

El impacto del ruido sobre la formación espacial de los valores inmobiliarios: un análisis para el mercado residencial de Barcelona

C. MARMOLEJO DUARTE & C. A. GONZÁLEZ TAMEZ

Profesor Lector del Departamento de Construcciones Arquitectónicas e investigador del Centro de Política de Suelo y Valoraciones & Doctorando del Programa en Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica. UPC

RESUMEN: El ruido se ha convertido en uno de los principales costes ambientales que las sociedades contemporáneas pagan por vivir en entornos densamente urbanizados. El impacto de esta externalidad sobre la calidad de vida se traduce en una merma del nivel de bienestar de los hogares y consecuentemente en una reducción de los valores inmobiliarios. Mediante el uso de modelos de precios hedónicos (PH), un importante número de estudios han evaluado el impacto del ruido sobre los valores residenciales, de acuerdo con el meta-análisis de Navrud (2002) por cada dB que incrementa el ruido en el entorno el precio de la vivienda se reduce en un 0,64% de media. En este artículo mediante un modelo de PH geográficamente ponderado, que permite considerar fronteras suaves entre submercados a la vez que resuelve las dependencias espaciales, se estudia el impacto del ruido para una muestra de viviendas plurifamiliares en Barcelona. Los resultados indican que efectivamente el nivel de ruido reduce el valor de las viviendas, sin embargo a diferencia de otros estudios: 1) en Barcelona el índice de depreciación del ruido es más bajo y 2) la disposición a pagar, derivada de un estudio de valoración contingente, es mayor que el precio implícito del ruido.

DESCRIPTORES: Contaminación acústica. Valoraciones. Precios hedónicos.

1. Introducción

La valoración del impacto del ruido sobre la calidad de vida es doblemente compleja: primero porque el valor, como construcción social, parte de las percepciones de

los individuos¹ (MARMOLEJO & ROMANO, 2009); y segundo porque el silencio ambiental, no tiene precios explícitos, al poseer características de bien público como la no exclusión y la no rivalidad en su consumo. A pesar de estas dificultades teóricas, en la práctica la valoración

Recibido: 17.03.2009; Revisado: 26.08.2009
e-mail: carlos.marmolejo@upc.edu y
gzz.carlos@gmail.com

Los autores quieren agradecer públicamente los consejos recibidos por los/las revisores/as anónimos/as de la Revista y la asesoría en materia de valoraciones del Dr. Josep Roca Cladera y de acústica del Dr. Francesc Daumal Domenech ambos catedráticos del Departamento CA1 de la UPC.

¹ Estos autores encontraron que para explicar la disposición a pagar derivada de una valoración contingente del ruido producido por la ampliación del aeropuerto de Barcelona, era muy importante la inclusión de variables relacionadas con la adscripción geográfica de los encuestados a las zonas de las asociaciones vecinales que han dado soporte a las reivindicaciones locales en contra de los perjuicios originados por este proyecto.

del ruido se ha convertido en un tema de gran interés en el contexto de los análisis coste beneficio (VAINIO, & *al.*, 2001); imprescindibles de cara a la evaluación de políticas públicas (GARCÍA & GARRIDO, 2003); y en la valoración de los perjuicios privados. Sobre todo porque como MEDRAÑO & VÁZQUEZ (2008) indican la contaminación acústica es uno de los principales efectos externos del transporte; y de otras tantas actividades cotidianas.

La molestia que produce el ruido exterior (vehículos, peatones, escuelas, etc.) en los entornos residenciales es una *percepción* que depende de:

1. la fuente emisora (frecuencia, intensidad, intermitencia, duración, etc.),
2. del nivel de exposición (propagación, aislamiento, reverberación) y sobre todo
3. del nivel de sensibilidad de los individuos.

Dicha sensibilidad guarda una relación con aspectos demográficos (p.e. la edad o la composición del hogar), la cultura, la sociedad y otros intrínsecos a los sujetos. Los aspectos socio-culturales condicionan, por ejemplo, el tipo de sonidos que son interpretados como ruido (DAUMAL, 2002), así como el uso que se hace del tiempo doméstico (leer, charlar, escuchar música, estudiar, etc.) que condiciona la perturbación provocada por el ruido exterior (KRYTER & *al.*, 1972). Por ello, aunque el nivel de exposición se mantenga a lo largo del día, las personas se sienten más perturbadas en los periodos de descanso especialmente los nocturnos cuando hay interrupciones del sueño (conciliación, intermitencia, profundidad, consciencia, duración), y en los fines de semana (BRISTOW & WARDMAN, 2006). Por otra parte, KUNO & *al.* (1993) han sugerido que el estilo de vida y la valoración (p.e. apreciación y/o dependencia) de las fuentes emisoras, como los coches, también condicionan la percepción.

El nivel de molestia originado por el ruido provoca una pérdida del nivel de bienestar de los individuos, en tanto perturba las actividades que éstos realizan (COHEN, 1980; EVANS & LEPORE 1993; EVANS, 1998; HYGEE & *al.*, 1998 & HAINES, & *al.*, 1998), y tiene consecuencias que trascienden a la salud física y mental (BERGLUND & *al.*, 1995). En términos económicos dicha pérdida de bienestar tendría que ser equivalente a una función de daño (NAVRUD, 2002). La cual, según la teoría económica, puede expresarse en unidades dinerarias si se relaciona con el *trade off* que, sobre el consumo del resto de bienes, tendría que realizarse

para disfrutar de un entorno más silencioso (MITCHELL & CARSON, 1989; FREEMAN, 1993). Desde la perspectiva empírica, la mayor parte de los estudios han recurrido al método de los precios hedónicos (PH) para inferir el valor marginal del silencio. Sin embargo, pocos han reparado en considerar la existencia de submercados, y cuando lo han hecho, los han delimitado contundentemente, lo que podría sesgar los coeficientes al mezclar viviendas de diferentes submercados (p.e.: en un barrio existen viviendas pequeñas y grandes que pueden pertenecer a submercados diferentes) y al no considerar las dependencias espaciales entre los submercados. En este artículo utilizamos la *geographically weighted regression* (GWR) para medir el impacto del ruido sobre el mercado residencial. Dicho método permite:

- i) probar la existencia de submercados mediante la determinación de coeficientes locales estadísticamente diferentes entre sí,
- ii) considerar "fronteras suaves" entre las diferentes calibraciones locales lo que permite considerar los efectos que se ejercen entre ellas de una manera suavizada, y
- iii) resolver, de esta manera, las dependencias espaciales (i.e. autocorrelación).

El resto del artículo se estructura así:

1. primero se describe sucintamente la metodología de los PH, se destacan sus limitaciones y se compara con el método de la valoración contingente,
2. enseguida se hace una pequeña revisión de los estudios de PH y de valoración contingente (VC) realizados para valorar el ruido,
3. a continuación se describen los datos y los modelos utilizados y,
4. finalmente se discuten los resultados.

2. La valoración del ruido desde la perspectiva de las preferencias reveladas y declaradas

El método de los PH, perteneciente a la familia de las preferencias reveladas, asume que en el valor de los bienes está implícito el valor marginal de sus atributos (BJØNER & *al.*, 2003). En la práctica se utiliza el valor de los bienes inmuebles, para inferir, econométricamente, el valor marginal del silencio, una vez que el resto de atributos locativos y edilicios han sido controlados (LANCASTER, 1966). En un sistema en equilibrio, la función de daño que produce el ruido, tendría que ser compensada con una disminución de la renta transferida al suelo con

el objeto de igualar el nivel de utilidad de los residentes en el sistema urbano, anulando de esta manera los micromotivos para cambiar de localización, en tanto este cambio no incrementaría su nivel de bienestar (BATEMAN & *al.*, 2001). De esta manera en un modelo como el que sigue, donde la variable dependiente P es el precio y las covariables k son los n atributos edilicios y locativos, incluido el ruido, se esperaría que el signo del coeficiente que afecta a éste k_R fuese negativo.

$$P_i = f(k_1, k_2, k_r, \dots, k_n)$$

En la práctica el método de los PH ha sido utilizado no sólo para encontrar el precio marginal de los atributos espaciales y arquitectónicos de las viviendas, sino también para construir series o índices de precios robustas a los cambios de calidad y tipología de las viviendas tal y como en España lo han hecho BOVER & VELILLA (2001).

Como se ve la principal fortaleza del método estriba en que infiere el precio implícito de los atributos ambientales a partir del comportamiento *real* de los individuos en el mercado. Sin embargo tiene algunas limitantes:

1. *En relación con la percepción del daño:* Se asume que los individuos (p.e.: hogares), al adquirir o alquilar una vivienda, son plenamente conscientes no sólo del nivel de ruido al que estarán expuestos, sino sobre todo, de la merma que éste provocará sobre su nivel de bienestar. Esto es poco plausible, porque las asimetrías informativas en el mercado inmobiliario, en tanto los bienes no son perfectamente sustituibles entre sí, son enormes, y porque la percepción es compleja en tanto es *difícil evaluar el impacto que producirá un evento que aún no se ha experimentado*. Estas situaciones pueden provocar inestabilidad en la disposición a pagar implícita (BECKER & LAVEE, 2003). Sobre todo, el valor marginal del ruido puede verse infravalorado debido a la influencia sobre el mercado de los individuos menos sensibles a éste.
2. *En relación con las especificidades del mercado inmobiliario.* En teoría si los individuos viesen insatisfechas sus expectativas tendrían que vender inmediatamente la vivienda y buscar otra, reajustando de esta manera el precio (FEITELSON & *al.*, 1996), lo cual no ocurre así debido a los significativos costes de transacción (p.e.: mudanzas, impuestos, comisiones, servicios jurídicos, etc). La principal asunción del método es

que los individuos, en aras de maximizar su utilidad, tendrían que elegir aquellos bienes cuyos atributos tuviesen un valor marginal coincidente con su DAP marginal por cada uno (ROSEN, 1974). Lo cual, de hecho, es difícil que ocurra debido a que éstos difícilmente pueden evaluar simultáneamente y con suficiente profundidad todos los atributos que componen la propiedad, y además tener a su disposición una oferta suficientemente amplia.

3. *En relación con el análisis econométrico.* También existen problemas relacionados con:

- i) el origen de la información (p.e.: utilización de bases de datos de precios construidas para otros fines),
- ii) ausencia de las características sociodemográficas de los compradores (de suma importancia a la hora de contabilizar de la DAP de los individuos en la curva de demanda en los PH en su segunda etapa), y
- iii) los derivados de los problemas econométricos en la especificación y/o omisión de covariables (como lo han demostrado BATEMAN, & *al.*, 2001 en su estudio de Glasgow), especialmente en este caso del ruido porque las áreas más ruidosas suelen ser, asimismo, las mejor servidas.

