a pesar que dichas aglomeraciones estén por encima de la media los valores deafección entre el índice L_d y L_e se consideran similares.

La única aglomeración que presenta un resultado inferior a la unidad es **Vitoria**, pero el valor no se aleja de la unidad. Es decir, la diferencia entre el porcentaje de afectados en los periodos día y tarde, en los rangos considerados, se puede considerar similar.

En definitiva, estudiando la aplicación del $Ratio_{L_d, L_e}$ en las aglomeraciones españolas se confirma que los niveles deafección y sonoros entre los periodos diurnos y nocturnos son similares.

7.8. Indicador Local de Gestión del Ruido (ILGR)

Como se ha comentado anteriormente las aglomeraciones de **A Coruña**, **Alcobendas**, **San Sebastián** y **Vitoria** han realizado el cálculo de población afectada a 4 metros de altura, pero también se ha realizado un cálculo de afección teniendo en cuenta que la población se distribuye a diferentes alturas, dicho método se ha denominado *Indicador Local de Gestión del Ruido* (ILGR).

La explicación del método ILGR es ambigua por lo que no se sabe con certeza cómo se efectúa el cálculo de afección. No se sabe si se ha hecho una corrección de la afección por altura o simplemente se ha calculado el nivel sonoro en la fachada de cada vivienda, aunque esto último es lo que se conoce como mapa de fachadas.

Los resultados del ILGR no se han presentado en rangos de 5 dB en los índices L_{den} y L_n , salvo en la aglomeración de A Coruña donde si se presentan los valores en rangos de 5 dB del índice L_n pero no del L_{den} . Además, los niveles de afección calculados con el método ILGR separa el foco viario en dos focos: tráfico viario de calles y tráfico viario de carreteras. Esto dificulta realizar una comparación precisa entre los resultados de la población afectada a 4 metros de altura y la población afectada mediante el ILGR.

Aún así, en las *memorias descriptivas* de dichas aglomeraciones se realizan comparaciones entre ambos métodos de cálculo de afección. Estas comparaciones se realizan, principalmente, en valores superiores a 65 dBA en L_{den} , L_d y L_e , y valores superiores a 55 dBA en L_n .

En la aglomeración de A Coruña, tal y como se muestra en la [figura 13](#), el número de personas afectadas disminuye si el cálculo se realiza con el método ILGR, pero en el rango 50-55 el nivel de afección aumenta respecto al cálculo a 4 metros de altura.

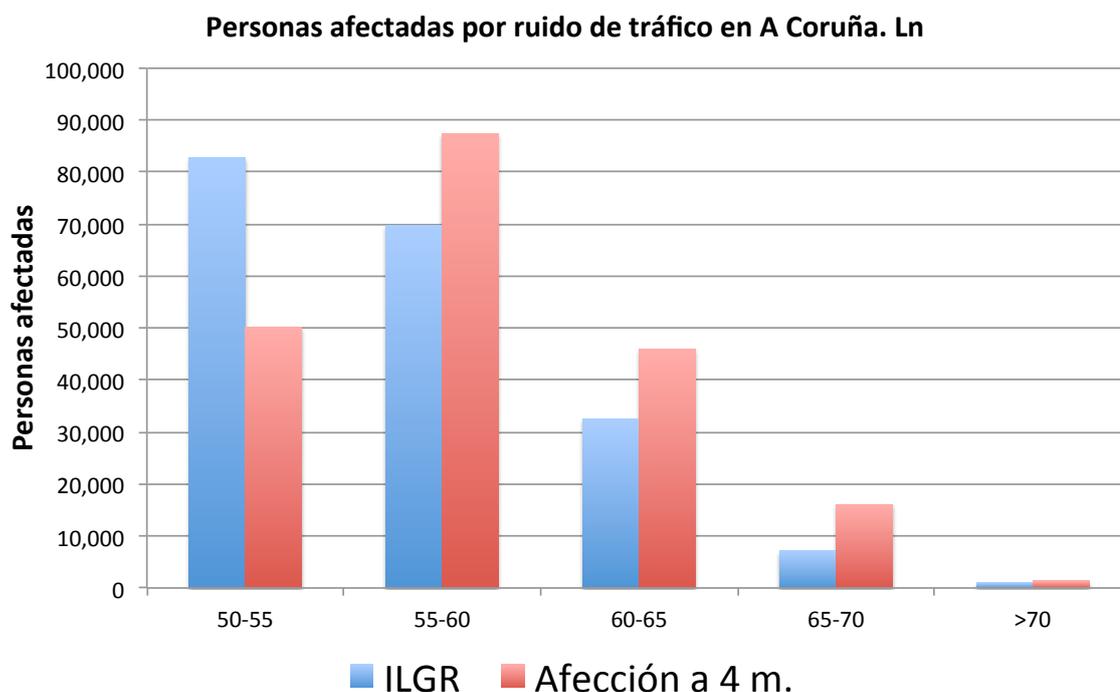


Fig 13: Comparación entre ILGR y la afección a 4 m. A Coruña, índice L_n .

En la [tabla 20](#) se observa la comparación entre el método ILGR y el cálculo de la afección a 4 metros de altura en las aglomeraciones de San Sebastián y Vitoria. El foco viario en el ILGR se ha dividido en dos focos: Calles y Carreteras, por lo que la comparación con el nivel de afección a 4 metros es inviable.

Los resultados en el ruido **total** muestran que los niveles de afección calculados con el ILGR son menores que los calculados a 4 metros de altura. En el caso de ruido ferroviario los niveles de afección son mayores con el método ILGR en todos los índices y en las dos aglomeraciones.

En el caso de San Sebastián se indica que, utilizando el método ILGR, se reduce la población afectada por el tráfico urbano pero se incrementa la afectada por carretera. Dicho incremento se debe a:

Este incremento de la afección por carretera es debido a que en determinadas situaciones, las plantas más altas están más expuestas al disminuir la protección que en ocasiones puede proporcionar por efectos de apantallamiento: la propia carretera, otros edificios o medidas de protección específicas como las pantallas acústicas.

Tabla 20: Número de personas afectadas en S. Sebastián y Vitoria. Comparación entre ILGR y cálculo de afección a 4 m.

			Lden>65	Ld>65	Le>65	Ln>55
S. Sebastián	ILGR	Calles	34925	24113	11269	40064
		Carreteras	4195	3142	2573	4340
		Ferrocarril	2394	613	726	3353
		Total	45084	30592	14310	51244
	4 m	Tráfico Viario	53858	38734	22251	58609
		Ferrocarril	593	184	206	1167
Total		54891	39337	22797	59873	
Vitoria	ILGR	Calles	44900	21600	34300	40500
		Carreteras	100	100	100	200
		Ferrocarril	1000	0	0	2600
		Total	47200	21900	34800	44400
	4 m	Tráfico Viario	57200	33500	46300	53500
		Ferrocarril	800	0	0	2300
Total		59000	34000	46800	56500	

En definitiva, el método ILGR reduce el número de personas afectadas pero en algunos rangos o focos de ruido, como el de carretera, esta afección aumenta. A su vez, la afección por ejes ferroviarios siempre es mayor con el cálculo de la afección a través del ILGR.

7.9. Discusión de los resultados. MER en España

Los MER en España muestran una gran variabilidad de resultados entre las diferentes aglomeraciones. Con respecto al ruido de tráfico, en el índice L_{den} las aglomeraciones más afectadas tienen más del 75 % de las personas expuestas a niveles superiores a 60 dBA, mientras que las menos afectadas tienen más del 60 % de las personas expuestas a niveles inferiores a 60 dBA. En el índice L_n las aglomeraciones más afectadas tienen más del 80 % personas expuestas a niveles superiores de 50 dBA y las de menor afección tienen más del 70 % de personas expuestas a niveles inferiores de 50 dBA.

A su vez, resulta muy curioso la poca afección que producen los focos de ruido industrial y ferroviario, sobretodo teniendo en cuenta que en prácticamente todas las ciudades españolas existe una estación de trenes y vías de paso de tren.

En general, es complicado realizar una comparación de los resultados de los niveles de afección entre las aglomeraciones debido al desconocimiento de las variables implicadas en la realización de los MER. Las memorias descriptivas, en general, ofrecen poca información sobre los datos de entrada para el cálculo del ruido de los focos de tráfico, ejes ferroviarios e industrial. Salvo una aglomeración, el resto no especifica con claridad el método de cálculo de la población afectada, sabiendo de antemano que la elección de dicho método puede alterar de manera elevada el número de afectados por el ruido. De esta manera, no se puede saber con claridad en que casos se está subestimando o sobreestimando los niveles de afección.

8. MER en Europa. 2ª Fase

En conformidad con el artículo 7-2 de la Directiva 2002/49/CE, los Estados miembros tienen la responsabilidad de realizar los mapas estratégicos de ruido correspondientes a la segunda fase a más tardar el 30 de junio de 2012. Además, según el artículo 10-2 de dicha Directiva los Estados miembros deben informar de los resultados de los mapas estratégicos, a más tardar seis meses después de la fecha dictada por el artículo 7-2, es decir, el 30 de diciembre de 2012. Las condiciones para realizar los mapas estratégicos de ruido para la segunda fase son:

- Aglomeraciones con más de 100.000 habitantes.
- Grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los tres millones de desplazamientos al año.
- Grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 30.000 trenes al año.
- Grandes aeropuertos con más de 50.000 movimientos al año.

Para la realización del estudio de los mapas estratégicos de ruido de aglomeraciones Europeas se han obtenido datos de 18 países y 147 aglomeraciones. Los datos corresponden al ruido de tráfico, ejes ferroviarios, zonas industriales y ruido total en aglomeraciones, y ruido de grandes aeropuertos. No se ha tenido en cuenta el ruido producido por grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios.

8.1. Ruido de tráfico

En la [tabla 21](#) se puede observar las aglomeraciones de cada país en las que se ha hecho el estudio de ruido producido por el tráfico. Tal y como se ha mencionado en el apartado *Adquisición y manejo de datos* los datos han sido obtenidos de la red EIONET, donde se ha extraído el número de personas afectadas en los diferentes rangos de L_{den} y L_n , para cada aglomeración. Los países Alemania, Polonia y España son los que más aglomeraciones aportan al estudio, con 36, 32 y 20 aglomeraciones, respectivamente.

Tabla 21: Aglomeraciones Europeas. Ruido de Tráfico

País	Aglomeraciones
Austria	Graz, Linz, Innsbruck
Bélgica	Brugge
Bulgaria	Burgas, Ruse, Pleven
Dinamarca	Kobenhavnsområdet, Arhus, Odense, Aalborg
Estonia	Tallinn, Tartu
Finlandia	Helsinki, Espoo, Tampere, Vantaa, Turku, Oulu, Lahti, Kauniainen
Francia	Angers, Besancon, Dijon, La Rochelle, Poitiers, Reims, Thionville, Troyes, Fort de France, Montbeliard
Alemania	Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe, Freiburg, Heidelberg, Heilbronn, Ulm, Pforzheim, Reutlingen, Berlin, Potsdam (Kerngebiet), Hansestadt Rostock, Hannover, Braunschweig, Osnabrück, Oldenburg, Göttingen, Hildesheim, Düsseldorf, Moers, Bonn, Aachen, Bergisch Gladbach, Bottrop, Gelsenkirchen, Recklinghausen, Leverkusen, Münster, Saarbrücken, Dresden, Leipzig, Chemnitz, Halle (Saale), Magdeburg, Kiel, Lübeck
Islandia	Reykjavik
Irlanda	Dublin, Cork
Lituania	Vilnius, Kaunas, Klaipeda, Siauliai, Panevezys
Luxemburgo	Luxembourg
Malta	Malta
Noruega	Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger, Fredrikstad
Polonia	Bydgoszcz, Gdansk, Krakow, Warszawa, Lodz, Lublin, Bielsko- Biala, Bytom, Chorzow, Czestochowa, Dąbrowa Gornicza, Elblag, Gdynia, Gliwice, Gorzow Wielkopolski, Koszalin, Legnica, Olsztyn, Opole, Plock, Ruda Slaska, Rybnik, Rzeszow, Sosnowiec, Torun, Wloclawek, Zabrze, Zielona Gora, Poznan, Kalisz, Kielce, Tychy
Rumania	Oradea, Galati
España	A Coruña, Albacete, Alcobendas, Alicante, Almería, Badajoz, Burgos, Cádiz, Cartagena, Castellón de la Plana, Comarca de Pamplona, Elche, Leganés, León, Móstoles, Murcia, Salamanca, San Sebastián - Donostia, Valencia, Vitoria - Gasteiz
Suiza	Winterthur, Zurich, Bern, Olten-Zofingen, Baden-Brugg, Lausanne, Geneva, Lucerne, Basel, St. Gallen, Lugano

La figura 14 muestra la media del porcentaje de afectados, en índices L_{den} y L_n , para cada país de Europa. La media se ha obtenido de todas las aglomeraciones que conforman cada país, en algunos países donde solo hay una aglomeración el valor mostrado en la gráfica no muestra el valor medio sino el valor nominal de porcentaje de afección. La figura 15 muestra el porcentaje medio de afectados teniendo en cuenta la población total de cada país.

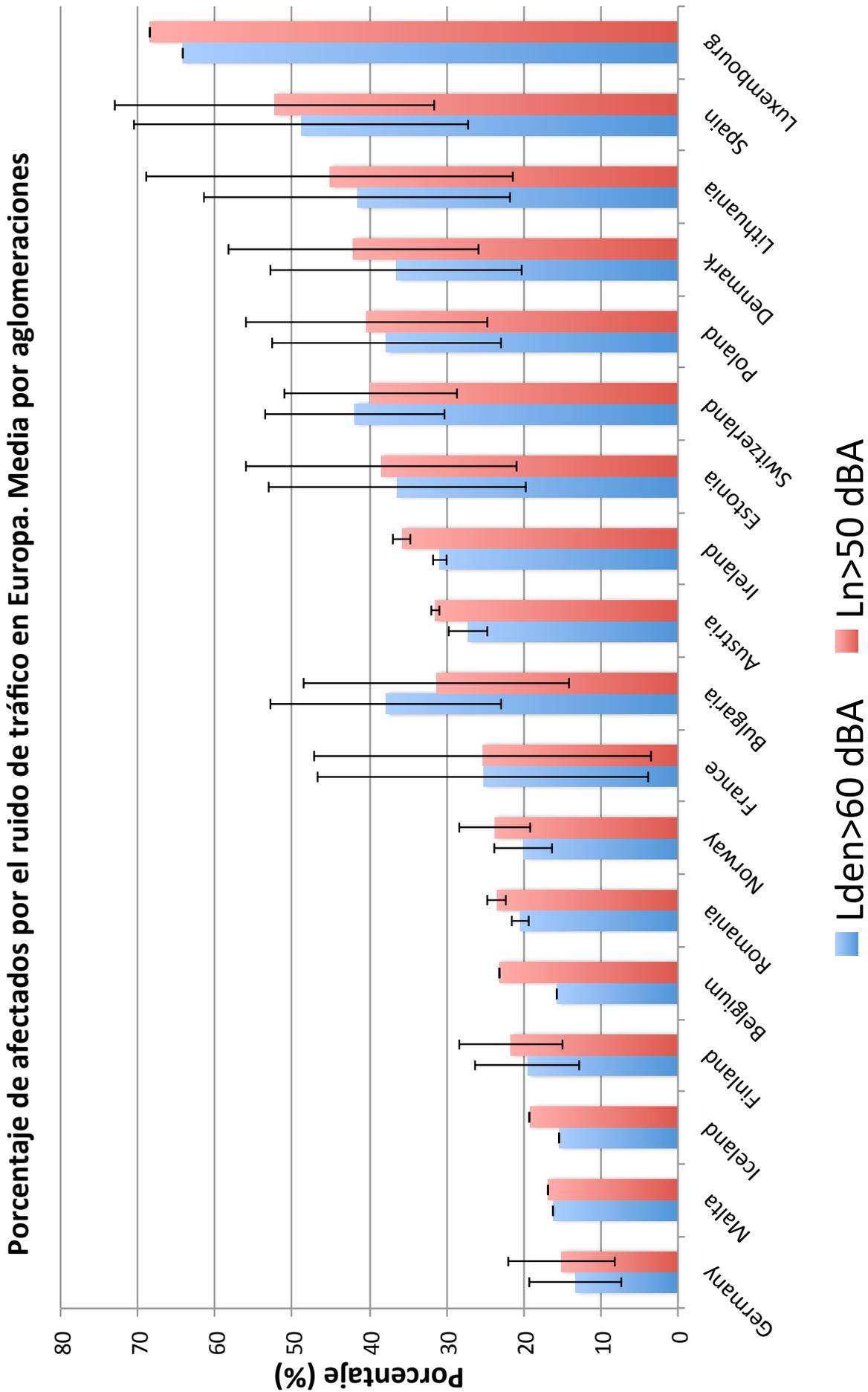


Fig 14: Ruido de tráfico en Europa. Media por aglomeraciones

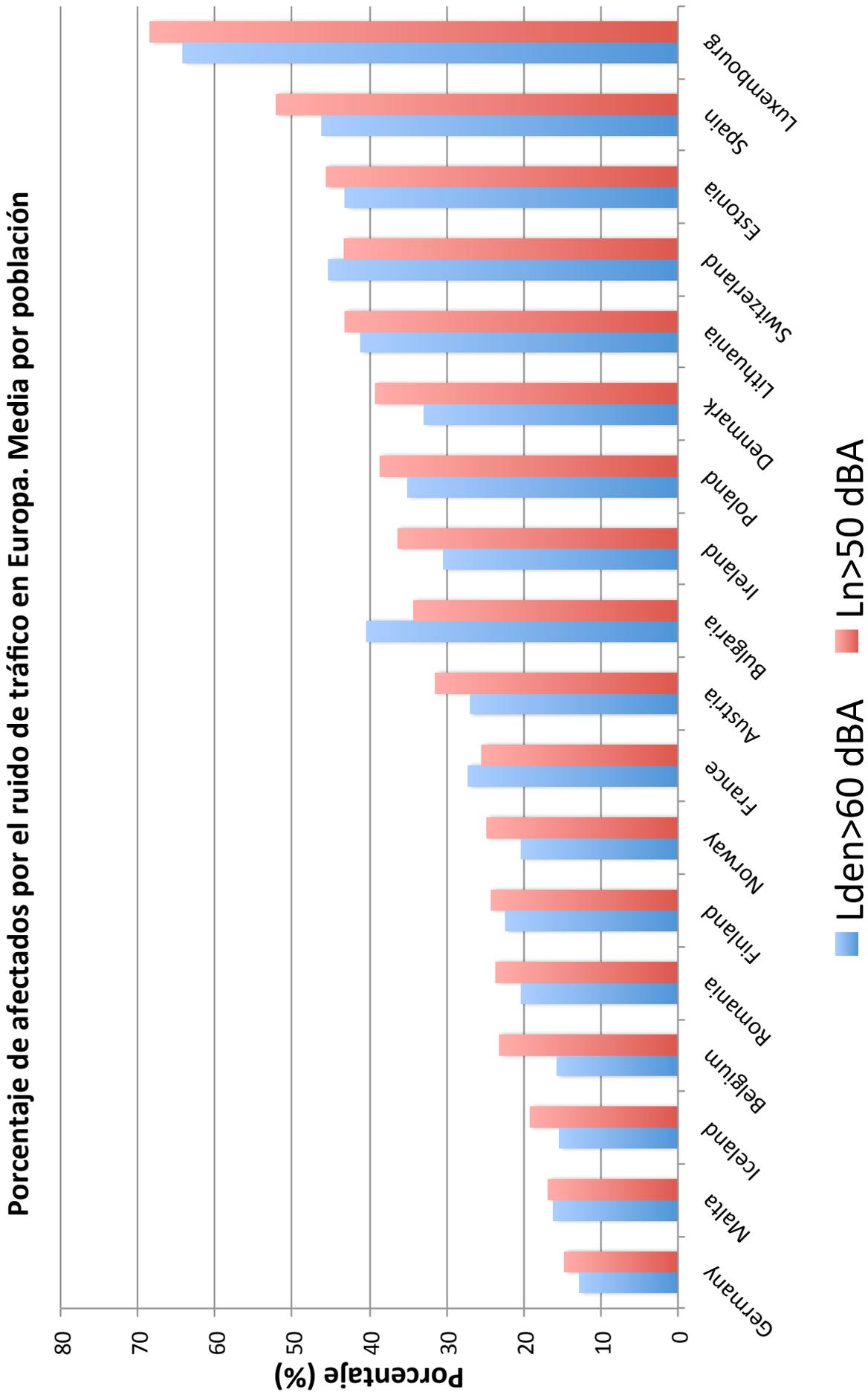


Fig 15: Ruido de tráfico en Europa. Media por población

En la [figura 14](#) se observa de manera ordenada los países con menor afección hasta los de mayor afección. El orden se ha realizado en función del índice L_n por ser más crítico a la hora de evaluar las molestias en la población.

La región de **Luxemburgo** presenta los mayores niveles de afección, pero hay que tener en cuenta que solo consta de una aglomeración y ésta no es la que tiene la mayor afección en comparación con el resto de aglomeraciones europeas. Aunque dicha aglomeración sí está entre las 5 aglomeraciones con mayores niveles de afección, tanto en L_{den} como L_n . **España** destaca por tener unos niveles de afección elevados, más del 50 % de la población tiene unos niveles de afección por encima de 50 dBA en el L_n , además cuenta con 20 aglomeraciones a diferencia de Luxemburgo que solo cuenta con una aglomeración. Es notable la gran dispersión en los datos, indicando la alta variabilidad de los niveles de afección en España. A partir de **Lituania** el porcentaje de población afectada a niveles superiores de 50 dBA, en el índice L_n , es inferior al 45 %. Esto ocurre de igual manera para el índice L_{den} .

Es interesante notar las diferencias que hay entre **Dinamarca** y el resto de países nórdicos. **Noruega**, **Finlandia** e **Islandia** tienen unos porcentajes de afectados a niveles superiores de 50 dBA en L_n por debajo del 25 %, en cambio, Dinamarca tiene más del 40 % de personas afectadas a niveles superiores de 50 dBA en L_n . A su vez, la dispersión en Dinamarca es mucho mayor que la dispersión del resto de países nórdicos. La aglomeración de Aalborg, en Dinamarca, es la que presenta mayores niveles de afección, el 65 % de la población está afectada por niveles mayores a 50 dBA en L_n y el resto de aglomeraciones danesas, en esos mismos niveles de afección, tienen menos del 40 % de afección.

En el cálculo de la media en **Francia** no se ha tenido en cuenta la aglomeración de Montbelliard por el siguiente motivo: los datos recopilados de la EIONET correspondientes a la región de Montbelliard mostraban en la banda 50-55 del L_n un número de personas afectadas igual a 92700, en la memoria descriptiva se indica que ese dato corresponde a niveles inferiores a 55 dBA del L_n . Es decir, el dato del rango 50-55 del L_n en Montbelliard que está en la base de datos de la EIONET es erróneo. El elevado grado de dispersión en Francia se debe a que 3 aglomeraciones (Angers, Thionville y Fort de France) tienen menos del 4 % de afección en niveles superiores a 50 dBA del

L_n .

El país con menor número deafección, en media, es **Alemania**. No solo resulta llamativo que sea el país con menor número deafección sino también que posea un grado de dispersión tan bajo en comparación con otros países, teniendo 36 aglomeraciones.

Como se ha comentado anteriormente en la [figura 15](#), se presenta la media del porcentaje de afectados en cada país teniendo en cuenta la población total afectada en relación a la población total evaluada. Es una media más realista que la mostrada en la [figura 14](#). Alemania sigue siendo el país con menorafección y con la mayor cantidad de población evaluada: más de 11 millones de personas. Por otra parte, España sigue siendo de los países con mayorafección con más de 4 millones de personas evaluadas. Se muestran cambios significativos con respecto a la [figura 14](#), por ejemplo, en el caso de Suiza, ya que el porcentaje de afectados es igual a 39.9% a niveles superiores de 50 dBA en L_n si se realiza la media por aglomeraciones, pero si la media de afectados es por población total el porcentaje de afectados a niveles superiores de 50 dBA en L_n es igual a 43.2%.

Relación entre el porcentaje de afectados en L_{den} y L_n

Con el objetivo de identificar aquellas aglomeraciones con un mayor nivel deafección en el periodo nocturno comparado con el índice L_{den} , se ha realizado un estudio de la relación entre los índices L_{den} y L_n . Hay ciudades comerciales donde el periodo diurno presenta mayorafección que en el nocturno, pero en ciudades con muchas zonas de ocio puede resultar diferente, ocurriendo mayorafección por la noche que en el periodo diurno.

Los objetivos de calidad establecidos en la mayoría de las legislaciones sugieren que debe haber una diferencia de 10 dB entre el periodo diurno y nocturno, y una diferencia de 5 dB entre el periodo diurno y vespertino. De esta manera es razonable pensar que el porcentaje de afectados a niveles superiores de 65 dBA en el L_{den} debe ser similar al porcentaje de afectados a niveles superiores de 55 dBA en el L_n .

Se ha propuesto el cálculo de un ratio que relacione el porcentaje de afectados a niveles superiores de 65 dBA en el L_{den} con el porcentaje de afectados a niveles superiores de 55 dBA en el L_n :

$$Ratio = \frac{\% \text{ afectados } L_{den} > 65 \text{ dBA}}{\% \text{ afectados } L_n > 55 \text{ dBA}} \quad (9)$$

En la figura 16 se aprecia el ratio calculado en todas las aglomeraciones europeas. En la única aglomeración donde no se ha calculado el ratio ha sido en Angers (Francia) debido a que la afección en el periodo nocturno por encima de 55 dBA en el L_n es igual a cero.

