

# Primera aproximación a la relación dosis-efecto entre ruido ferroviario y molestia en España

M.K. Herranz<sup>a</sup> and J.L. Eguiguren<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Centro Tecnológico LABEIN, Cuesta de Olabeaga, nº 16, 48.013 Bilbao, España, [kherranz@labein.es](mailto:kherranz@labein.es)*

**RESUMEN:** Esta comunicación se incluye dentro de un proyecto más amplio sobre “Impacto y coste social del ruido originado por las infraestructuras y servicios ferroviarios en España” que ha sido subvencionado por el Ministerio de Fomento. Aquí presentaremos los resultados de la relación entre niveles de ruido de transporte ferroviario y respuesta de molestia de la población (relación dosis-efecto). También se comparan estos resultados con las curvas tipo de relación dosis-efecto para el transporte ferroviario propuestas por el grupo de trabajo 2 de “Dosis/Efecto” de la Unión Europea. Los datos que se analizan corresponden a dos escenarios ferroviarios urbanos densamente poblados de España. Como una primera aproximación se puede decir que la relación entre niveles de ruido y molestia no ha resultado significativa, posiblemente debido a que solo contamos con 8 zonas acústicas y de características muy variadas. Otro aspecto a resaltar es que nuestros datos no se ajustan a las curvas dosis-efecto de la Unión Europea, existiendo un mayor porcentaje de ciudadanos molestos que el predicho por las curvas, lo que podría estar indicando que los requisitos acústicos al ruido son bastante laxos, no apoyando la mayor permisibilidad para el ruido ferroviario (5dBA menos que para el transporte rodado y 10dBA menos que para el aéreo). La conclusión general que se desprende de estos resultados es la necesidad de seguir trabajando en esta línea para obtener un mayor conocimiento y extraer conclusiones más generalizables.

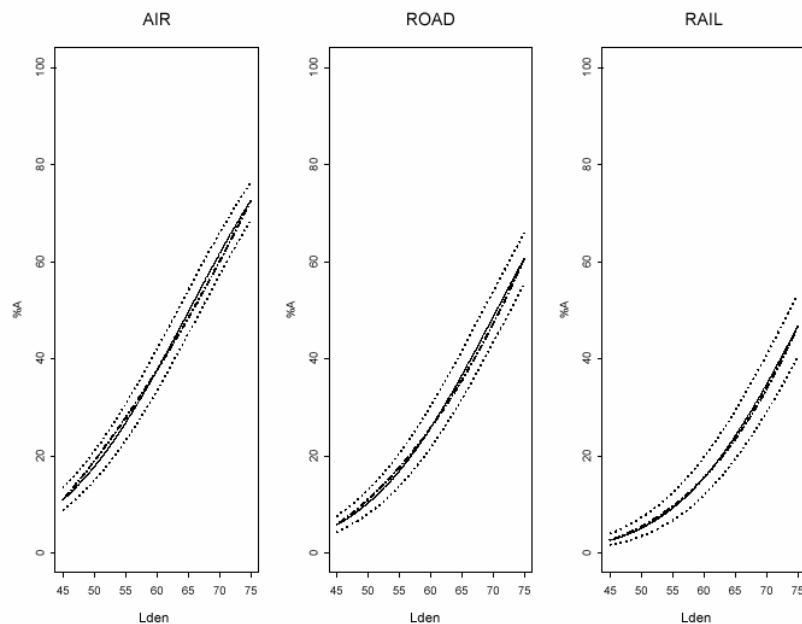
**ABSTRACT:** This proceeding is related to the results obtained in one specific task of the project “Noise Impact and Social Cost from railway infrastructures in Spain”. The project has been developed for the Infrastructures Ministry. Specifically here are presented the results of the relation between the railway transport noise levels and the annoyance response (dose-effect relation). Additionally, is made a comparison with the dose-effect relation curves for railway transport proposed for the Working Group 2 Dose/Effect of the European Commission. The practical experience was carried out in a couple of railway urban scenarios with high-density population in Spain. A first approach shows a non-significant relation between noise levels and annoyance. It could be doubt to the variability of the eight acoustical zones studied. There is not coincidence between the study and the Working Group results. The study shows a % of citizens annoyed higher than the % showed for the WG2 curves. It could be a signal to the possible review of the traditional more permissive noise limits for railway noise.