Ante las disyuntivas anteriores la pregunta que emerge es hasta qué punto el precio implícito (negativo) del ruido coincide con la función de daño que este provoca en el nivel de bienestar de los individuos. Siguiendo a BROOKSHIRE & *al.* (1982), FEITELSON & *al.* (1996: 5–6) intentan responder a dicho cuestionamiento de la siguiente manera: el eje X de la FIG 1 representa el nivel de ruido, mientras que el eje vertical representa un bien compuesto (que incluye todos los satisfactores básicos que necesita un hogar excepto la vivienda) cuyo precio es una unidad, por lo tanto también es una magnitud monetaria medida en Euros. Y_0 son los ingresos medios de un hogar, siendo $Y_0 - R(N)$ la parte de los ingresos disponible para adquirir el bien compuesto, una vez que $R(N)$ ha sido destinado a pagar la vivienda. HBC_1 es la renta ofertada (*bid rent*) por el hogar 1 para la vivienda, *ésta es la función que define el trasvase de renta entre los ingresos destinados a la vivienda y los ingresos destinados a disfrutar el bien compuesto (i.e. el resto de satisfactores)*. El punto A es la situación de partida, en él el hogar 1 maximiza su utilidad, porque el valor marginal del ruido y su (disposición a pagar) DAP marginal coinciden (ROSEN, 1974). Obsérvese

que, si el nivel de ruido se incrementa desde N_0 hasta N_1 , la variación compensatoria del hogar 1 es CVH_1 (i.e.: la cantidad necesaria para aceptar el nuevo nivel de ruido y, a la vez, mantener el nivel de utilidad original). Sin embargo, el pago por (adquirir o alquilar) la vivienda se reduce únicamente $R_0 - R_1$ debido a que los precios en el mercado residencial no responden al comportamiento de un hogar específico, sino al conjunto de hogares. En este caso, la reducción en el precio de la vivienda no subsana la variación compensatoria, de manera que se produce una reducción en el nivel de utilidad del hogar (PALMQUIST, 1992), de esta manera la función marginal hedónica infravalora el impacto del ruido en el nivel de utilidad del hogar 1. La FIG. 1 también ilustra la situación del hogar 2, cuya función de renta ofertada tiene una pendiente más pronunciada (i.e.: es más sensible al ruido), si mantenemos la función hedónica igual, lo que obtenemos es un desfase más acusado entre la reducción de utilidad y la disminución del precio de la vivienda a medida que incrementa el ruido. Desde luego que ocurriría lo contrario en el caso de que la función de precios hedónicos tuviese una pendiente más suave en relación a las funciones de DAP de los hogares "las diferencias entre la función hedónica y la DAP individual para un cambio en el nivel de ruido depende de la forma de ambas curvas" (BJØNER & al., 2003: 91).

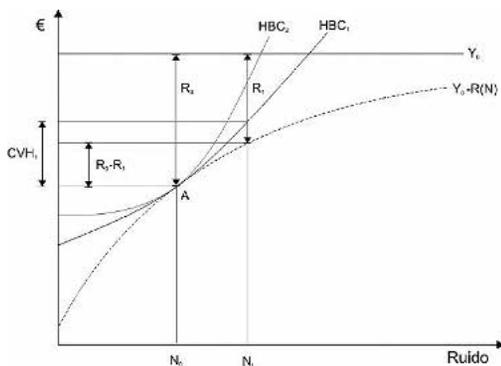


FIG. 1/ DAP marginal versus función de precios hedónicos

Fuente: Elaboración propia a partir de FEITELSON & al. (1996)

Por lo anterior no puede aseverarse que el precio implícito del ruido en los valores inmobiliarios sea una medida perfecta del cambio en el nivel de bienestar de los individuos, más allá de que ambas medidas estén muy correlacionadas (WALTERS, 1975; BROOKSHIRE, & al., 1982; FEITELSON & al., 1996; BJØNER & al., 2003; NELSON, 2008). Una medida alternativa de la mensuración dineraria del nivel de bienestar está dada por la valoración contingente (VC). Este método, que pertenece a la familia de las preferencias declaradas, intenta conocer directamente la variación equivalente o la variación compensatoria, que un consumidor tendría que hacer para acceder o renunciar a un cambio de la calidad ambiental (SOGUEL, 1996). A tales efectos, mediante el uso de encuestas sociológicas, se indaga la disposición a aceptar (DAP) o a ser compensado o a aceptar (DAC) (MITCHELL & CARSON, 1988)². A pesar de las potencialidades de la VC algunos académicos y profesionales son escépticos ante su utilización, en tanto cuestionan la fiabilidad con la cual los encuestados declaran comportarse de la misma manera que lo harían en una situación real, en todo caso cuando se usa, se prefiere la DAP. Probablemente por esta razón, y por su mayor coste en tanto estudio *ad hoc*, en el campo de la valoración del ruido la valoración contingente ha tenido menos aplicaciones en comparación con el método de los precios hedónicos. Sin embargo, como MEDRAÑO & VÁZQUEZ (2008) anotan, la VC ha ido progresivamente ganando terrenos sobre los PH.

En definitiva mientras que la VC intenta medir directamente los cambios en el nivel de bienestar de los individuos producidos por los cambios en la calidad ambiental los PH analizan en qué medida dichos cambios se reflejan en los precios inmobiliarios (BATEMAN & al., 2001). La aplicación de ambas aproximaciones estriba en el uso que se quiera hacer de sus resultados.

3. El impacto del ruido sobre el precio de las viviendas

En la literatura, el indicador más utilizado para medir el impacto del ruido sobre el valor de los bienes inmobiliarios es el *Noise Depreciation Sensitivity Index* (NDSI). El NDSI, acuñado por WALTERS (1975), mide el impacto porcentual en la variación del precio de un inmueble por cada unidad que varía su exposición al ruido.

² Tres son las principales ventajas de esta metodología: (i) permite aislar directamente el valor marginal de la variación de la calidad ambiental, (ii) permite evaluar la incidencia sobre el nivel de bienestar de valores de no uso (p.e.: de oportunidad, existencia y de permanencia), y

sobre todo (iii) al tratarse de una simulación permite evaluar cambios potenciales o alternativos (Freeman, 1993). La Disposición a ser compensado es una medida monetaria del cambio de bienestar producido por renunciar a beneficiarse de una mejora o aceptar un perjuicio.

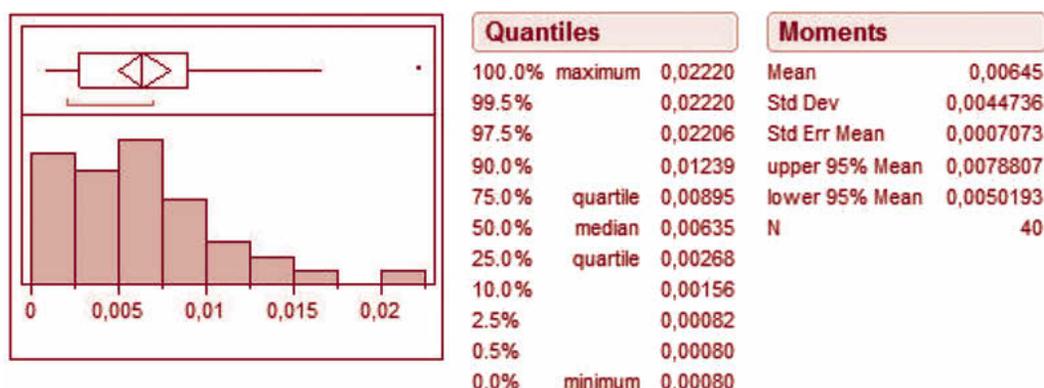


FIG. 2/ Histograma del NDSI del ruido producido por el tráfico vehicular basado en estudios reportados por Navrud (2002)

Fuente: Elaboración propia

Dicha exposición, puede estar medida en diferentes índices, algunos son compuestos, como el NEF, el ANEF, o el NNI, que combinan: el tono, la intensidad (dB), el número de eventos (p.e.: despegues y/o aterrizajes en el caso de los aeropuertos) en un intervalo definido, su duración y la hora en la cual ocurren (día o noche). Otros índices son más simples, como el Leq, el Ldn o el L10³.

Recientemente NAVRUD (2002) ha sintetizado el resultado de 65 estudios sobre la valoración del ruido (de los cuales un 58% están relacionados con el tráfico vehicular), de este conjunto el índice más utilizado, en un 62% es el NDSI. El análisis de esos resultados para el caso del ruido vehicular reportado en la FIG. 2 sugiere que el NDSI tiene una media de 0,64% (i.e. por cada dB que incrementa el ruido el precio se reduce en un 0,64%), con un rango intercuartil (50% de los casos) comprendido entre el 0,26 y el 0,89%, en general el 90% de los estudios han reportado un NDSI inferior al 1,23%.

En la FIG. 3 se ha resumido el NDSI encontrado por algunas investigaciones, la significativa

divergencia de los resultados de cada investigación no resulta, desde una perspectiva teórica, sorprendente, puesto que cada calibración del NDSI es consustancial a los mercados inmobiliarios específicos, es decir cada mercado urbano está caracterizado por una función de precios implícitos particular. En este sentido SCHIPPER & al. (2001) encontraron, sobre la base de un meta análisis⁴ de 11 estudios de PH, que las variables significativas en la explicación de la divergencia del NDSI entre ciudades son: el tiempo, la localización (país, accesibilidad y características del vecindario) y la especificación de los modelos originales.

De la misma manera que el NDSI varía entre ciudades no existen razones teóricas para esperar que dentro de una misma ciudad éste se mantenga constante. En este sentido algunos estudios como el de BECKER & LAVEE (2003) sugieren que el impacto del ruido no es lineal a lo largo del espacio. En su investigación encontraron que el ruido tiene un impacto mayor en las áreas suburbanas adyacentes al espacio rural de tres ciudades israelitas. En concreto por cada dB Leq que incrementa el ruido el

³ El NEF (*noise exposure forecast*), desarrollado por la Agencia Federal de la Aviación de los EEUU, es un índice compuesto construido a partir del EPNdB (*effective perceived noise level*) que a su vez considera el tono y la duración del evento, y del número de eventos durante el día y la noche. El ANEF es la versión adaptada del NEF para Australia. El NNI desarrollado por el Comité británico Wilson, a diferencia de índices anteriores, intenta medir la molestia del ruido de los aviones desde la perspectiva del sujeto que lo percibe, por tanto, está basado en una encuesta. El Leq (*noise equivalent level*) y Ldn (*day night average sound level*) son medidas más simples, y no adaptadas a las especificidades del tráfico aéreo, el primero mide la presión sonora media durante

una hora, el segundo sólo toma en consideración la intensidad media de sonido ocurrido en un periodo de 24 horas, penalizando a aquel que ocurre entre las 10 pm. y las 7 am., aunque estas franjas horarias varían, por ejemplo en la UE se considera 23 pm. a 7 am. Por su parte el L10 es el nivel de ruido equivalente que ha superado el 10% del tiempo de medición.

