

# **Costes y Beneficios de la Implementación del Aislamiento Acústico en el Mercado Residencial de Nueva Planta en Barcelona**

Ing. José Manuel Romo Orozco

Dr. Carlos Marmolejo Duarte

Dr. Francesc Daumal i Domènech

En España, buscando incrementar la habitabilidad de las edificaciones, se modificó la normativa que rige los procesos de diseño y construcción; con su aplicación se obtienen viviendas con mayor aislamiento acústico, pero a mayor coste. Esta investigación en desarrollo busca demostrar que la disposición a pagar por habitar una vivienda mejor aislada, supera los costes de implementación de sistemas de aislamiento más rigurosos. Los beneficios monetarios se estiman mediante la técnica de valoración contingente, en donde la reproducción de grabaciones que simulan las condiciones acústicas de viviendas con distintos niveles de aislamiento constituye el mercado del control del ruido. Actualmente existen estudios económicos sobre las mejoras en la habitabilidad de las viviendas, pero la relevancia de esta investigación está en el análisis coste-beneficio de la normativa vigente y en el uso de la simulación acústica para tratar de reducir la subjetividad implícita en la valoración del ruido ambiental. Los resultados preliminares indican que los beneficios superan el sobre coste de proporcionar mejor aislamiento y que el uso de la simulación reduce las respuestas de protesta pero incrementa la disposición a pagar de la media poblacional.

Palabras clave: ruido, valoración contingente, aislamiento acústico, código técnico de la edificación.

## Introducción

En la actualidad, el funcionamiento de las áreas urbanizadas ha elevado las externalidades ambientales (Nijland *et al.*, 2003); en este sentido, se estima que la contaminación acústica está estrechamente vinculada al tráfico urbano (Vida *et al.*, 2006), de tal manera que el incremento del parque vehicular tiene asociado impactos económicos que repercuten en dos receptores: los habitantes y las infraestructuras físicas. En el último caso, quienes suelen presentar mayor impacto son las propiedades residenciales, de manera que algunos investigadores consideran que *“el coste social del ruido se hace evidente en la depreciación de las viviendas de las zonas ruidosas, en los costes de insonorización y amortiguación de aquellas viviendas que sufren sus efectos, en los costes jurídicos que ocasiona a los demandantes conseguir ser atendidos por la justicia y en los costes que suponen los efectos adversos del ruido sobre la salud y el bienestar psicológico”* (Martíimportugués y Canto, 2005). De esta manera, el ruido se puede considerar como un problema económico de gran importancia en las sociedades actuales y se puede concluir que a las personas les gusta el silencio, de manera que por lo general están dispuestas a pagar por él (Harris, 1995; Baranzini y Ramírez, 2005; Marmolejo, 2008; Marmolejo y Frizzera, 2008).

Con el cambio normativo que recientemente se implementó en España, los procesos de diseño y construcción de viviendas se vieron modificados, incrementando con ello las prestaciones pero también en alguna medida los costes de ejecución. Por este motivo, se plantea la hipótesis de que el coste de implementación de las medidas técnico-constructivas para mejorar el confort acústico es menor que el beneficio que los individuos perciben y que expresan a través de su disposición a pagar (en adelante DAP) por acceder a una vivienda construida con los criterios impuestos por el DB-HR (Documento básico de protección frente al ruido) del CTE (Código Técnico de la Edificación).

El método utilizado para estimar los beneficios y verificar la hipótesis es la valoración contingente (a partir de ahora VC). Esta técnica se basa en la creación de mercados hipotéticos que se materializan en la realización de encuestas a las personas afectadas por el cambio en la calidad del bien. Para superar que las personas no hayan experimentado lo que significan los cambios exigidos por el DB-HR ya que las viviendas construidas con esta normativa son reducidas, se utiliza como escenario de valoración la simulación acústica; con la introducción de esta herramienta la atención se focaliza en obtener la disposición a pagar por el silencio en una vivienda específica.

## Definición del bien a valorar

Para aplicar la VC es necesario definir claramente el bien o el evento que se quiere valorar para transmitirlo perfectamente a los encuestados. En este caso, para presentar el cambio en la cantidad y la calidad del bien, se identificó una vivienda tipo de la que se extraen sus principales características espaciales, materiales y de contexto con el fin de proponer alguna estrategia constructiva orientada a reducir el ruido percibido en su interior.

En esta fase se analizó estadísticamente una muestra de 825 promociones construidas entre los años 2006 y 2008 (lo que implica que fueron diseñadas acústicamente con la normativa previa al DB-HR); se concluyó que las viviendas más comunes de reciente creación en Barcelona tienen una superficie cercana a los 80m<sup>2</sup> y cuentan al menos con una estancia y un par de dormitorios (Figura 1). Los pavimentos suelen ser de parquet sencillo y la fachada de obra vista sencilla. Una parte importante se ventilan por medio de patios de luces o por interiores de manzana y en general no cuentan con atractivos externos, como piscinas o jardines; en cuanto a la tipología edificatoria, predomina la construcción entre medianeras, típica de los tejidos de ensanche, y en bloque lineal con alineación a calle, por lo que presentan una proximidad importante a las vías de comunicación.

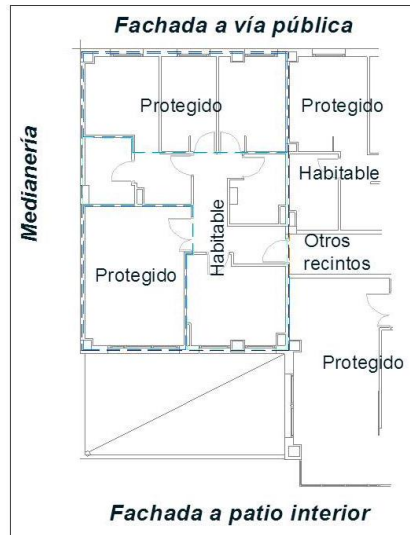


Figura 1- Vivienda tipo (Elaboración propia)

Posteriormente las 825 promociones analizadas fueron agrupadas para vincularlas al mapa estratégico de ruido (Figura 2) y de esta manera obtener, a través del análisis geoespacial, el nivel de ruido ( $L_d$ ) del conjunto.