## 1. INTRODUCCIÓN

El ruido, en general, y el ruido del transporte, en particular, ejerce un impacto importante sobre la población o ciudadanía, y tiene un coste para la sociedad. En relación con el impacto del ruido sobre la población existe una gran cantidad de trabajos internacionales, aunque hay que señalar que la mayoría de estos se centran en el ruido generado por el tráfico rodado o ambiental, en general, y son escasos los que se centran únicamente en el ruido de trenes.

Todos estos trabajos e investigaciones han contribuido a plantear unas curvas tipo de relación entre los niveles de ruido y la molestia (impacto) en relación con tres medios de transporte (rodado, ferroviario y aéreo), que se han materializado en un documento de la Unión Europea en el que se recoge el trabajo de análisis y síntesis del grupo de trabajo nº 2 “Dosis/Efecto” sobre la relación entre el ruido de transporte y la molestia [1]. En este documento, se recomienda usar el porcentaje de personas molestas (%A –“annoyed”-) como descriptor de molestia por ruido en la población, por ser más sensible a los cambios en la molestia a niveles de exposición bajos.

En la figura 1 se presentan las curvas de relación entre los niveles de exposición medidos con el Lden (Nivel continuo equivalente día –“day”-, tarde –“evening”- y noche –“night”-) y la molestia (%A) para tres fuentes de ruido de transporte: aéreo, rodado y ferroviario.



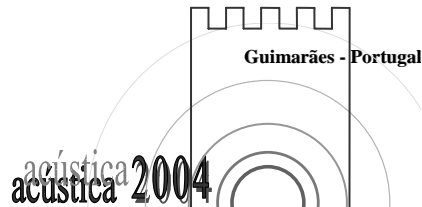
**Nota:** Las líneas continuas corresponden a las curvas estimadas y las líneas segmentadas a las aproximaciones polinómicas. La figura también muestra los intervalos de confianza del 95% (líneas punteadas).

Figura 1. Porcentaje de personas molestas (%A) en función de la exposición a ruido de las viviendas (Lden) [1]

Como se aprecia en esta figura, a iguales niveles de ruido el porcentaje de personas molestas es mayor cuando el ruido es originado por el tráfico aéreo y menor cuando procede del tráfico ferroviario.

Estas curvas se usan para estimar la molestia por ruido (%A) a partir del nivel de exposición a ruido de las viviendas. El grupo de trabajo Dosis/Efecto recomienda usar estas curvas solo para ruido de tráfico aéreo, rodado y ferroviario, y para medidas de periodos largos de tiempo (situaciones estables). No son aplicables a situaciones locales (quejas concretas).

Las estimaciones derivadas de las funciones anteriores pueden ser útiles como una medida estratégica de los efectos del ruido en la población en términos de molestia, en particular en el



contexto de la Directiva relacionado con la evaluación y gestión del ruido ambiental (CE, 2002/49/CE). En el Anexo III de esta directiva, dedicado a “*métodos de evaluación de los efectos nocivos* (del ruido ambiental)” se señala que las relaciones dosis-efecto se utilizarán para evaluar el efecto del ruido sobre la población [2].

En España, no son tantos los estudios psicosociales sobre impacto del ruido aunque la situación está cambiando y las administraciones públicas están demandando estudios y mapas de ruido que incorporen estos estudios psicosociales, prueba de ello es el proyecto en el que se enmarca esta comunicación.