⁴ Diversos meta análisis (BERTRAND, 1997; BATEMAN & al., 2001; SCHIPPER & al., 2001; NELSON, 2004) han demostrado, por otra parte, que una de las debilidades principales del método de los PH es la inestabilidad de los resultados como producto de los problemas en la forma funcional y en la especificación de los modelos, así como de la propia información de origen.

FIG. 3/ NDSI reportado en una selección de estudios de PH (La mayoría son de ruido de tráfico rodado)

Ciudad	Autoría	Año	NDSI	Índice	Ciudad	Autoría	Año	NDSI	Índice
EEUU de Norteamérica					Australia				
Tidewater	Allen	1977	0,15%	L10	Newcastle	McCalden y Jarvie	1977	1,9%	***
North Virginia	Allen	1977	0,14%	L10	Reino Unido				
North Springfield	Anderson & Wise	1977	0,18%	Leq	Manchester	Pennington	1990	0,47%	NNI
Towson	Anderson & Wise	1977	0,43%	Leq	Manchester	Collins & Evans	1994	1,5%	NNI *-
NS+TS+BG+RS	Anderson & Wise	1977	0,25%	Leq	Israel				
North Springfield	Bailey	1977	0,38%	Leq	Urban areas	Becker y Lavee	2003	1,20%	Leq
Washington	Nelson	1978	0,88%	Ldn*	Suburban areas	Becker y Lavee	2003	2,2%	Leq
Washington	Nelson	1978	0,60%	Ldn**	Suiza				
Kingsgate	Palmquist	1980	0,48%	Leq	Geneve	Baranzini & Ramirez	2005	0,70%	Leq
North King County	Palmquist	1980	0,30%	Leq	Chile				
Spokane	Palmquist	1980	0,08%	Leq	Santiago	Aguirre & Ramos	2005	2,36%	Leq
Baton Rouge	Hughes y Sirmans	1992	8,8%	*+	Corea del Sur				
Canadá					Seul	Kwang, Sung i Young-J.	2007	1,3%	Leq
Toronto	Hall, Breston y Taylor	1978	1,05%	Leq					
Winnipeg	Levesue	1994	1,30%	Leq					

NS+TS+BG+RS= North Springfield+Towson + Bogota + Rosedale

* Para incrementos por encima del umbral 50 dBA Ldn

** para incrementos superiores al umbral de 39 dbA Ldn

*** Reducción del precio cuando se excede en in 17 camiones por hora el umbral de 33 camiones por hora, equivalente a 60 dbA L50

*- Para viviendas aisladas cuando el ruido incrementa desde 27 NNI hasta 40 NNI

*+ Para viviendas localizadas tanto en el centro de la ciudad como en la periferia, así como en calles ruidosas comparadas con silenciosas

Fuente: Elaboración propia

valor de las viviendas se reduce en un 2,2%, mientras que en las áreas urbanas interiores dicho impacto es significativamente menor y equivalente a un NDSI de 1,2%. Lo cual sugiere que el ruido es más penalizado en las áreas que por antonomasia se esperaría fuesen silenciosas, esta conclusión también ha sido destacada por BARANZINI & RAMIREZ (2005) para el caso del mercado de alquiler en Ginebra, y por MARMOLEJO & ROMANO (2009) en la DAP por una reducción del ruido en el entorno aeroportuario de Barcelona. Asimismo, COLLIN & EVANS (1994) en seguimiento a la investigación iniciada por PENNINGTON (1990) sobre el tráfico aéreo en Manchester destacaron el impacto diferencial del ruido ambiental y aeroportuario en función de la tipología edificatoria; al igual que RICH & NIELSEN (2004) en su estudio de Copenhague quienes reportaron un NDSI de 0,47% para los apartamentos y de 0,54% para las casas; de igual manera BARANZINI & RAMIREZ (*Op. Cit*) también encontraron diferencias estructurales entre sus modelos para el mercado de alquiler público y el privado. *Estos estudios sugieren que el ruido no tiene el mismo impacto a lo largo del espacio urbano, en tanto, la existencia de submercados residenciales, puede hacer que esta cualidad ambiental se interiorice de manera desigual en los precios inmobiliarios.* En este sentido DAY

(2003) ha reportado divergencias significativas en el NDSI de diferentes submercados residenciales de Glasgow, detectados mediante un análisis clúster jerárquico construido sobre variables locaciones, estructurales y socioeconómicas. De esta manera el impacto resultó ser mayor en las áreas habitadas por *urban young professional* (NDSI = 0,57%) en relación a las áreas de *white tenants* (NDSI = 0,23%) y *ethnic minority tenants* (NDSI = 0,46%). En Birmingham BATEMAN & al. (2004) han detectado, de la misma manera que DAY (2003) 8 submercados, de los cuales en 5 el ruido del tráfico y ferroviario es significativamente negativo; mientras que el ruido aeroportuario sólo es significativamente negativo en dos.

3.1. Precios hedónicos frente a disposición a pagar

Pocos estudios han intentado refrendar los resultados del método de los PH con los resultados derivados de la valoración contingente (VC). En este sentido, una de las investigaciones pioneras en el ámbito del ruido fue el estudio de POMMERHNE (1988) en Basilea. Dicho autor entrevistó a los hogares cuyas viviendas había utilizado para estimar, mediante los PH, el valor marginal de una reducción sonora a la

mitad (8 dB); encontrando una DAP (VC) media de 75 Francos Suizos (CHF) por mes (99 euros del 2001/dB/hogar/año⁵) y 79 CHF (104 euros del 2001/dB/hogar/año) con el método de los PH. SOGUEL (1996), entrevistó a 200 hogares de Neuchâtel (Suiza) encontrando una DAP de 56-67 CHF por mes (60-71 euros del 2001/dB/hogar/año), tras haber controlado los posibles sesgos estratégicos, si el ruido se reducía a la mitad (8 dB); mientras que en su estudio de PH (SOGUEL, 1994) había encontrado un valor de 60 CHF para la misma reducción sónica (64 euros del 2001/dB/hogar/año). La aparente coincidencia de los resultados de ambas metodologías se desvanece en el estudio de VAINIO (1995, 2001), quien encontró para Helsinki una DAP (VC) de 6 a 9 euros del 2001/dB/hogar/año; mientras que para el método de los PH era de 22 euros del 2001/dB/hogar/año. *Hasta dónde sabemos* el último estudio publicado que, sobre una misma muestra, ha comparado el resultado de ambas metodologías es de BJØNER & al. (2003). Usando el resultado de la VC sugieren que la DAP por reducir un dB, a partir de una situación de base de 60 dB, es de 28,65 Coronas Danesas (DKK) por hogar y año (3,86 euros del 2003/dB/hogar/año). Mientras que la función hedónica apunta una revalorización equivalente a 86,66 DKK (11,63 euros del 2003/dB/hogar/año) usando una tasa de depreciación del 2%. Por tanto, estos cuatro estudios parecen apuntar a que los resultados del método de los PH arrojan valores ligeramente más altos que la VC. De hecho esta es la tesis sostenida por BROOKSHIRE & al. (1982) quienes han enfatizado que la función marginal hedónica es el margen superior de la valoración del ruido. En este sentido BJØNER & al. (2003) argumentan que tal sesgo podría derivarse del hecho que es muy difícil, dada la ausencia de datos o la alta correlación, separar el impacto del ruido de otras externalidades asociadas con sus fuentes emisoras (p.e.: vibraciones, humos, olores, riesgo de accidente, impacto visual, etc.), *con lo cual es posible que el valor marginal atribuido al silencio a través del método de los PH en realidad esté enmascarando la ausencia de otras externalidades negativas*.

4. Estudio de caso, modelo y datos

El municipio de Barcelona (100 Km² y 1,59 millones de personas) encabeza la segunda área metropolitana española (3.200 km² y

4,85 millones de personas). Su modelo urbano compacto y diverso ha sido recientemente galardonado a nivel mundial. Sin embargo, uno de los grandes costes de la compacidad es el alto nivel ruido propio de una ciudad con una intensa vida pública, una gran mixtura de usos del suelo, aunado una relativa falta de áreas verdes sono-amortiguadoras y un sector turístico en boga. El último mapa acústico publicado (1997) sugiere que sólo un 23,4% de los puntos de muestreo sonométrico tienen condiciones "buenas" es decir aquellas con Leq diurnos menores a 65 dBA, y nocturnos de Leq menores a 55 dBA. La mayor parte de los puntos (63,8%) están en situación de "tolerables" (65-75 dBA para el día y 55-65 dBA para la noche), el restante 12,8% está en situación de "a mejorar" es decir sobre los límites considerados como "tolerables". Lo sorprendente es que esta clasificación de los autores de dicho mapa es bastante optimista frente a otras presentadas por organismos internacionales: por ejemplo la OCDE considera que a partir de 55-60 dBA el ruido causa molestia, entre 60-65 dBA la molestia es considerable, y por encima de los 65 dBA surgen perturbaciones en el comportamiento y síntomas de daño grave (GARCÍA & GARRIDO, 2003: 98). *Dicho de otra manera 2 de cada 3 de las mediciones propias del Ayuntamiento están por encima del nivel de perturbación sónica, este es el precio de vivir en la ciudad densa, compacta y diversa*. Sobre dicha realidad esta investigación intenta mensurar en qué medida esta externalidad se refleja sobre los valores residenciales.

El modelo utilizado es el especificado en (2). A pesar de que en la literatura no existe consenso sobre qué variables introducir (MASON & QUIGLEY, 1996), sí que existe cierto acuerdo sobre la inclusión de variables afiliadas a 4 dimensiones básicas (ROCA, 1988; TINCH, 1995; FITCH & GARCÍA-ALMIRALL, 2008). De esta manera en (2) el precio de un inmueble i depende de un conjunto de variables alineadas a las categorías: S estructurales (p.e.: superficie, calidad edificatoria, etc); A accesibilidad (p.e.: cercanía a las estaciones de transporte público, al CBD, etc); N vecindario (p.e.: nivel de renta de los vecinos, etc.); y E externalidades ambientales (p.e.: nivel de ruido, vistas, etc.). Por su parte ε es un vector compuesto por el error aleatorio (i.e. todos aquellos atributos y circunstancias que inciden sobre el precio de la transacción y que no han sido considerados en el proceso de modelación).