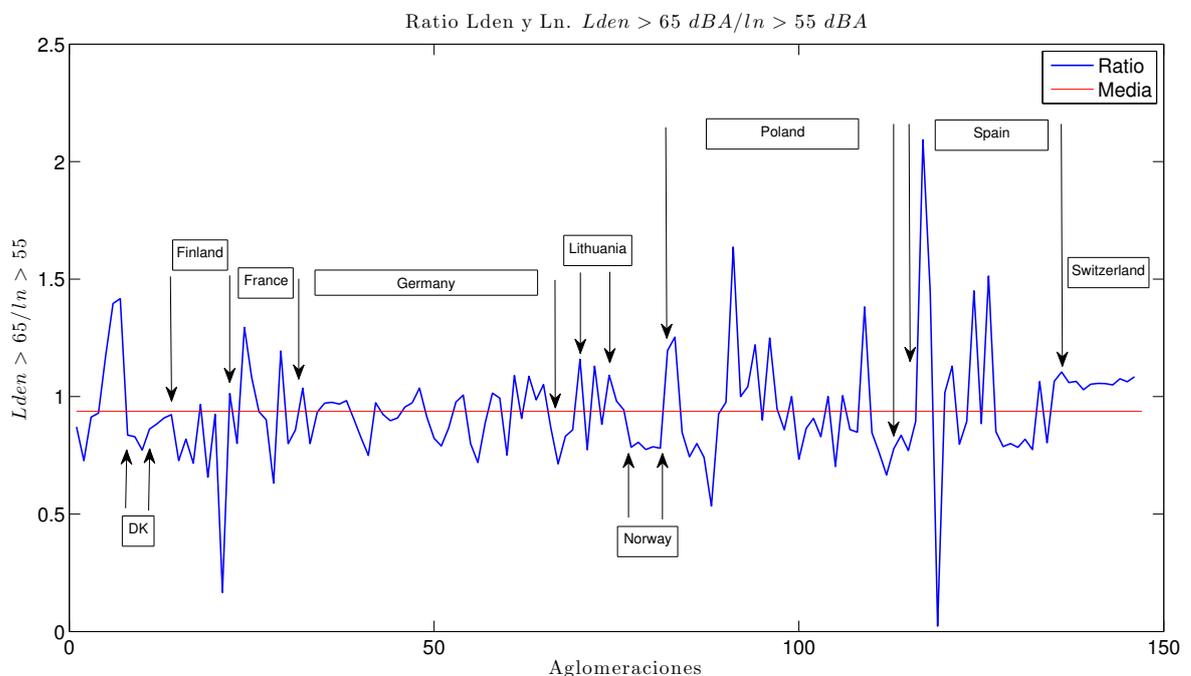


Fig 16: Relación entre el L_{den} y L_n en aglomeraciones europeas

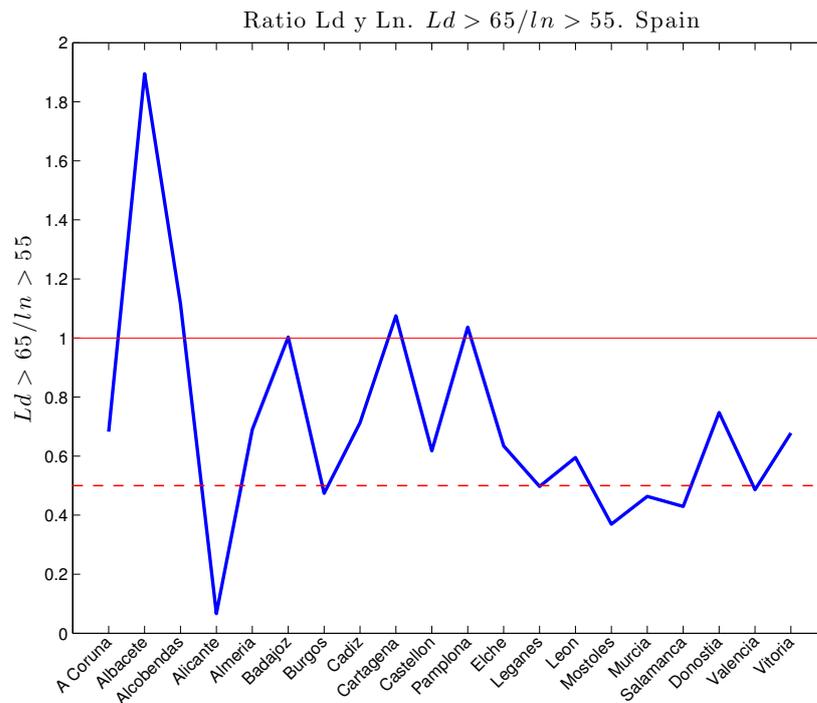
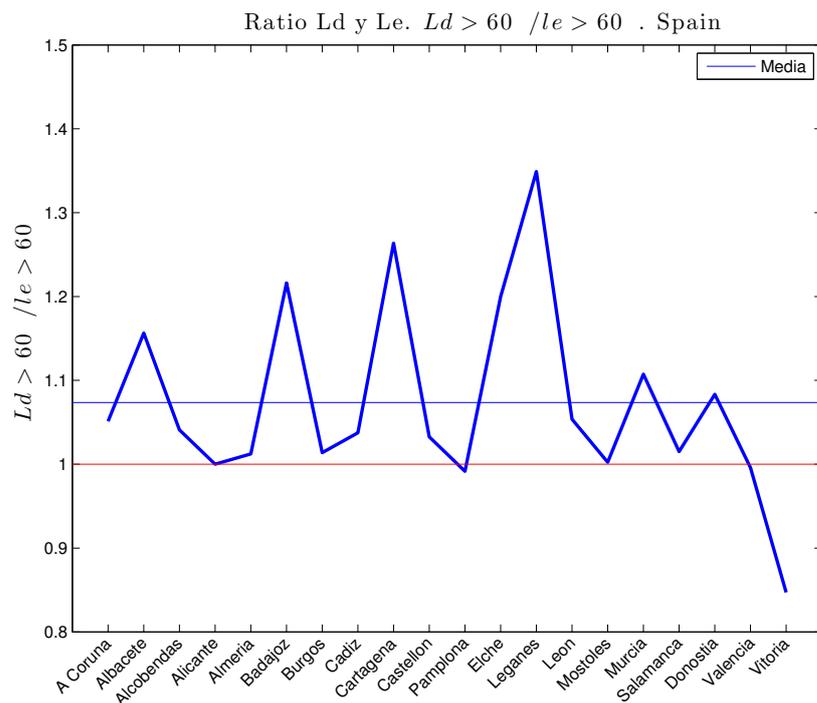
Se observa que la media está muy cercana a la unidad, por lo que se confirma que en la mayoría de las aglomeraciones el porcentaje de afectados a niveles superiores a 65 dBA en el L_{den} es similar al porcentaje de afectados a niveles superiores a 55 dBA en el L_n . También, se puede confirmar que existe una diferencia de 10 dB entre el L_{den} y L_n .

En algunos países el ratio varía muy poco entre sus aglomeraciones, mientras que en otros países el ratio es variable. Por ejemplo, en Suiza el valor del ratio está muy

cercano a la unidad y es prácticamente el mismo en las 11 aglomeraciones suizas. En Alemania, el ratio oscila alrededor de la media y los resultados entre sus aglomeraciones son similares.

En los países nórdicos de Noruega, Dinamarca y Finlandia todas sus aglomeraciones están por debajo de la media, pero esto no indica que el porcentaje de afectados a niveles superiores de 55 dBA en el L_n sea muy superior al porcentaje de afectados a niveles superiores de 65 dBA en el L_{den} , ya que los valores no se alejan mucho de la unidad. Por ejemplo, en Dinamarca y Noruega el valor del ratio en todas las aglomeraciones es aproximadamente 0.8, indicando que el 80% de las personas afectadas a niveles superiores de 55 dBA en el L_n también lo están a niveles superiores de 65 dBA en el L_{den} . Finlandia tiene una variación mayor del ratio, incluso una aglomeración (Kauniainen) tiene un valor del ratio igual a 0.16, indicando que no hay una diferencia de 10 dB en los niveles sonoros L_{den} y L_n .

Polonia y España son los países que presentan mayor variabilidad del ratio entre sus aglomeraciones. En España, se ha visto en el apartado **MER en España, 2ª Fase** la relación entre el porcentaje de afectados de los índices L_d y L_n , y los índices L_d y L_e . Aún así, en la [figura 17](#) y [figura 18](#) se muestra, nuevamente, los resultados obtenidos. Se observa la alta correlación entre los resultados del ratio L_d/L_n y el ratio L_{den}/L_n , ya que los picos representados en el ratio L_{den}/L_n por Albacete, Badajoz, Cartagena y Pamplona se repiten en el ratio L_d/L_n . Por ejemplo, en el caso de Pamplona el ratio L_{den}/L_n no es igual a 1 debido a que a pesar de que el ratio L_d/L_n es la unidad, la diferencia de niveles de afección entre L_d y L_e , representada en el ratio L_d/L_e , no es igual a 5 dB.

Fig 17: Ratios L_d/L_n en España.Fig 18: Ratios L_d/L_e en España.

Los resultados muestran que en general el porcentaje de afectados a niveles superiores de 65 dBA en el L_{den} es similar al porcentaje de afectados a niveles superiores de 55 dBA en el L_n , indicando que la diferencia de niveles sonoros entre los índices L_{den} y L_n es igual a 10 dB.

Comparación entre aglomeraciones alemanas y españolas

Debido a la gran disparidad que se presenta en los niveles de afección de Alemania y España es interesante realizar una comparación entre sus aglomeraciones.

Como se ha visto anteriormente, en general, España presenta un mayor nivel de afección que Alemania, tanto en el índice L_{den} como en el índice L_n . La gran desviación en los resultados de España frente a los de Alemania solo se pueden explicar observando la distribución de afección por rangos en el L_{den} y L_n .

Las diferencias son apreciables, tal y como se muestra en la [figura 19](#) y la [figura 20](#). En las aglomeraciones alemanas la distribución de afección es proporcional en cada rango, la mayor afección se suele situar en rangos bajos, como en el 55-60 del L_{den} , y cae progresivamente hasta los rangos de mayor afección. Esta homogeneidad del nivel de afección en las aglomeraciones alemanas está presente tanto en el índice L_{den} como en el índice L_n . Ahora, si observamos los niveles de afección de las aglomeraciones españolas se aprecia una gran diversidad de niveles de afección, explicando de esta manera los elevados valores de dispersión de los niveles de afección en L_{den} y L_n .

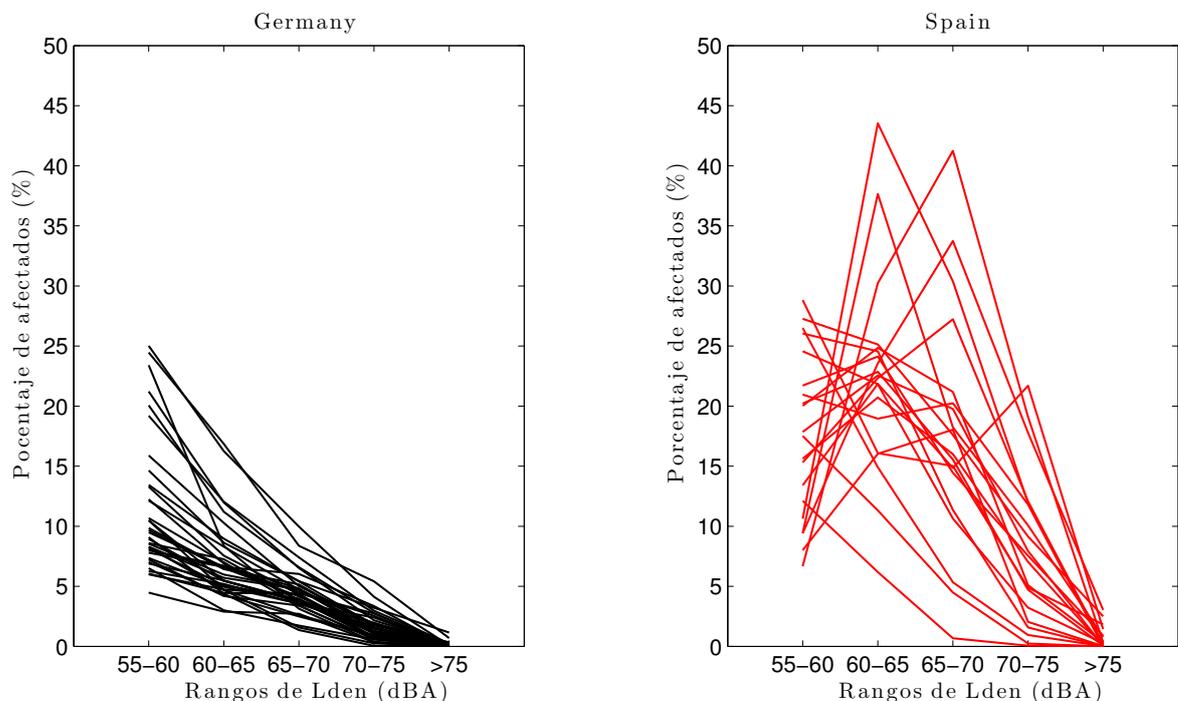


Fig 19: Comparación entre Alemania y España. Ruido de tráfico. L_{den}

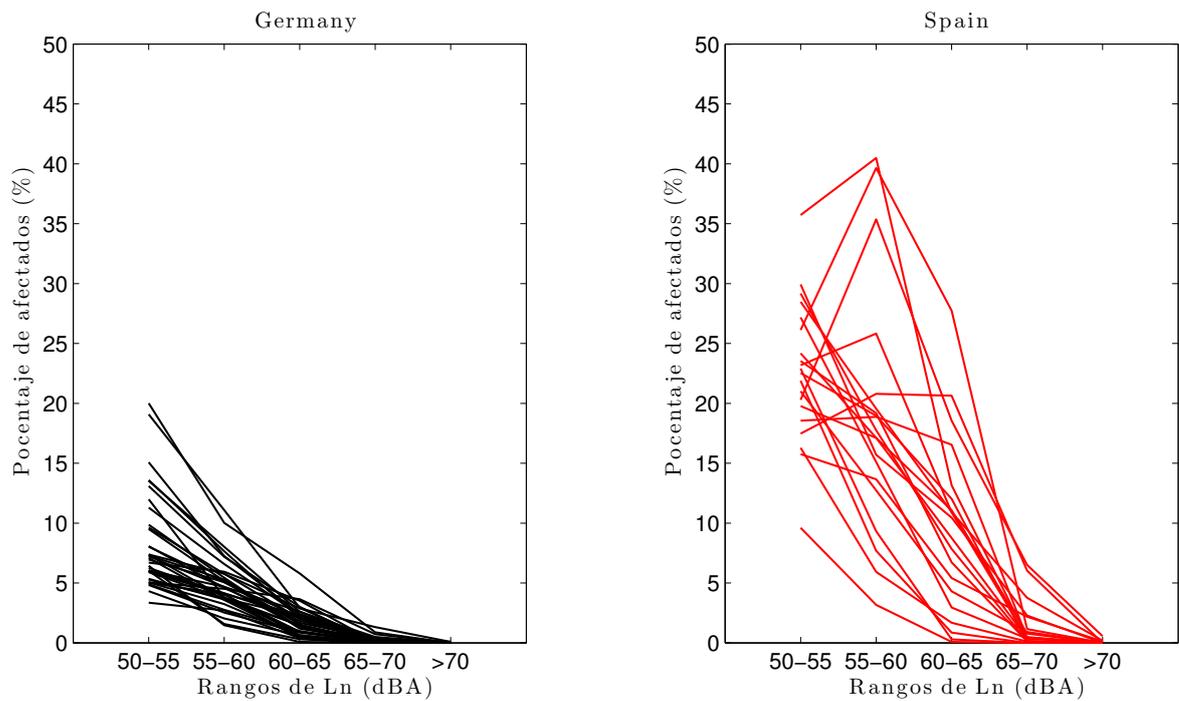


Fig 20: Comparación entre Alemania y España. Ruido de tráfico. L_n

En las aglomeraciones alemanas, en el rango de 55-60, existen diferencias notables, ya que hay aglomeraciones con un nivel de afección por encima del 20 %, en el L_{den} , y otras con niveles por debajo del 10 %. En el índice L_n sucede lo mismo pero con niveles de afección mucho menores. Estas diferencias de afección son notables pero ocurren en un rango donde la afección acústica no es crítica, como es el rango 55-60 y 50-55 del L_{den} y L_n , respectivamente. Luego, en los rangos de afección más altos los resultados se compactan y la afección cae, a partir del rango 65-70, en el L_{den} , casi todas las aglomeraciones tienen un nivel de afección menor al 10 % y sucede lo mismo en el L_n a partir del rango 60-65, con unos niveles de afección por debajo del 5 %.

En España, los niveles de afección entre las aglomeraciones no siguen una tendencia clara como en el caso de las aglomeraciones alemanas. Las disparidades son evidentes en el índice L_{den} , ya que hay aglomeraciones con el mayor porcentaje de afectados en el rango de 60-65 y otras aglomeraciones en el rango de 65-70. En el índice L_n se observa un poco más de homogeneidad que en el caso del índice L_{den} , aún así se aprecian aglomeraciones con altos niveles de afección en rangos superiores al 55-60.

Relación entre los niveles deafección y la densidad poblacional

A la vista de la gran cantidad de aglomeraciones se ha decidido estudiar la relación entre los niveles deafección y la densidad poblacional⁷.

La [figura 21](#) muestra la relación entre los niveles de L_{den} y la densidad (expresada en centenas). La recta de color rojo indica un ajuste polinómico de primer orden sobre los muestras. La pendiente de la recta es positiva en todos los casos, de manera que se podría pensar que a mayor densidad mayores niveles deafección pero esto no es así. A pesar de que la recta es positiva el valor de correlación (R^2) es muy bajo en todos los casos, indicando que gran parte de las muestras se alejan de la recta. Es por ello que no se puede concluir que a mayor densidad de población mayor nivel deafección en el índice L_{den} .

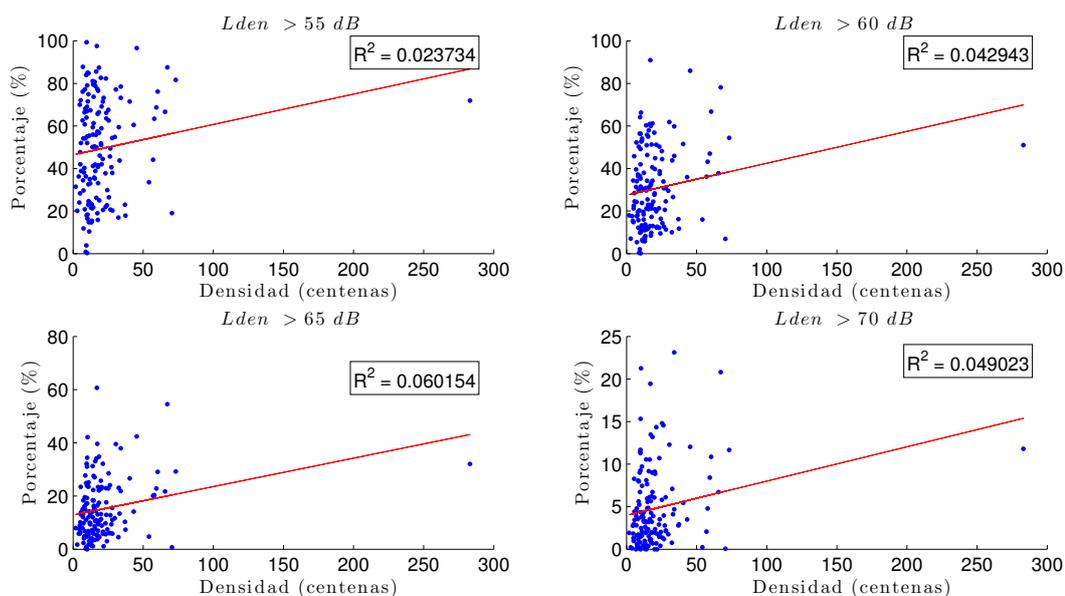


Fig 21: Relación entre los niveles deafección y densidad poblacional. L_{den}

El punto más alejado corresponde a la aglomeración de Cádiz, con una densidad poblacional aproximadamente de 28000 personas por km^2 . En la [figura 22](#) se muestra la relación entre los niveles de L_{den} y la densidad (expresada en centenas) excluyendo la aglomeración de Cádiz. La aglomeración de Cádiz se ha excluido porque al estar tan alejada de las otras muestras puede romper la monotonía del espacio muestral.

⁷Nota: la densidad población en este documento se expresa como personas/ km^2

Todas las pendientes disminuyen ligeramente y en los casos de L_{den} mayor a 55, 60 y 65 dBA el coeficiente de correlación aumenta ligeramente. En el caso de L_{den} mayor a 70 el coeficiente de correlación disminuye ligeramente. Por lo tanto, la conclusión sigue siendo la misma postulada anteriormente.

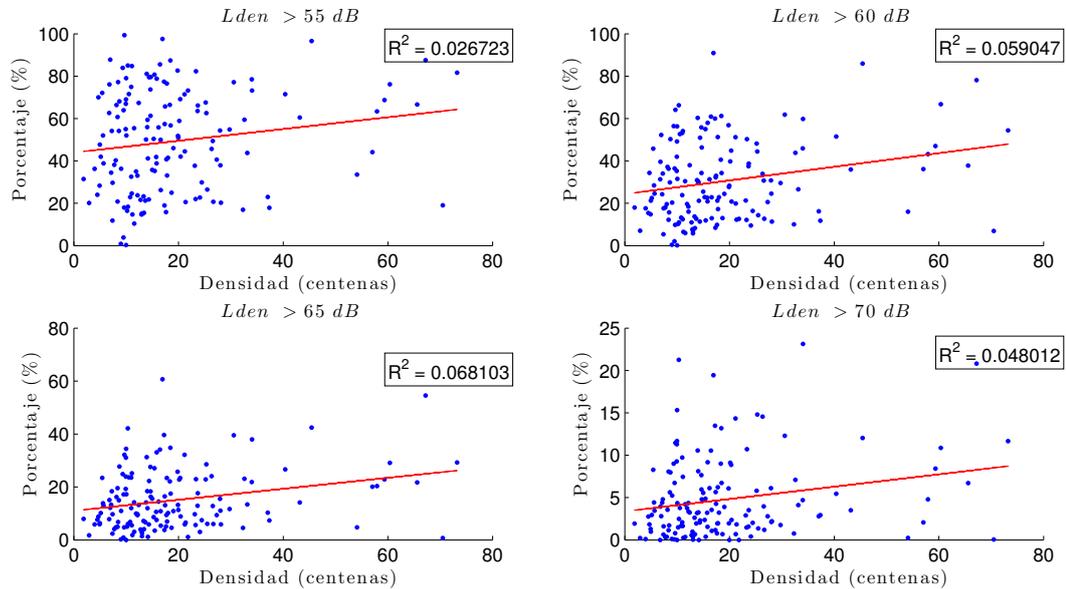


Fig 22: Relación entre los niveles de afectación y densidad poblacional (excluyendo la aglomeración de Cádiz) L_{den}

El experimento se ha repetido para el índice L_n . En la [figura 23](#) se aprecia la relación entre la densidad y los niveles de afectación del índice L_n . Los resultados son similares al índice L_{den} , tal vez con un ligero aumento del coeficiente de correlación. Si se excluye la aglomeración de Cádiz se observa, en la [figura 24](#), que las pendientes disminuyen y el coeficiente de correlación aumenta. El coeficiente de correlación más alto se obtiene cuando los valores de L_n son superiores a 55 dBA, con 0.11.

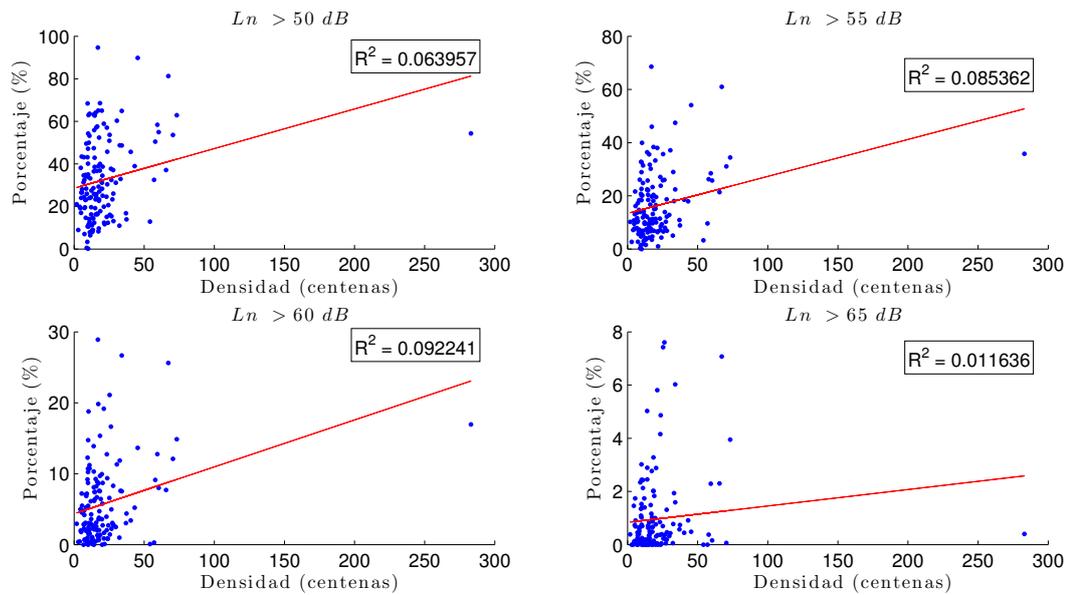


Fig 23: Relación entre los niveles deafección y densidad poblacional. L_n

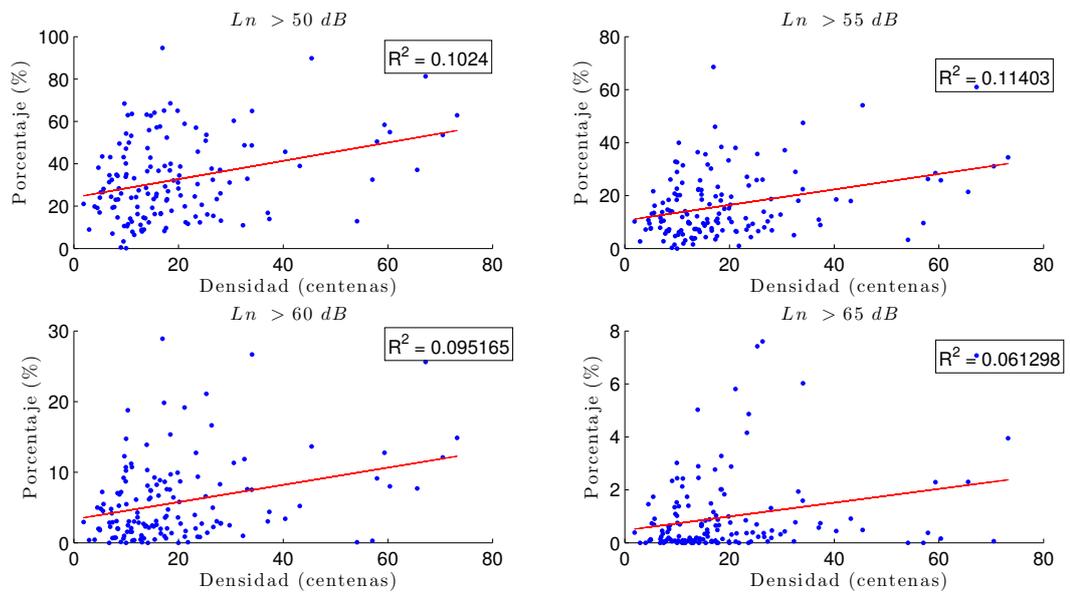


Fig 24: Relación entre los niveles deafección y densidad poblacional (excluyendo la aglomeración de Cádiz) L_n

De los resultados se concluye que no hay una relación definitiva entre la densidad y los niveles deafección del L_{den} y L_n . Aunque las pendientes, en todos los casos, son positivas y puedan indicar que a mayor densidad mayor nivel deafección, los niveles de correlación son prácticamente nulos en todos los casos.