La relación entre niveles de ruido e impacto (molestia) se ha analizado principalmente en términos de correlación. En España no hay muchos trabajos que analicen esta relación, y menos aún que comparen los resultados con las curvas de relación propuestas por el grupo de “Dosis/ Efecto”. De lo que se desprende que todavía nos queda mucho por hacer, principalmente orientado a la generalización de las curvas a nuestros entornos residenciales, escasamente representados en la base de datos a partir de la que se elaboraron las curvas de relación dosis/efecto.

El impacto que origina el ruido en la ciudadanía se mide acudiendo al concepto de molestia por medio de encuestas y/o cuestionario. Ante la diversidad de escalas de molestia empleadas han sido varios los intentos de homogeneizar los criterios de los diferentes investigadores, que se han materializado recientemente en una propuesta de dos escalas estandarizadas canalizada a través del Comité Internacional de Normalización ISO/TS 15666 [3], que refleja el trabajo desarrollado desde 1993 por el Comité Internacional de Efectos Biológicos del Ruido (ICBEN). En este documento se proponen dos tipos de preguntas estándar (una escala verbal de 5 puntos y una escala numérica de 11 puntos) para evaluar la molestia por ruido ambiental. La propuesta se realiza en 9 idiomas diferentes. La versión española definitiva de las escalas fue el resultado de un trabajo desarrollado en las universidades de Valencia y la Pública de Navarra [4].

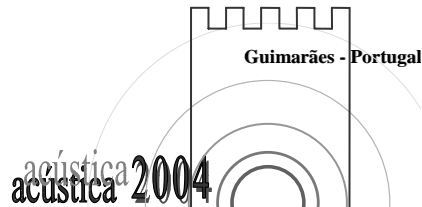
La utilización de preguntas estándar, con escalas normalizadas a nivel internacional, facilita y promueve la comparación de los resultados obtenidos por diferentes autores o grupos de trabajo e, incluso, entre diferentes países, por lo que su uso resulta muy recomendable.

## 2. METODOLOGÍA

En este apartado dedicado a la metodología se presentan los datos del proyecto más relevantes para esta comunicación referidos a medida del ruido de trenes y de su impacto en la población, así como la información más relevante de los dos escenarios ferroviarios españoles seleccionados en los que se ha validado la metodología desarrollada en el proyecto [5].

### 2.1 Medida de los Niveles de Ruido de Trenes

La caracterización acústica de los dos escenarios ferroviarios se basó en la combinación de registros puntuales de niveles sonoros al paso del tren, con registros de larga duración de varios días. La elección entre ambos tipos de muestreo quedó condicionada principalmente por la presencia de otros focos de ruido ambiental. De este modo, se realizaron muestreos puntuales en aquellas zonas en las que la interpretación de los registros continuos pudiera



estar comprometida al no resultar el ruido ferroviario el foco principal. De los resultados obtenidos, se derivaron los diferentes parámetros utilizados en la búsqueda de correlaciones dosis-efecto, abarcando desde el nivel continuo equivalente y nivel máximo asociados al paso puntual del tren, hasta los niveles continuo equivalentes extendidos a los diferentes periodos de evaluación, como los reflejados en la Directiva de Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental ( $L_{\text{night}}$  y  $L_{\text{den}}$ ).

## 2.2 Medida del Impacto-Molestia del Ruido de Trenes

Para recoger el impacto del ruido en la ciudadanía que reside en los dos escenarios ferroviarios españoles seleccionados se diseñó un Cuestionario específico y adaptado a las necesidades de este proyecto.

El cuestionario, entre otras cosas, incluye un ítem que recoge el impacto global (día, tarde y noche) del ruido de infraestructuras y servicios ferroviarios. Este ítem se plantea siguiendo la propuesta ISO/TS 15666 de escala estandarizada de impacto-molestia [3].