⁵ Las conversiones son de Navrud (2002) y han considerado la inflación de cada país, desde el momento de reali-

zación del estudio hasta el año 2001 y la conversión a Euros según el tipo de cambio de enero de 2002.

$$\text{Ln}(P)_i = B_i + \sum_{s=1}^n B_{is} S_{is} + \sum_{a=1}^n B_{ia} A_{ia} + \sum_{n=1}^n B_{in} N_n + \sum_{e=1}^n E_{ie} E_{ie} + \varepsilon_i \quad (2)$$

La expresión semi-log de (2) responde a tres motivos:

1. la transformación sugerida por Box & Cox (1964) de la variable dependiente indica, en tanto λ se aproxima a cero⁶, que el precio se relaciona de esta manera con el conjunto de covariables;
2. en la literatura de los PH del ruido esta es la especificación funcional más utilizada, entre otras cosas, porque contribuye a normalizar la distribución de precios y de los residuos, y permite comparar los resultados entre los diferentes estudios (KENNEDY, 1994; BATEMAN & *al.*, 2001; NAVRUD, 2002; Bjøner & *al.*, 2003) y;
3. el coeficiente del ruido, en tanto se calcula una semi-elasticidad, permite conocer directamente el NDSI (NELSON, 1980; 2004; 2008).

El valor de mercado utilizado es el correspondiente a 3.196 tasaciones de apartamentos realizadas durante el año 2005⁷. En España, a falta de BDD públicas o privadas de precios de las transacciones inmobiliarias individualizadas, el valor de las tasaciones se considera un buen indicador del precio de mercado (ROCA, 2005). Además cada tasación debe estar, al menos, refrendada por 6 "testigos" correspondientes a transacciones reales. En todo caso el sesgo que suele introducir el ciclo inmobiliario se considera que afecta aleatoriamente al conjunto de tasaciones realizadas en un mismo periodo temporal.

En relación a las covariables utilizadas la Fig. 4 resume los estadísticos descriptivos⁸. En la dimensión S hay covariables y factores relativos a cada una de las viviendas, como su superficie, calidad constructiva etc.; la calidad de las ventanas se considera como una proxy al nivel de aislamiento acústico, en tanto, las carpinte-

rias de mejor calidad suelen incorporar sellos herméticos y doble acristalado. En la dimensión A hay los siguientes indicadores de accesibilidad: estaciones de metro, de ferrocarril suburbano, de autobús, el tiempo que los ocupados tardan en llegar a su trabajo, la distancia al CBD, la densidad y diversidad⁹ del empleo y los servicios, y un indicador de la percepción de la accesibilidad de los hogares¹⁰.

En la dimensión N hay informaciones relacionadas con la jerarquía social del entorno: presencia de portero en el edificio, porcentaje de población con estudios universitarios, porcentaje de personas desempleadas, porcentaje de ocupados directivos, porcentaje de profesionales y superficie media de las viviendas del contexto. En la dimensión E hay covariables relacionadas con la calidad ambiental: el nivel de ruido del entorno (dB A Leq), la percepción de los hogares en relación a la presencia de malos olores y falta de áreas verdes en el entorno de la vivienda, porcentaje del parque residencial en estado ruinoso y en mal estado, año de construcción medio de las viviendas del entorno, porcentaje de usos de las cubiertas del suelo, porcentaje de las actividades económicas industriales, diversidad de las cubiertas del suelo (como proxy de la diversidad paisajística).

Las fuentes de la información anterior están detalladas en la FIG. 4. Las unidades geográficas mínimas con las que se dispuso la información fueron:

1. Para los datos de las viviendas plurifamiliares: geoposicionamiento individual (3.196).
2. Para los datos censales: las secciones censales (1.498).
3. Para la información del IAE: las zonas de estudio de l'Ajuntament de Barcelona (248).

⁶ Dicha transformación se ha calculado así:

$$Y^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{y^{\lambda}-1}{\lambda y^{\lambda-1}} & \text{if } \lambda \neq 0 \\ \ln(y) & \text{if } \lambda = 0 \end{cases}$$

Donde \bar{y} es la media geométrica. Obsérvese que si λ es 1 entonces la ecuación se colapsa a una función lineal (i.e. no es necesario transformar Y), mientras que si se aproxima a cero, la transformación de la variable dependiente es la logarítmica. En nuestro caso a través de ensayar diferentes valores de λ para reducir sigma y analizando la normalidad de los residuos se encontró que la mejor transformación era la logarítmica (i.e. $\lambda=0$).

⁷ Esta información proviene de la Sociedad de Tasación CATSA, y es utilizada a efectos de investigación científica-

ca por el Centro de Política de Suelo y Valoraciones de la UPC.

⁸ Los estadísticos descriptivos de la variable dependiente se refieren a la muestra utilizada ver más adelante la forma en cómo se ha seleccionado dicha muestra.

⁹ La diversidad se ha calculado siguiendo la ecuación de la entropía de Shannon:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i * \ln(P_i)$$

Donde P es la probabilidad de encontrar una actividad i de las n que existen en cada unidad de estudio.

¹⁰ Esta información se refiere al % de hogares por sección censal que declararon en el Censo del 2001 que sus viviendas estaban mal comunicadas.

Fig. 4/ Estadísticos descriptivos de las variables usadas en el modelo

Denominación	N	Mín	Máx	Media	Desv. Estándar	Fuente
Estructurales (S)						
Precio total (Euro)	2498	81.220	1.201.625	279.171	127.200	a
Precio/m2 (Euro/m2)	2498	2.032	8.453	3.502	593	a
Superficie total (m2)	2498	23	220	84,23	25,76	a
Dormitorios	2498	1	7	2,88	0,87	a
Baños	2498	–	7	1,28	0,54	a
Dormitorios/baños	2498	–	3	0,48	0,23	a
Superficie total/baños	2498	11	85	30,88	10,10	a
Calidad de ventanas	2498	1	5	3,05	0,62	a
Calidad de los acabados de baño	2498	1	5	3,06	0,59	a
Calidad de los acabados de la cocina	2498	1	5	3,06	0,65	a
Antigüedad (años)	2498	–	155	31,81	28,30	a
Dummy calefacción no central (1=si)	2498	–	1	0,19%	4,40%	a
Dummy calefacción central (1=si)	2498	–	1	51,24%	49,99%	a
Ascensor (1=si)	2498	–	1	37,56%	48,44%	a
Accesibilidad (A)						
Tiempo al trabajo (min.)	2498	19	38	27,54	2,92	b
Distancia al CBD (m)	2498	76	5.922	2.885	1.237	e
% viviendas mal comunicadas	2498	1%	67%	11,16%	13,06%	b
Índice de Shannon de diversidad empleo y servicios	2498	2	4	3,07	0,28	c
Densidad registros actividad económica/km2	2498	76	8.723	2.570	1.496	c
Paradas de autobus/1.000 personas	2498	–	96	2,48	4,11	d
Entrada metro/1.000 personas	2498	–	20	0,27	0,69	d
Entradas metro/1.000 personas	2498	–	3	0,01	0,09	d
Socioeconómicos (N)						
% Directivos	2498	2%	27%	8,82%	3,92%	b
% Profesionales	2498	4%	39%	17,14%	8,61%	b
% Técnicos	2498	6%	21%	16,22%	3,05%	b
% Administrativos	2498	7%	18%	13,16%	2,02%	b
% Ventas y servicios personales	2498	6%	27%	15,76%	3,68%	b
% Operadores cualificados de la industria	2498	2%	23%	11,29%	4,62%	b
% Montadores no cualificados de la industria	2498	1%	20%	7,58%	3,32%	b
% no cualificados de otros sectores	2498	3%	23%	9,60%	4,08%	b
% edificios con portero	2498	0%	59%	6,93%	8,09%	b
Universitarios	2498	3%	43%	16,57%	8,59%	b
Superficie media de la vivienda del entorno (m2)	2498	30	144	73,17	13,29	b
Ambientales (E)						
% viviendas con problemas de ruido exterior	2498	20%	63%	43,21%	7,20%	b
% viviendas con malos olores en el exterior	2498	8%	52%	26,43%	7,42%	b
% viviendas con falta de espacios verdes	2498	6%	73%	38,88%	14,94%	b
% viviendas en estado ruinoso	2498	0%	64%	6,28%	6,57%	b
% playa y agua en el entorno de la vivienda	2498	0%	10%	0,09%	0,69%	f
Índice de Shannon de diversidad de usos del suelo	2498	0	2	1,49	0,27	f
% actividad económica industrial	2498	5%	41%	17,03%	5,84%	c
Intensidad sónica -ruido- (dB A Leq)	2498	50	80	68,38	5,12	g

Elaboración propia con base en la siguiente información:

- a) Base de datos de tasaciones plurifamiliares (2005)
b) Censo de Población y Vivienda INE (2001)
c) Impuesto de Actividades Económicas (2002)
d) Transportes metropolitanos de Barcelona (2005)
e) Distancias calculadas mediante SIG (2005)
f) Sistema propio de teledetección de usos del suelo a partir de imágenes de satélite (2002), véase Alhaddad et al. (2006)
g) Mapa Acústico (1997)

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de los Censos de Población y Vivienda de 2001

4. Para la información satelital: las secciones censales (1.494).
5. Para el mapa sónico: el geoposicionamiento individual de los puntos de mensuración sonométrica (1.045)¹¹.
6. Para las estaciones de autobús: el geoposicionamiento individual de cada una de ellas (4.565).

Con ayuda de un SIG la información de las covariables fue transferida a las viviendas, de manera que la unidad de modelación es la vivienda. Para ello se utilizaron diferentes *buffers* o áreas de influencia de 300, 600 y 900 metros de radio, y una transferencia geoespacial de los datos, como lo han hecho ACHARYA & BENNETT (2001). El modelo presentado en este artículo trabaja con datos del *buffer* 300 mr.

Eliminación de *outlayers*

Como paso preliminar, además de eliminar las 604 viviendas sin datos sonométricos, se procedió a eliminar aquellas que debido a sus valores extremos en el conjunto de sus atributos se encuentran alejadas de lo que se puede considerar como apartamento "normal". A efectos de considerar conjuntamente todos los atributos de las viviendas en el proceso de filtrado se ha recurrido al uso de la Distancia de Mahalanobis (DM). Más allá de su robustez estadística¹², de acuerdo con LI & al. (2005), la DM permite eliminar aquellas viviendas cuyos precios no están explicados por las covariables sino por otros aspectos no mensurados, por ejemplo, el hecho que las viviendas más caras tengan "decoración y acabados finos, así como revestimientos especiales y paisajismo" (p. 3), o aislamientos específicos contra la contaminación acústica. *La eliminación de los casos sujetos a la influencia de variables omitidas es fundamental en tanto pueden sesgar los coeficientes del modelo de regresión, y por tanto, arrojar estimaciones ineficientes de la función hedónica del ruido* (BATEMAN, & al., 2001).