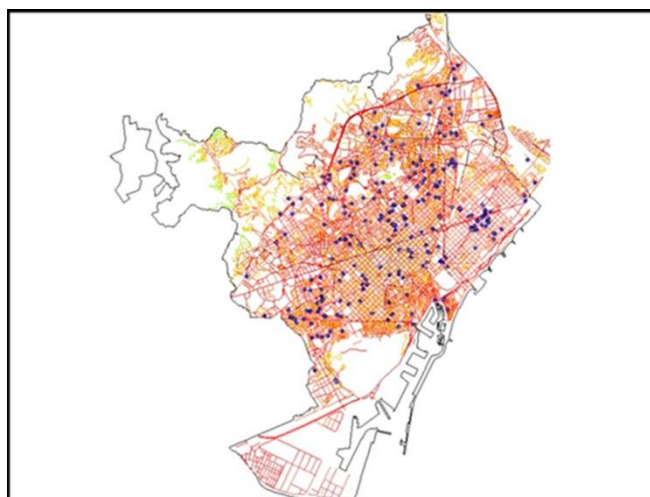


Figura 2 – Mapa de ruido con 246 promociones analizadas (Elaboración propia)

La media obtenida fue de 66.3 dB(A) ( $\pm 5.2$  dB(A)), y el rango en el que se agrupa el mayor número de edificaciones está comprendido entre los 65 y los 70 dB(A); este nivel se registra en 77 de las edificaciones georreferenciadas, y es el más representativo en tres de los diez distritos de Barcelona (Figura 3).

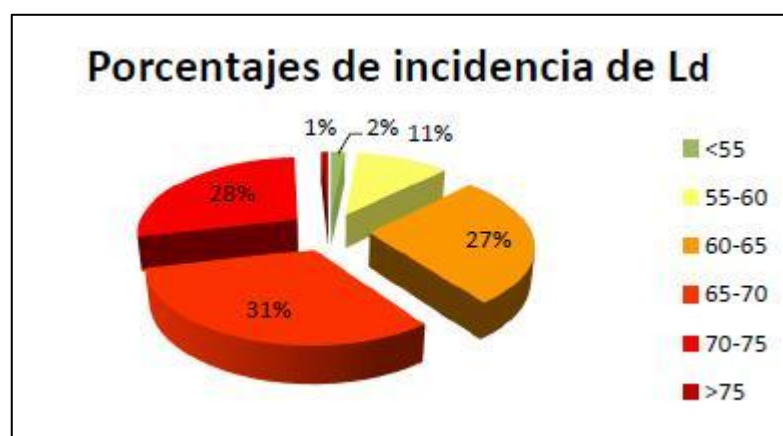


Figura 3 – Porcentajes de edificaciones según su exposición al ruido (dB(A))

### Cambio normativo y cálculo de los sobrecostes de construcción

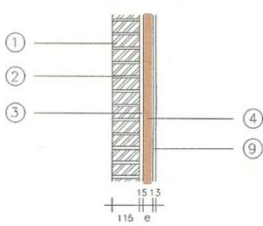
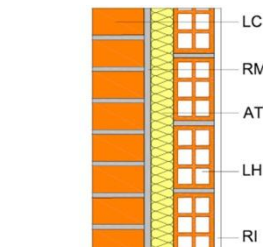
Diversos estudios (Smith *et al.*, 2006; Baranzini *et al.*, 2006; Trombetta, Krüger y Lucio, 2008; Low, Liu y Oh, 2008) demuestran que los altos niveles de ruido en las viviendas se deben, entre otros factores, a la falta de aislamiento acústico por lo que una intervención en los elementos constructivos puede incrementar considerablemente el confort acústico de las edificaciones, pero frecuentemente con un coste de ejecución mayor.

Previo a la implementación definitiva del DB-HR en el año 2009 (había sido aprobado en octubre de 2007), la Norma básica “NBE-CA-88” fue aplicada en el diseño y construcción de todo tipo de edificaciones, incluyendo las viviendas. En esos momentos los edificios se

caracterizaban acústicamente por el aislamiento, definido en laboratorio, de todos y cada uno de los elementos que conformaban los distintos espacios interiores habitables; el diseño consistía en seleccionar los elementos que cumpliesen teóricamente con los valores de aislamiento fijados en la norma. Con la aprobación del DB-HR, además de incrementar las exigencias prestacionales, se introduce la necesidad de considerar todas las posibles vías de transmisión del sonido y la comprobación “*in situ*” del aislamiento obtenido, lo que se traduce en un mayor control del ruido al interior de las edificaciones.

Con estos antecedentes, para definir los componentes originales de la vivienda típica se solicitó información a arquitectos y promotores; de las memorias descriptivas de la promociones se obtuvieron detalles de los elementos constructivos que permitieron analizar el comportamiento acústico de la vivienda real y comprobar el cumplimiento de la NBE-CA. Posteriormente, para diseñar los elementos constructivos que cumplieran con lo indicado en el DB-HR, se recurrió a herramientas de libre disposición, en este caso a la aplicación “Silensis” presentada por Hispalyt y el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. De esta manera, las soluciones hipotéticas (DB-HR) fueron comparadas con las reales (NBE-CA) para estimar posteriormente un sobrecoste aproximado de lo que significa implementar sistema de aislamiento más restrictivos (Tabla 1).