8.2. Ruido Ferroviario

En la [tabla 22](#) se puede observar las aglomeraciones de cada país en las que se ha hecho el estudio de ruido ferroviario. En total son 16 países y 128 aglomeraciones, siendo Alemania, Polonia y España los países que aportan más aglomeraciones.

Tabla 22: Aglomeraciones Europeas. Ruido Ferroviario

País	Aglomeraciones
Austria	Graz, Linz, Innsbruck, Salzburg
Bélgica	Brugge
Bulgaria	Burgas, Ruse, Plevan
Dinamarca	Kobenhavnsområdet, Arhus, Odense, Aalborg
Estonia	Tallinn, Tartu
Finlandia	Helsinki, Espoo, Tampere, Vantaa, Turku, Oulu, Lahti, Kauniainen
Francia	Angers, Besancon, Dijon, La Rochelle, Poitiers, Reims, Thionville, Troyes
Alemania	Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe, Freiburg, Heidelberg, Heilbronn, Ulm, Berlin, Potsdam (Kerngebiet), Hansestadt Rostock, Düsseldorf, Bonn, Bergisch Gladbach, Bottrop, Gelsenkirchen, Saarbrücken, Dresden, Leipzig, Chemnitz, Halle (Saale)
Irlanda	Dublin, Cork
Lituania	Vilnius, Kaunas, Klaipeda, Siauliai, Panevezys
Luxemburgo	Luxembourg
Noruega	Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger, Fredrikstad
Polonia	Bydgoszcz, Gdansk, Krakow, Warszawa, Lodz, Lublin, Bielsko-Biala, Bytom, Chorzow, Czestochowa, Dąbrowa Gornicza, Elblag, Gdynia, Gliwice, Gorzow Wielkopolski, Koszalin, Legnica, Olsztyn, Opole, Plock, Ruda Slaska, Rybnik, Rzeszow, Sosnowiec, Torun, Wloclawek, Zabrze, Zielona Gora, Poznan, Kalisz, Kielce, Tychy
Rumania	Oradea, Galati
España	A Coruña, Albacete, Alcobendas, Alicante, Almería, Badajoz, Burgos, Cádiz, Cartagena, Castellón de la Plana, Comarca de Pamplona, Elche, Leganés, León, Móstoles, Murcia, Salamanca, San Sebastián - Donostia, Valencia, Vitoria - Gasteiz
Suiza	Winterthur, Zurich, Bern, Olten-Zofingen, Baden-Brugg, Lausanne, Geneva, Lucerne, Basel, St. Gallen, Lugano

En general, el porcentaje de afectados debido al ruido ferroviario es muy pequeño. Debido a la gran cantidad de aglomeraciones se ha calculado la media y desviación de todas las aglomeraciones correspondientes a cada país, utilizando el indicador L_n por encima de 50 dBA y el indicador L_{den} por encima de 60 dBA, de esta manera se obtiene

un resultado global de la afección por países. Los resultados se muestran en la [figura 25](#), donde los países están ordenados de menor a mayor afección teniendo en cuenta el índice L_n . El país que presenta el menor número de personas afectadas es Bulgaria, que tiene 3 aglomeraciones, y el país con mayor número de afectados es Suiza, que tiene 11 aglomeraciones.

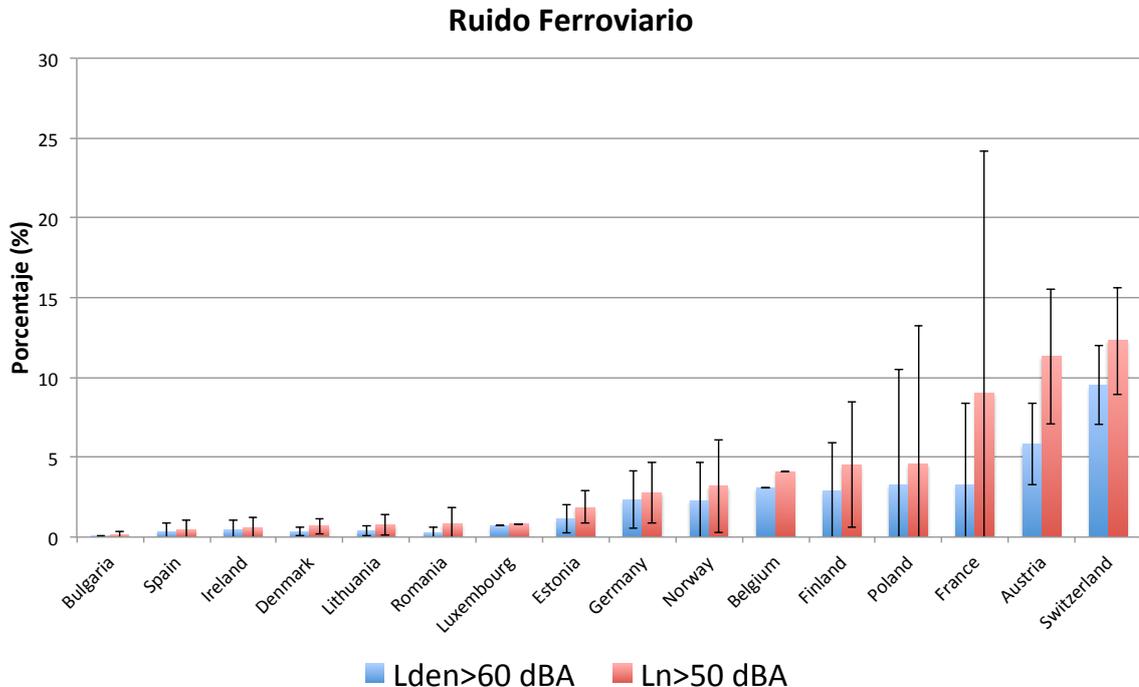


Fig 25: Porcentaje de afectados en las aglomeraciones europeas debido al ruido ferroviario

En los países Suiza, Austria y Francia encontramos que más del 5% de la población están afectadas por niveles mayores a 50 dBA en el L_n . De hecho, tanto Suiza como Austria tienen más del 10% de la población en esa situación. También, se puede apreciar la alta dispersión de los resultados de Francia debido a que tienen aglomeraciones que prácticamente no tienen afección por ruido ferroviario y por otra parte existen aglomeraciones con mucha afección al ruido ferroviario.

Continuando con el indicador L_n , es necesario hacer mención especial a España, ya que con 20 aglomeraciones tiene un porcentaje de afección muy pequeño, casi nulo. Además, presenta una dispersión muy baja indicando que los resultados son homogéneos en todas las aglomeraciones españolas.

Con respecto al indicador L_{den} podemos observar que Suiza sigue teniendo el mayor

nivel deafección. Por otro lado, es llamativo la gran diferencia que existe entre el L_n y L_{den} en Francia y Austria, mientras que en el resto de países la diferencia entre L_n y L_{den} no es muy alta.

8.3. Ruido Industrial

En la [tabla 23](#) se puede observar las aglomeraciones de cada país en las que se ha hecho el estudio de ruido industrial. En total son 14 países y 119 aglomeraciones, siendo Alemania, Polonia y España los países que aportan más aglomeraciones.

Tabla 23: Aglomeraciones Europeas. Ruido Industrial

País	Aglomeraciones
Austria	Graz, Linz, Innsbruck
Bélgica	Brugge
Bulgaria	Burgas, Ruse, Pleven
Dinamarca	Kobenhavnsomradet, Arhus, Odense, Aalborg
Estonia	Tallinn, Tartu
Finlandia	Helsinki, Espoo, Tampere, Vantaa, Turku, Oulu, Lahti, Kauniainen
Francia	Dijon, La Rochelle, Poitiers, Reims, Thionville, Troyes
Alemania	Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe, Freiburg, Heilbronn, Ulm, Pforzheim, Reutlingen, Berlin, Potsdam (Kerngebiet), Hansestadt Rostock, Hannover, Braunschweig, Osnabrück, Oldenburg, Göttingen, Hildesheim, Düsseldorf, Bonn, Aachen, Bergisch Gladbach, Bottrop, Gelsenkirchen, Leverkusen, Münster, Saarbrücken, Dresden, Leipzig, Chemnitz, Kiel, Lübeck
Islandia	Reykjavik
Lituania	Vilnius, Kaunas, Klaipeda, Siauliai, Panevezys
Noruega	Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger, Fredrikstad
Polonia	Bydgoszcz, Gdansk, Krakow, Warszawa, Lodz, Lublin, Bielsko- Biala, Bytom, Chorzow, Czestochowa, Dąbrowa Gornicza, Elblag, Gdynia, Gliwice, Gorzow Wielkopolski, Koszalin, Legnica, Olsztyn, Opole, Plock, Ruda Slaska, Rybnik, Rzeszow, Sosnowiec, Torun, Wloclawek, Zabrze, Zielona Gora, Poznan, Kalisz, Kielce, Tychy
Rumania	Oradea, Galati
España	A Coruña, Albacete, Alcobendas, Almería, Badajoz, Burgos, Cádiz, Castellón de la Plana, Comarca de Pamplona, Leganés, León, Móstoles, Murcia, Salamanca, San Sebastián - Donostia, Valencia

Como en el caso de ruido ferroviario el ruido industrial produce un bajo porcentaje de personas afectadas. Se ha calculado la media y el error de todas las aglomeraciones

de cada país, los resultados se muestran en la [figura 26](#), donde los países están ordenados de menor a mayor afección.

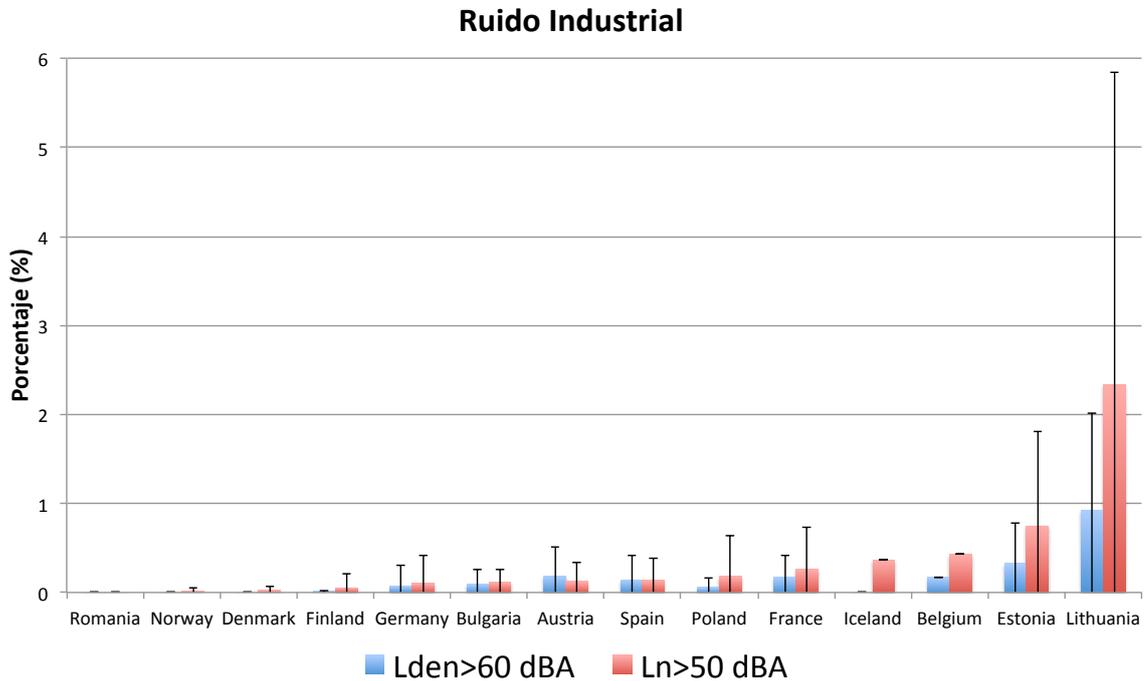


Fig 26: Porcentaje de afectados en las aglomeraciones europeas debido al ruido industrial

El país que más afección tiene es Lituania, que cuenta con 5 aglomeraciones. En el índice L_n más del 2% de la población está por encima de 50 dBA, aunque lo notable es la alta dispersión que se muestra, tanto en el índice L_n como en el L_{den} . Esta alta dispersión se debe a que la aglomeración de Klaipeda presenta un 8.5% de afección en el L_n por encima de 50 dBA, y el resto de aglomeraciones Lituanas no superan el 2% de afección.

Países como España, Alemania o Polonia presentan unos porcentajes de afección muy bajos, a pesar de tener una gran cantidad de aglomeraciones.

8.4. Ruido Total

En la [tabla 24](#) se puede observar las aglomeraciones de cada país en las que se ha hecho el estudio de ruido total. En total son 5 países y 27 aglomeraciones, siendo España el país que más aglomeraciones aporta. Es importante destacar que son pocos los países que han hecho el cálculo de ruido total en la aglomeraciones.

Tabla 24: Aglomeraciones Europeas. Ruido Total

País	Aglomeraciones
Bulgaria	Burgas, Ruse, Pleven
Estonia	Tallinn, Tartu
Islandia	Reykjavik
Lituania	Kaunas
España	A Coruña, Albacete, Alcobendas, Alicante, Almería, Badajoz, Burgos, Cádiz, Cartagena, Castellón de la Plana, Comarca de Pamplona, Elche, Leganés, León, Móstoles, Murcia, Salamanca, San Sebastián - Donostia, Valencia, Vitoria - Gasteiz

La media y el error del porcentaje de afectados en los índices L_n y L_{den} de todas las aglomeraciones de cada país se muestra en [figura 27](#). Los países están ordenados de menor a mayor afección.

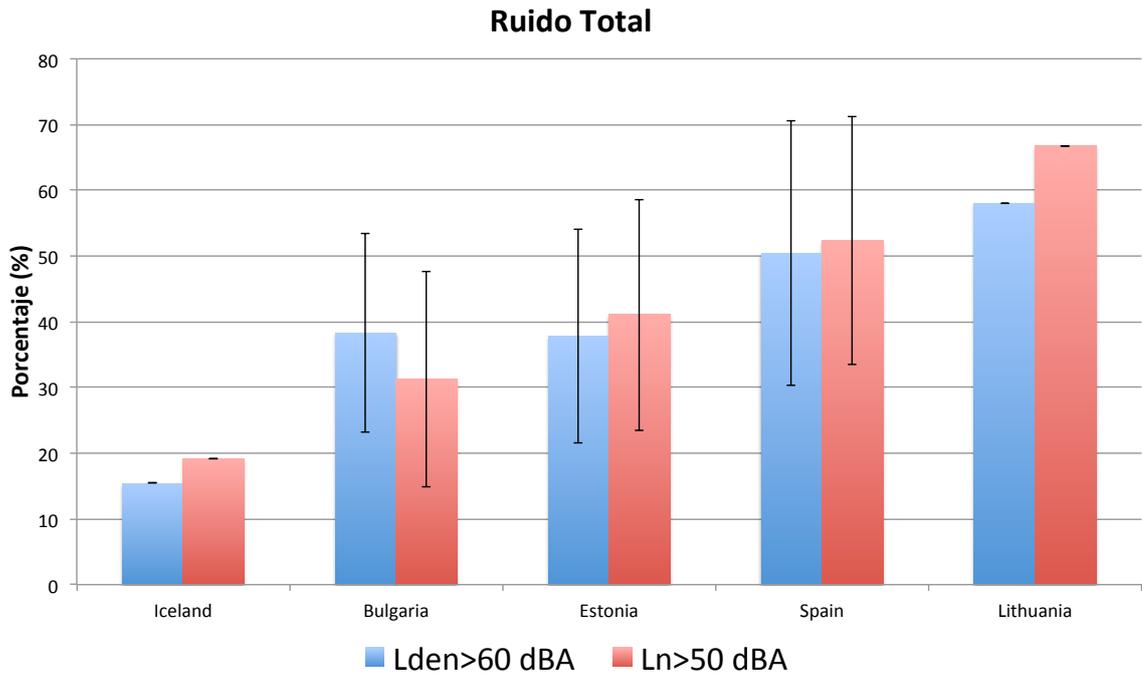


Fig 27: Porcentaje de afectados en las aglomeraciones europeas debido al ruido total

Como era de esperar los resultados no difieren mucho de los obtenidos en el ruido de tráfico. La única diferencia notable es el caso de Lituania, país con mayor porcentaje de afectados, que presenta un porcentaje de afectados tanto en el L_n y L_{den} mayor que el obtenido en el ruido de tráfico. La diferencia se debe principalmente a que el ruido total solo se ha calculado en una sola aglomeración: Kaunas, mientras que en el ruido de tráfico el cálculo se ha hecho para cinco aglomeraciones.

8.5. Ruido en Grandes Aeropuertos

En conformidad con la Directiva 2002/49/CE los grandes aeropuertos con más de 50.000 movimientos al año deben realizar los mapas estratégicos de ruido. Se presentan los resultados, en la [tabla 25](#), de los niveles deafección de 28 grandes aeropuertos europeos.

Tabla 25: Ruido en grandes aeropuertos europeos. Número de personas afectadas

País	ICAO	Mov / año	Lden>60 dBA	Ln>50 dBA
Austria	LOWW (Aut)	246157	800	1100
Dinamarca	EKCH (Dk)	258356	400	500
Dinamarca	EKRK (Dk)	68217	0	0
Dinamarca	EKBI (Dk)	57225	0	0
Finlandia	EFHK (Fi)	185000	1900	3700
Alemania	EDDS (Ger)	164736	7500	5700
Alemania	EDDB (Ger)	76607	2100	4200
Alemania	EDDF (Ger)	200583	71800	126300
Alemania	EDDV (Ger)	86000	4500	4900
Alemania	EDDK (Ger)	135938	10100	22000
Alemania	EDDL (Ger)	225089	13100	7400
Alemania	EDDP (Ger)	50972	2600	8500
Alemania	EDDH (Ger)	158076	0	0
Noruega	ENGM (Nor)	231339	600	800
Noruega	ENZV (Nor)	82000	100	0
Noruega	ENBR (Nor)	55474	1500	1900
Noruega	ENVA (Nor)	103200	500	600
Polonia	EPWA (Pol)	138605	300	400
Romania	LROP (Rom)	76966	100	200
España	LEMD (Spa)	429390	2900	2700
España	LEBL (Spa)	303054	400	400
España	LEPA (Spa)	180152	1300	1000
Suiza	LSZH (Swi)	279001	0	0
Suiza	LSGG (Swi)	189121	0	0
Letonia	EVRA (Lat)	72855	0	0
Suecia	ESGG (Swe)	69000	180	208
Suecia	ESSA (Swe)	213000	93	262
Suecia	ESSB (Swe)	67900	660	0

Los aeropuertos alemanes son los que presentan mayores niveles deafección. El aeropuerto de Frankfurt (EDDF) es el que presenta los mayores niveles deafección, 71800 personas tienenafección a niveles L_{den} superiores a 60 dBA y 126300 tienenafección a niveles L_n superiores a 50 dBA. Estos niveles deafección están muy distanciados de los resultados presentados por el resto de aeropuertos.

Resulta llamativo observar grandes aeropuertos como el de Suiza (LSZH-Zurich) con más de 270.000 operaciones al año y no tener afección alguna.

Observando los resultados de afección está claro que el número de operaciones o movimientos al año de los aeropuertos no parece influir directamente en los niveles de afección. Las variables que pueden influir en la afección por ruido aeroportuario son: cercanía de las viviendas al aeropuerto, trayectoria de los aviones (tanto en aterrizaje como despegue), tipo de aeronaves, y otras más. Obviamente, si dos aeropuertos no están muy alejados de la población, poseen similares trayectorias de vuelos y son frecuentados por los mismos tipos de aeronaves aquel que tenga mayor número de operaciones al año debería tener mayor nivel de afección.

Por lo tanto, para evaluar detalladamente los niveles de afección producidos por un aeropuerto es necesario un conocimiento completo de las características de dicho aeropuerto.

9. Comparaciones entre Fase I y Fase II

En conformidad con la Directiva 2002/49/CE las aglomeraciones que han realizado los mapas estratégicos de ruido en la primera fase (2007) deben actualizar los mapas cada 5 años. Es decir, los mapas estratégicos de la primera fase se deben realizar nuevamente en la segunda fase. De las 147 aglomeraciones europeas estudiadas 31 de ellas pertenecen al colectivo de la primera fase. Por lo tanto, 31 aglomeraciones tienen mapas estratégicos de ruido de primera y segunda fase.

Esta situación hace interesante realizar un estudio comparativo entre los resultados de la primera fase y segunda fase de aquellas aglomeraciones que tienen resultados en ambas fases.

Ruido de tráfico

En la [tabla 26](#) se aprecia las aglomeraciones europeas con resultados en primera y segunda fase. En dicha tabla se puede observar la cantidad de población y área de la aglomeración, en ambas fases.

Con relación al área la única diferencia significativa, entre la segunda y primera fase, se encuentra en la aglomeración de Copenhagen con 270 km^2 de diferencia. En el resto de aglomeraciones la superficie se mantiene casi constante.

Existe una variación de la población en casi todas las aglomeraciones. En algunos casos se aprecia una disminución de la población con respecto a la primera fase y en otros un aumento. La menor diferencia está en la aglomeración de Vilnius con solo 196 personas más en la segunda fase respecto a la primera fase. La mayor diferencia se encuentra en la aglomeración de Krakow (Cracovia) con 655.000 personas menos en la segunda fase respecto a la primera fase. Dicha diferencia se debe a que el mapa estratégico de ruido elaborado en la primera fase evaluaba la zona metropolitana de Krakow, en la segunda solo se evalúa la ciudad.

Tabla 26: Aglomeraciones con MER Fase I y Fase II

País	Aglomeración	Fase I		Fase II	
		Habitantes	Area (km^2)	Habitantes	Area (km^2)
Dinamarca	Copenhagen	1071714	400.0	1163000	670.0
Estonia	Tallinn	401140	159.2	406703	159.2
Finlandia	Helsinki	560905	186.0	570578	215.0
Alemania	Aachen	256486	161.0	260454	161.0
Alemania	Berlin	3332249	889.0	3460725	892.0
Alemania	Bonn	311231	141.0	327913	141.0
Alemania	Dresden	456000	150.0	495800	186.0
Alemania	Düsseldorf	571150	217.0	592393	217.0
Alemania	Gelsenkirchen	271267	105.0	256652	105.0
Alemania	Hannover	555862	238.0	520000	204.0
Alemania	Karlsruhe	300134	173.0	288917	174.0
Alemania	Kiel	292933	188.6	253319	189.0
Alemania	Leipzig	350000	132.0	522882	297.0
Alemania	Stuttgart	600700	211.0	581858	207.0
Irlanda	Dublin	1150000	1163.0	1273100	908.0
Lituania	Kaunas	378943	156.9	311148	157.0
Lituania	Vilnius	553904	400.4	554100	401.0
Noruega	Oslo	822800	-	906318	1003.0
Polonia	Bydgoszcz	355085	179.0	357650	176.0
Polonia	Gdansk	459072	262.0	456591	262.0
Polonia	Gdynia	253193	135.0	247859	135.1
Polonia	Krakow	1410000	327.0	755000	326.8
Polonia	Lodz	764100	294.0	742387	293.3
Polonia	Lublin	353500	147.0	349440	147.5
Polonia	Poznan	564035	216.0	554221	261.9
Polonia	Warsaw	1700536	512.0	1714446	517.2
Romania	Galati	298861	241.5	292898	246.0
España	Alicante	320021	40.0	328441	46.6
España	Murcia	436000	881.1	442064	886.0
España	Pamplona	280199	127.4	317142	134.1
España	Valencia	807396	134.7	799188	134.7

En la figura 28 y figura 29 se puede observar los porcentajes de afectados tanto en la fase I como en la fase II de los índices L_{den} y L_n , respectivamente. Los resultados son interesantes, en algunos casos se observa una diferencia de afectados muy grande entre las dos fases, mientras que en otros casos el porcentaje de afectados se ha mantenido constante. Hay que destacar que estas gráficas ofrecen una visión global de la afección en ambas fases, si se desea una comparación más detallada de los niveles de afección es necesario ir directamente a los rangos, de 5 dB de diferencia, del L_{den} y L_n .