La DM se calculó utilizando aquellas covariables y factores que, en términos estadísticos¹³, resultaron explicativos del valor de los apartamentos. La FIG. 5 resume los resultados, en el eje horizontal están las viviendas expresadas en términos de percentiles en el eje vertical izquierdo la DM y en el derecho el error estándar (sigma) de cada uno de los modelos correspondientes a considerar sólo los casos de la correspondiente DM-muestral. Como se observa a medida que se reduce la muestra (i.e. se excluyen más casos extremos) el error estándar de los modelos se reduce. Asimismo aumentan las propiedades N(0,1) que se desearía tuviesen los residuos de los modelos calibrados usando el método de los mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Obsérvese que la eficiencia de los modelos deja de aumentar por debajo del percentil 50.

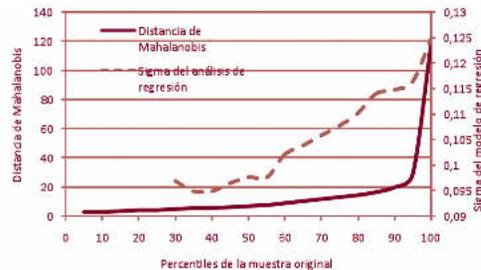


FIG. 5/ Distancia de Mahalanobis versus a la variación de sigma

Fuente: Elaboración propia

Como se ve en la FIG.5, las curvas de la DM y del sigma que se deriva de utilizar solo los datos por debajo de cada DM, experimentan la caída más drástica entre el percentil 100 y el 95; razón por la cual, en esta investigación, se decidió trabajar con los casos por debajo de dicho umbral (28,10 DM), lo que conllevó a eliminar el 5% de los apartamentos más alejados¹⁴, en el conjunto de sus características, del apartamento de "características medias".

¹¹ Los autores agradecen a Agustín Frizzera y Marlon Flores su ayuda en la digitalización y georeferenciación del mapa acústico de Barcelona.

¹² Dichas propiedades son: robustez ante la multicolinealidad y la diferencia en la escala de las covariables. La DM se calcula así:

$$D^2 = (X - M_x) \Sigma_x^{-1} (X - M_x)$$

Donde D es la DM, X son las características de la vivienda, M_x y Σ_x es la matriz de varianza-covarianza.

¹³ Para esto se construyó un modelo MCO por pasos sucesivos introduciendo aquellas covariables con p -values inferiores a 0,05. Por tanto la DM se refiere a las covariables: superficie total, PC1 (componente princi-

pal 1 de un análisis factorial que sintetiza la estructura socioeconómica, ver los detalles en el texto), superficie total al cuadrado, de actividad económica industrial, % de playa y agua en el entorno, *dummy* para la calefacción central, tiempo de viaje residencia-trabajo (min.), superficie total (m²)/ número de dormitorios, densidad de empleo y servicios, % de superficie pavimentada en el entorno, nivel sónico -ruido- (dB A Leq), *dummy* para los pisos con ventanas de calidad regular, los mismo que lo anterior para ventanas de mala calidad.

¹⁴ Sin embargo se construyeron modelos con el 50,55,65,70,75,80,85 y 90% de la muestra que arrojaron resultados consistentes en cuanto a la función hedónica del ruido.

5. Resultados

En la FIG. 6 (Izq.) se reportan los resultados del mejor modelo MCO, en términos de ajuste, multicolinealidad, normalidad y homocedasticidad de los residuos. Dicho modelo es capaz de explicar un 89,5% de la estructura de los valores de la muestra de apartamentos utilizada. Los signos de todas las covariables son los esperados, y sus coeficientes son significativos al 95% de confianza. Según dicho modelo en la dimensión *S* de características intrínsecas de los apartamentos destaca, además de la superficie construida y del cuadrado de la superficie construida (que internaliza el principio de rendimientos decrecientes¹⁵), indicadores de la calidad, como el ratio superficie construida entre número de dormitorios, que además de indicar la generosidad de los espacios interiores, es una *proxy* de otros aspectos relativos a la buena calidad de los apartamentos. Asimismo, entran las *dummies* que internalizan la calidad de la ventanería¹⁶, el coeficiente de la *dummy* “ventanas de calidad normal” es de $-0,043$, y como era de esperar, el coeficiente de la *dummy* “ventanas de mala calidad” es de $-0,078$. Lo cual sugiere que los apartamentos con ventanas de aluminio, PVC, doblemente acristaladas y con sellos herméticos gozan de un “market premium”, entre otras cosas, porque ofrecen un mayor aislamiento tanto térmico como acústico, lo cual se traslada directamente al presupuesto de los hogares y a su nivel de confort, afectando ambas cosas a su DAP implícita. Finalmente entra la *dummy* de la calefacción central con signo positivo, es importante destacar que esta variable también representa, parcialmente, la antigüedad de los edificios en tanto los más viejos no tienen este acondicionamiento.

En la dimensión *A* de accesibilidad entra el tiempo de desplazamiento al trabajo, con el esperado signo negativo, y la densidad de empleos y servicios (que representa un acceso de corto alcance a los servicios). *Ceteris paribus*, por cada minuto que incrementa la distancia al trabajo, el valor de los apartamentos se reduce en un 0,57%; el coeficiente estandarizado beta —no reportado en la FIG. 6— (calculado sobre los *z-values* de las covariables) sugiere que es más importante que un apartamento esté ubicado a pocos minutos del lugar de trabajo que en una zona con una alta densidad de servicios. En la dimensión *N* de las características so-

cioeconómicas del vecindario entra el Componente Principal 1 (CP) de un análisis factorial construido sobre el porcentaje de hogares clasificados en función de la ocupación profesional de su persona principal. Dicho análisis factorial resume en 2 ejes la estructura socioeconómica de la ciudad, que explican el 84% de la varianza de los 9 variables originales. En concreto el CP 1 capaz de explicar el 67% de la varianza polariza, en un extremo (con *factor loadings* positivos) a las clases de renta baja (p.e.: obreros no cualificados), y en el otro extremo (con *factor loadings* negativos) a los grupos de renta alta (p.e.: directivos y profesionales). De esta manera el CP entra con el signo negativo esperado.

De hecho del conjunto de covariables exógenas a la vivienda, según el coeficiente beta estandarizado (FIG 6 dcha.), esta es la que mayor influencia tiene sobre el precio, lo cual no sólo indica la mayor capacidad de pago de estas clases; sino también, el sobreprecio que las clases altas pagan por localizarse en los emplazamientos de mayor prestigio social (ROCA, 1984).

En la última dimensión ambiental *E* entran tres covariables: en primera instancia el porcentaje de actividades industriales en el entorno de la vivienda (incluidos los talleres ubicados en las plantas bajas y en los patios de manzana), enseguida entra con signo positivo el porcentaje de playa y agua en el entorno derivado del análisis de las imágenes de satélite, naturalmente esto se refiere, básicamente a las viviendas ubicadas en el frente litoral (p.e. la Villa Olímpica), pero también, gracias a la relativamente alta resolución (1 pixel= 2,5m) de la imagen de satélite usada (SPOT), a las piscinas de los condominios de la zona de apartamentos de lujo (p.e.: Pedralbes), y en menor medida, a las fuentes (p.e.: Plaza España) y piscinas públicas (p.e.: Vall d’Hebrón).

Lo significativo es que la reconstrucción litoral de Barcelona (i.e. su apertura al mar) ha representando un impacto significativo sobre la estructura histórica de los valores residenciales (ver desde Roca, 1988).

Asimismo entra con signo negativo el porcentaje de calles que rodean a las viviendas, este indicador intenta controlar otras externalidades asociadas al tráfico vehicular, que como ha sido demostrado, es la principal fuente de contaminación acústica. Dichas externalidades se

¹⁵ Pero también una reducción de los costes de construcción de los servicios comunes a medida que incrementa la superficie privada de quienes los usan de acuerdo con BOVER & VELILLA (2001)

¹⁶ Es importante señalar la correlación positiva de esta va-

riable con otras relativas a la calidad de los acabados de los baños y cocina y de las instalaciones como la calefacción central. Por tanto, la calidad de las ventanas también es una *proxy* de la calidad global de los acabados e instalaciones.

FIG. 6/ Estimación por mínimos cuadrados ordinarios

Modelo MCO					
R ²	0,896				
R ² ajustada	0,895				
Sigma (error estándar)	0,116				
Covariable/factor	Coeficientes no estandarizados			Sig.	Coeficiente estandarizado Beta
	B	Std. error	Sig.		
Intercepto	11,600	0,063	0,000		
Superficie total (m2)	0,018	4,1E-04	0,000		1,295
PC1 (hogares de renta baja)	- 0,081	3,9E-03	0,000	-	0,199
Superficie total (m2)^2	-3,6E-05	1,9E-06	0,000		-5,4E-01
% actividad económica industrial	- 0,308	0,059	0,000	-	0,050
% playa y agua en el entorno	2,384	0,348	0,000		0,047
Calefacción central	0,029	0,005	0,000		0,040
Tiempo al trabajo (min.)	- 0,006	1,3E-03	0,000	-	0,046
Superficie total (m2)/dormitorios	0,001	2,5E-04	0,000		0,025
Densidad de empleo y servicios	6,8E-06	2,5E-06	0,006		2,8E-02
% superficie pavimentada	- 0,053	0,020	0,009	-	0,018
Ruido (dB A Leq)	-1,4E-03	6,0E-04	0,019		-1,7E-02
Ventanas de calidad normal	- 0,043	0,008	0,000	-	0,040
Ventanas de mala calidad	- 0,078	0,019	0,000	-	0,029
ANOVA					
	Sum de cuadrados	df	Media cuadrada		
Regresión	287,6312681	13	22,13		
Residuos	33,38968005	2.484	0,01		
Total	321,0209481	2.497			
	F	Sig.			
	1.646	0,000			

Variable dependiente: Ln del precio total (Euros)

MCO calibrado por el método de pasos sucesivos

Fuente: Elaboración propia

refieren a las emisiones atmosféricas, vibraciones, la interferencia que sobre el espacio público origina la presencia de grandes vías de comunicación, etc. La última variable ambiental en entrar es la intensidad del sonido. El impac-

to sugerido por los coeficientes B y Beta es exiguo si se compara con el NDSI reportado por otras investigaciones (ver sección 2). Según este modelo MCO el NDSI que resulta de considerar los datos de esta investigación¹⁷ es

¹⁷ Estos resultados no dejan de ser una aproximación en tanto, a pesar de los esfuerzos invertidos, no ha sido posible conseguir el último mapa sónico de la ciudad. Sin embargo, la comparación de los mapas de 1990 y 1997 sugiere que la estructura general del ruido se mantiene, además las grandes transformaciones urbanas,

con excepción del Foro de las Culturas del 2004, ya estaban realizadas cuando se realizó el mapa de 1997. Esto aunado a la relativa inercia en el mecanismo de la formación de los precios inmobiliarios (BATEMAN, & al., 2001) da ciertas garantías de la aproximación realizada en esta investigación.

de 0,14%, es decir el valor de los apartamentos se reduce, todo lo demás igual, este porcentaje por cada dB que incrementa el ruido en su entorno. Además, el *p-value* es mayor que cualquier otra covariable, lo que sugiere una mayor incertidumbre en la estimación del coeficiente, sobre esto volveremos más adelante.