## 2.3 Escenarios Ferroviarios Urbanos Seleccionados

Se seleccionaron dos escenarios ferroviarios urbanos españoles densamente poblados: uno con diferentes tipologías de infraestructuras y servicios ferroviarios (Basauri, Bizkaia) y otro caracterizado por el paso de trenes de cercanías de RENFE (Móstoles, Madrid).

Los dos escenarios ferroviarios analizados se estructuraron en 8 zonas en función de sus infraestructuras y servicios ferroviarios, de la orografía del terreno y de la topografía de la vía:

1. **Escenario de Basauri:** se caracteriza por una amplia variedad de infraestructuras y servicios ferroviarios. En este escenario las vías separan la zona urbana de la zona industrial del municipio, excepto en las zonas de la Estación de RENFE y Pozokoetxe integradas en el área residencial urbano.
  - Kareaga**, por la que circulan trenes de cercanías y largo recorrido de RENFE y de mercancías de RENFE y FEVE.
  - Estación de Basauri**, por la que circulan trenes de cercanías y largo recorrido y mercancías de RENFE. Las vías en este tramo urbano discurren en trinchera.
  - Pozokoetxe**, en esta zona se sitúa la terminal de carga de trenes de mercancías de RENFE. Su actividad es más bien escasa y variable.
  - Zumalakarregi-Sarratu**, por esta zona circulan los trenes de mercancías de FEVE, sus vías separan la zona urbana de una zona industrial muy activa.
  - Ariz-Azbarren**, por esta zona circulan trenes de pasajeros de EuskoTren y de mercancías de FEVE, situándose en la zona de Ariz su terminal de carga.
2. **Escenario de Móstoles:** por este escenario solo circulan trenes de cercanías de RENFE con una frecuencia media de 340 trenes por día.
  - Estación de Móstoles**, el trazado en esta zona es recto. En su parte más cercana a Madrid discurre en trinchera, elevándose progresivamente hasta llegar a la estación de “Móstoles” de la línea C7 de cercanías de Madrid-RENFE.
  - Carcavilla**, el trazado en esta zona discurre en curva bastante cerrada.
  - Gran Capitán**, por esta zona las vías discurren a lo largo de un trazado recto, aunque en sus extremos comienzan sendas curvas que se dirigen hacia dos estaciones.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Resultados Descriptivos

La mayor parte de las zonas (5 de 8) se caracterizan por el transporte ferroviario de **cercanías de RENFE**. En las tres zonas de Móstoles la frecuencia de paso alta (340 trenes/día), mientras que en las zonas Kareaga y Estación de Basauri la frecuencia de paso de estos trenes es media (70 trenes/día), si bien pasan también trenes de largo recorrido (15 trenes/día) y de mercancías (30 trenes/día). El porcentaje de ciudadanos impactados por el paso de trenes en estas zonas varía entre el 27% (impacto medio) en la zona de la Estación de Basauri y el 60% (impacto alto) de la zona de la curva de Carcavilla de Móstoles.

Las otras tres zonas se caracterizan por la circulación de trenes de **mercancías** (de FEVE o RENFE), constituyendo dos de ellas terminales de carga. Por una de estas zonas también circulan trenes de **pasajeros de EuskoTren**. El porcentaje de ciudadanos impactados por el paso de trenes en estas zonas también varía entre el 26% (impacto medio) en la zona de Pozokoetxe y el 56% (impacto alto) de la zona de Zumalakarregi-Sarratu de Basauri.

Las zonas donde se detecta un mayor impacto del ruido ferroviario son:

- **Carcavilla**: el impacto se sitúa entre alto y muy alto (60% de ciudadanos afectados). El tramo de las vías de RENFE cercanías en esta zona discurre en curva, originando altos niveles de ruido al paso de trenes asociado al fenómeno de “squeal noise” o “chirrido” ( $L_{eq}$  de 77-81 dBA y  $L_{max}$  de 88-91 dBA en las fachadas de los edificios más próximos), lo que ha llevado a RENFE a realizar una serie de mejoras en este tramo de la vía.
- **Zumalakarregui-Sarratu** (Feve-mercancías): tenemos un impacto alto (56% de ciudadanos afectados). Estos altos índices de impacto podrían ser debidos al tipo de tren, pero consideramos que su frecuencia (unos 10 trenes/día) no es tan alta como para explicar la respuesta de la ciudadanía. Además, en el registro continuo de 48 horas no se ha podido diferenciar los pasos de tren de mercancías de los eventos ruidosos industriales procedentes de las empresas situadas al otro lado de la vía. La molestia alta quizá pueda ser explicada por la exposición y saturación de los ciudadanos a diferentes fuentes de ruido en su entorno residencial: ferrocarril, industria y tráfico urbano.

Otras zonas con alto impacto por ruido de trenes (en torno a un 50% de los ciudadanos se encuentran afectados) son:

- **Gran Capitán**: esta zona corresponde al tramo recto entre las estaciones de Mostoles y Móstoles-El Soto, donde los trenes circulan a mayor velocidad. Las viviendas más cercanas a los límites de este tramo pueden estar también afectadas por los ruidos originados por los trenes al circular por los tramos anexos en curva.
- **Kareaga**: El alto impacto por ruido de trenes detectado en esta zona parece ser debido a la circulación de los diferentes tipos de trenes de RENFE a lo largo de las 24 horas. La circulación de los trenes de mercancías de FEVE parece no afectar apenas a la población debido a su baja frecuencia y a su circulación en trinchera.

En las zonas de Estación y Pozokoetxe (Basauri) es donde se detecta un menor impacto (medio), ya que el ruido ferroviario afecta a menos del 30% de los ciudadanos.

- **Estación de Basauri**, en esta zona es donde se da el menor impacto, posiblemente debido a la menor velocidad de circulación de los trenes, ya que la mayoría tienen que parar en la

estación y a que las vías en esta zona discurren atrincheradas, lo que protege a los vecinos de los ruidos ferroviarios. Algo parecido ocurre en la zona de la Estación de Móstoles.

- **Pozokoetxe** parece sufrir un menor impacto por ruido ferroviario debido a la escasa actividad de la terminal de carga que se sitúa en esta zona.

### 3.2 Relación Dosis/Efecto para el Ruido de Trenes

Para examinar esta relación acudimos a dos índices acústicos, a saber, el  $L_{eq}$  y el  $L_{max}$  (en dBA) de los pasos de tren en fachada para cada zona, y como medida del efecto tuvimos en cuenta el porcentaje de ciudadanos molestos por el ruido del paso del tren (impacto del ruido del tren –IRT-).

Las zonas consideradas no coinciden exactamente con las expuestas en el apartado anterior:

- No se disponen de datos acústicos de las zonas de **Pozokoetxe y Zumalakarregi-Sarratu**.
- La zona de la **estación de Móstoles** se ha subdividido en 3 secciones acústicamente diferenciadas:
  - **Estación → Madrid:** es un tramo recto con niveles  $L_{eq}$  y  $L_{max}$  al paso del tren del orden de 71 y 77dBA de  $L_{eq}$  y  $L_{max}$  respectivamente.
  - **Estación:** con trenes circulando a menor velocidad (recta), donde se registran niveles  $L_{eq}$  y  $L_{max}$  al paso de los trenes del orden de 62 y 66 dBA.
  - **Estación → Curva:** el efecto de la curva se refleja en el incremento de los niveles sonoros hasta 77dBA de  $L_{eq}$  y hasta 85,5 dBA de  $L_{max}$ .