En las aglomeraciones de **Tallin**, **Aachen**, **Kaunas**, **Lodz** y **Poznan**, hay un elevado porcentaje de afección en la segunda fase respecto de la primera, tanto en el

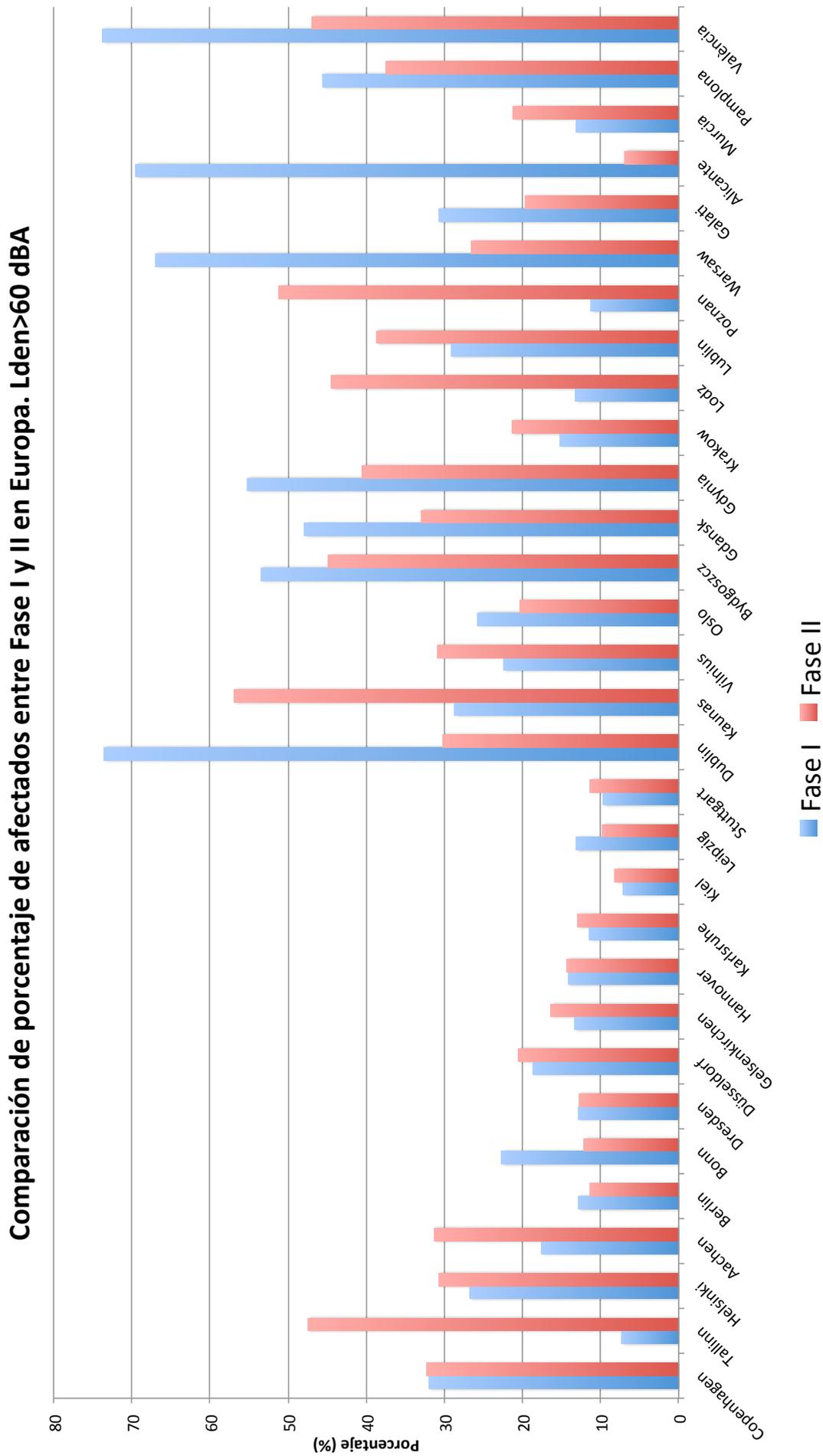


Fig 28: Comparación de porcentajes de afectados entre fase I y II, en aglomeraciones Europeas. Lden

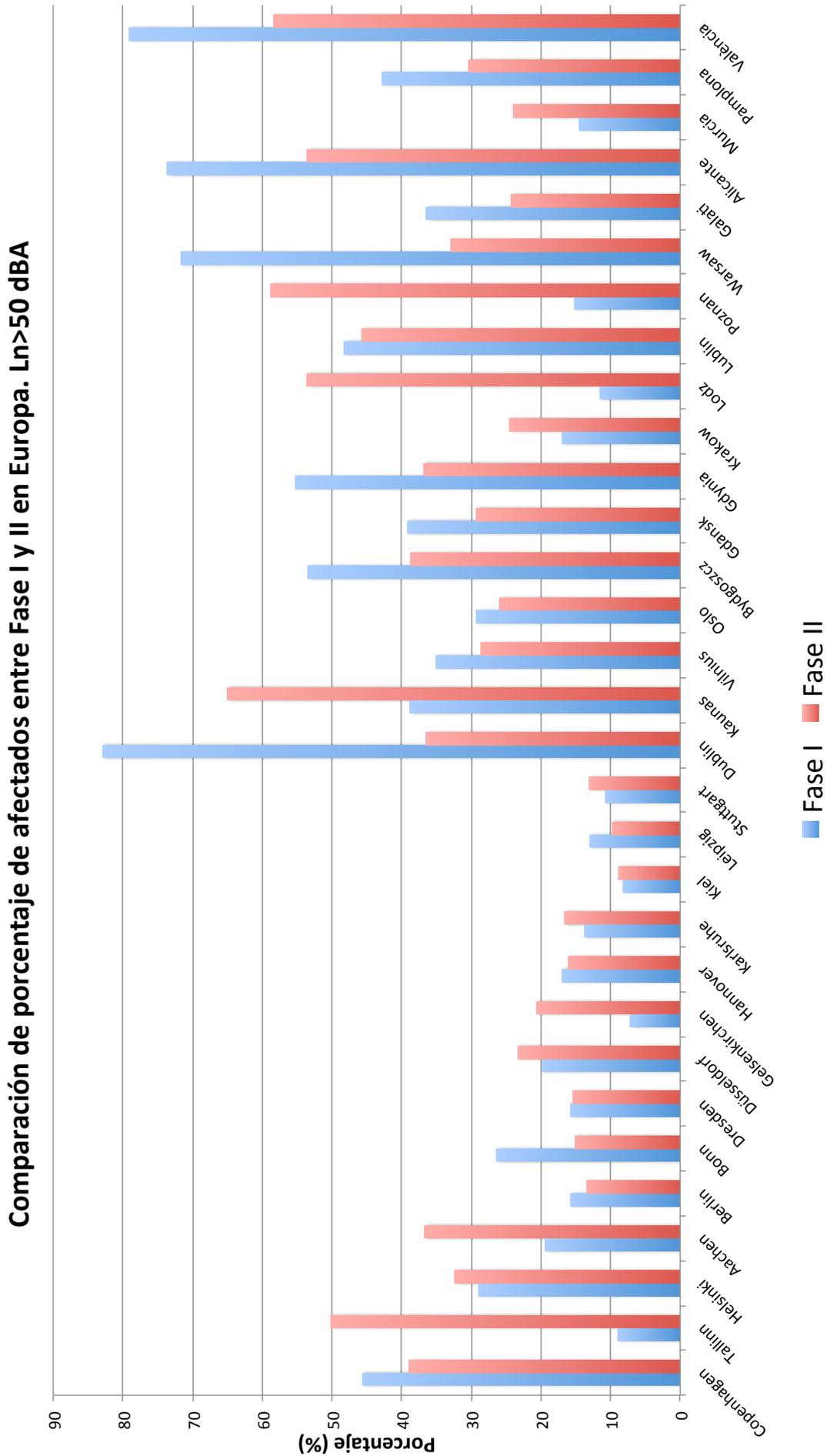


Fig 29: Comparación de porcentajes de afectados entre fase I y II, en aglomeraciones Europeas. Ln

índice L_{den} como en el L_n . En **Tallin** la diferencia es abrumadora, en la primera fase menos del 10 % de las personas estaban afectadas por niveles superiores a 50 dBA en el periodo nocturno, mientras que en la segunda fase el 50 % de las personas están afectadas en ese mismo rango del L_n . Esta situación se repite en las aglomeraciones antes mencionadas.

Se puede pensar que el incremento del porcentaje de personas afectadas podría estar relacionado con el incremento de la población, pero si la población aumenta y los niveles de ruido se mantienen el porcentaje de afección no debería aumentar. También, es posible que el incremento de afectados sea debido a que realmente el ruido ha aumentado en dichas aglomeraciones, pero que el ruido haya aumentado tanto, en un periodo de 5 años, como para que el nivel de afectados se duplique parece cuestionable. Una explicación a tal diferencia entre ambas fases puede ser que se haya subestimado el porcentaje de afectados en la primera fase, por ejemplo, si solo se ha hecho el mapa estratégico de ruido, en la primera fase, considerando algunas calles y no todas.

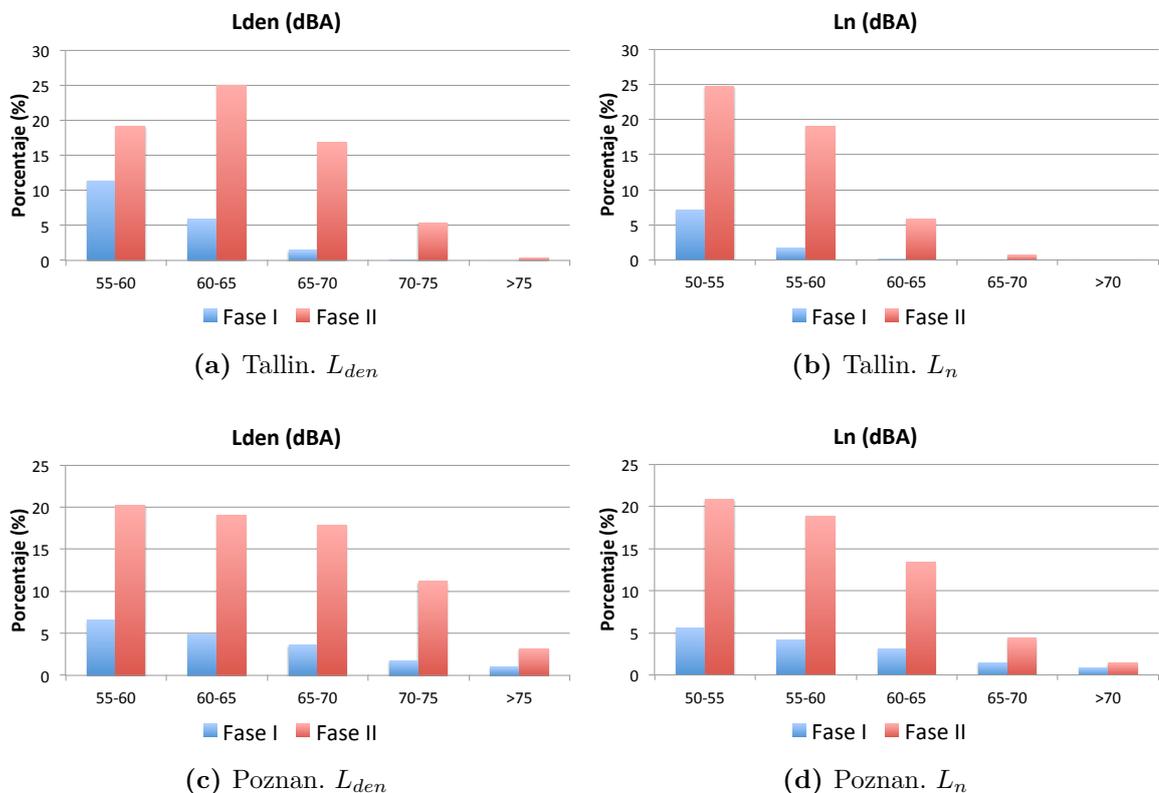


Fig 30: Aglomeraciones de Tallin y Poznan. Comparaciones entre fase I y II.

En la ciudad de **Gelsenkirchen** cambian drásticamente los niveles de afección entre

la primera fase y la segunda, aumentando el número de afectados del 7% al 20% en el índice L_n . Sin embargo, este cambio no es tan apreciable en el índice L_{den} , ya que el porcentaje de afectados aumenta del 13 al 16%. Esto podría llevar a pensar que, en efecto en el periodo nocturno ha ocurrido un aumento del ruido, pero que tanto en el periodo de tarde como en el periodo diurno el ruido ha disminuido.

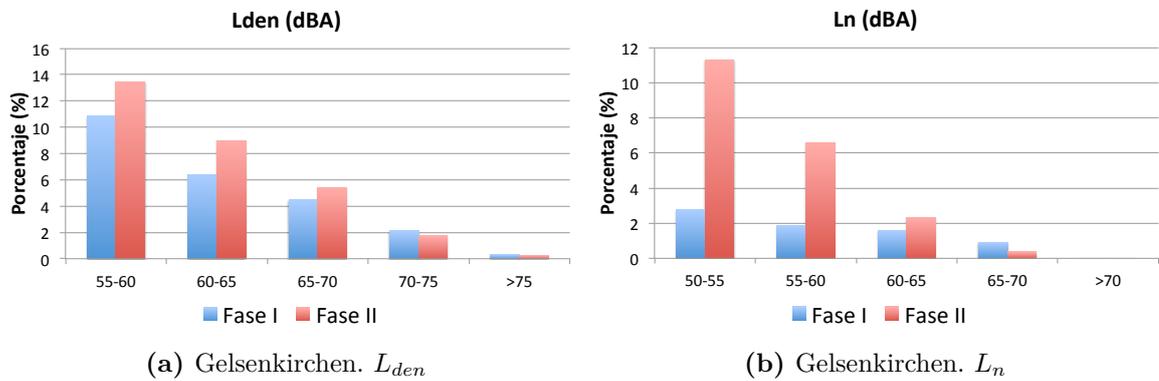


Fig 31: Aglomeración de Gelsenkirchen. Comparaciones entre fase I y II.

En las aglomeraciones de **Murcia** y **Krakow**, aunque el porcentaje no ha aumentado tanto como en las aglomeraciones antes mencionadas, el porcentaje de afectados se ha elevado considerablemente. En Murcia, en la primera fase el porcentaje de afectados era del 14% en niveles superiores a 50 dBA y en la segunda fase el número de afectados ha aumentado al 20%. En Krakow ocurre la misma situación y la tendencia se repite para el índice L_{den} .

En **Vilnius** y **Lublin** el porcentaje de afectados ha disminuido en la segunda fase respecto de la primera en el L_n , pero en el L_{den} ha aumentado el porcentaje de afectados. Esto puede ser debido a un aumento del ruido en los periodos de tarde y de día.

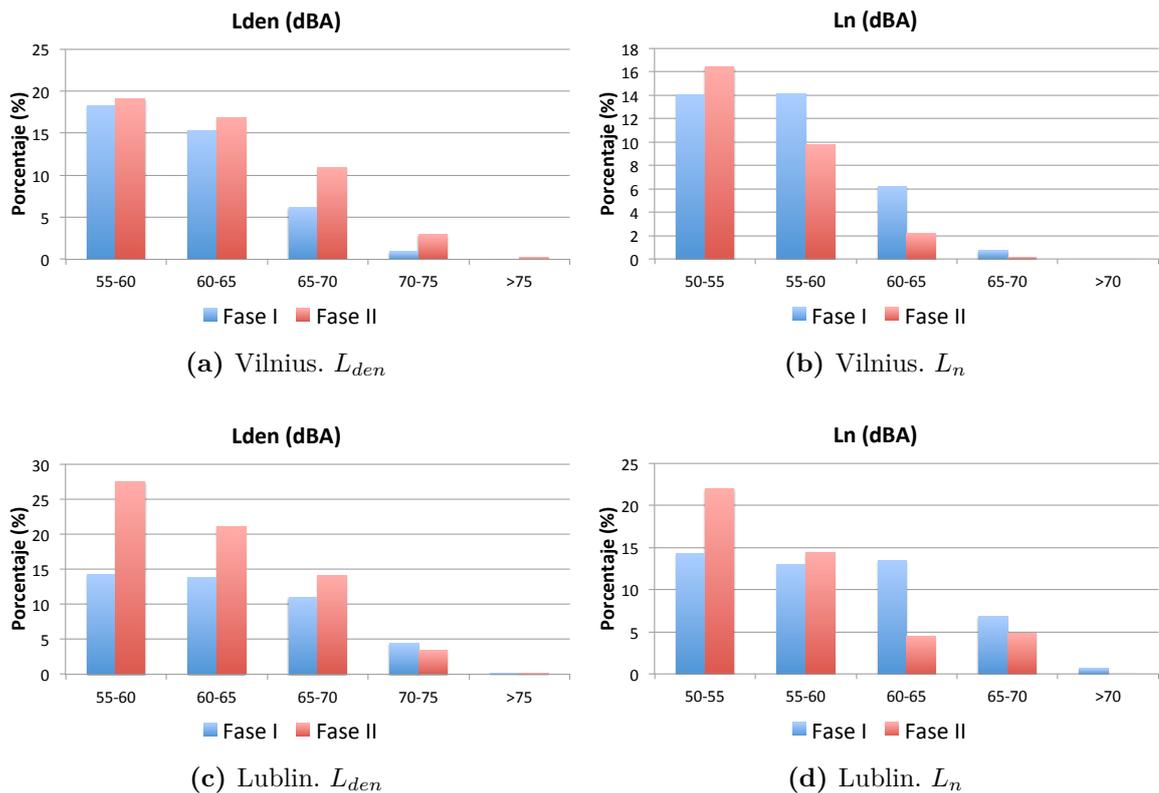


Fig 32: Aglomeraciones de Vilnius y Lublin. Comparaciones entre fase I y II.

En las aglomeraciones de **Helsinki**, **Dusseldorf**, **Karlsruhe**, **Kiel** y **Stuttgart** los niveles deafección aumentan en la segunda fase respecto de la primera, pero en menor medida si se compara con las aglomeraciones anteriores.

En aquellas ciudades donde ha aumentado el nivel deafección se evidencia una mala gestión del ruido. Se podría pensar que en dichas aglomeraciones no se han llevado a cabo planes de acción, o los planes de acción llevados a cabo han sido ineficientes. Otra posible explicación puede ser cambios significativos en la metodología de cálculo.

En **Bonn**, **Dublin** y **Varsovia** (Warsaw) los niveles deafección disminuyen notablemente. En Dublin y Varsovia los niveles deafección disminuyen a más del 50% de afectados. En Dublin el porcentaje de afectados a niveles superiores de 50 dBA de L_n en la primera fase era de más del 80%. En la segunda fase ese valor cae al 36% de personas afectadas. Esto se aprecia de igual manera en el índice L_{den} . En Varsovia la variación del porcentaje de afectados entre primera y segunda fase es similar al caso de Dublin. En Bonn los niveles deafección también disminuyen pero en menor medida comparado con Dublin o Varsovia.

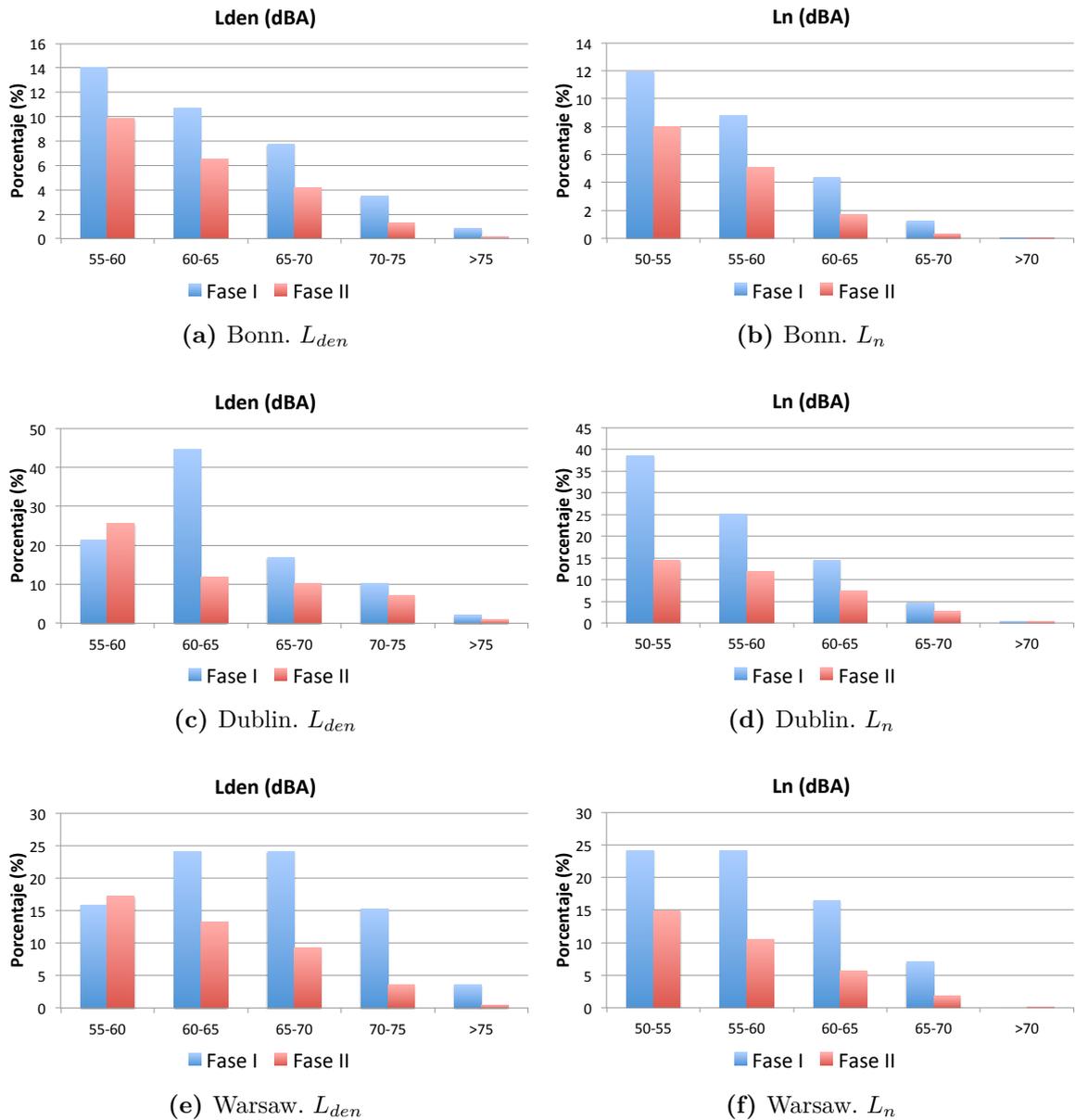


Fig 33: Aglomeraciones de Bonn, Dublin y Varsovia. Comparaciones entre fase I y II.

En Bonn se observa una caída de los porcentajes de afección proporcional en todos los rangos de L_{den} y L_n . Esta disminución de los niveles puede ser el producto de un plan de acción bien llevado a cabo.

En Dublin, en el índice L_{den} el nivel de afección tiene una gran disminución en el rango 60-65, disminuye del 45% de afectados al 12%. El rango 55-60 aumenta ligeramente, probablemente porque parte de la afección haya migrado del rango 60-65 al 55-60. Lo que si queda claro es que el cambio significativo ha ocurrido en el rango 60-65. En el índice L_n la reducción ha sido general en todos los rangos, sobretodo en

el rango 50-55.

En Varsovia la disminución predominante, en el índice L_{den} , ocurre en los rangos 60-65 y 65-70. Al igual que la aglomeración de Dublin, la afección en el rango 55-60 aumenta ligeramente y sea debido a una pequeña migración de afectados del rango 60-65 al 55-60. En el índice L_n la disminución de afectados es evidente en el rango 55-60. Aún así, la disminución es proporcional en todos los rangos, tanto del L_{den} y L_n .

Se observa que en Bonn y Varsovia la afección en cada rango disminuye de manera proporcional (excepto en el rango 55-60 del L_{den} de Varsovia). En cambio, en Dublin la disminución de la afección es muy local y ocurre, principalmente, en el rango 60-65 en el L_{den} y 50-55 en el L_n .

Las ciudades polacas **Bydgoszcz**, **Gdansk** y **Gdynia** tienen menores niveles de afección en la segunda fase respecto de la primera, tanto el L_{den} por encima de 60 dBA como en el L_n por encima de 50 dBA. Esa disminución de afección ocurre, principalmente, en los rangos inferiores al 65-70 del L_{den} e inferiores al 60-65 del L_n .

Por ejemplo, en la aglomeración de Bydgoszcz se aprecia un aumento de la afección por encima de 70 dBA en el L_{den} y por encima de 65 en el L_n . En Gdansk y Gdynia ocurre lo mismo.

Esto indica que a pesar que el nivel de afección ha disminuido por encima de 60 dBA en el L_{den} y 50 dBA en el L_n , ha ocurrido un ligero aumento en rangos superiores, tanto en L_{den} como en L_n . Este aumento, aunque ligero, son personas afectadas (que antes no lo estaban) en rangos críticos del L_{den} y L_n .