Tabla 1 : Soluciones para fachada

Solución NBE-CA	 <p>Peso por unidad de superficie (P): 215 kp/m<sup>2</sup></p> <p>Aislamiento acústico a ruido aéreo (R): 44 dBA</p> <p>Coefficientes de transmisión térmica (K): kcal/h.m<sup>2</sup>.°C W/m<sup>2</sup>.°C</p> <p>Flujo horizontal hacia ambiente interior: <math>1/(0,53+R_A)</math> <math>1/(0,46+R_B)</math></p> <p>Flujo horizontal hacia ambiente exterior: <math>1/(0,47+R_A)</math> <math>1/(0,40+R_B)</math></p> <p>Resistencia al fuego: RF-240</p> <p>Estabilidad al fuego: EF-240</p>	<p>Ladrillo cerámico perforado, de caravista de 11,5cm de espesor, con barrera de resistencia muy alta a la filtración (B3) formada por un revestimiento continuo intermedio.</p> <p>Trasdosado adosado de entramado de perfilera omega de chapa de acero galvanizado, con aislamiento térmico y placa de yeso laminado fijada mecánicamente</p>																		
Solución DB-HR	 <table border="1" data-bbox="750 1523 1013 1780"> <thead> <tr> <th colspan="3">DB HR - Ruido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R<sub>A, min</sub></td> <td>50</td> <td>dBA</td> </tr> <tr> <td>R<sub>A, tr min</sub></td> <td>47</td> <td>dBA</td> </tr> <tr> <td>R<sub>A, med</sub></td> <td>50</td> <td>dBA</td> </tr> <tr> <td>R<sub>A, tr med</sub></td> <td>47</td> <td>dBA</td> </tr> <tr> <td>m<sub>med</sub></td> <td>271</td> <td>kg/m</td> </tr> </tbody> </table>	DB HR - Ruido			R <sub>A, min</sub>	50	dBA	R <sub>A, tr min</sub>	47	dBA	R <sub>A, med</sub>	50	dBA	R <sub>A, tr med</sub>	47	dBA	m <sub>med</sub>	271	kg/m	<p>Ladrillo cerámico perforado, de caravista de 11,5cm de espesor, con barrera de resistencia muy alta a la filtración (B3) formada por revestimiento continuo intermedio y aislamiento térmico.</p> <p>Trasdosado autoportante de ladrillo cerámico hueco doble de 7cm de espesor, y con revestimiento interior de guarnecido de yeso</p>
DB HR - Ruido																				
R <sub>A, min</sub>	50	dBA																		
R <sub>A, tr min</sub>	47	dBA																		
R <sub>A, med</sub>	50	dBA																		
R <sub>A, tr med</sub>	47	dBA																		
m <sub>med</sub>	271	kg/m																		

Fuente: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja

El sobrecoste por aislamiento se calculó a partir del coste industrial de fabricación de cada uno de los elementos constructivos que componen la vivienda típica, y para ello se recurrió al generador de precios de CYPE. En la Tabla 2 se presentan dos opciones con los sobrecostes mínimos y máximos que se pueden obtener con las soluciones consideradas,

mostrando con ello un rango. La tabla también incluye dos valores parciales y un total: el primer es el incremento en los costes de la vivienda sin considerar la fachada, el segundo es el sobrecoste de ésta y finalmente se presenta el incremento total de la vivienda analizada.

Tabla 2: Sobrecoste de los elementos constructivos para la vivienda típica

Elemento constructivo	Cantidad (m <sup>2</sup> )	Costes (euros)					
		Opción 1			Opción 2		
		NBE-CA-88	DB-HR	Sobrecoste	NBE-CA-88	DB-HR	Sobrecoste
Particiones interiores para áreas del mismo uso	40.0	695.3	717.7	22.4	695.3	717.7	22.4
Particiones interiores para áreas de uso distinto	40.5	704.7	727.4	22.7	704.7	727.4	22.7
Separadoras de propiedades	29.4	997.2	1706.8	709.7	994.5	1706.8	712.3
Separadoras de zonas comunes interiores o usuarios distintos	13.4	394.8	541.5	146.7	270.9	541.5	270.6
Elementos horizontales de separación	86.3	7169.6	7202.4	32.8	7169.6	7202.4	32.8
Cubiertas planas	14.4	1062.4	1086.9	24.5	1062.4	1086.9	24.5
<b>Subtotal 1 (sin fachada)</b>		<b>11023.9</b>	<b>11982.7</b>	<b>958.8</b>	<b>10897.4</b>	<b>11982.7</b>	<b>1085.3</b>
<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>				<b>11.1</b>			<b>12.6</b>
Fachadas	34.8	2605.6	2877.7	272.0	2605.6	2877.7	272.0
Acristalamiento	10.3	332.4	924.0	591.6	332.4	924.0	591.6
<b>Subtotal 2 (fachada+acrist.)</b>		<b>2938.0</b>	<b>3801.7</b>	<b>863.6</b>	<b>2938.0</b>	<b>3801.7</b>	<b>863.6</b>
<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>				<b>10.0</b>			<b>10.0</b>
<b>Total</b>		<b>13962.0</b>	<b>15784.4</b>	<b>1822.4</b>	<b>13835.4</b>	<b>15784.4</b>	<b>1948.9</b>
<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>				<b>21.1</b>			<b>22.6</b>

Este análisis se amplió a siete viviendas que utilizan los mismos sistemas constructivos pero de distinta superficie útil y de fachada (Tabla 3); la menor tiene una superficie apenas superior a los 50 m<sup>2</sup> y está ubicada al interior de la manzana, mientras que la más grande, con una superficie de 110 m<sup>2</sup>, posee una fachada con grandes acristalamientos y está alineada con una calle de gran circulación vehicular.

Tabla 3: Comparativa de sobrecostes (euros)

	Opción 1					Opción 2					
	NBE-CA	DB-HR	Sobrec (PEM)	Cc (1.2 PEM)	Vv (1.38 Cc)	NBE-CA	DB-HR	Sobrece (PEM)	Cc (1.2 PEM)	Vv (1.38 Cc)	
Vivienda tipo A. Sup=110.33 m <sup>2</sup>	<b>Subtotal s/fachada</b>	14092.51	14865.64	773.13	927.76028	1280.31	13719.19	14898.92	1179.73	1415.67836	1953.64
	<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>			7.01	8.41	11.60			10.69	12.83	17.71
	<b>% del sobrecoste</b>					0.29%					0.44%
	<b>Subtotal c/fachada</b>	4178.64	6319.98	2141.34	2569.608	3546.06	4178.64	6319.98	2141.34	2569.608	3546.06
<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>			19.41	23.29	32.14			19.41	23.29	32.14	
<b>% del sobrecoste</b>					0.80%					0.80%	
<b>Total</b>	18271.15	21185.62	2914.47	3497.36828	4826.37	17897.83	21218.90	3321.07	3985.28636	5499.70	
<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>			26.42	31.70	43.74			30.10	36.12	49.85	
<b>% del sobrecoste</b>					1.09%					1.24%	
Vivienda tipo D. Sup=86.35 m <sup>2</sup>	<b>Subtotal s/fachada</b>	11023.93	11982.71	958.78	1150.53041	1587.73	10897.39	11982.71	1085.31	1302.37382	1797.28
	<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>			11.10	13.32	18.39			12.57	15.08	20.81
	<b>% del sobrecoste</b>					0.46%					0.52%
	<b>Subtotal c/fachada</b>	2938.04	3801.67	863.63	1036.3554	1430.17	2938.04	3801.67	863.63	1036.3554	1430.17
<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>			10.00	12.00	16.56			10.00	12.00	16.56	
<b>% del sobrecoste</b>					0.41%					0.41%	
<b>Total</b>	13961.97	15784.37	1822.40	2186.88581	3017.90	13835.43	15784.37	1948.94	2338.72922	3227.45	
<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>			21.10	25.33	34.95			22.57	27.08	37.38	
<b>% del sobrecoste</b>					0.87%					0.93%	
Vivienda tipo G. Sup=52.52 m <sup>2</sup>	<b>Subtotal s/fachada</b>	6948.28	7681.89	733.61	880.33088	1214.86	6750.74	7710.68	959.95	1151.93522	1589.67
	<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>			13.97	16.76	23.13			18.28	21.93	30.27
	<b>% del sobrecoste</b>					0.58%					0.76%
	<b>Subtotal c/fachada</b>	1915.39	2257.56	342.18	410.61168	566.64	1915.39	2257.56	342.18	410.61168	566.64
<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>			6.52	7.82	10.79			6.52	7.82	10.79	
<b>% del sobrecoste</b>					0.27%					0.27%	
<b>Total</b>	8863.67	9939.45	1075.79	1290.94256	1781.50	8666.12	9968.25	1302.12	1562.5469	2156.31	
<b>Sobrecoste €/m<sup>2</sup></b>			20.48	24.58	33.92			24.79	29.75	41.06	
<b>% del sobrecoste</b>					0.85%					1.02%	