El análisis espacial de los residuos indica que están autocorrelacionados (Moran I = 0,0507), seguramente, por las externalidades que ejercen mutuamente las viviendas, que no han sido satisfactoriamente internalizadas por las variables independientes (CAN, 1992; NELSON, 2008).

El relativamente alto error estándar del ruido, que conduce a una significancia relativamente alta podría sugerir que esta externalidad no tiene un impacto uniforme a lo largo del espacio residencial de Barcelona. En el siguiente apartado se explora con mayor profundidad esta conjetura.

5.1 Un impacto variable sobre la formación espacial de los valores residenciales

Además de los problemas de dependencia espacial (i.e. autocorrelación espacial), la heterogeneidad espacial es otra de las cuestiones a resolver en la implementación del método de los PH, ya que puede afectar la precisión y significancia de las estimación MCO que asume un conjunto de coeficientes invariantes o estacionarios (CAN, 1992; FOTHERINGHAM & *al.*, 2002; PÁEZ & *al.*, 2008). Dicha heterogeneidad se refiere a la desigual influencia que los atributos intrínsecos y extrínsecos pueden tener sobre la explicación de los valores residenciales, debido una eventual existencia de submercados. En este sentido sería plausible esperar que el ruido afectase de manera diferente a la función hedónica de los apartamentos que, o bien por sus características edilicias como la existencia de amplias terrazas o de espacios comunitarios intrínsecamente expuestos a la contaminación acústica (MARMOLEJO & ROMANO, 2009), o bien por la sensibilidad de sus usuarios (KUNO & *al.*, 1993; DAUMAL, 2002), pertenecen a submercados diferentes. De esta manera el precio implícito de 1 dB no tendría, desde la perspectiva teórica, porque ser el mismo en diferentes segmentos de mercado o en diferentes localizaciones sujetas a niveles sónicos consustancialmente diferentes. De manera que para cada submercado tendría que existir una función hedónica específica (ROSEN, 1974). A pesar de esto, en la práctica

el método de los PH, *puede* arrojar ecuaciones estructuralmente similares (p.e.: usando el *F-test* de Chow para analizar los residuos, o el *F-test* de Tiao–Goldberger para los coeficientes), para viviendas que en realidad no son sustituibles entre sí (i.e. porque pertenecen a submercados diferentes) en tanto éste se centra en el precio de los atributos y no en la cantidad de los mismos disponibles en la vivienda (BOURASSA, & *al.*, 2003).

Más allá de la identificación cualitativa de submercados asumida por los expertos locales (p.e. API o tasadores), en la literatura existen alternativas estadísticas. Desde las más populares, como los análisis factoriales (p.e. DALE-JOHNSON, 1982); seguidos por análisis *cluster* (MACLENNAN & TU, 1996; BOURASSA & *al.*, 1999, 2003) para encontrar áreas con atributos homogéneos; hasta las más innovadoras como el análisis de las elasticidades de la demanda (PRYCE, 2008), para encontrar áreas con viviendas sustituibles entre sí. Cada aproximación es válida según el fin que se persiga con la misma. Sin embargo, salvo algunas excepciones (ver BOURASSA & *al.*, 2003), casi todas han fallado en conceptualizar submercados con fronteras claramente delimitadas; las cuales en *ciertas ciudades* son casi tan irreales como las fronteras administrativas. Esto es especialmente relevante en el caso de las ciudades euro-mediterráneas (compactas y diversas), caracterizadas por “transiciones suaves” entre los diferentes tejidos urbanísticos. Además, desde la perspectiva de la econometría espacial, las fronteras “duras” impiden considerar las externalidades que una zona ejerce sobre otra (i.e. dependencias espaciales) cuando se calibran modelos separados para cada zona. En este sentido siguiendo la propuesta conceptual de PÁEZ & *al.* (2008) parece plausible pensar que existen submercados con fronteras difuminadas, que además, permiten evaluar las interacciones espaciales entre los mismos. Uno de los métodos que permite trabajar con dicho tipo de fronteras es la regresión geográficamente o localmente ponderada —GW o LWR—, que además resuelve los problemas de dependencia espacial (PÁEZ & *al.*, *op. cit.*). Este método fue originalmente introducido en la estadística por STONE (1977) y CLEVELAND (1979), y trasladado mucho después a la geografía y a la economía urbana (BRUNSDON & *al.*, 1996; McMILLEN, 1996; FOTHERINGHAM & *al.*, 2002), a la par que los SIG hicieron económica su utilización.

En general la GWR realiza tantas regresiones como observaciones existen. En dichas regresiones la importancia (i.e. ponderación) de las

observaciones sobre la estimación de los parámetros B decrece a medida que incrementa la distancia a la cual están ubicadas punto de pivote de la regresión (uno diferente para cada regresión). De manera que la matriz de ponderación se calcula así:

$$w_{ij} = \left\{ 1 - \left(\frac{d_{ij}}{h_i} \right)^2 \right\}^2 \text{ si } d_{ij} < h_i \text{ alternativamente } = 0 \quad (3)$$

Donde w es la matriz de ponderación espacial, i es el punto de pivote de la regresión, j es cada una de las N observaciones incluidas en la regresión local y h es la distancia del N_{ht} punto j (CHARLTON & *al.*, 2005). Cuando la densidad de las observaciones no es constante a lo largo del espacio es conveniente utilizar un *kernel* o ámbito de influencia adaptable, que además, no precondicione la geometría del área de análisis, la cual no tendría porque ser isotrópica a partir del punto i . El resultado de la GWR utilizando un *kernel* adaptativo con 628 casos está contenido en la FIG. 7. La capacidad explicativa incrementa hasta alcanzar una R^2 de 0,91, además el criterio de información de Akaike y la reducción de sigma sugieren que la GWR mejora significativamente a los modelo OLS y el Spatial-lag. El resumen de la distribución de los coeficientes está expresado en términos de los cuartiles superior e inferior y por el M-estimador de Huber que proporciona una media robusta a los *outlayers* (ver HUBER, 1981). En relación al modelo MCO la media robusta de las estimaciones de las covariables es bastante parecida; sin embargo se aprecian algunas variaciones, por ejemplo la influencia negativa de las actividades industriales se reduce ligeramente, a la vez que disminuye significativamente el impacto positivo de la presencia de agua y playa. En cuanto al coeficiente del ruido se reduce ligeramente (de 0,0014 a 0,00083). Si se considera el precio medio de los apartamentos de la muestra utilizada y el M-estimador del ruido se infiere que el valor se reduce de media 232,61 euros por cada dB que incrementa el ruido.

La FIG. 7 también muestra el porcentaje de estimaciones locales en las cuales el coeficiente de las covariables es significativo al 95% de confianza. Como se observa, el ruido y la playa-agua muestran la menor proporción de regresiones significativas, lo cual refrenda el relativamente alto *p-value* del ruido en los modelos de la FIG. 6 (0,019 para MCO).

Lo relevante es que prácticamente todas las variables tienen efectos no estacionarios. Es

decir, que el valor marginal de cada unidad de cada uno de los atributos varía a lo largo del espacio.

Es probable que la mejora de la capacidad explicativa de la GWR se deba precisamente a la consideración de esas especificidades locales en la valoración de las características residenciales. Para validar estadísticamente la variación espacial de los coeficientes locales se ha realizado un Test de Monte Carlo (FOTHERINGHAM, & *al.*, 2002). Sus resultados (FIG. 7 dcha.) sugieren que todas las covariables, con excepción de los indicadores de calidad de la vivienda (i.e. superficie/dormitorios, calidad de las ventanas) y del indicador de accesibilidad, tienen impactos estadísticamente diferentes sobre el precio de los apartamentos a lo largo del espacio.

Es importante resaltar, que según la GWR el coeficiente del ruido tiene impactos negativos y positivos en diferentes partes de la ciudad. Si se consideran sólo las regresiones en las cuales el coeficiente del ruido es significativo al 95% de confianza el NDSI del decil inferior es de -0,0082 mientras que el decil superior es de +0,0057. Es decir, que en el 10% inferior de las regresiones por cada dB que incrementa el ruido el precio de las viviendas se reduce en un 0,82% mientras que paradójicamente para el 10% superior incrementa en un 0,57%.

La simple inspección visual, y la interpretación que brinda el "conocimiento local" de los coeficientes locales del ruido permite hipotetizar la naturaleza de esta paradoja (FIG. 8). En primera instancia existe una clara relación entre el nivel de ruido y el impacto que cada dB tiene sobre el precio de la vivienda. De hecho la correlación entre el coeficiente B del ruido (para las regresiones en donde ha resultado significativo) y el nivel de ruido en el entorno es negativa ($r = -0,336$) y significativa al 99% de confianza; i.e. cuanto mayor es el nivel de ruido, más se reduce el precio de las viviendas por cada dB. Sin embargo esta relación no es continua, según se observa las regresiones (estadísticamente significativas). En la FIG. 9 y 10 las regresiones donde el coeficiente B del ruido ha resultado significativo han sido clasificadas mediante un análisis clúster K-medias, construido sólo con la información de dicho coeficiente. Como se ve, en general cuanto mayor es el volumen del sonido, mayor es la depreciación unitaria por Db del mercado residencial, excepto en los dos grupos inferiores donde existe una aparente revalorización. De hecho esta es mayor en el clúster 4, que tiene un nivel de ruido intermedio.