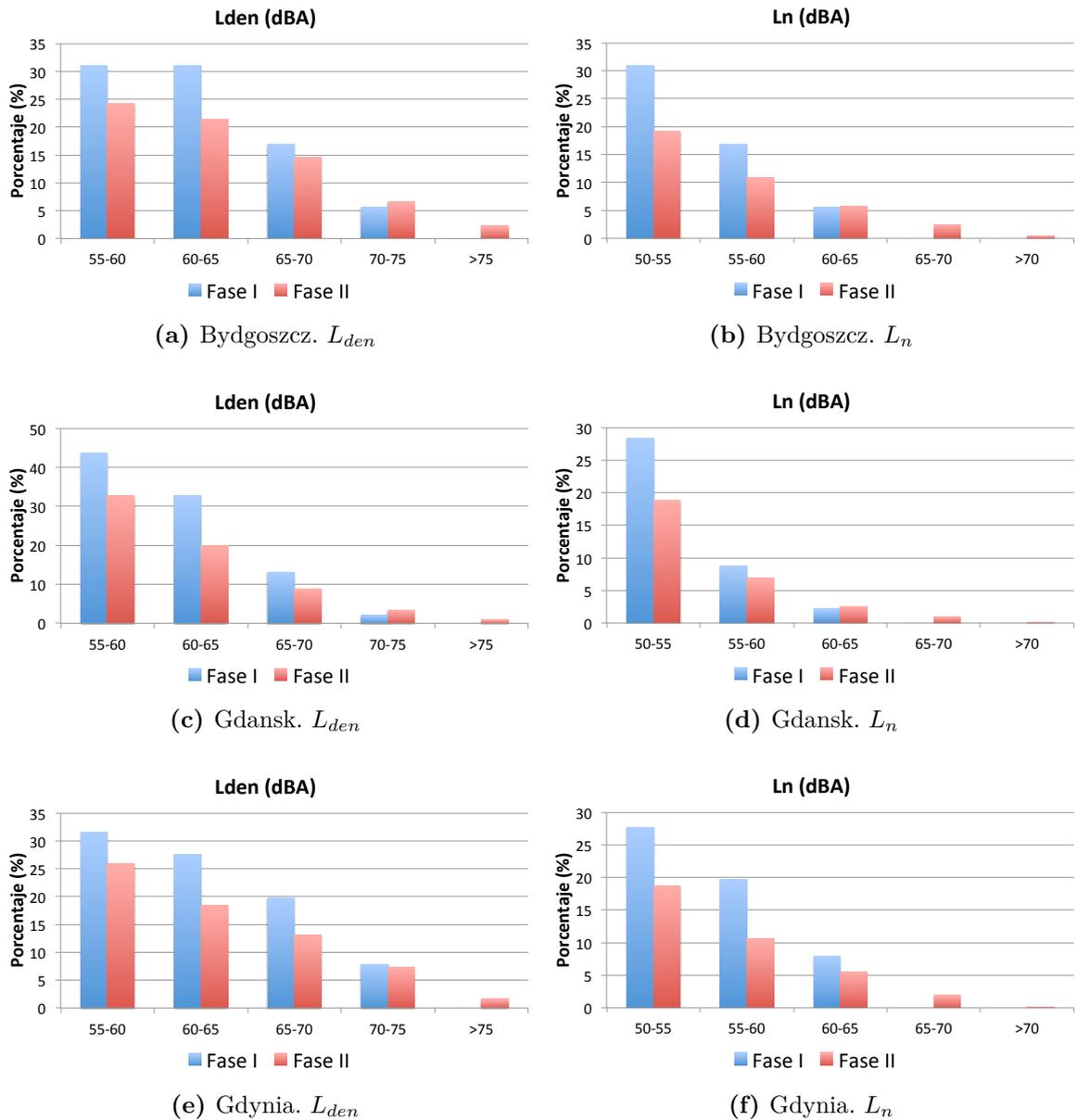


Fig 34: Aglomeraciones de Bydgoszcz, Gdansk y Gdynia. Comparaciones entre fase I y II.

En **Pamplona** el nivel de afección aumenta ligeramente en el rango 55-60 del L_{den} pero en el resto disminuye. Este se debe a que parte de las personas afectadas en rangos superiores hayan pasado al rango de 55-60. En el índice L_n si se aprecia una disminución general de la afección.

La ciudad de **Valencia** presenta una disminución pronunciada del nivel de afección en el rango 60-65 del índice L_{den} , en ese rango se ha pasado del 40 % de afección a menos del 25 %. En el rango 65-70 también se observa una disminución elevada, pero en los niveles superiores a 70 dBA los niveles de afección se han mantenido casi constantes.

Observando el índice L_n , la mayor disminución ocurre en el rango 55-60 pero en los niveles superiores a 60 dBA los niveles, aunque muy poco, han aumentado. Por ejemplo, en el rango 60-65 el nivel de afección en la primera fase era de 9.3% y en la segunda de 10.5%.

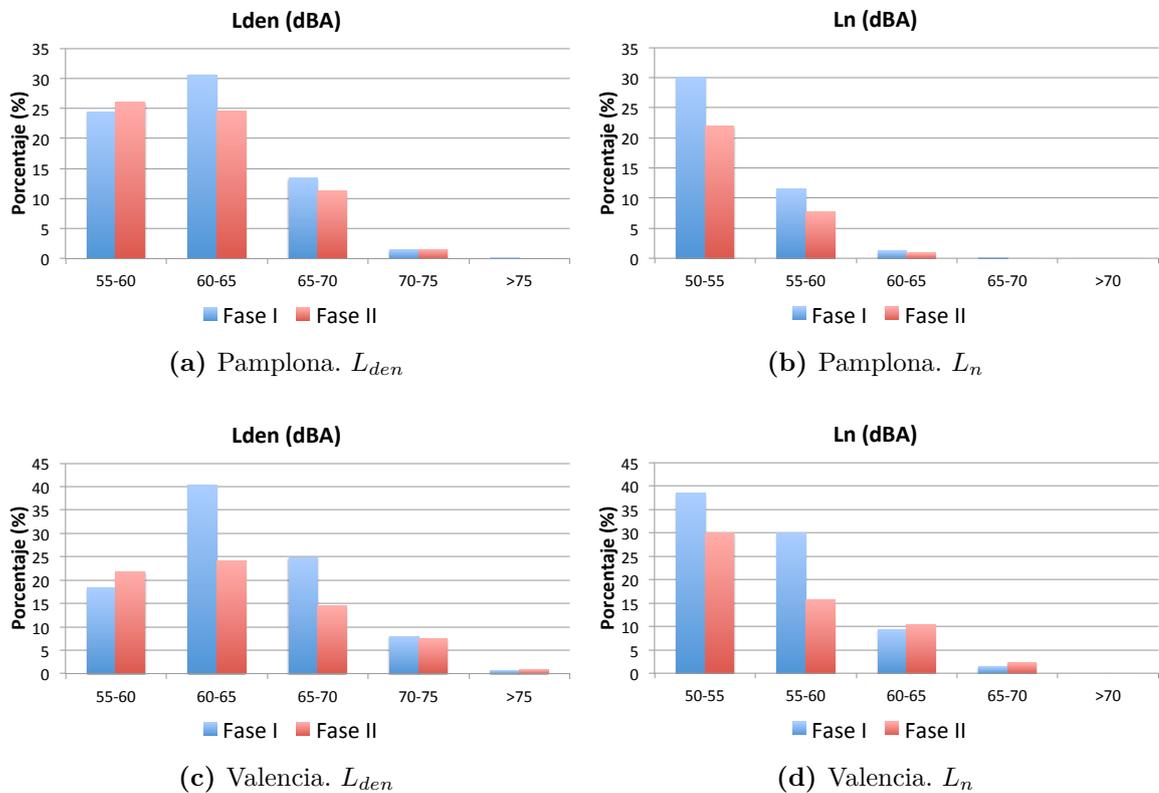


Fig 35: Aglomeraciones de Pamplona y Valencia. Comparaciones entre fase I y II.

En la sección *MER en España. 2ª Fase* se comentó que la aglomeración de **Alicante** posee unos niveles de afección de L_{den} y L_n que no se corresponden el uno con el otro, es decir, uno de ellos es erróneo. Observando la [figura 36](#) se aprecia que el índice L_n presenta menores niveles de afección en la segunda fase respecto de la primera. En el índice L_{den} el cambio de niveles de afección es radical. Si la correspondencia entre ambos índices fuese correcta debería haber ocurrido uno de los siguientes casos: si el L_{den} presenta una disminución de afección muy drástica el índice L_n también debería presentar dicha disminución, o si el L_n no presenta una gran disminución el L_{den} no debería presentar una disminución tan elevada. Ninguno de los dos casos sucede y ya se demostró que suponiendo que si en el día o tarde no hay afección existe una relación mínima entre el L_{den} y L_n , donde el L_{den} siempre supera al L_n en 5 dBA.

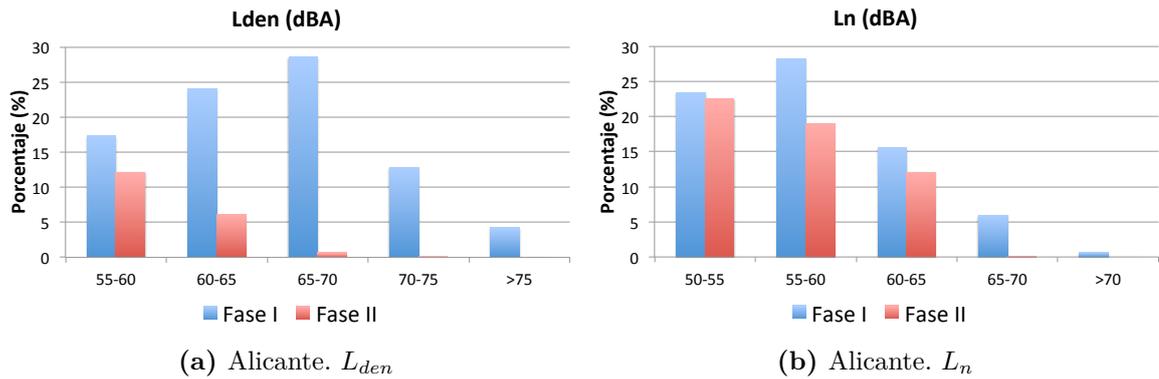


Fig 36: Aglomeración de Alicante. Comparaciones entre fase I y II.

Es interesante destacar cómo Berlin, siendo una de las aglomeraciones con mayor población, ha reducido sus niveles de afección. También, es notable la poca afección que existe teniendo más de 3 millones de habitantes y siendo una de las ciudades más importantes de Europa y el Mundo. Los niveles de afección en el L_{den} están por debajo del 7% y en el L_n por debajo del 6% en todos los rangos. En el único rango donde la afección se ha mantenido casi constante es en el rango 65-70 y 55-60 del L_{den} y L_n , respectivamente.

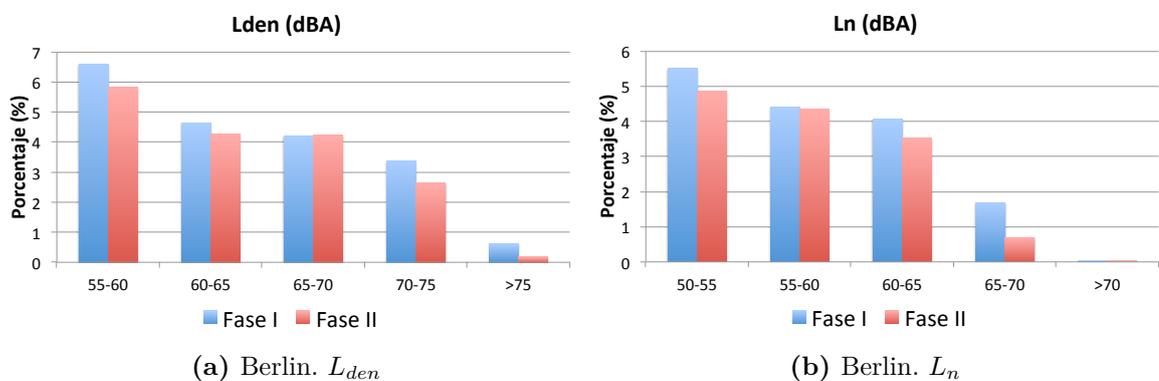


Fig 37: Aglomeración de Berlin. Comparaciones entre fase I y II.

En las aglomeraciones de **Dresden** y **Hannover** se han mantenido los niveles de afección entre la primera fase y segunda fase. En **Oslo** y **Leipzig** los niveles de afección son menores en la segunda fase, se han disminuido los niveles de afección en todos los rangos.

El caso de la aglomeración danesa de **Copenhague** es llamativo si se observa el índice L_{den} . En todos los rangos, excepto en el rango 70-75, los porcentajes de afección

disminuyen. En el rango 70-75 el porcentaje de personas afectadas aumenta del 2% al 5%. Aunque no es un aumento muy elevado ocurre en un rango crítico de afección acústica.

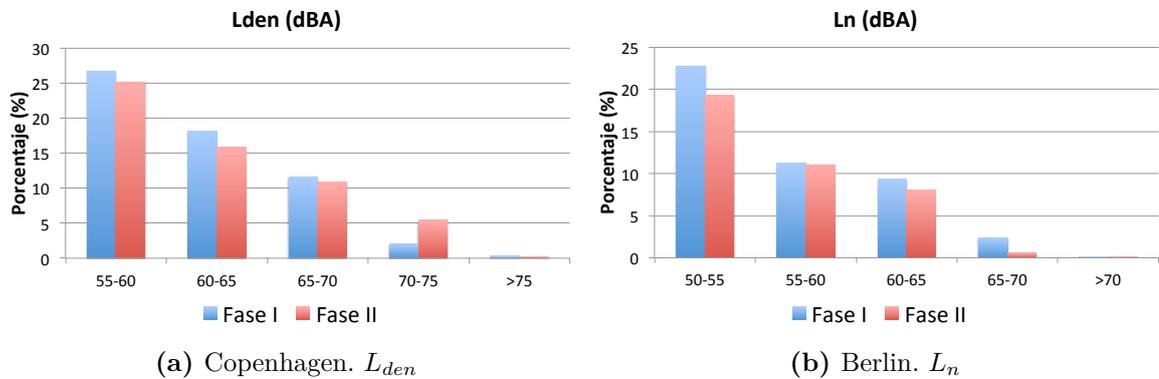


Fig 38: Aglomeración de Copenhague. Comparaciones entre fase I y II.

En definitiva, se observa que hay aglomeraciones que disminuyen los niveles de afección, mientras que otras aumentan los niveles de afección. Como se ha comentado, la [figura 28](#) y [figura 29](#) permite identificar la subida o bajada de los niveles de afección entre las dos fases, pero en algunos casos es mejor visualizar el porcentaje de niveles de afección por rangos para evaluar de manera precisa el cambio de afección de la segunda fase respecto de la primera.

10. Conclusiones

Se han recopilado los resultados de los MER de la segunda fase de aglomeraciones europeas, haciendo un estudio especial en las aglomeraciones españolas. Se han evaluado y analizado los porcentajes deafección en los índices L_{den} y L_n .

En **España** 20 aglomeraciones han presentado sus MER. Hay mucha diferencia en los resultados de laafección en los índices L_{den} , L_d , L_n y L_e entre las aglomeraciones. En el índice L_{den} las aglomeraciones con menosafección son Alicante, Cartagena, Murcia y Leganés con más del 60 % de las personas expuestas a niveles inferiores a 60 dBA, en cambio, las que presentan mayorafección son A Coruña, Móstoles y Castellón con más del 75 % de las personas expuestas a niveles superiores a 60 dBA. En el índice L_n las aglomeraciones con menosafección son Cartagena, Murcia y la Comarca de Pamplona con más del 70 % de personas expuestas a niveles inferiores de 50 dBA, y las que presentan mayorafección son A Coruña, Móstoles y Castellón con más del 80 % personas expuestas a niveles superiores de 50 dBA. El caso de Castellón es crítico debido a que más del 90 % de las personas están expuestas a niveles superiores de 50 dBA en el índice L_n . Nuestra conclusión en este apartado es que la metodología de cálculo de población afectada no resulta clara en las Memorias. Debiera generalizarse el cálculo de mapas de ruido en fachadas.

En general, los niveles deafección de los focos de ruido ferroviario e industrial son muy bajos, por debajo del 2 %. Este resultado es curioso, ya que en prácticamente todas las aglomeraciones españolas existe una estación de trenes y vías de paso de tren.

El ruido total, como era de esperar, es muy parecido al ruido de tráfico en casi todas las aglomeraciones. En Albacete el porcentaje de afectados por el ruido total en niveles superiores a 55 dBA es igual a 56 %, en cambio el porcentaje de afectados por el ruido de tráfico en niveles superiores a 55 dB es igual a 44 %. Esta diferencia entre el ruido total y el ruido de tráfico puede explicarse por la contribución del ruido ferroviario en el ruido total. Tanto un eje viario como un eje ferroviario están dispuestos de forma paralela y, por lo tanto, la contribución de ambas fuentes aumenta el número deafección.

Se ha detectado un error en los niveles deafección de la aglomeración de Alicante. Los índices L_{den} y L_n tienen una correspondencia mutua y hay una relación mínima entre ellos: el L_{den} es siempre superior al L_n al menos en 5 dB. Esta correspondencia no se cumple en los niveles deafección de Alicante.

Se ha estudiado la relación entre el porcentaje de afectados en los índices L_d y L_n , y entre L_d y L_e . El objetivo era verificar que los niveles deafección tienen una diferencia en torno a 10 dB entre el periodo diurno y el periodo nocturno, y valores similares entre el periodo diurno y vespertino. Los resultados muestran que, en general, en las aglomeraciones españolas no hay una diferencia de 10 dB en los niveles deafección de L_d y L_n , pero si se cumple que en las aglomeraciones españolas los niveles deafección entre el día y la tarde son similares.

En las memorias descriptivas de los MER de las aglomeraciones españolas no se detalla con claridad las variables implicadas en el cálculo del ruido de tráfico, ferroviario e industrial. Salvo una aglomeración, el resto no especifica con claridad el método de cálculo de la población afectada, sabiendo de antemano que la elección de dicho método puede alterar de manera elevada el número de afectados por el ruido. De esta manera, no se puede saber con claridad en que casos se está subestimando o sobreestimando los niveles deafección.

Se han estudiado 147 **aglomeraciones europeas** de 18 países diferentes. Se ha calculado la media deafección entre las aglomeraciones de cada país y se han obtenido resultados muy variables entre los diferentes países europeos.

Con respecto al ruido de tráfico, el país con mayor nivel deafección es Luxemburgo, con una sola aglomeración, con más del 60 % de afectados en niveles superiores a 60 dBA en el L_{den} y 50 dBA en el L_n . Luxemburgo resulta, en media, el país con mayorafección debido a que solo tiene una sola aglomeración y dicha aglomeración no es la que mayorafección tiene en Europa. De los países que presentan más de una aglomeración, España es la que másafección posee, tiene más del 45 % de afectados en niveles superiores a 60 dBA en el L_{den} y 50 dBA en el L_n . Además de tener un elevado nivel deafección, España posee un alto grado de dispersión debido a que los niveles deafección entre las aglomeraciones españolas son muy diferentes. Alemania es el país con menor número

deafección, tiene menos del 15% de exposición en niveles superiores a 60 dBA en el L_{den} y 50 dBA en el L_n . Además, posee un grado de dispersión muy bajo, indicando que los niveles deafección entre las aglomeraciones alemanas son parecidos.

Se ha confirmado, mediante un ratio entre el L_{den} y L_n , que la diferencia en niveles sonoros entre ambos índices está en torno a 10 dB. Se ha observado que la distribución de porcentaje de afectados en las aglomeraciones alemanas es homogénea, en cambio en las aglomeraciones españolas no exista tal homogeneidad.

Se ha estudiado la relación entre la densidad poblacional y los niveles deafección. Los resultados muestran que no hay una relación clara entre los niveles deafección y la densidad poblacional.

Por último, se han comparado los resultados de los niveles deafección, del ruido de tráfico, de aquellas aglomeraciones que ha realizado los **MER en las fases I y II**. Un total de 31 aglomeraciones han actualizado sus MER y algunas aglomeraciones han disminuido los niveles deafección, mientras que otras han aumentado el porcentaje de afectados. En algunos casos, las diferencias (entre Fases I y II) son tan notables que sugieren que se han producido notables diferencias en las metodologías de cálculo.

Bibliografía

- [1] *Directiva Europea 2002/49/CE del parlamento europeo y del consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.*
- [2] *LEY 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.*
- [3] *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.*
- [4] *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.*
- [5] *Política Futura de Lucha Contra el Ruido. Libro Verde de la Comisión Europea.* Bruselas, 4 de septiembre de 1996.
- [6] Berglund B, Lindvall T, Schwela DH. *Guidelines for community noise.* Geneva, World Health Organization, 1999
- [7] *Guidelines for community noise.* Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2009
- [8] *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe.* Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2011
- [9] *W. Taylor et al. J. Acoust. Soc. Am. 38 p 113. (1965).*
- [10] *European Environment Information and Observation Network (EIONET).*
<http://eionet.europa.eu>
<http://cdr.eionet.europa.eu> (Repositorio)
- [11] *Communication and Information Resource Centre for Administrations, Businesses and Citizens (CIRCABC).*
<https://circabc.europa.eu>
- [12] *Sistema de Información sobre la Contaminación Acústica (SICA).*
<http://sicaweb.cedex.es>

- [13] *European Environment Agency (EEA)*.
<http://www.eea.europa.eu>
- [14] *Noise Observation and Information Service for Europe*.
<http://noise.eionet.europa.eu/viewer.html>
- [15] *Ayuntamiento de Alicante. Medio Ambiente*.
<http://www.alicante.es/medioambiente/home.html>
- [16] Mónica Solbes Galiana. *Mapas Estratégicos de Ruido. Situación de la 2ª Fase, Año 2012*.
http://sicaweb.cedex.es/docs/jornadas/Jornada_15-11-2012/M_Solbes.pdf
- [17] Stylianos Kephelopoulos, Marco Paviotti, Fabienne Anfosso-édée *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)* European Commission, Joint Research Centre. Institute for Health and Consumer Protection. 2012
- [18] 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*. Version 2. 13 January 2006
- [19] *Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm (VBEB) (preliminary calculation method for determining the exposure figures caused by environmental noise) of 9th February 2007 ("Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm - VBEB"*. Published in Federal German Gazette of 20th April 2007; p. 4,137).
- [20] Arana, M., R. San Martín, I. Nagore and D. Pérez (2009.a) *Using noise mapping to evaluate percentage of people affected by noise*. Acta Acustica 95 (3) 550-554
- [21] Miguel Arana, Dr.; Ricardo San Martín, Dr.; Iñaki Nagore; David Pérez (2011) *What precision in the Digital Terrain Model is required for noise mapping?*. Applied Acoustics 72, 522–526
- [22] M. Arana, R. San Martín, M. L. San Martín, E. Aramendía (2010) *Strategic noise map of a major road carried out with two environmental prediction software packages*. Environ Monit Assess 163, 503–513

- [23] Miguel Arana, Dr.; Ricardo San Martín, Dr.; Iñaki Nagore; David Pérez (2012) *Strategic noise maps and action plans in Navarre (Spain)*. Environmental Monitoring and Assessment. 2012
- [24] Emilio Aramendia, Iñaki Nagore, David Pérez, Ricardo San Martín, M.L. San Martín and Miguel Arana *How many reflections must be considered in urban noise mapping?*. INTER-NOISE 2007
- [25] Miguel Arana (2010) *Are urban noise pollution levels decreasing?*. J. Acoust. Soc. Am. 127, 2107-2109
- [26] Cyril M. Harris *Manual de medidas acústicas y control de ruido*. McGraw Hill
- [27] Lawrence E. Kinsler *Fundamentals of Acoustics*. John Wiley and Sons. Fourth Edition. 2000

MER ESPAÑA, FASE II



Conclusiones

El estudio ha proporcionado información sobre las zonas de afectación en las legislaciones vigentes.

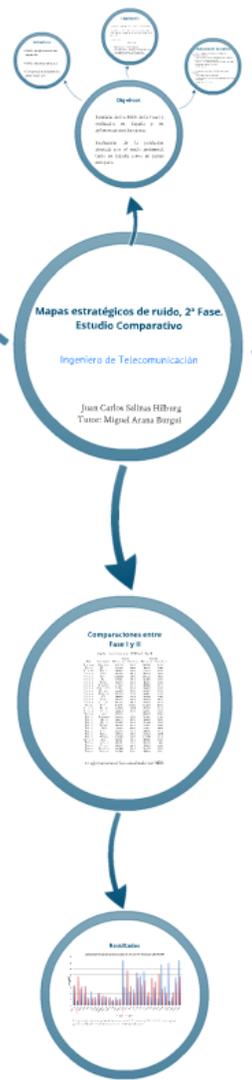
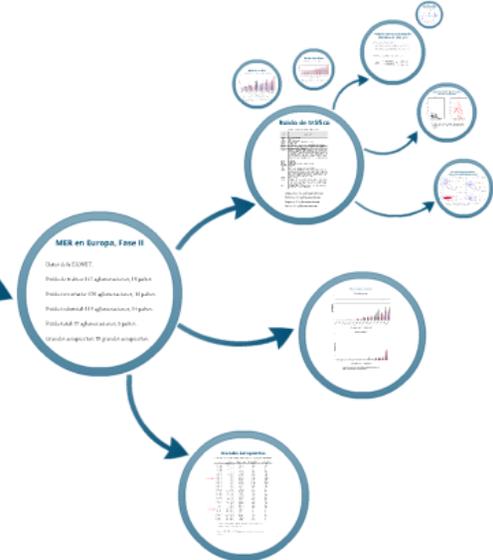
Debemos garantizar el cálculo de mapas de ruido en ciudades. La legislación de la metodología debe ser obligada en todos los casos.

Los resultados de los mapas deben compararse con los mapas de ruido de las legislaciones vigentes.

Además, presentamos un estudio de ruido de tráfico de alta calidad tanto en España como en el extranjero. España es el país con mayor nivel de ruido.

En algunos casos, los datos de ruido de Fase I y II son muy similares que sugiere que se han producido variaciones diferentes en las metodologías de cálculo.

MER EUROPA, FASE II



COMPARACIONES FASE I Y II

FIN

Gracias por su atención

Mapas estratégicos de ruido, 2ª Fase. Estudio Comparativo

Ingeniero de Telecomunicación

Juan Carlos Salinas Hilburg
Tutor: Miguel Arana Burgui

Objetivos

Revisión de los MER de la Fase II, realizados en España y en aglomeraciones Europeas.

Evaluación de la población afectada por el ruido ambiental, tanto en España como en países europeos

Estructura

- Ruido en aglomeraciones españolas.
- Ruido en países europeos.
- Comparación de resultados entre Fase I y II.



Legislación

Directiva Europea 2002/49/CE sobre ruido ambiental.

Ley del Ruido. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. Desarrollada por el Real Decreto 1513/2005 y Real Decreto 1367/2007.

Índices Lden y Ln

MER en Fase II

- Aglomeraciones > 100.000 habitantes.
- Grandes ejes viarios > 3.000.000 de desplazamientos/año.
- Grandes ejes ferroviarios > 30.000 trenes/año.
- Grandes aeropuertos > 50.000 operaciones/año.