Es necesario hacer notar que aun cuando las soluciones analizadas son de uso común en las edificaciones actuales, los sobrecostes presentados se obtuvieron a partir de una casuística específica y no del total de casos posibles. Pese a esta condición, los parámetros calculados son comparables a los presentados por estudios de factibilidad realizados con anterioridad (Domínguez y Frías, 2006), por lo que los sobrecostes estimados se consideran parámetros orientativos válidos.

En general se observa que la fachada es un elemento determinante en el sobrecoste, especialmente su parte débil constituida por la carpintería y el acristalamiento. Pero lo más importante, teniendo como referencia un precio de compra-venta cercano a los 4000 euros/m<sup>2</sup> y de 14.6 euros/m<sup>2</sup> para el alquiler, es que los sobrecostes pueden significar un incremento que se ubica entre 0.75% y el 1.3% en la compra-venta de la vivienda, o de 6.5 a 20 euros mensuales adicionales cuando se tiene en alquiler; para la vivienda típica, el alquiler mensual tendría que verse incrementado en 11 euros para compensar el sobrecoste del mejor aislamiento.

### **Características de la encuesta**

En los estudios de VC, el diseño de la encuesta es un componente crucial para dar a conocer el bien que se valora, la forma en que se proporcionará y cómo se pagará por él (Champ, Boyle y Brown, 2003). El planteamiento debe ser creíble, de manera que el encuestado imagine un cambio en su nivel de bienestar que lo motive a emitir una reacción medible a través de una escala monetaria.

Para la mayoría de las personas resulta complicado hablar del ruido en términos técnicos. En esta investigación, para facilitar la comprensión del cambio ofrecido y estandarizar el conocimiento que se tiene del bien (Gidlöf-Gunnarsson, Öhrström y Ögren, 2007; Daumal, 2011), la información verbal de la encuesta es acompañada de la simulación acústica de dos viviendas que se encuentran sometidas al mismo ruido exterior pero que sólo difieren en su nivel de aislamiento; la primera cumple con los parámetros establecidos por la NBE-CA mientras que la segunda lo hace con lo marcado por el DB-HR del CTE.

### ***Simulación acústica***

Para presentar los archivos de audio del escenario de valoración, se comprobaron y diseñaron los elementos constructivos de la vivienda típica, de manera que dieran cumplimiento a las distintas normativas. El análisis acústico se focalizó en la fachada de la vivienda pues se consideró que la principal fuente de ruido, y con la que está más familiarizada la población, son los vehículos automotores. En primer lugar se revisó que los

elementos originales cumplieran con los 30db(A) de aislamiento para fachadas, como lo estipula la NBE-CA-88, y posteriormente se rediseñaron para satisfacer los 37dB(A) de aislamiento exigido por el DB-HR, ya que el nivel de ruido más característico de la ciudad durante el día está entre 65 y 70 dB(A). Este análisis, además de permitir estimar el sobrecoste por aislamiento, proporciona la condición de cambio necesaria que se presenta a las personas en la encuesta.

Las simulaciones acústicas fueron realizadas por el laboratorio “dBplus consultores acústicos” y el procedimiento utilizado para obtener los archivos de audio fue el siguiente:

- Obtención de un espectro de tráfico representativo de la ciudad de Barcelona mediante mediciones sonométricas y grabación sonora. Los trabajos se realizaron en la Calle Córcega 433 principal por ser una ubicación representativa del tráfico habitual de la ciudad. El micrófono se colocó en dos balcones orientados a la calle, a una altura aproximada a 4 metros sobre la acera (Figura 4):



Figura 4-Sonómetro durante las medidas (Fuente: dBplus)

De acuerdo al mapa de ruido del municipio de Barcelona, esta ubicación se encuentra en una zona geográfica con un nivel  $L_d$  comprendido entre 65 y 70 dB(A).

- Cálculo, mediante software de predicción, del aislamiento de las fachadas representativas de la NBE-88 y del DB-HR; el análisis se realizó por bandas de frecuencia.
- A partir del espectro de tráfico medido y del aislamiento de fachada calculado, se filtró digitalmente el ruido de tráfico grabado para obtener dos archivos de audio que representen la percepción subjetiva de un usuario de las viviendas representativas de cada normas; estos archivos reflejan la percepción del oyente en estancias donde el ruido tiene como origen dominante el tránsito vehicular.



## Definición de la DAP media

Para obtener la DAP se puede recurrir al formato abierto, donde el encuestado expresa libremente la cantidad que esta dispuesto a pagar por el bien, o a los formatos cerrados en que se presenta una oferta determinada. En el segundo caso, la DAP es función de la elección que se hace con respecto a un conjunto finito de alternativas; si ésta tiene solamente dos alternativas, se habla de un modelo de elección dicotómica, como cuando se paga, o no, por un bien de mercado.