Fig. 7/ Parámetros del modelo GWR

GWR Model				Akaike information criterion		
R ²	0,915			MCO	-	3.678
R ² ajustada	0,911			GWR	-	3.935
Sigma (error estándar)	0,108					
Estadísticas de distribución de los coeficientes B				Pruebas de significancia		
	Cuartil inferior	estimador de M de Huber	Cuartil superior	Regresiones locales con pseudo-p-value <0.05	Test de Monte Carlo sobre la variabilidad espacial de B (p-values)	
Intercepto	11,143	11,452	11,687	100%	0,000	***
Superficie total (m2)	0,018	0,020	0,021	100%	0,000	***
PC1 (hogares de renta baja)	- 0,118	- 0,081	- 0,053	100%	0,000	***
Superficie total (m2)^2	-5,4E-05	-4,7E-05	-3,7E-05	100%	0,000	***
% actividad económica industrial	- 0,790	- 0,261	0,181	58%	0,000	***
% playa y agua en el entorno	- 4,320	- 0,088	1,845	21%	0,000	***
Calefacción central	0,011	0,018	0,026	41%	0,020	***
Tiempo al trabajo (min.)	- 0,007	- 0,004	- 0,001	23%	0,110	n/s
Superficie total (m2) /dormitorios	2,4E-04	8,9E-04	1,5E-03	47%	0,240	n/s
Densidad de empleo y servicios	3,0E-06	9,6E-06	1,6E-05	42%	0,000	***
% superficie pavimentada	- 0,122	- 0,052	0,005	33%	0,000	***
Ruido (dB A Leq)	-2,9E-03	-8,3E-04	1,4E-03	17%	0,000	***
Ventanas de calidad normal	- 0,059	- 0,044	- 0,028	74%	0,350	n/s
Ventanas de mala calidad	- 0,104	- 0,074	- 0,045	50%	0,460	n/s
				*** sig. at 0.1% level n/s not significant		
ANOVA						
	Suma de cuadrados	df	Mean Square			
Residuos del modelo MCO	33,38	14		N de vecinos más cercanos	628	
Mejora del modelo GWR	6,08	108	0,06	N de localizaciones ajustadas	2.498	
Residuos del modelo GWR	27,3	2.375	0,0115			
	F	Sig.				
	4,917	0,000				

Variable dependiente: Ln del precio total (Euros)

Kernel GWR adaptable crossvalidado

Fuente: Elaboración propia

La paradoja podría resolverse si se considera que dichas zonas de ruido intermedio están ubicadas a cierta distancia de las zonas de máximo ruido que son, asimismo, los puntos de provisión de servicios y transporte más importantes de la ciudad, *de manera que la aparente correlación positiva, podría en realidad estar enmascarando una accesibilidad a dichos servicios*. Por tanto, parece existir un “market premium” por poder acceder a los servicios y medios de transporte con cierta rapi-

dez pero sin padecer los niveles más altos de ruido de los ejes viarios en los que éstos se encuentran ubicados. A esta misma conclusión ha llegado DAY (2003) al encontrar un signo positivo para el ruido en uno de los 4 submercados identificados en Glasgow.

La FIG. 8 también revela que algunas áreas peatonales con niveles sónicos relativamente bajos, como el Centro Histórico de Barcelona (Ciutat Vella y el Raval), tienen funciones hedó-

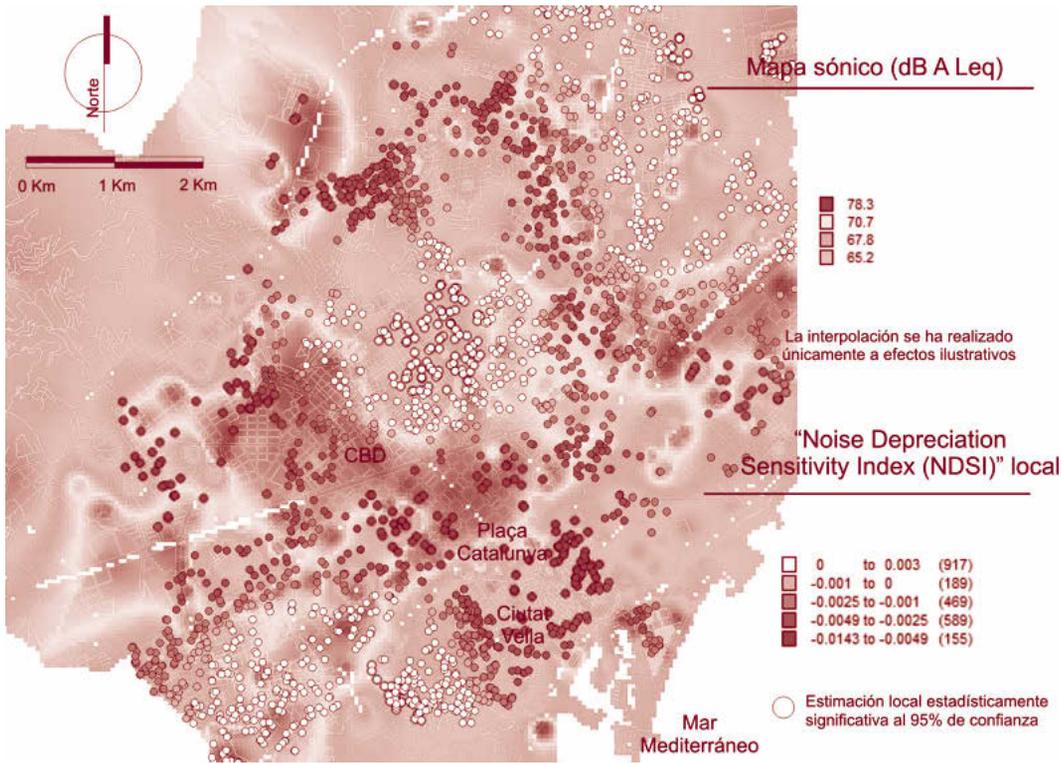


FIG. 8/ Mapa sónico y estimadores hedónicos locales del precio

Fuente: Elaboración propia

Estadísticos descriptivos						
Clúster		N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. t.p.
1	Db A	28	54,10	79,60	76,62	5,45
	NDSI	28	-,0143	,0020	-,010181	,0049093
2	Db A	95	54,10	79,90	76,58	4,79
	NDSI	95	-,0098	,0019	-,006864	,0018969
3	Db A	138	54,10	79,90	76,42	3,66
	NDSI	138	-,0069	,0065	-,002021	,0044804
4	Db A	97	54,10	78,20	73,83	4,45
	NDSI	97	-,0038	,0064	,003384	,0034068
5	Db A	20	54,10	77,80	72,46	7,36
	NDSI	20	,0018	,0043	,002813	,0009251

FIG. 9/ Regresiones con un NDSI estadísticamente significativo al 95% de confianza clasificadas según éste

Fuente: Elaboración propia

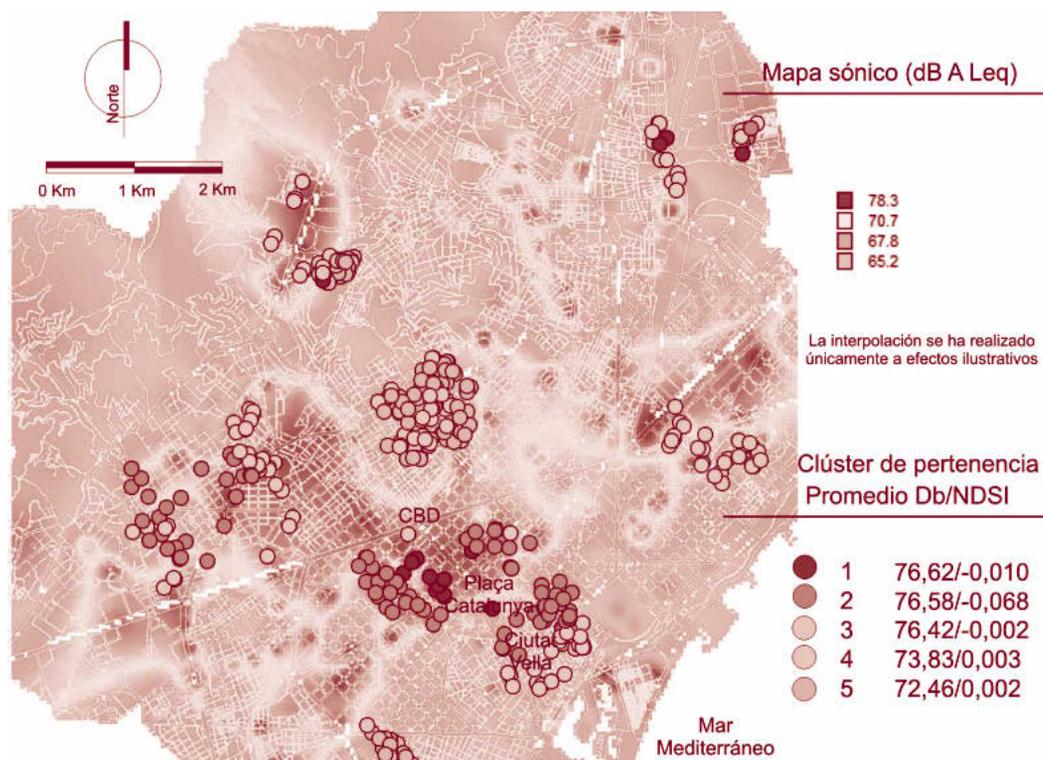


FIG. 10/ Regresiones con un NDSI estadísticamente significativo al 95% de confianza clasificadas según éste

Fuente: Elaboración propia

nicas parecidas a las zonas vehiculares con mayor nivel de ruido. Lo cual sugiere que la intensidad sónica mensurada por los registros sonométricos no captura en toda su dimensión el impacto del ruido, en tanto, sólo miden un aspecto de éste: la intensidad. De manera que las zonas en donde el ruido proviene, como en el Barri Gòtic y el Raval, del tránsito peatonal (básicamente de ocio), de las terrazas de los restaurantes, de los bares y de los actos públicos relacionados con concentraciones de personas, parecen tener una sensibilidad especial al ruido (y otras externalidades) que provoca una mayor apreciación de cada dB de silencio.

5.2. Precios hedónicos versus disposición a pagar en Barcelona

En el año 2006 MARMOLEJO & FRIZZERA (2008) realizaron una VC en el municipio de Barcelo-

na para encontrar la DAP de sus residentes por beneficiarse de una reducción sónica. En concreto, mediante una entrevista presencial a una muestra de 405 hogares, se ofreció un conjunto de acciones¹⁸ que permitirían “pasar del nivel actual de ruido en un día laboral a una hora punta a otro nivel inferior como el que se experimenta en un día laboral a las 21:00 hrs” (p. 27). Enseguida se explicó que el conjunto de la ciudadanía financiaría estas acciones mediante el pago de una tasa mensual por persona (sin horizonte temporal de cobro). La DAP promedio 3,25 (al 2005) Euro/persona/mes lo cual, según los autores, equivale aproximadamente a un 0,28% de la renta familiar bruta disponible, proporción que coincide con otro estudio realizado también en España por BARREIRO & *al.* (2005) para una disminución sónica similar en Pamplona. Para validar la coherencia de las DAP los autores realizaron un análisis de regresión, en donde las variables explicativas tenían relación tanto con

¹⁸ Los autores siguiendo de cerca el ejercicio realizado por BARREIRO & *al.* (2005) propusieron un paquete de medidas como: la instalación de paneles sono-absorbentes, el incremento de las barreras verdes, el soterramiento

de algunas vías de alta velocidad y la optimización sónica del tránsito vehicular. Por ejemplo MEDRAÑO & VAZQUEZ (2008) han propuesto en su VC del ruido ferroviario el uso de pantallas acústicas.

los factores demográficos, socioeconómicos y de percepción/afectación de las personas que respondieron a la encuesta; así como otras informaciones derivadas del Censo de Vivienda. Encontrando que la DAP está explicada por: la molestia producida por el ruido (en sentido positivo), la percepción sobre el perjuicio del ruido sobre la salud (en sentido positivo), el nivel socioeconómico (en sentido positivo), la importancia de la ausencia del ruido en la elección residencial (en sentido positivo), cuando la edad de la persona encuestada es superior a los 64 años (en sentido negativo), el nivel de aislamiento acústico de la vivienda (en sentido positivo) y la importancia de la ausencia de industria en la elección residencial (en sentido positivo). De manera que las personas con más renta y más sensibles a las externalidades ambientales son las que estarían dispuestas a pagar más por la eventual reducción acústica en Barcelona.