Adquisición de datos

EIONET: European Environment Information and Observation Network

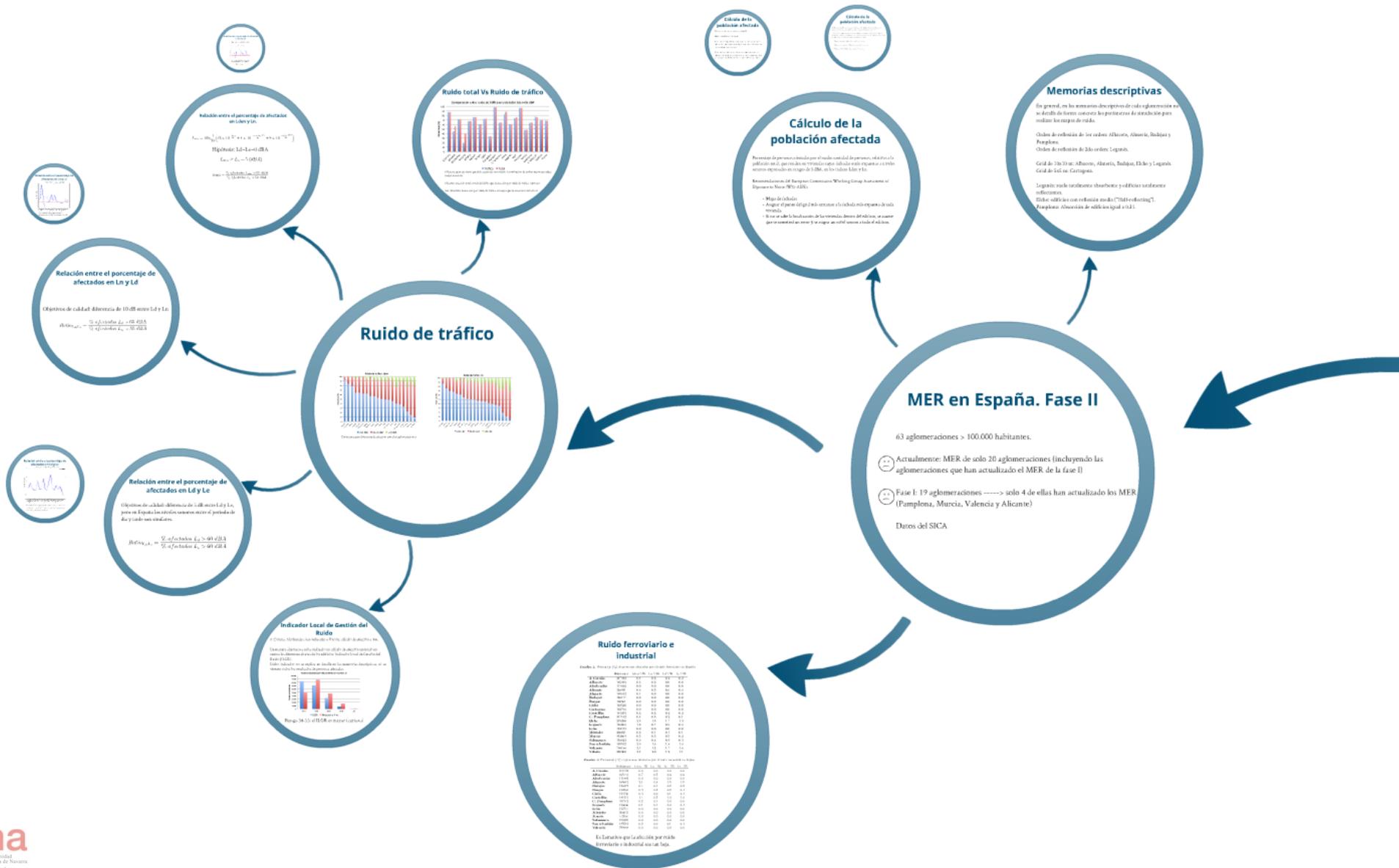
- Datos de número de personas afectadas en los diferentes focos de ruido (formato tipo excel).
- Datos de UK y Suecia: hay datos pero no están disponibles para el público (acceso restringido)
- Índices Lden y Ln

SICA: Sistema de Información sobre la Contaminación Acústica

- Datos de aglomeraciones españolas.
- Curvas isófonas, número de personas afectadas y memorias descriptivas
- Índices Lden, Ln, Ld y Le



MER ESPAÑA, FASE II



MER en España. Fase II

63 aglomeraciones > 100.000 habitantes.

- ☹ Actualmente: MER de solo 20 aglomeraciones (incluyendo las aglomeraciones que han actualizado el MER de la fase I)
- ☹ Fase I: 19 aglomeraciones -----> solo 4 de ellas han actualizado los MER (Pamplona, Murcia, Valencia y Alicante)

Datos del SICA

Memorias descriptivas

En general, en las memorias descriptivas de cada aglomeración no se detalla de forma concreta los parámetros de simulación para realizar los mapas de ruido.

Orden de reflexión de 1er orden: Albacete, Almería, Badajoz y Pamplona.

Orden de reflexión de 2do orden: Leganés.

Grid de 10x10 m: Albacete, Almería, Badajoz, Elche y Leganés.

Grid de 5x5 m: Cartagena.

Leganés: suelo totalmente absorbente y edificios totalmente reflectantes.

Elche: edificios con reflexión media ("Half-reflecting").

Pamplona: Absorción de edificios igual a 0.21.

Cálculo de la población afectada

Porcentaje de personas afectadas por el ruido: cantidad de personas, relativas a la población total, que residen en viviendas cuyas fachadas están expuestas a niveles sonoros expresados en rangos de 5 dBA, en los índices Lden y Ln.

Recomendaciones del European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN):

- Mapa de fachadas
- Asignar el punto del grid más cercano a la fachada más expuesta de cada vivienda.
- Si no se sabe la localización de las viviendas dentro del edificio, se asume que se cometerá un error y se asigna un nivel sonoro a todo el edificio.

Cálculo de la población afectada

Resultados de un estudio realizado en Pamplona. Cálculo sobre una trama urbana de la Comarca de Pamplona compuesta por 30 edificios de alturas entre 22 y 55 m.

Aplicación de 3 métodos: mapa de fachadas (estimación exacta), asignación del nivel del punto del grid más cercano (estimación aproximada) y asignación del nivel de la fachada más expuesta del edificio a todas las viviendas (estimación END).

- Estimación exacta: 22% deafección > 65 dBA de Lden.
- Estimación aproximada: 50% deafección > 65 dBA de Lden.
- Estimación END 94% deafección > 65 dBA de Lden.

Cálculo de la población afectada

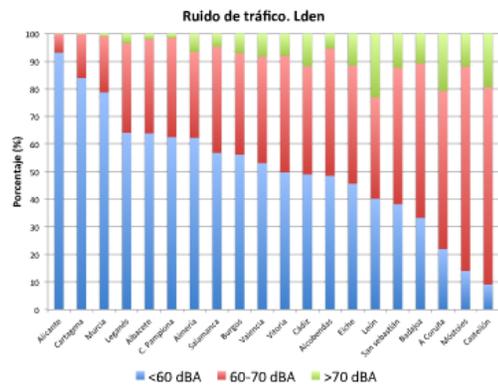
Método de cálculo utilizado en la fase II:

Pamplona: Mapa de fachadas.

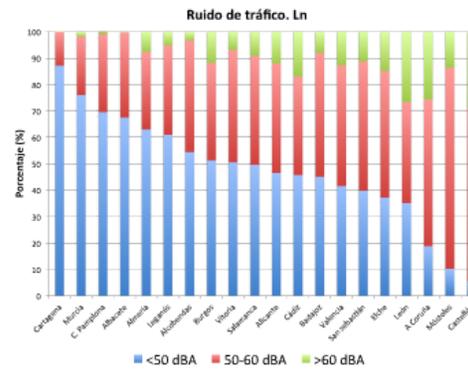
En el resto de aglomeraciones no se indica con claridad el método utilizado, aunque se menciona que el cálculo se ha hecho a 4 metros de altura.

Conclusión: el método de cálculo recomendado es el de mapa de fachadas. Se recomienda indicar, de manera clara y concisa, en la memoria descriptiva el método utilizado.

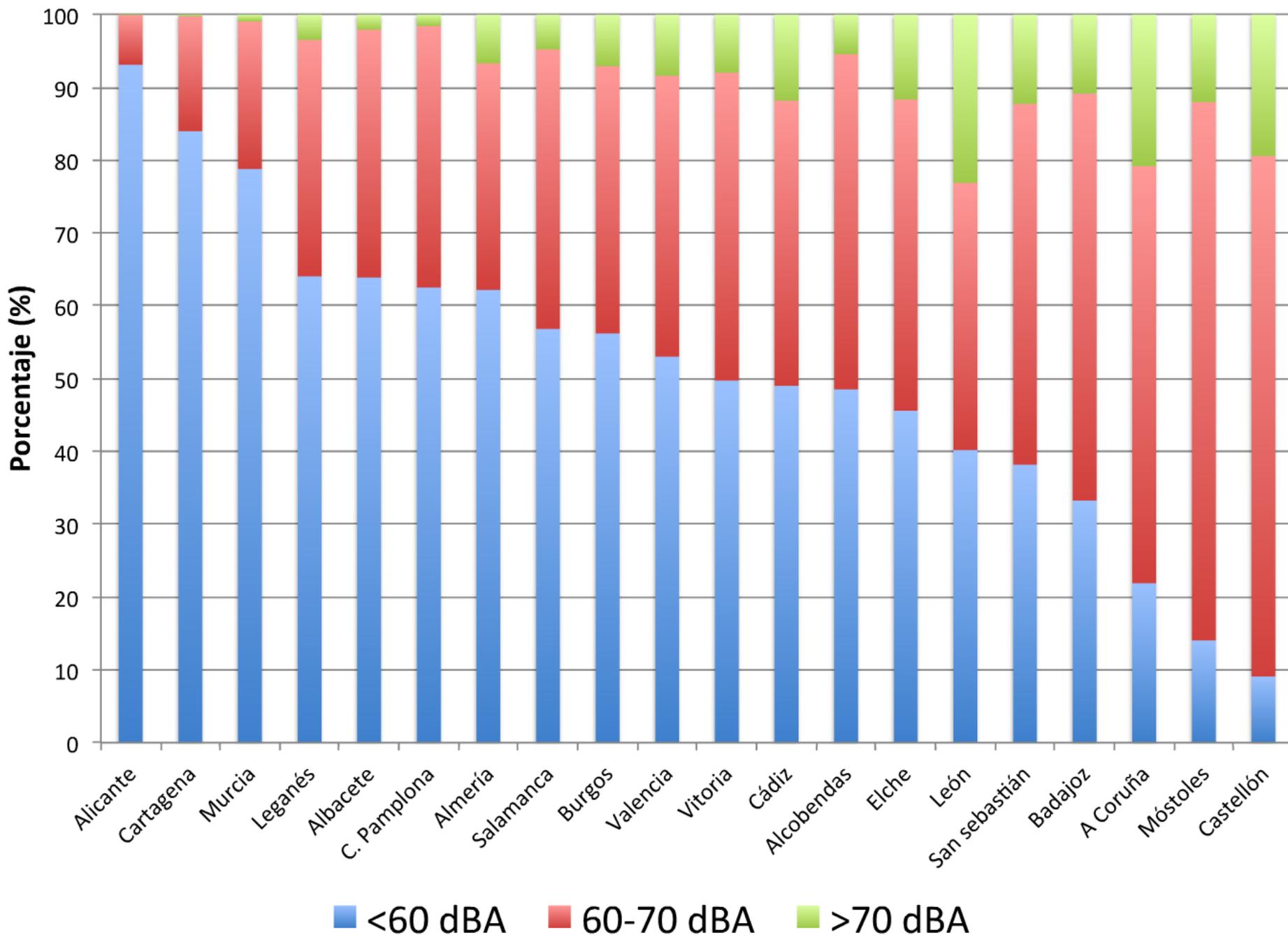
Ruido de tráfico



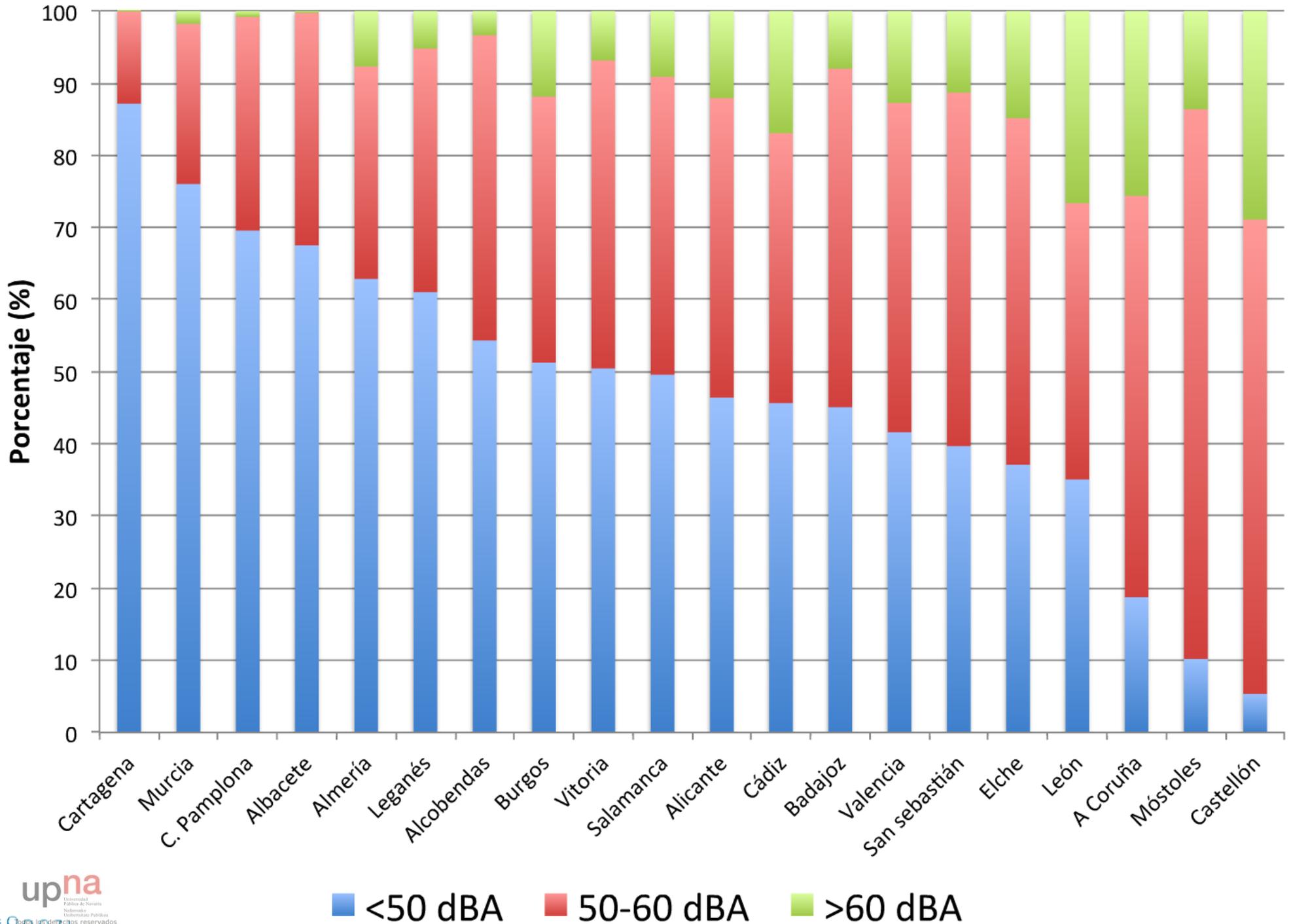
Existe una gran diferencia de afección entre las aglomeraciones



Ruido de tráfico. Lden



Ruido de tráfico. Ln



Relación entre el porcentaje de afectados en L_{den} y L_n .

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 \times 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right)$$

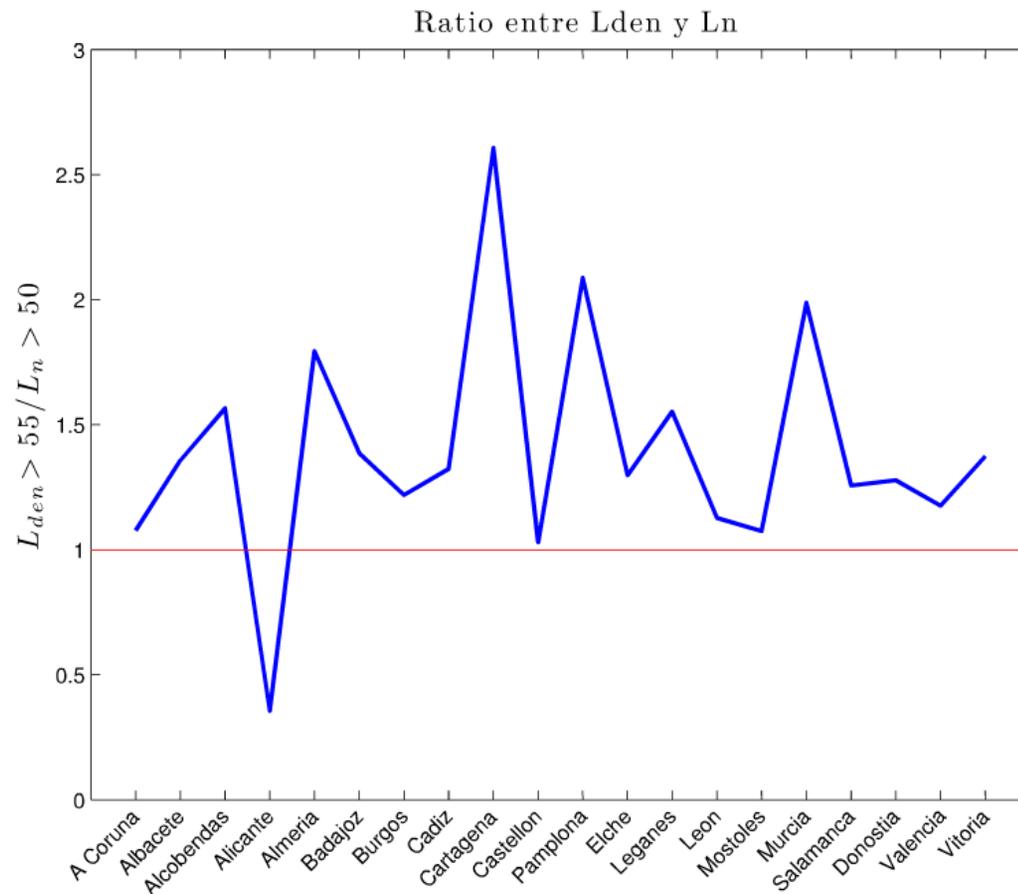
Hipótesis: $L_d=L_e=0$ dBA

$$L_{den} \geq L_n + 5 \text{ (dBA)}$$

$$\text{Ratio} = \frac{\% \text{ afectados } L_{den} > 55 \text{ dBA}}{\% \text{ afectados } L_n > 50 \text{ dBA}}$$

Relación entre el porcentaje de afectados en Lden y Ln.

Ratio $L_{den} > 55 / L_n > 50$



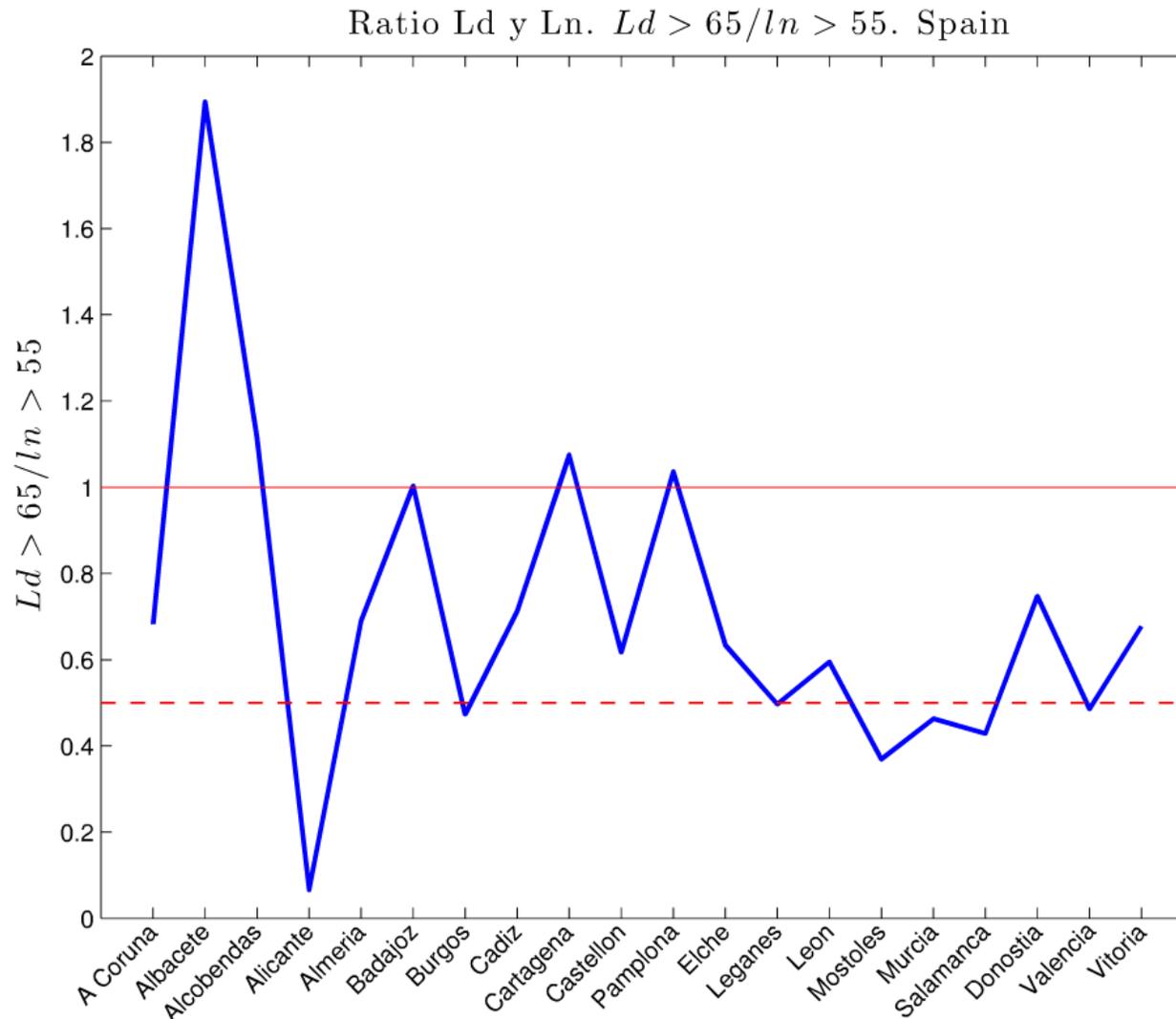
X Alicante

Relación entre el porcentaje de afectados en L_n y L_d

Objetivos de calidad: diferencia de 10 dB entre L_d y L_n

$$Ratio_{L_d, L_n} = \frac{\% \text{ afectados } L_d > 65 \text{ dBA}}{\% \text{ afectados } L_n > 55 \text{ dBA}}$$

Relación entre el porcentaje de afectados en Ln y Ld



En la mayoría de aglomeraciones la diferencia entre Ld y Ln es menor a 10 dB

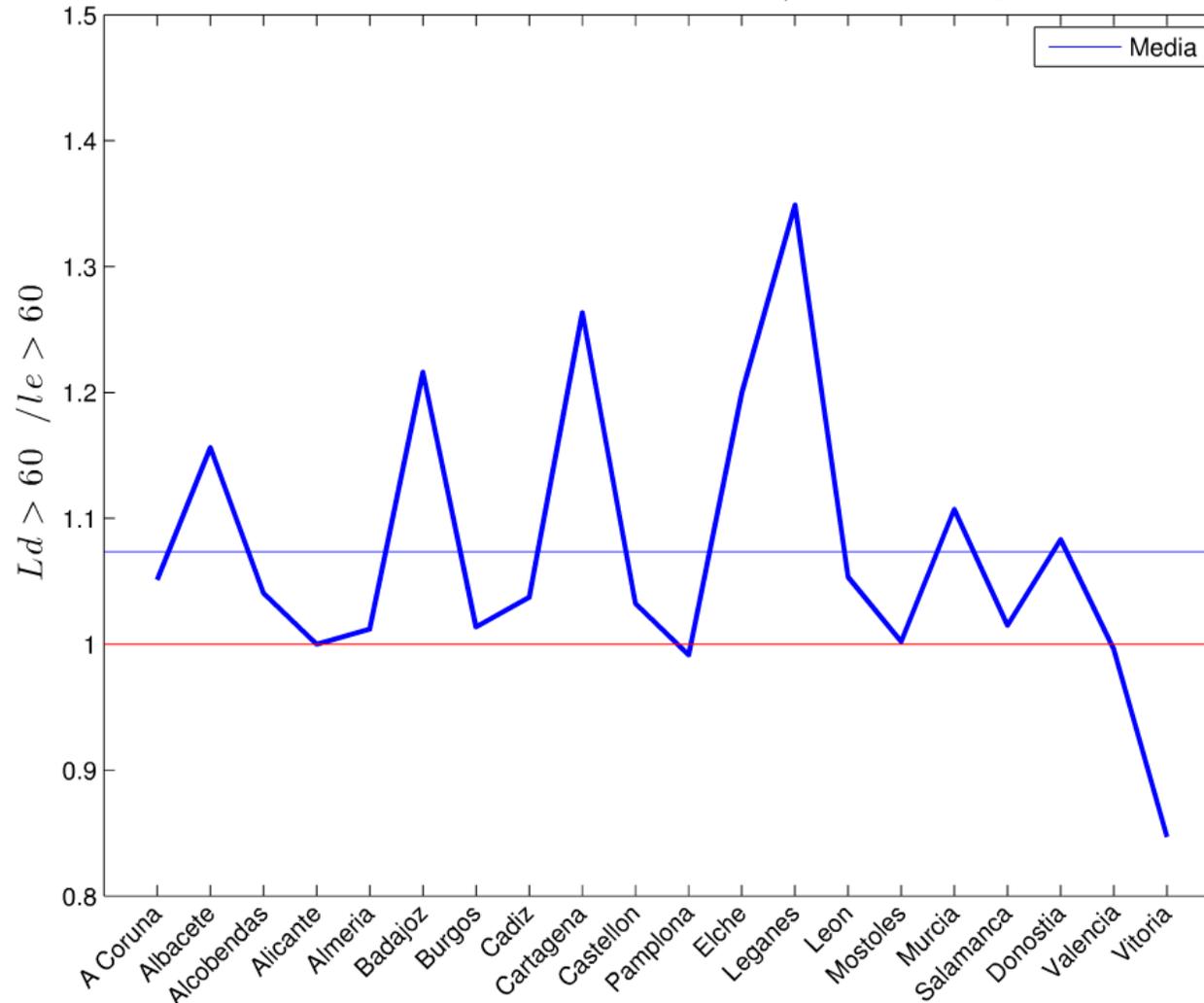
Relación entre el porcentaje de afectados en L_d y L_e