Como primera opción, el formato cerrado presenta una cantidad monetaria única que cambia aleatoriamente entre los encuestados y que cada sujeto decide pagar, o no. Con el fin de obtener estimaciones más eficientes se introdujo el formato de doble frontera, en donde la oferta inicial es seguida por una segunda opción que se fija a partir de la respuesta inicial (Cooper, Hanemann y Signorello, 2001). Sin embargo, el formato suscitó controversia por la posibilidad de que no se expresara la verdadera DAP, por lo que se propuso un formato alternativo en el que se indica al encuestado que existe un rango que delimita el costo, aun cuando éste no se conoce con exactitud; dependiendo de la respuesta obtenida a la oferta inicial, también se puede presentar una segunda oferta que se fija en los límites del rango que previamente se dio a conocer. Se considera que esta variante tiene el potencial de reducir las discrepancias en las respuestas a las dos preguntas de valoración, pero a costa de no ser siempre capaz de obtener en la segunda pregunta una respuesta positiva: en promedio, esta tendrá respuesta la mitad del tiempo, pero no siempre. Por lo tanto, el formato es conocido como “una vez y media” (OOHB en inglés).

En este formato, la respuesta final se agrupa en dos para discriminar entre los que muestran disposición a pagar y aquellos que no lo hacen. El problema equivale a predecir el valor de una variable dicotómica: si el valor está más próximo a 1 que a 0, se clasifica al elemento en la primera población, en otro caso, se hace en la segunda. Para llevar a cabo la predicción generalmente se utiliza el modelo logístico (logit); con este modelo se garantiza que la respuesta prevista esté entre cero y uno al transformar la variable aleatoria. La literatura refiere que la función de distribución de la DAP toma la forma logística de dos parámetros (Hanemann, Loomis, y Kanninen, 1991):

$$G(C, \theta) = [1 + e^{\alpha - \beta C}]^{-1} \quad (1)$$

Para estimar los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , generalmente mediante el método de máxima verosimilitud, se utiliza la siguiente función logarítmica:

$$\begin{aligned} \ln L^{OOHB}(\theta) = & \sum_{i=1}^N \{d_i^S \ln[1 - G(Of^{Máx}; \theta)] + d_i^{Sn-nS} \ln[G(Of^{Máx}; \theta) - G(Of^{Mín}; \theta)] + \\ & d^n \ln[G(Of^{Mín}; \theta)]\} = \sum_{i=1}^N \left\{ d_i^S \ln \left[ 1 - \frac{1}{1+e^{\alpha-\beta Of^{Máx}}} \right] + d_i^{Sn-nS} \ln \left[ \frac{1}{1+e^{\alpha-\beta Of^{Máx}}} - \frac{1}{1+e^{\alpha-\beta Of^{Mín}}} \right] + \right. \\ & \left. d^n \ln \left[ \frac{1}{1+e^{\alpha-\beta Of^{Mín}}} \right] \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

Finalmente, si se considera que la variación en la utilidad es cero, el individuo mostrará indiferencia entre pagar y recibir la mejora en la calidad ambiental (mejor nivel de bienestar), o no realizarlo y percibir la utilidad inicial. Para cada persona, el valor de la DAP que logra la indiferencia entre los distintos estados de utilidad es la medida monetaria del cambio en el bienestar que se alcanza con el cambio propuesto; a esta medida se le conoce como la media de la DAP (Osorio y Correa, 2009). De esta manera, si para estimar la función de distribución se considera que la forma funcional de la utilidad es lineal, se tiene que:

$$DAP_{Media} = \alpha/\beta \quad (3)$$

Esta ecuación representa la cantidad máxima de dinero que el individuo representativo está dispuesto a pagar por el cambio propuesto.

### **Estructura final de la encuesta**

La encuesta consta de un máximo de 15 preguntas y su estructura es la siguiente: las preguntas iniciales capturan las creencias, percepción y las molestias vinculadas al ruido aéreo en el entorno residencial. A continuación se plantea el escenario de valoración que incluye la simulación acústica y se pregunta por la disposición a pagar por controlar el ruido en la vivienda. El bloque final recoge información socioeconómica sobre diferentes aspectos que pueden influir tanto en la forma que el encuestado percibe el ruido, como en la DAP expresada.

El formato de pregunta cambia a través de la encuesta: la inicial es dicotómica, mientras que en las cuatro siguientes se presenta al encuestado una escala de Likert de 5 puntos; en este bloque de preguntas también se incluye la opción de no contestar (NS/NC). La pregunta de valoración es dicotómica, de formato OOHB, y en caso de rechazar las ofertas recibidas se pregunta el motivo de la negativa. En el bloque de preguntas destinadas a obtener información socio-económica, los datos se colectan a través de escalas o rangos en donde el encuestado elige aquel que cumple con su condición actual.

### **Diseño de la muestra**

Teniendo en cuenta las condiciones actuales de contracción del mercado residencial en Barcelona, donde la compra-venta de viviendas ha caído y la demanda se ha trasladado en

buena parte al mercado de alquiler (Ajuntament de Barcelona, 2011), se decidió dirigir el estudio a las personas mayores de edad que hipotéticamente estuvieran en posibilidad de alquilar una vivienda. La muestra se determinó teniendo en cuenta tanto a las personas que potencialmente habitarían las viviendas construidas recientemente en el distrito de Sant Martí (por ser el de mayor desarrollo en años recientes), como la cantidad de estas viviendas edificadas en las últimas 2 décadas; con estos dos criterios, la población objetivo se definió en función de la demanda (potenciales inquilinos de vivienda nueva) y la oferta (número de viviendas construidas entre los años 2001 y 2011) del mercado residencial en potencial alquiler. En ambos casos, para un nivel de confianza del 95% y con  $\pm 5\%$  de error, la muestra está cercana a las 300 encuestas.

## **Resultados preliminares**

### ***Aplicación***

La encuesta fue aplicada parcialmente por alumnos del seminario de investigación del máster en Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica; estos alumnos conocían la metodología de valoración contingente y estaban entrenados para aplicar la encuesta. Las áreas de aplicación fueron principalmente los distritos de Sant Martí y L'Exaimple, en Barcelona, pues se consideró que sus barrios son representativos de la ciudad, que entre ellos puede existir la movilidad residencial y que guardan algunas similitudes tanto en los niveles de ruido como en las características socio-económicas de la población. Los sitios específicos de aplicación fueron parques, colegios, mercados, calles principales, centros deportivos o culturales, y todos aquellos que a consideración de los aplicadores fueran espacios adecuados. A partir del mes de mayo, y hasta la primera mitad del mes de junio, se aplicaron un total de 306 encuestas.