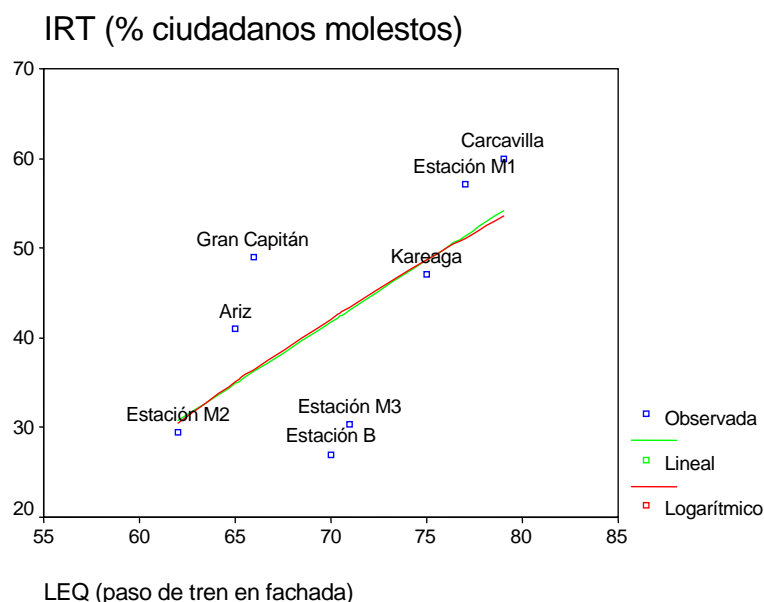
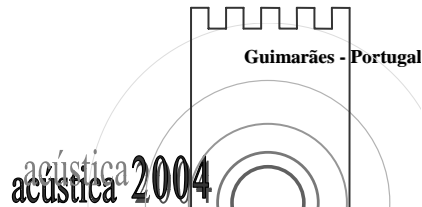


Figura 2. Relación dosis-efecto entre el nivel continuo equivalente del paso del tren en fachada y el impacto del ruido de trenes (% de ciudadanos molestos)



La relación dosis-efecto examinada en este proyecto no ha resultado ser significativa ( $P > 0,05$ ), posiblemente debido a los pocos casos con los que contamos (8 zonas) y a la amplia variabilidad que hay entre ellas. No obstante, se constatan algunas tendencias que parecen indicarnos el sentido e importancia de las mismas.

En la Figura 2 se representa la relación entre el nivel continuo equivalente del paso de trenes ( $L_{eq}$  en dBA en fachada) y el impacto del ruido de trenes (% de ciudadanos molestos por el ruido del paso de trenes). La significación de la relación lineal es del 0,08 ( $B=0,65$ ;  $T=2,12$ ;  $P=0,079$ ) y la de la logarítmica del 0,09 ( $B=0,64$ ;  $T=2,05$ ;  $P=0,087$ ). En la figura se aprecia que a medida que aumenta el nivel de ruido de trenes ( $L_{eq}$  en dBA) aumenta el porcentaje de ciudadanos que se sienten molestos por el ruido de trenes. El nivel de ruido en este caso es capaz de predecir algo más del 40% de la variabilidad del impacto.

## 5. CONCLUSIÓN

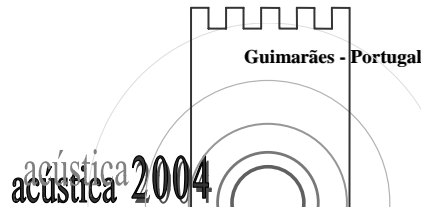
El deseo de Ministerio de Fomento y de Labein es que estos resultados sirvieran como apoyo para establecer los Criterios de Valoración del Impacto Acústico de las Líneas Férreas por parte de las administraciones competentes, tal y como se recoge en la Directiva Europea de Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental y en la Ley de Ruido recientemente aprobada en nuestro país.

Se reconoce que este objetivo es muy ambicioso y que trasciende nuestro propósito, ya que para alcanzarlo es necesario llevar a cabo antes el diagnóstico y evaluación del impacto del ruido ferroviario en España. No obstante, creemos que se puede apuntar unas pinceladas que podrían constituir un primer punto de arranque de una propuesta de requisitos acústicos exigibles para el transporte ferroviario en nuestro país, basándonos en los resultados alcanzados en los 2 escenarios ferroviarios urbanos analizados.