Objetivos de calidad: diferencia de 5 dB entre L_d y L_e , pero en España los niveles sonoros entre el periodo de día y tarde son similares.

$$Ratio_{L_d, L_e} = \frac{\% \text{ afectados } L_d > 60 \text{ dBA}}{\% \text{ afectados } L_e > 60 \text{ dBA}}$$

Relación entre el porcentaje de afectados en Ld y Le

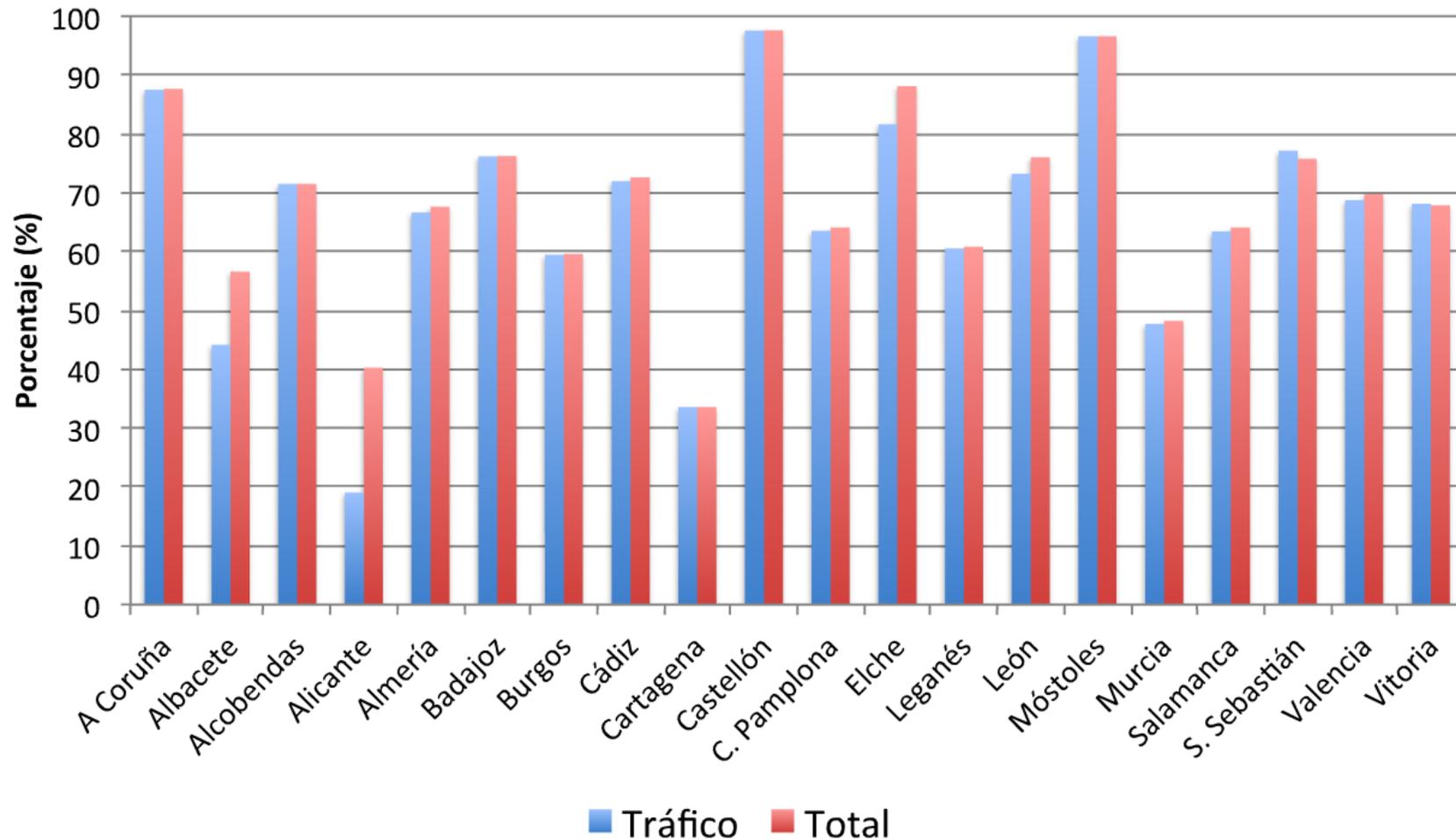
Ratio Ld y Le. $Ld > 60$ / $le > 60$. Spain



La mayoría de aglomeraciones tiene el ratio en torno a 1---> se verifica que los niveles sonoros entre Ld y Le son similares.

Ruido total Vs Ruido de tráfico

Comparación entre ruido de tráfico y ruido total. $L_{den} > 55$ dBA



Albacete: gran eje viario paralelo a gran eje ferroviario (contribución de ambas fuentes produce mayor afección)

Alicante: afección total es más del doble que la afección por ruido de tráfico (curioso)

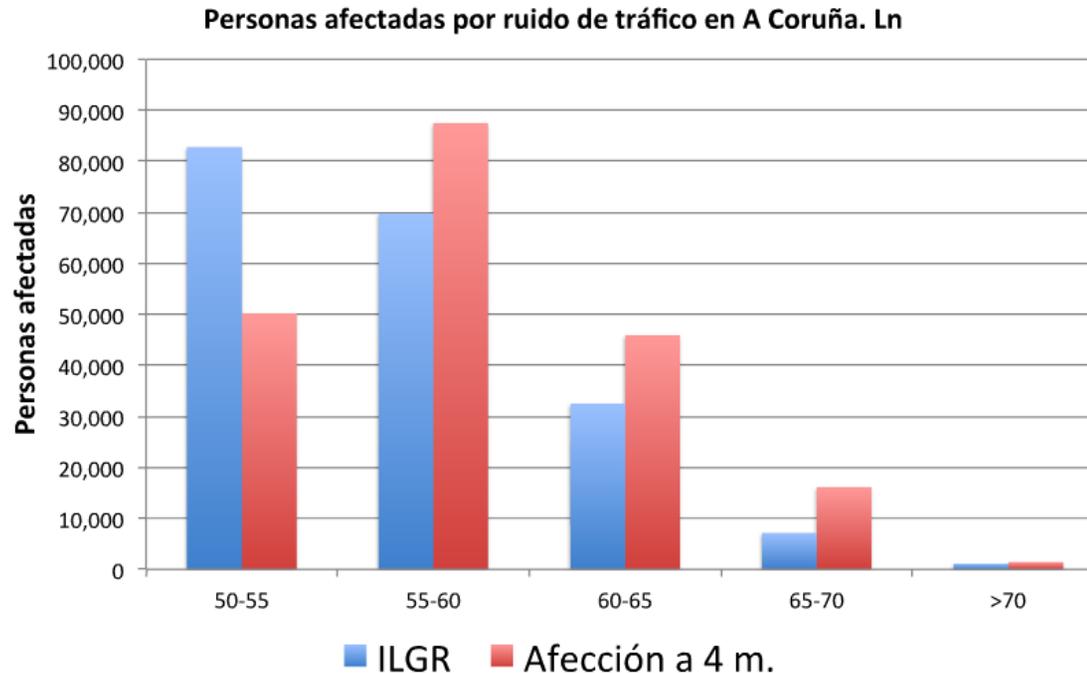
San Sebastián: la afección por ruido de tráfico es mayor que la afección total (error)

Indicador Local de Gestión del Ruido

A Coruña, Alcobendas, San Sebastián y Vitoria: cálculo de afección a 4 m.

De manera alternativa se ha realizado un cálculo de afección teniendo en cuenta las diferentes alturas de los edificios: Indicador Local de Gestión del Ruido (ILGR).

Dicho indicador no se explica en detalle en las memorias descriptivas, ni se ofrecen todos los resultados de personas afectadas



Rango 50-55: el ILGR es mayor (curioso)

Ruido ferroviario e industrial

Cuadro 1: Porcentaje (%) de personas afectadas por el ruido ferroviario en España

	Habitantes	Lden >55	Ln >50	Ld >55	Le >55
A Coruña	247482	0.4	0.2	0.2	0.2
Albacete	165443	0.3	0.2	0.0	0.0
Alcobendas	111882	0.0	0.0	0.0	0.0
Alicante	328441	0.8	0.5	0.6	0.6
Almería	165612	0.1	0.0	0.0	0.0
Badajoz	126177	0.0	0.0	0.0	0.0
Burgos	180561	0.0	0.0	0.0	0.0
Cádiz	124530	0.0	0.0	0.0	0.0
Cartagena	122796	0.0	0.0	0.0	0.0
Castellón	181243	0.2	0.2	0.2	0.2
C. Pamplona	317142	0.4	0.3	0.2	0.1
Elche	215290	2.3	1.3	1.7	1.3
Leganés	186066	1.2	0.7	0.9	0.6
León	132744	0.0	0.0	0.0	0.0
Móstoles	206031	0.2	0.1	0.1	0.1
Murcia	442064	0.5	0.3	0.5	0.2
Salamanca	158823	0.9	0.6	0.4	0.3
San Sebastián	185512	2.9	1.8	1.8	1.8
Valencia	799188	2.1	1.2	1.7	1.6
Vitoria	240900	2.4	2.0	1.2	1.1

Cuadro 1: Porcentaje (%) de personas afectadas por el ruido industrial en España:

	Habitantes	Lden >55	Ln >50	Ld >55	Le >55
A Coruña	247482	0.0	0.0	0.0	0.0
Albacete	165443	0.7	0.5	0.6	0.6
Alcobendas	111882	0.0	0.0	0.0	0.0
Almería	165612	2.1	0.8	1.5	1.5
Badajoz	126177	0.4	0.1	0.2	0.2
Burgos	180561	0.3	0.2	0.2	0.1
Cádiz	124530	0.3	0.0	0.1	0.1
Castellón	181243	1.4	0.5	1.0	1.0
C. Pamplona	317142	0.2	0.1	0.0	0.0
Leganés	186066	0.1	0.1	0.0	0.1
León	132744	0.0	0.0	0.0	0.0
Móstoles	206031	0.0	0.0	0.0	0.0
Murcia	442064	0.0	0.0	0.0	0.0
Salamanca	158823	0.0	0.0	0.0	0.0
San Sebastián	185512	0.2	0.0	0.1	0.1
Valencia	799188	0.0	0.0	0.0	0.0

Es llamativo que la afección por ruido ferroviario e industrial sea tan baja.



MER en Europa, Fase II

Datos de la EIONET.

Ruido de tráfico: 147 aglomeraciones, 18 países.

Ruido ferroviario: 128 aglomeraciones, 16 países.

Ruido industrial: 119 aglomeraciones, 14 países.

Ruido total: 27 aglomeraciones, 5 países.

Grandes aeropuertos: 28 grandes aeropuertos.

Ruido de tráfico

Cuadro 1: Aglomeraciones Europeas. Ruido de Tráfico

País	Aglomeraciones
Austria	Graz, Linz, Innsbruck
Bélgica	Brugge
Bulgaria	Burgas, Ruse, Pleven
Dinamarca	Kobenhavnsområdet, Aarhus, Odense, Aalborg
Estonia	Tallinn, Tartu
Finlandia	Helsinki, Espoo, Tampere, Vantaa, Turku, Oulu, Lahti, Kauniainen
Francia	Angers, Besancon, Dijon, La Rochelle, Poitiers, Reims, Thionville, Troyes, Fort de France, Montbeliard
Alemania	Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe, Freiburg, Heidelberg, Heilbronn, Ulm, Pforzheim, Reutlingen, Berlin, Potsdam (Kerngebiet), Hansestadt Rostock, Hannover, Braunschweig, Osnabrück, Oldenburg, Göttingen, Hildesheim, Düsseldorf, Moers, Bonn, Aachen, Bergisch Gladbach, Bottrop, Gelsenkirchen, Recklinghausen, Leverkusen, Münster, Saarbrücken, Dresden, Leipzig, Chemnitz, Halle (Saale), Magdeburg, Kiel, Lübeck
Islandia	Reykjavik
Irlanda	Dublin, Cork
Lituania	Vilnius, Kaunas, Klaipeda, Siauliai, Panevezys
Luxemburgo	Luxembourg
Malta	Malta
Noruega	Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger, Fredrikstad
Polonia	Bydgoszcz, Gdansk, Krakow, Warszawa, Lodz, Lublin, Bielsko-Biala, Bytom, Chorzow, Czestochowa, Dąbrowa Gornicza, Elblag, Gdynia, Gliwice, Gorzow Wielkopolski, Koszalin, Legnica, Olsztyn, Opole, Plock, Ruda Slaska, Rybnik, Rzeszow, Sosnowiec, Torun, Wloclawek, Zabrze, Zielona Gora, Poznan, Kalisz, Kielce, Tychy
Rumania	Oradea, Galati
España	A Coruña, Albacete, Alcobendas, Alicante, Almería, Badajoz, Burgos, Cádiz, Cartagena, Castellón de la Plana, Comarca de Pamplona, Elche, Leganés, León, Móstoles, Murcia, Salamanca, San Sebastián - Donostia, Valencia, Vitoria - Gasteiz
Suiza	Winterthur, Zurich, Bern, Olten-Zofingen, Baden-Brugg, Lausanne, Geneva, Lucerne, Basel, St. Gallen, Lugano

Alemania: 36 aglomeraciones.

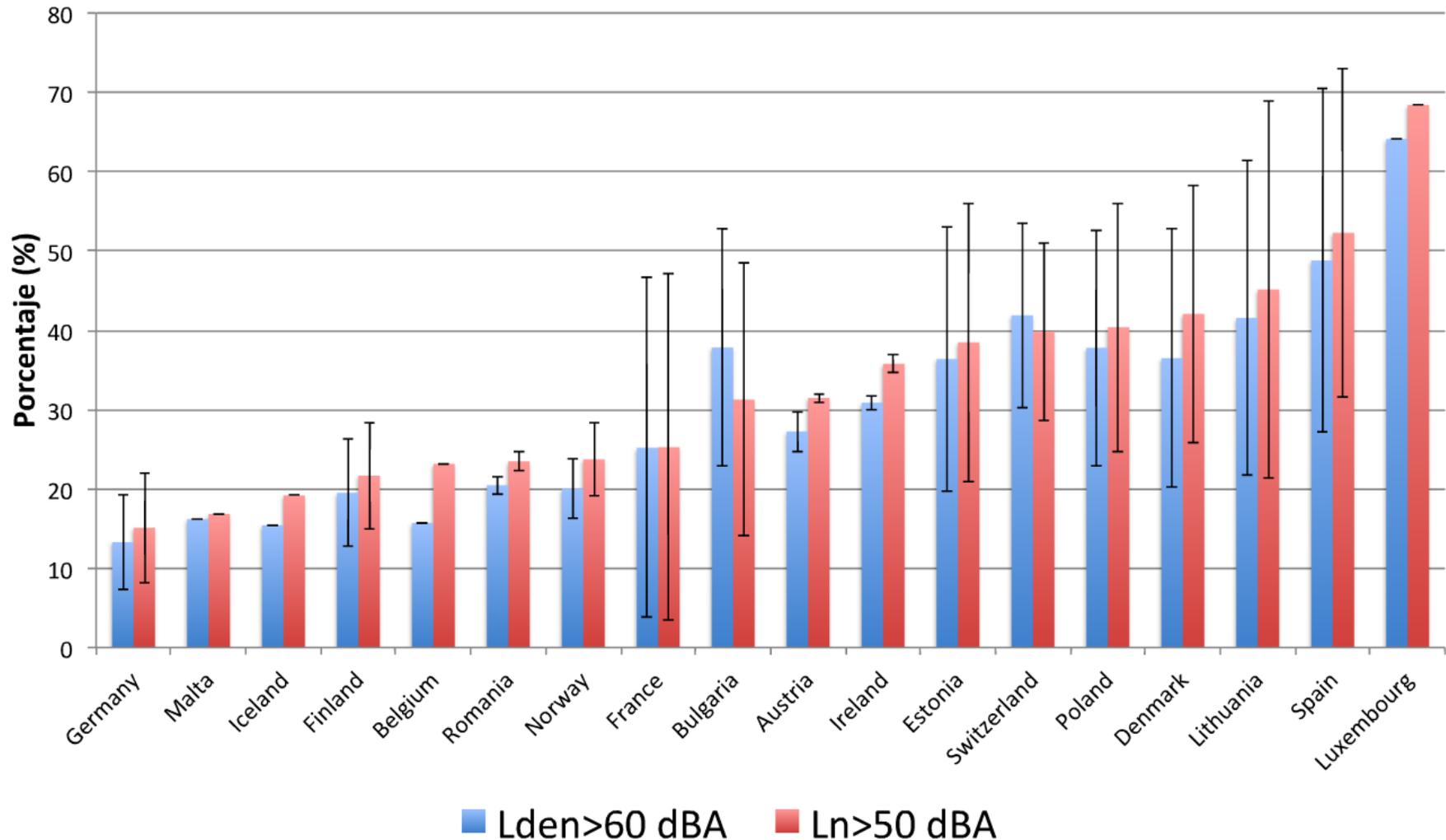
Polonia: 32 aglomeraciones.

España: 20 aglomeraciones.

Suiza: 11 aglomeraciones.

Ruido de tráfico

Porcentaje de afectados por el ruido de tráfico en Europa. Media por aglomeraciones

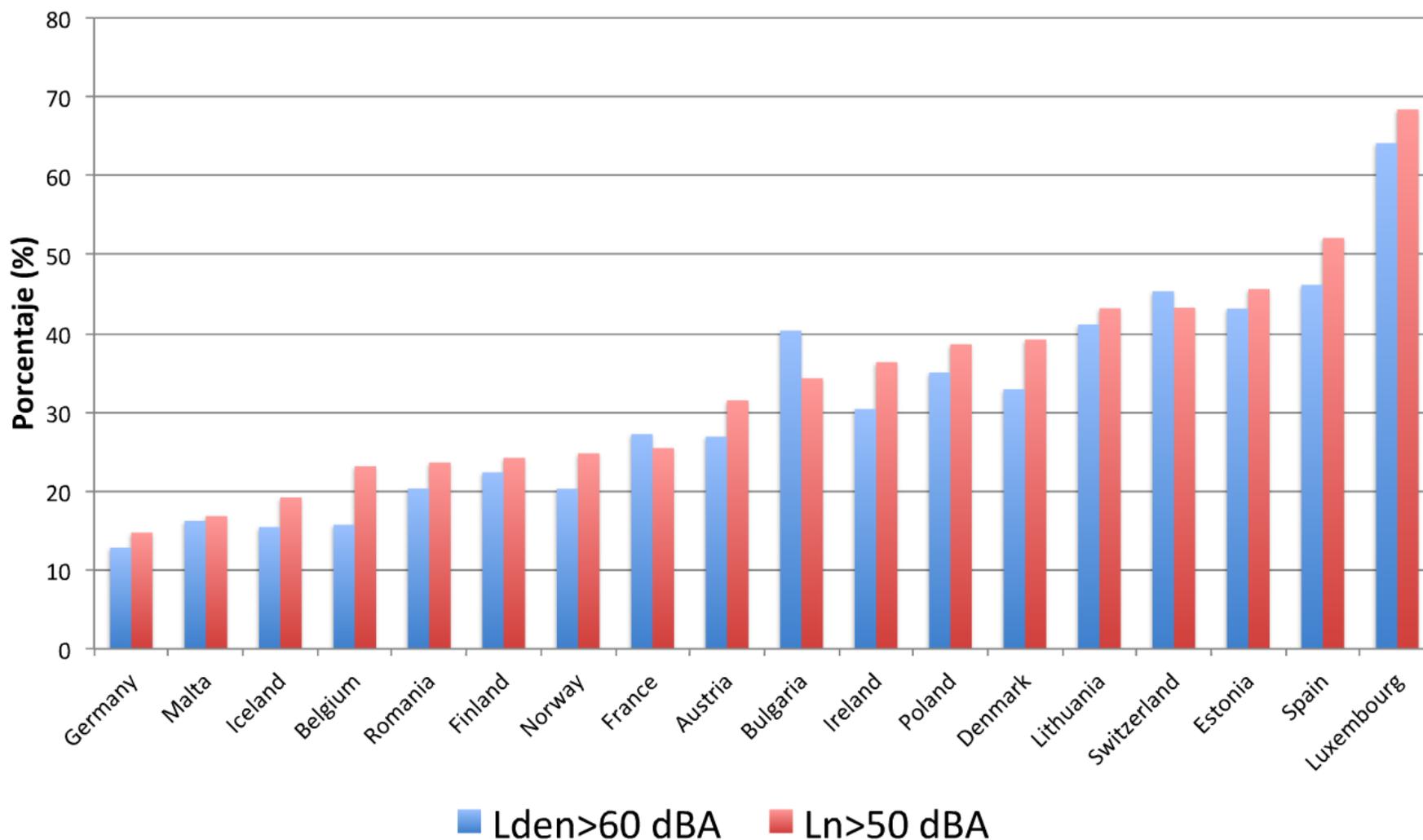


Media del porcentaje de afectados por aglomeración, en cada país.

Niveles de dispersión elevados---> diferencias grandes entre las aglomeraciones de un país.

Ruido de tráfico

Porcentaje de afectados por el ruido de tráfico en Europa. Media por población



Media del porcentaje de afectados teniendo en cuenta la población total afectada en relación a la población total evaluada (no hay distinción entre aglomeraciones)

Relación entre porcentaje de afectados en Lden y Ln

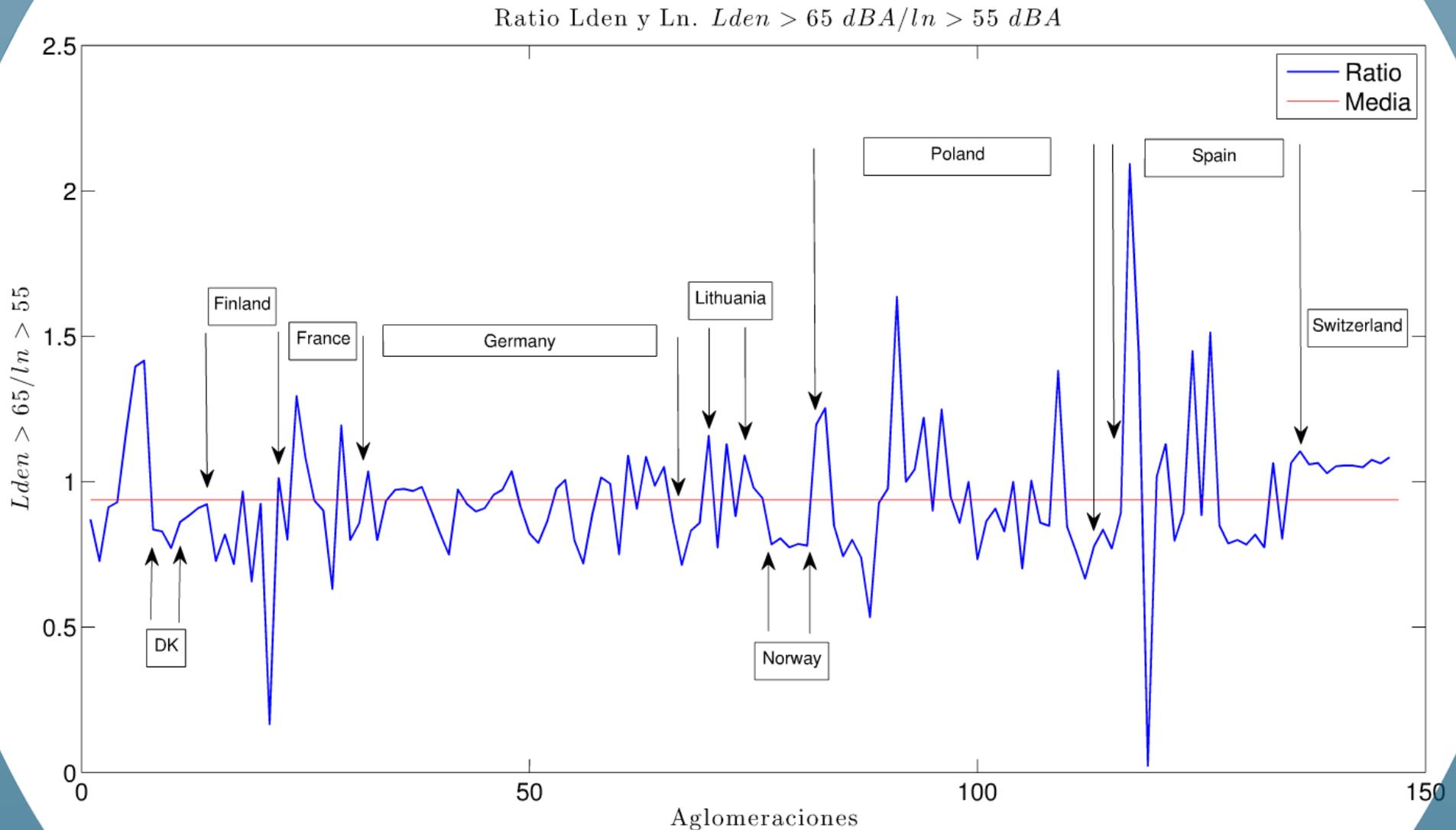
Objetivos de calidad:

- diferencia de 10 dB entre Ld y Ln
- diferencia de 5 dB entre Ld y Le

-----> 10 dB entre Lden y Ln

$$\text{Ratio} = \frac{\% \text{ afectados } L_{den} > 65 \text{ dBA}}{\% \text{ afectados } L_n > 55 \text{ dBA}}$$

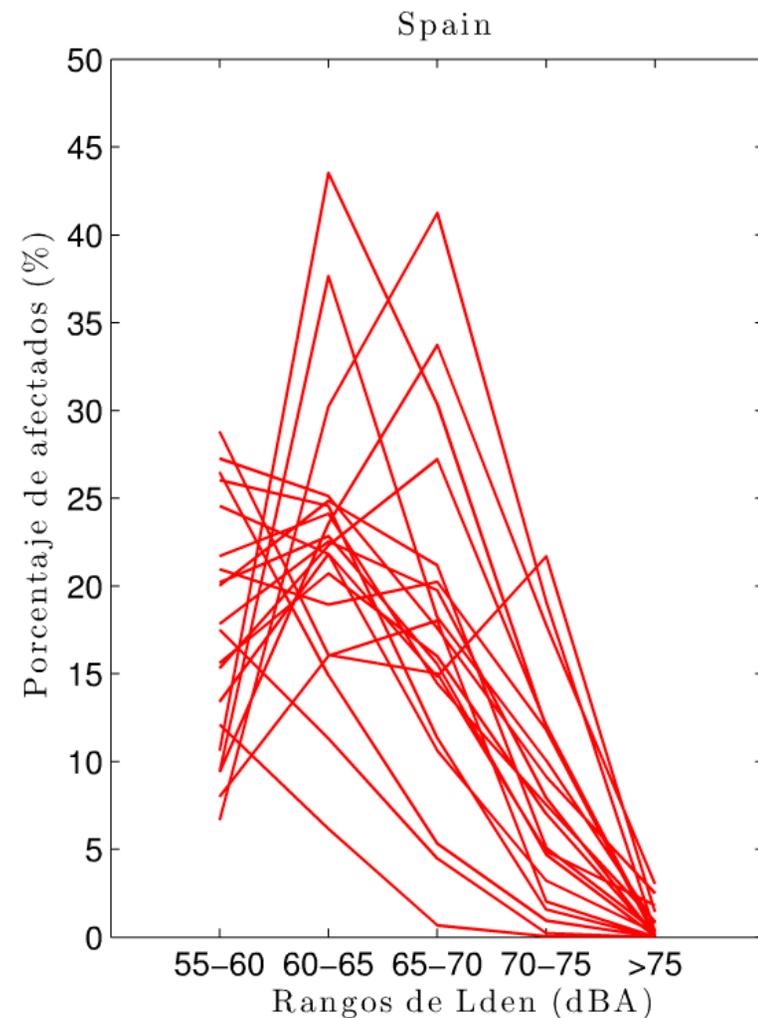
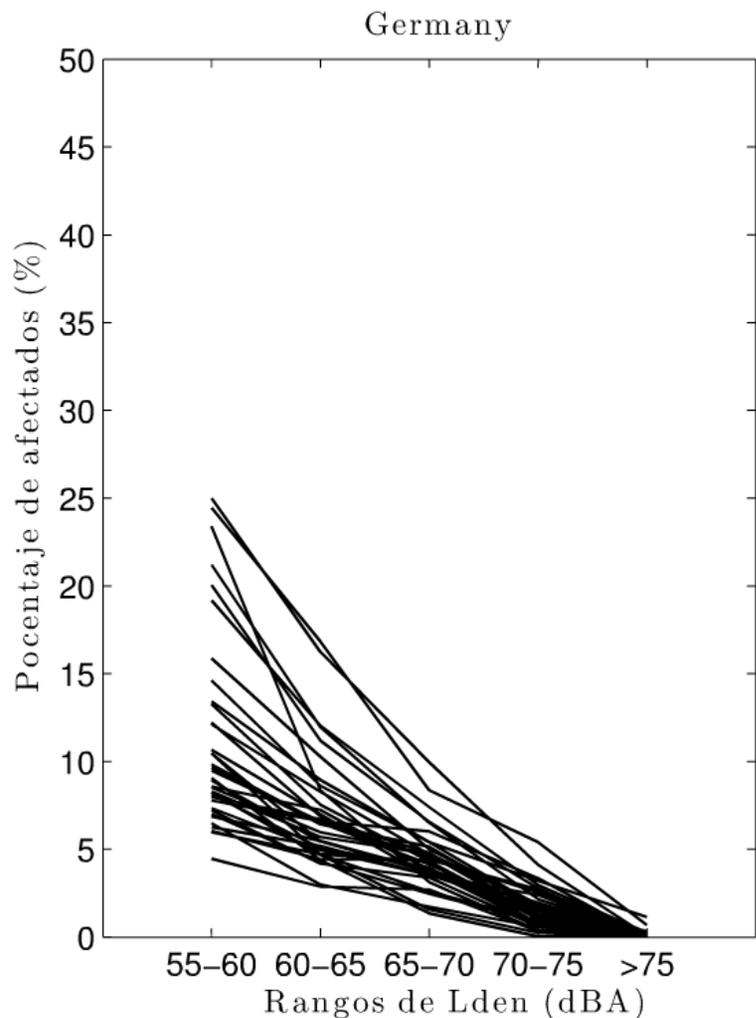
Relación entre porcentaje de afectados en Lden y Ln



Media en torno a 1 --> diferencia de 10 dB

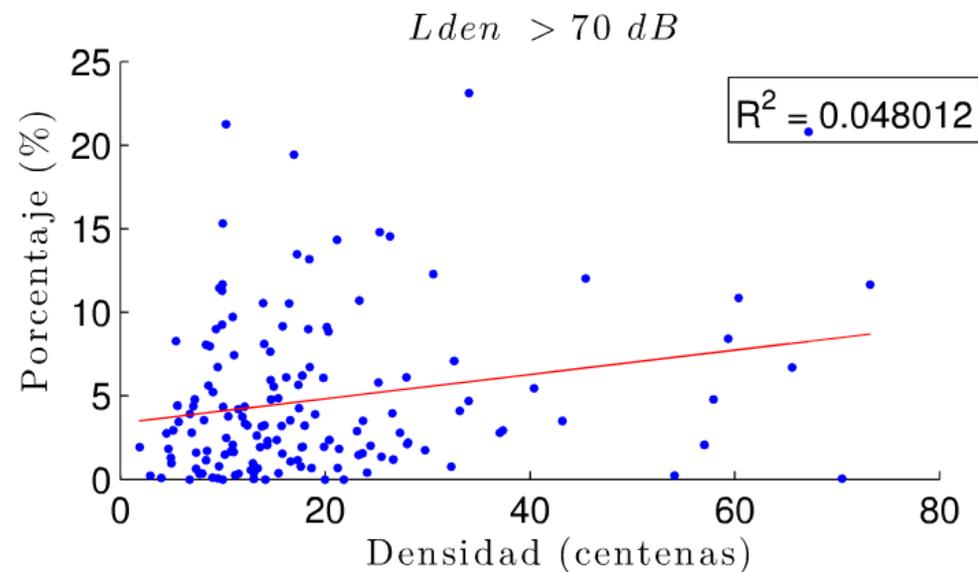
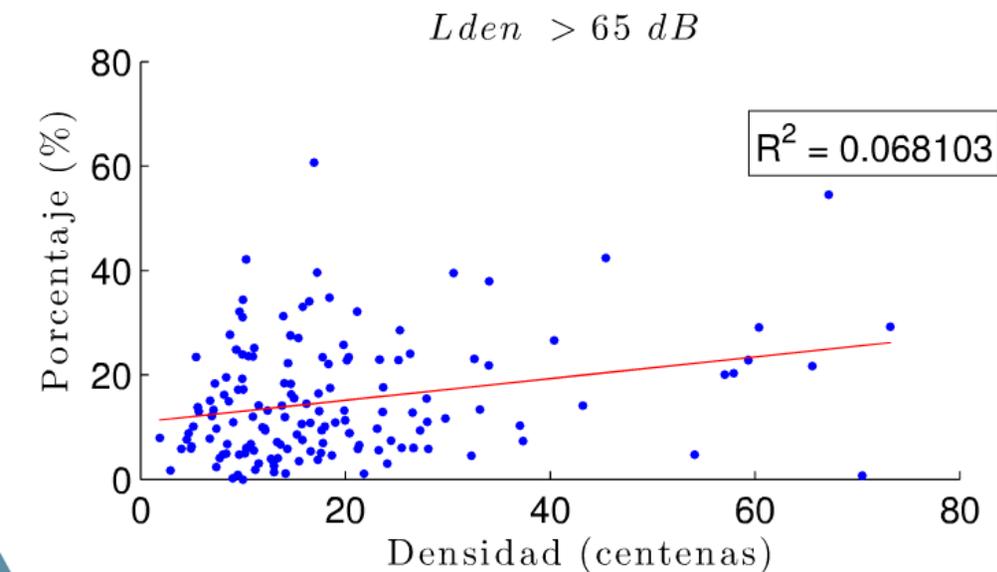
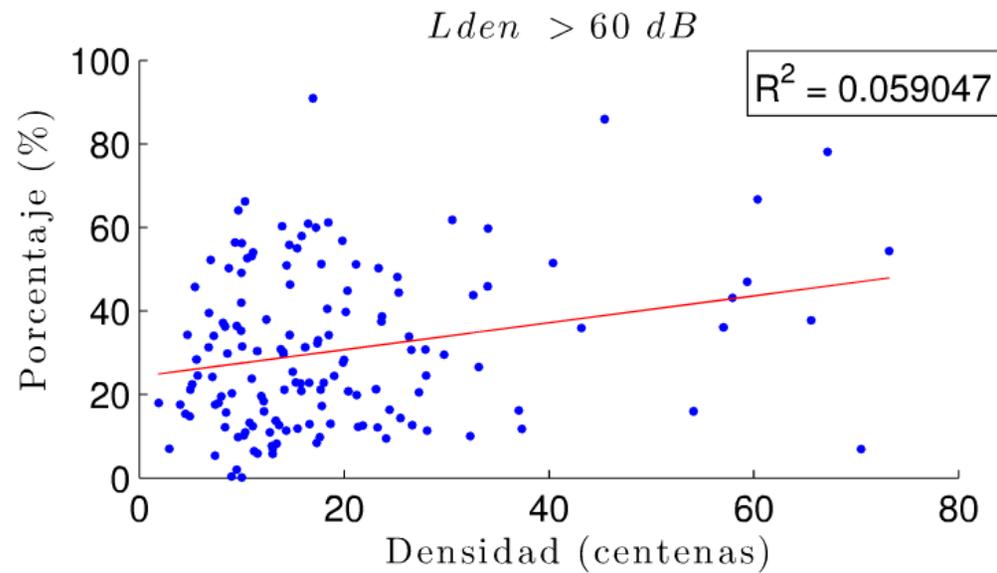
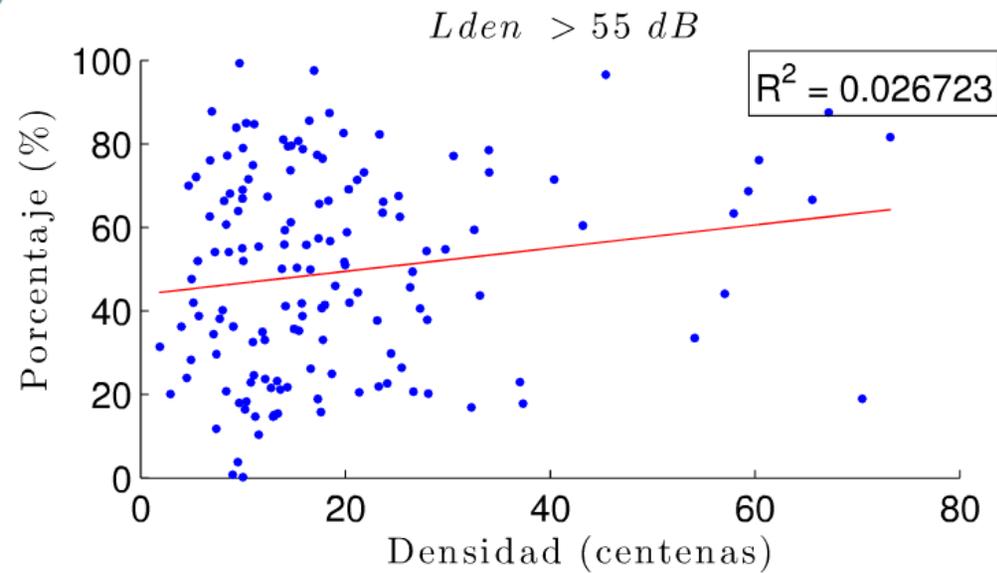
Algunas aglomeraciones con elevadas diferencias entre Lden y Ln.

Comparación entre aglomeraciones alemanas y españolas



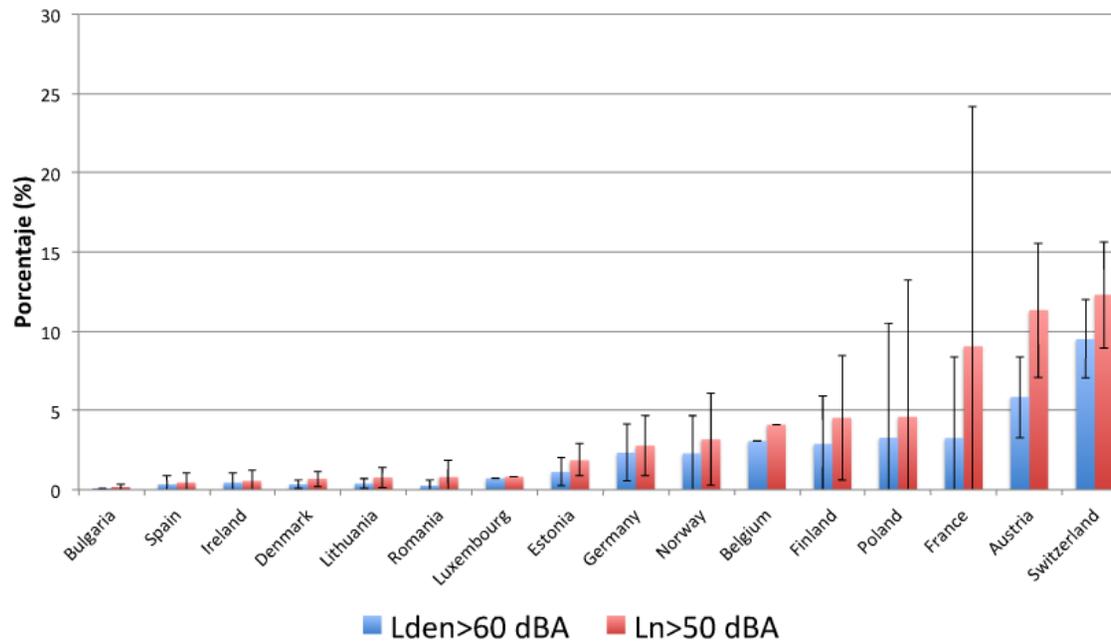
Todas las aglomeraciones alemanas siguen una misma tendencia. Esto no ocurre con las aglomeraciones españolas

Relación entre los niveles deafección y la densidad poblacional

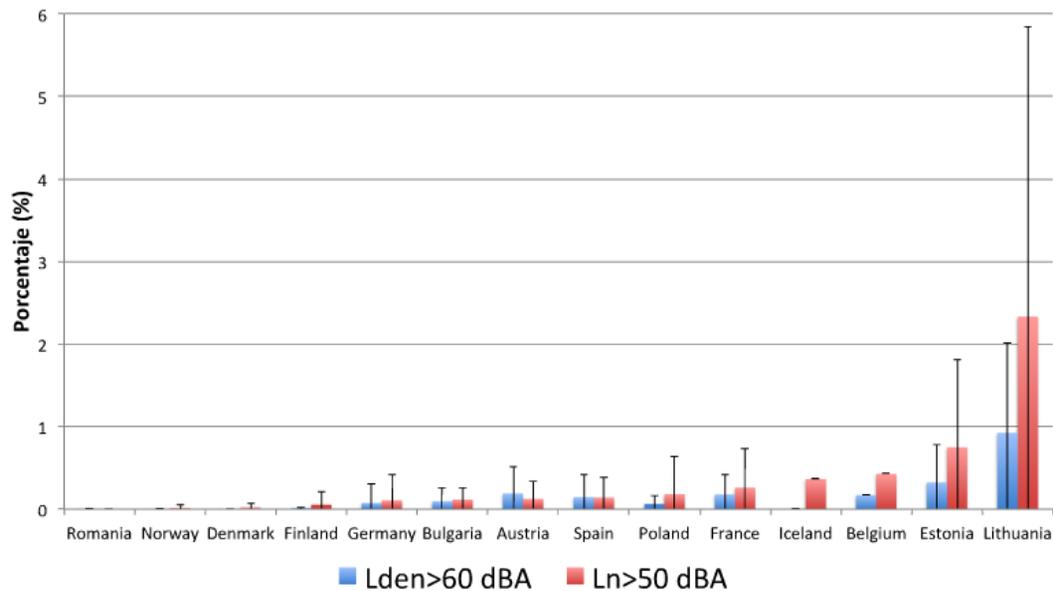


Ruido ferroviario e industrial

Ruido Ferroviario



Ruido Industrial



España tiene unos niveles de afección por ruido ferroviario muy bajos en comparación con el resto de países

Grandes Aeropuertos

Cuadro 1: Ruido en grandes aeropuertos europeos. Número de personas afectadas

País	ICAO	Mov / año	Lden>60 dBA	Ln>50 dBA
Austria	LOWW (Aut)	246157	800	1100
Dinamarca	EKCH (Dk)	258356	400	500
Dinamarca	EKRK (Dk)	68217	0	0
Dinamarca	EKBI (Dk)	57225	0	0
Finlandia	EFHK (Fi)	185000	1900	3700
Alemania	EDDS (Ger)	164736	7500	5700
Alemania	EDDB (Ger)	76607	2100	4200
Alemania	EDDF (Ger)	200583	71800	126300
Alemania	EDDV (Ger)	86000	4500	4900
Alemania	EDDK (Ger)	135938	10100	22000
Alemania	EDDL (Ger)	225089	13100	7400
Alemania	EDDP (Ger)	50972	2600	8500
Alemania	EDDH (Ger)	158076	0	0
Noruega	ENGM (Nor)	231339	600	800
Noruega	ENZV (Nor)	82000	100	0
Noruega	ENBR (Nor)	55474	1500	1900
Noruega	ENVA (Nor)	103200	500	600
Polonia	EPWA (Pol)	138605	300	400
Romania	LROP (Rom)	76966	100	200
España	LEMD (Spa)	429390	2900	2700
España	LEBL (Spa)	303054	400	400
España	LEPA (Spa)	180152	1300	1000
Suiza	LSZH (Swi)	279001	0	0
Suiza	LSGG (Swi)	189121	0	0
Letonia	EVRA (Lat)	72855	0	0
Suecia	ESGG (Swe)	69000	180	208
Suecia	ESSA (Swe)	213000	93	262
Suecia	ESSB (Swe)	67900	660	0

Alemania: EDDF (Frankfurt) 126300 personas afectadas a niveles Ln superiores a 50 dBA.

Suiza: LSZH (Zurich) 279.000 operaciones al año y ninguna afección.

Comparaciones entre Fase I y II

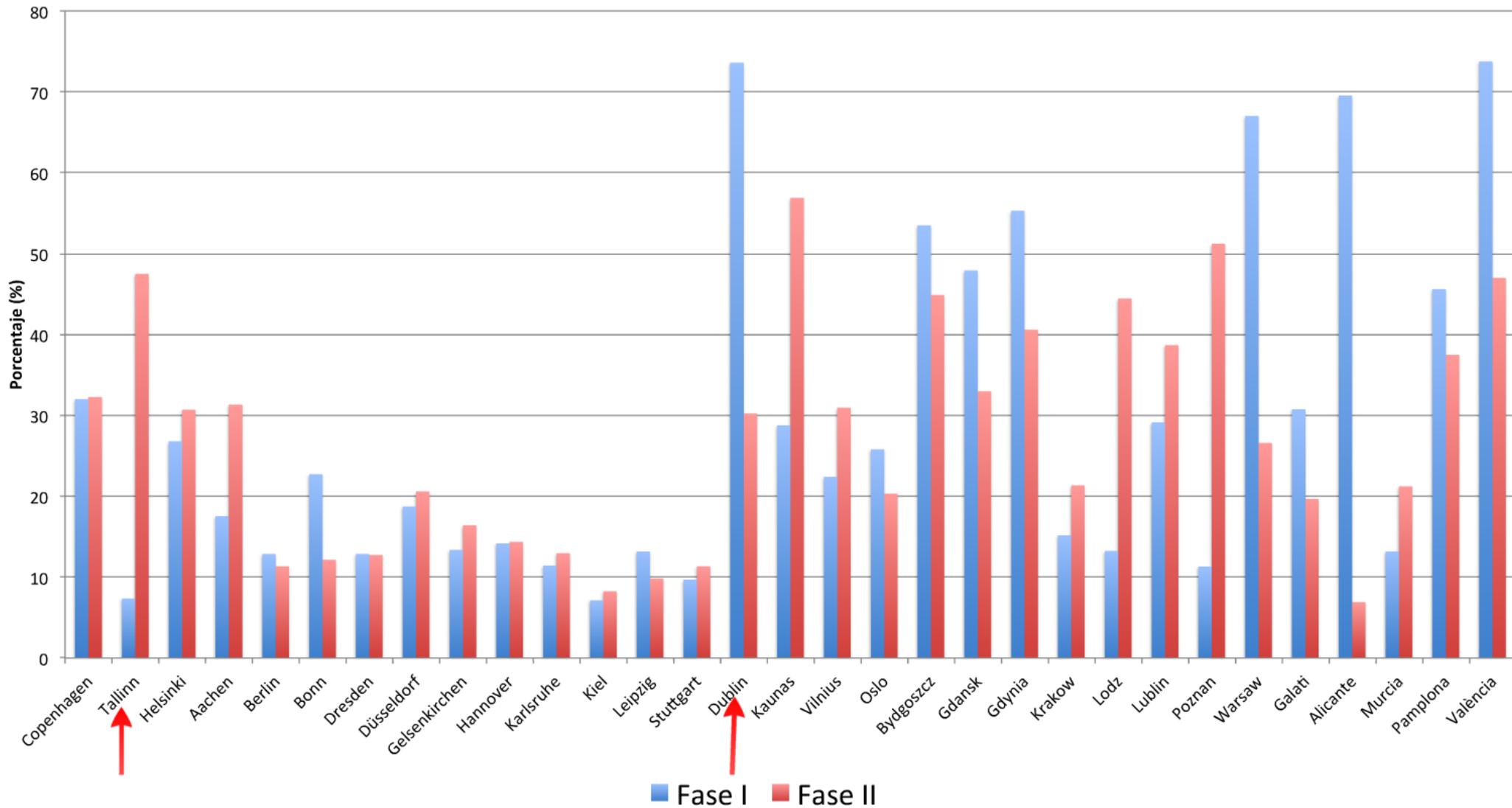
Cuadro 1: Aglomeraciones con MER Fase I y Fase II

País	Aglomeración	Fase I		Fase II	
		Habitantes	Area (km^2)	Habitantes	Area (km^2)
Dinamarca	Copenhagen	1071714	400.0	1163000	670.0
Estonia	Tallinn	401140	159.2	406703	159.2
Finlandia	Helsinki	560905	186.0	570578	215.0
Alemania	Aachen	256486	161.0	260454	161.0
Alemania	Berlin	3332249	889.0	3460725	892.0
Alemania	Bonn	311231	141.0	327913	141.0
Alemania	Dresden	456000	150.0	495800	186.0
Alemania	Düsseldorf	571150	217.0	592393	217.0
Alemania	Gelsenkirchen	271267	105.0	256652	105.0
Alemania	Hannover	555862	238.0	520000	204.0
Alemania	Karlsruhe	300134	173.0	288917	174.0
Alemania	Kiel	292933	188.6	253319	189.0
Alemania	Leipzig	350000	132.0	522882	297.0
Alemania	Stuttgart	600700	211.0	581858	207.0
Irlanda	Dublin	1150000	1163.0	1273100	908.0
Lituania	Kaunas	378943	156.9	311148	157.0
Lituania	Vilnius	553904	400.4	554100	401.0
Noruega	Oslo	822800	-	906318	1003.0
Polonia	Bydgoszcz	355085	179.0	357650	176.0
Polonia	Gdansk	459072	262.0	456591	262.0
Polonia	Gdynia	253193	135.0	247859	135.1
Polonia	Krakow	1410000	327.0	755000	326.8
Polonia	Lodz	764100	294.0	742387	293.3
Polonia	Lublin	353500	147.0	349440	147.5
Polonia	Poznan	564035	216.0	554221	261.9
Polonia	Warsaw	1700536	512.0	1714446	517.2
Romania	Galati	298861	241.5	292898	246.0
España	Alicante	320021	40.0	328441	46.6
España	Murcia	436000	881.1	442064	886.0
España	Pamplona	280199	127.4	317142	134.1
España	Valencia	807396	134.7	799188	134.7

31 aglomeraciones han actualizado sus MER.

Resultados

Comparación de porcentaje de afectados entre Fase I y II en Europa. $L_{den} > 60$ dBA



En algunas aglomeraciones: grandes diferencias entre fase I y II, por ejemplo Tallin y Dublin. ---> sugieren

que se han producido notables diferencias en las metodologías de cálculo.

Conclusiones

Elevadas (sospechosas) diferencias entre los niveles de afección en aglomeraciones españolas.

Debiera generalizarse el cálculo de mapas de ruido en fachadas. La explicación de la metodología debe ser explicada de forma clara.

Las memorias descriptivas deben contener información más precisa.

Alemania presenta, en media, el menor nivel de afección tanto en L_{den} como en L_n . Por otra parte, España es el país con mayor nivel de afección.

En algunos casos, las diferencias (entre Fases I y II) son tan notables que sugieren que se han producido notables diferencias en las metodologías de cálculo.

FIN

Gracias por su atención