Durante la aplicación de la encuesta se observó una buena colaboración de la población y que el objeto de estudio es de interés, ya que los encuestados generalmente fueron receptivos y aceptaron escuchar la grabación utilizada como escenario de valoración, herramienta que facilitó que expresaran su DAP. El aparentemente alto nivel adquisitivo, pero sobre todo el escenario y las ofertas presentadas (un incremento entre el 1 y 2,1% en alquiler mensual de la vivienda tipo), hicieron que el encuestado aceptara fácilmente el planteamiento que se le mostraba.

Sin embargo, debido a que esta aceptación es inesperadamente alta, se cree que la simulación acústica podría resultar reduccionista, o que los encuestados no tuvieron en consideración su restricción presupuestal a pesar de que se insistió en ello, por lo que los

resultados de la DAP podrían estar parcialmente distorsionados. Con motivo de lo anterior, y para observar si la simulación induce algún sesgo, a un subgrupo de la muestra se le aplicó la encuesta sustituyendo el escenario de valoración; en este caso no se reprodujo la simulación y en su lugar se ofreció una reducción en el nivel de ruido consistente en pasar del horario diurno al nocturno en el mismo día laboral, cambio que por otra parte es similar al ofrecido inicialmente. De esta manera, se aplicaron 238 encuestas con grabación y 68 sin grabación; en el primer caso se tendría un nivel de confianza del 90 % y un  $\pm 5\%$  de error, mientras que el segundo segmento corresponde a un nivel de confianza del 90% y  $\pm 10\%$  de error.

### **Resultados de la encuesta**

De las 306 personas encuestadas, el 54,58% fueron mujeres y el 45,42% hombres, siendo el grupo más numeroso el de las mujeres entre 35 y 44 años (20,26% del total); para la población en conjunto, el 52,6% indicó tener al menos estudios universitarios o diplomatura, el 60,1% estar ocupada de los que el 52,5% se desempeña como profesional medio o superior. En cuanto a los ingresos familiares, 18 personas (5,88%) se negaron a responder esta pregunta; la población restante indicó, en un 55,56%, que sus ingresos no superan los 1.800 €/mensuales/familia y sólo el 9,15% señaló que sus ingresos familiares mensuales superan los 3.600 €.

A la pregunta de que tan ruidosa es la calle en donde habitan, el 49% manifestó que la calle es poco o nada ruidosa. En cuanto a las molestias producidas por el ruido originado en la calle y que se perciben estando en la vivienda con las ventanas cerradas, el 73% de los encuestados manifestó que éstas son pocas o inexistentes. Al preguntar por las molestias, pero diferenciando por fuentes, se obtuvo que los vehículos motorizados son la principal fuente de ruido (Tabla 4), comprobando con ello el supuesto utilizado para elaborar la simulación acústica.

Tabla 4 – Relación entre fuentes y molestia

Grado de molestia	Fuente (Frecuencias)						
	Vehículos	Bares	Vecinos	Aglomeración	Talleres	Edificio	Otras
Nada	75	205	97	150	256	188	255
Poco	81	39	107	73	32	69	12
Medianamente	69	28	56	46	12	28	9
Mucho	69	23	31	23	3	12	15
Excesivamente	12	11	15	14	2	9	15
<b>Puntuación prom.</b>	<b>2.55</b>	<b>1.68</b>	<b>2.22</b>	<b>1.95</b>	<b>1.24</b>	<b>1.64</b>	<b>0.93</b>
<b>Desvest</b>	<b>1.20</b>	<b>1.13</b>	<b>1.14</b>	<b>1.16</b>	<b>0.64</b>	<b>1.00</b>	<b>1.69</b>

La importancia que se le da al silencio parece ser elevada ya que al preguntar por el interés en el aislamiento acústico al momento de elegir una vivienda, el 79% de los encuestados contestó que este factor es importante (Figura 5). Con independencia de que la vivienda que

habitan sea propia o en alquiler, el 20,26% de los encuestados manifestó haber realizado alguna obra para aislarla del ruido (Figura 6).



Figura 6-Importancia del aislamiento

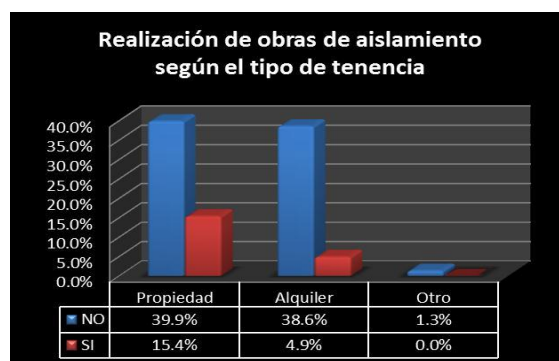


Figura 7-Obras de aislamiento

Al hacer uso del coeficiente de especialización, se observa que el grupo de edad que da más importancia al aislamiento en la vivienda es el de los adultos entre 45 y 64 años; esta tendencia parece repetirse cuando se incrementa el nivel educativo de los encuestados.

### Estimación de los beneficios

Para examinar el efecto de la simulación acústica en el momento de expresar la DAP, la muestra total (M1) fue dividida en dos subgrupos (M2 y M3). Estos subgrupos son utilizados para estimar tres modelos de la DAP: el primero con el total de la muestra, el segundo corresponde al de los encuestados que escucharon la grabación y el tercero es el de las personas que no lo hicieron.

Para estimar los beneficios se utilizó el formato dicotómico OOHB por considerar que proporciona los incentivos adecuados para que los encuestados expresen su verdadera DAP. Las estimaciones del sobrecoste de los elementos constructivos sirvieron para preparar las ofertas de salida que se presentaron a la encuesta; el diseño final incluye dos rangos distintos, definidos a partir del incremento que es necesario realizar en el alquiler mensual de la vivienda típica para cubrir los sobrecostes de construcción calculados, que en este caso es de 11 euros/mes. A partir de esta cantidad, el primer rango (R-I) fue de los 5 a los 17 euros/mes y el segundo (R-II) de 11 a 23 euros/mes; de las encuestas aplicadas, el 49,1% fue tipo R-I y el restante 50,9% fue R-II. Haciendo uso de las expresiones (2) y (3) se realizó un cálculo preliminar de la  $DAP_{Media}$  para los distintos modelos; en la Tabla 5 se muestran los resultados para cada uno de ellos.