La mayoría de los escenarios ferroviarios urbanos que nos encontramos en nuestro país corresponde a uso residencial colectivo consolidado. Para este tipo de uso se establecen dos límites de ruido ferroviario: uno de evaluación y otro de actuación. Internacionalmente, lo más común es establecer 70 dBA ( $L_{eq}$ -día) como límite de evaluación, que es el nivel por debajo del cual hay menos del 35% de personas impactadas por el ruido; y 75 dBA ( $L_{eq}$ -día) como límite de alarma, ya que a partir de este nivel el porcentaje de personas afectadas es mayor del 50%. Recordemos que estos límites son 5 dBA más altos que los del ruido de tráfico porque siempre se ha considerado que a equivalentes niveles de ruido la molestia por ruido de trenes es menor.

No obstante, los datos hallados en los dos escenarios ferroviarios españoles analizados no concuerdan con los que acabamos de exponer. En estos escenarios, las líneas de regresión nos indican que a 70 dBA ( $L_{eq}$ -día) –límite de evaluación- el porcentaje de ciudadanos molestos es de cerca del 45%, mientras que a 75 dBA ( $L_{eq}$ -día) el porcentaje de ciudadanos molestos es mayor del 50%.

Si nos basamos en los datos obtenidos en este estudio los límites de evaluación y actuación deberían ser más restrictivos. El límite de evaluación debería situarse en torno a los 60 dBA de  $L_{den}$ , por debajo del cual solo el 30-35% de ciudadanos estarían molestos por el ruido de



trenes. El límite de actuación se situaría entre los 65 y 72 dBA, a partir de este límite el porcentaje de personas molestas sería superior al 40-50%.

Estos resultados parecen indicar que los requisitos acústicos al ruido ferroviario son bastante laxos, lo que no apoyarían la mayor permisibilidad del ruido ferroviario frente al de tráfico o al de aviones. Otra posible explicación puede ser que los ciudadanos de nuestro país son más sensibles al ruido ferroviario, es decir, manifiestan mayores niveles de molestia a equivalentes niveles de exposición a este tipo de ruido, lo cual se opone a la creencia generalizada de que los países mediterráneos (del sur de Europa) al ser más bulliciosos culturalmente son menos sensibles al ruido o al revés.

Antes de apoyar estas hipótesis, consideramos necesario contrastarlas en suficientes escenarios ferroviarios urbanos de nuestro país ya que, como se recordará, los datos presentados solo se refieren a dos escenarios, por lo que la generalización de estos resultados no se encuentra suficientemente sustentada. Ahora bien, si nos parecen dos buenas hipótesis de partida que es necesario contrastar.

## RECONOCIMIENTOS

Al Ministerio de Fomento por la subvención del proyecto “Impacto y Coste Social del Ruido de Infraestructuras y Servicios Ferroviarios en España” (2003), perteneciente al Programa Ayudas a la Investigación en el Área de Transporte, dentro del que se enmarca el estudio que se presenta en esta comunicación.

## REFERENCIAS

- [1] EC-WG2 (2002) *Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance*. EU's Future Noise Policy, WG2 –Dose/Effect. Luxembourg, European Communities (20 February 2002).
- [2] CE (2002) “Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental”. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, L 189, 12-25 (18.7.2002).
- [3] ISO/TS (2003) “Acoustics-assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys”. Technical Specification 15666, Charlottenlund, Denmark.
- [4] García, A.; García, A.M.; Arana, M.; y Vela, A. (1999) “Evaluación de la molestia producida por el ruido ambiental”. *TecniAcústica99*, Ávila (Spain), 1999.
- [5] Herranz, M.K. and Eguiguren, J.L. (2003) *Impacto y coste social del ruido originado por las infraestructuras y servicios ferroviarios en España*. Informe Técnico de Labein para el Ministerio de Fomento.