Tabla 5- Modelado de DAP

Modelo	DAP (euros)	Respuestas positivas				Respuestas negativas		Total	
		Oferta máxima		Oferta mínima		Frec.	%	Frec.	%
		Frec.	%	Frec.	%				
Conjunto (M1)	26,91	199	65,5	62	20,4	43	14,1	304*	100
Grabación (M2)	27,74	170	71,4	48	20,2	20	8,4	238	100
Sin grab.(M3)	17,48	29	43,9	14	21,2	23	34,8	66*	100

\*Se eliminaron dos observaciones ya que las valoraciones emitidas funcionaban como "outliers".

Comparando los tres modelos, se observa que la diferencia entre los porcentaje de rechazo es muy significativa; en M3 el porcentaje es de 34,8%, pero en el caso de los modelos en que se recurre a la simulación acústica el rechazo decrece de manera importante, cayendo al 8,4% en M2, condición que parece indicar que el escenario es un fuerte incentivo para emitir una valoración positiva, aun cuando la oferta presentada sea la máxima. También destaca que el valor de la  $DAP_{Media}$  excede los valores superiores presentados en los rangos cuando el porcentaje de respuestas positivas a la oferta máxima supera el 50% (M1 y M2), incumpliendo con esto el supuesto inicial en que se basa el formato OOHB.

Estas dos condiciones se pueden apreciar con mayor facilidad en el gráfico de la figura 8. Tomando como referencia los valores de la  $DAP_{Media}$  y los porcentajes de respuestas positivas y negativas obtenidas (tabla 5), se establece una relación para los modelos M2 y M3 que permite observar un hipotético punto de convergencia de la DAP y el efecto de las respuestas positivas.

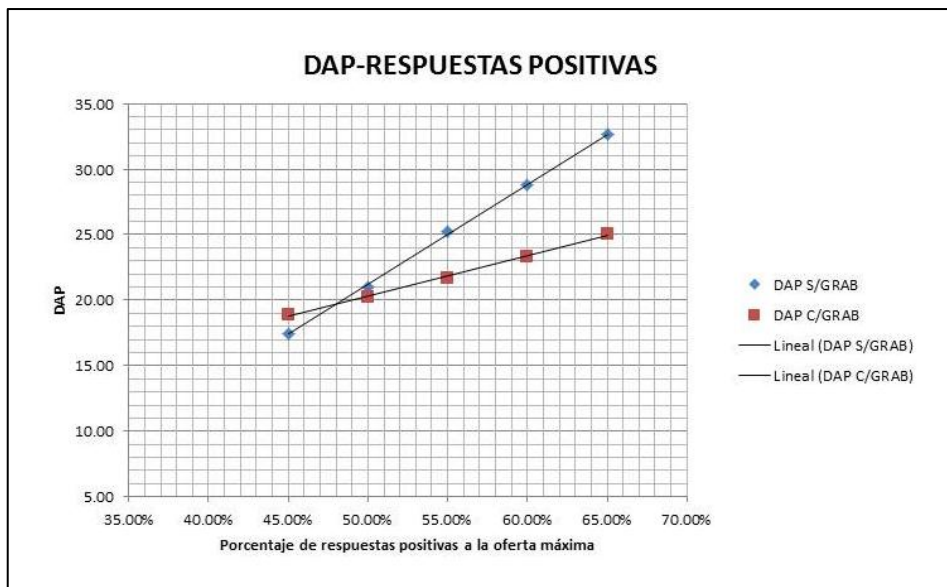


Figura 8- Relación de respuesta positivas-DAP

Ambas relación se establecieron de manera lineal, pero difieren debido a que el porcentaje de respuestas positivas a la oferta máxima no es el mismo. Lo interesante es que con independencia del número de respuestas negativas, distinto en cada modelo, el punto de

convergencia se obtiene cuando el porcentaje de respuestas positivas a la oferta máxima es cercano al 50%; para este punto la  $DAP_{Media}$  sería aproximadamente de 19 euros/mes, valor que se encuentra dentro de los rangos establecidos en la pregunta de valoración. Observando las líneas de tendencia, los resultados parecen confirmar el planteamiento teórico del modelo OOHB y que la simulación acústica incentiva de manera significativa para expresar una DAP positiva.

Con estos modelos y sus proyecciones, se puede concluir que la  $DAP_{Media}$  supera en todos los casos el sobrecoste estimado de 11 euros/mes en los precios de alquiler de la vivienda típica, con lo que los beneficios son mayores a los costes de aplicar sistemas de aislamiento más exigentes.

## **Conclusiones**

La implementación del DB-HR puede significar una mejora importante en el confort acústico de las viviendas pues además de incrementar las exigencias prestacionales, considera que la transmisión de los sonidos y su percepción están vinculadas a procesos más complejos que la medición de parámetros en condiciones ideales, como se hacía en la normativa anterior. Sin embargo, la complejidad del diseño acústico y la subjetividad en la percepción de los sonidos justifica que se continúe trabajando en estas líneas de investigación. Como se hace en esta investigación, es indispensable estimar los beneficios asociados a la implementación de las medidas de control de carácter obligatorio y destacar la relación entre las molestias producidas por el ruido y los efectos monetarios que se le asocian, ya que las relaciones económicas son un medio eficaz para poner a la vista la importancia que en la actualidad tiene este agente contaminante.

Los primeros hallazgos confirman que al aplicar la VC, el escenario implementado y el diseño de las ofertas iniciales pueden influir de manera importante en el momento de expresar una disposición a pagar. Si bien es cierto que la simulación ayuda a estandarizar el conocimiento del objeto que se estudia, la decisión de presentarla como escenario de valoración parece haber influido de manera significativa en el momento de que las personas tienen que tomar una decisión; la herramienta puede reducir la subjetividad inherente a toda valoración social del ruido, pero al ser extremadamente complicado incluir todas las variantes que se ven involucradas en la propagación de los sonidos y en su percepción, la simulación puede resultar demasiado simplificadora. Los archivos de audio utilizados, aun cumpliendo con todos los criterios técnicos establecidos para su elaboración, no reflejan el total de variables que integran una realidad muy compleja, por lo que los valores obtenidos en este momento deben de ser analizados con mayor detenimiento.

En cuanto a los sobrecostes, las estimaciones parecen indicar que las nuevas exigencias pueden ser alcanzadas mejorando los procesos constructivos y absorbidas con incrementos económicos que no son tan significativos, más teniendo en cuenta que las mejoras también suelen influir en las prestaciones térmicas de la vivienda. Las ofertas derivadas de estos cálculos funcionaron de manera adecuada en el momento de incentivar a los encuestados a responder la pregunta de valoración, sin embargo, su repercusión económica podría resultar mínima y por lo tanto también influir en el momento de responder a la pregunta de valoración.

Por las respuestas obtenidas, la importancia del tema se pone de manifiesto; sin haber realizado el estudio econométrico de manera detallada, las primeras evidencias indican que la población está familiarizada con el problema de la contaminación acústica y es sensible a él, por lo que parece estar dispuesta a tomar medidas para reducir los niveles de exposición que experimentan actualmente en sus viviendas. Asumiendo que la simulación acústica está calibrada de manera adecuada, el gran número de respuestas positiva sería un indicativo de la importancia que las personas dan al silencio cuando se encuentran en la vivienda. Finalmente, si sólo se considera la  $DAP_{Media}$  más baja de los modelos analizados, los beneficios esperados superan los sobrecostes de implementar el DB-HR, por lo que se podría concluir que esta normativa resulta pertinente para satisfacer la necesidad de la mayoría de las personas de mejorar las condiciones acústicas de sus viviendas.

## **Agradecimientos**

Este trabajo es parte de los estudios de doctorado que son apoyados por la beca PROMEP que otorga el gobierno mexicano. La tesis en curso es elaborada por José Manuel Romo O. y dirigida por los doctores Carlos Marmolejo D. y Francesc Daumal de la UPC.

## **Referencias**

AJUNTAMENT DE BARCELONA. Xifres d'Habitatge. Indicadors del Pla D'habitatge de Barcelona. *Xifres d'Habitatge 27*, any 2010, 2n semestre. 2011.

BARANZINI, A.; RAMÍREZ, J. Paying for Quietness: The Impact of Noise on Geneva Rents. *Urban Studies*, vol. 42, no. 4, p. 633-646. 2005.

BARANZINI, A. et al. Feel it or measure it. Perceived vs. measured noise in hedonic models. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 15, n. 8, p. 473 – 482. 2010.



CARSON, Richard. Contingent Valuation: A User's Guide. *Environmental Science & Technology*, vol. 34, n. 8, pp. 1413-1418. 2000.

COOPER, J.; HANEMANN, W.; SIGNORELLO, G. One-and-One-Half Bound Dichotomous Choice Contingent Valuation. *CUDARE Working Paper No. 921*, UC Berkeley: Department of Agricultural and Resource Economics, UCB, 2001. Retrieved from: <http://escholarship.org/uc/item/09c663b2>

CHAMP, P.; BOYLE, K.; BROWN T. *Primer on Nonmarket Valuation*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2003, p.111-169.

DAUMAL, Francesc. Restauración y rehabilitación acústica en la arquitectura patrimonial (realidad o mito de los modelos). *International Seminar on Virtual Acoustics*, Valencia, 2011, p. 83-104

DOMÍNGUEZ, J.; FRÍAS, J. Estudios prenormativos sobre el CTE DB-HR e impacto económico. *Directivos Construcción*, octubre, p. 48-52. 2006.

GIDLÖF-GUNNARSSON, A.; ÖHRSTRÖM. E.; ÖGREN, M. Noise annoyance and restoration in different courtyard settings: Laboratory experiments on audio-visual interactions. *Inter-Noise*, Turquía. 2007.

HANEMANN, M.; LOOMIS, J.; KANNINEN, B. Statistical efficiency of double-bounded dichotomous choice contingent valuation. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 73, n. 4, p.1255-1263. 1991.

HARRIS, C. *Manual de medidas acústicas y control del ruido*. Tercera edición. McGraw-Hill, México, 1995.

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA E HISPALYT. *Catálogo de soluciones cerámicas para el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación*. España, Editado por Hispalyt, 2008.

LOW, S. P.; LIU, J.; OH, K. H. Influence of total building performance, spatial and acoustic concept on buldability scores of facilities. *Facilities*, vol.26, n.1/2, p.85-104. 2008.

MARMOLEJO, Carlos. La Incidencia de la Percepción del Ruido Ambiental sobre la Formación Espacial de los Valores Residenciales: Un Análisis para Barcelona. *Revista de la Construcción*, vol. 7, n. 1, p. 4-19. 2008.

MARMOLEJO, C.; FRIZZERA, A. ¿Cuánto estamos dispuestos a pagar por el silencio?: un análisis contingente para la ciudad de Barcelona. *Revista ACE*, año III, n. 7, p. 21-38. 2008.

MARTÍMPORTUGUÉS, C.; CANTO, J. Creencias ambientales y coste social del ruido de ocio. *Revista Acústica*, vol. 36 n. 3 y 4, p. 11-19. 2005.

NIJLAND, H. et al. Cost and benefit of noise abatement measures. *Transport Policy* No. 10, p. 131-140. 2003.

OSORIO, J.; CORREA, F. Un análisis de la aplicación empírica del método de valoración contingente. *Semestre Económico*, vol. 12, n. 25, p. 11-30. 2009.

PÉREZ L., Carlos. *Valoración inmobiliaria. Aplicaciones urbanísticas y expropiaciones*. Edicions UPC. Barcelona, España, 1997.

RIERA, Pere. *Manual de Valoración Contingente*. Instituto de Estudios Fiscales. Madrid, España, 1994. Disponible en: <http://webs2002.uab.es/prieram/manual.htm>

SMITH, S. et al. The development of robust details for sound insulation in new build attached dwellings. *Journal of Building Appraisal*, vol. 2, n. 1, p 69-85. 2006.

TROMBETTA, P.; KRÜGER, E.; LUCIO, A. Acoustic and luminous performance evaluations in classrooms in Curitiba, Brazil. *Indoor Built Environ*, vol. 17, n. 3, p. 203–212. 2008.

VIDA, J. et al. Valoración de la molestia por contaminación acústica mediante relaciones dosis-efecto. *CONAMA 8 comunicado técnico*, 2006. Disponible en: <http://www.conama8.org/modulodocumentos/documentos/CTs/CT196.pdf>