Si se analiza la variación horaria del mapa acústico de Barcelona se puede asumir que la reducción ofrecida por los autores es de 3,21 dB; es decir que los hogares están DAP 2,53 Euro/dB/hogar/mes (financieramente equivalente a 30,99 Euro/dB/hogar/año) considerando 2,5 personas por hogar.

La DAP encontrada por MARMOLEJO & FRIZZERA (*Op. Cit.*) se trata de un pago mensual equivalente al sobreprecio o "Premium" que los hogares estarían dispuestos a pagar por disfrutar de una vivienda más silenciosa en un mercado de alquiler. Los resultados de nuestro estudio, como se ha señalado antes, sugieren que la reducción en 1 dB del nivel de ruido representa un incremento del valor en venta de 232,61 euros, para transformar este valor en venta en valor de alquiler lo más plausible es utilizar el *yield* o rentabilidad de inversión específica del mercado de los apartamentos en Barcelona. De esta manera, utilizando un *yield* del 4% real anual resulta que el incremento del alquiler sería de 0,76 Euro/dB/vivienda/mes (9,30 Euro/dB/vivienda/año).

Como se ve la DAP por 1 dB es sensiblemente superior al precio implícito encontrado mediante el método de los PH (ratio DAP/PH = 3,33), lo cual difiere de otros estudios (POMMERHNE, 1988; SOGUEL, 1994, 1996; VAINIO, 1995, 2001; BJØNER & *al.*, 2003) pero, en cambio, es coherente con el planteamiento teórico de FEITELSON & *al.* (1996) sintetizado en la FIG. 1 y con los estudios tempranos revisados por VERHOEF (1994). Es probable que la DAP encontrada por el método de la VC esté internalizando el impacto que el ruido tiene sobre

la habitabilidad otros espacios urbanos y no sólo sobre el confort residencial (p.e.: los espacios públicos no necesariamente adyacentes a la vivienda) u otros valores de no uso; siendo precisamente esta última una de las virtudes de la valoración contingente por sobre los precios hedónicos.

6. Conclusiones

Numerosos estudios de precios hedónicos han evaluado el impacto del ruido sobre la formación de los valores inmobiliarios (ver las excelentes revisiones realizadas por BATEMAN & *al.*, 2001; NAVRUD, 2002; BJØNER & *al.*, 2003; Nelson, 2008). La gran mayoría han encontrado que la pérdida de bienestar experimentada por los hogares ante el incremento de la exposición al ruido se traduce en una reducción del precio de las viviendas, medida a través del NDSI (*Noise Depreciation Sensitivity Index*). Los estudios realizados en diferentes ciudades sugieren que el NDSI tiene un rango de variación importante p.e.: los estudios reportados de NAVRUD (*Op. Cit.*) para el tráfico vehicular lo sitúan en un rango de 0,08% a 2,2% con una media de 0,64% (i.e. por unidad, p.e.: dB, que incrementa el ruido el precio se reduce en el porcentaje indicado). Desde la perspectiva teórica esta variación entre ciudades no es sorprendente en tanto cada mercado tiene una programación hedónica propia que depende de sus características estructurales y socioeconómicas. Sin embargo, sería esperable que el NDSI también variase dentro de las ciudades que poseen mercados inmobiliarios diversificados caracterizados por la existencia de submercados. En este sentido estudios como el BECKER & LAVEE (2003), BARANZINI & RAMIREZ (2005) han reportado que el ruido es más penalizado en las áreas que, por antonomasia, se esperaría fuesen silenciosas (p.e.: áreas suburbanas); COLLIN & EVANS (1994) y RICH & NIELSEN (2004) han reportado penalizaciones diferenciales entre apartamentos y casas; a la vez que DAY (2003), BATEMAN & *al.* (2004) y DAY & *al.* (2003) han reportado variaciones estadísticamente significativas entre NDSI pertenecientes a submercados detectados a través de técnicas multivariantes. Sin embargo estos últimos estudios han considerado que los submercados tienen fronteras claramente delimitadas. En el caso de las ciudades mediterráneas (compactas y diversas) esto podría plantear un problema debido a la existencia de transiciones suaves entre los diferentes tejidos urbanos. En este sentido PÁEZ & *al.* (2008) sugieren la utilización de "*moving window regressions*", que pueden ser conceptualizadas como "*sl-*

ding neighbourhoods" (i.e. segmentaciones de mercado suave) y es posible incorporar efectos de dependencia espacial. En este artículo usamos la "geographically or locally weighted regression" (GWR or LWR) (BRUNSDON & al., 1996; McMILLEN, 1996; FOTHERIGHAM, & al., 2002) para encontrar hasta qué punto el impacto del ruido tiene un carácter estacionario a lo largo del mercado de apartamentos de Barcelona.

El modelo GWR es capaz de explicar el 91,1% de la variación de los valores residenciales de una muestra de 2.498 apartamentos (una vez depurada mediante la utilización de la Distancia de Mahalanobis). Los resultados sugieren que, una vez controlado el impacto de las características estructurales (p.e.: superficie y calidad de la vivienda), del vecindario (p.e.: nivel socioeconómico) y de accesibilidad (p.e.: tiempo de viaje al trabajo) el ruido sí tiene relevancia en la formación espacial de los valores inmobiliarios. El ajuste del modelo GWR supera los resultados del modelo MCO ($R^2=0,89$), lo que sugiere no sólo la existencia de dependencias espaciales, sino sobre todo, la heterogeneidad espacial (i.e. la desigual influencia que los atributos intrínsecos y extrínsecos tienen sobre los valores ante la eventual existencia de submercados residenciales).

Los resultados de una validación de Monte Carlo sugieren que el NDSI tiene un carácter no estacionario a lo largo de la ciudad. Las áreas con mayores niveles de ruido (p.e.: las ubicadas a lo largo de las principales avenidas) son también aquellas en las cuales el NDSI tiene un impacto más negativo; asimismo, el centro de la ciudad (Ciutat Vella y el Raval) caracterizados por una importante pre-

sencia de bares, restaurantes, terrazas y tráfico peatonal tienen un NDSI elevado en relación al relativamente bajo nivel de ruido ambiental (debido principalmente a que la inmensa mayor parte de las calles son peatonales).

El NDSI medio (definido mediante el M-estimador de Huber aplicado a las 2.498 estimaciones locales) es de 0,083%, lo que sitúa al mercado (los submercados) de Barcelona en el decil inferior del conjunto de estudios reportados por Navrud (2002).

En términos monetarios puede decirse que por cada dB A Leq que incrementa el ruido en Barcelona el valor en venta medio de los apartamentos de la muestra utilizada se reduce en 232,61 euros, equivalentes a una reducción del alquiler de 9,30 2005-Euro/dB/vivienda/año, considerando una tasa del 4%. Este resultado es sensiblemente inferior a la DAP de un estudio de VC realizado por MARMOLEJO & FRIZZERA (2008) equivalente, de manera aproximada, a 30,99 2005-Euro/dB/hogar/año. Lo cual podría indicar que en su estudio los encuestados evaluaron no sólo el impacto del ruido en el confort residencial, sino también, la interferencia negativa sobre la habitabilidad de otros espacios como los públicos no necesariamente ubicados junto a su vivienda (p.e.: calles y parques). Asimismo, en la línea de la discusión iniciada por FEITELSON & al. (1996) se refuerza la idea de que el precio implícito del silencio en el mercado inmobiliario es diferente de la DAP en tanto tienen curvas con pendientes diferentes como se ha explicado en la FIG. 1. De manera que el mercado inmobiliario refleja, solo parcialmente, el cambio de bienestar experimentado por el empeoramiento de la calidad ambiental.

7. Bibliografía

- ACHARYA, G. & L.L. BENNETT (2001): "Valuing Open Space and Land-Use Patterns in Urban Watersheds", *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 22 (2-3): 221-37.
- AGUIRRE, C. & R. RAMOS (2005): "Impacto del ruido urbano en el valor de los departamentos nuevos: un estudio de precio hedónico aplicado a bienes ambientales". *Revista de la Construcción*, 4 (1): 60-70.
- ALHADDAD, B. & C. MARMOLEJO & A. GARCIA & L. CAMPRUBI & J. ROCA (2006): "Remote sensing influence on Urban Agglomeration Delimitation, "Spot5 imagery application on the metropolitan area of Barcelona". *5th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems Earth and Water. Econgéo2006, Barcelona, Spain*.
- ANSELIN, L. (1995): "Local indicators of spatial association -LISA". *Geographical Analysis*, 27: 93-115.
- (1998): "GIS research infrastructure for spatial analysis of real estate markets." *Journal of Housing Research*, 9 (1): 113-133.
- & N. LOZANO-GRACIA (2008): "Errors in variables and spatial effects in hedonic house price models of ambient air quality", *Empirical Economics*, 34: 5-34.
- ARANA, M. & A. GARCIA (1998): "A Social Survey on the Effects of Environmental Noise on the Residents of Pamplona", *Spain. Applied Acoustics*, 53 (4): 245-253.
- BARANZINI, A. & J. RAMIREZ (2005): "Paying for quietness: the impact of noise on Geneva rents". *Urban Studies* (42): 633-646.

- BARREIRO J. & M. SÁNCHEZ & M. VILADRIKH-GRAU (2005): "How much are people willing to pay for silence? a contingent valuation study". *Applied Economics* 37: 1233-1246.
- BATEMAN I. & B. DAY & I. LAKE (2004): *The valuation of transport-related noise in Birmingham*, University of East Anglia, Norwich, UK, (working paper).
- & A. LOVETT (2001): *The Effect of Road Traffic on Residential Property Values: A Literature Review and Hedonic Pricing Study*, Report to The Scottish Office, Development Department, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Edinburgh.
- BECKER N. & D. LAVEE (2003): "The benefits & Costs of Noise Reduction", *Journal of Environmental Planning and Management*, 46(1): 97-111.
- BERGLUND B. & T. LINDVALL (1995) "Community Noise". *Document prepared for the World Health Organization. Archives of the Center for Sensory Research*, 2: 1-195. A reprint of this document with corrections of language and references has been published in 1998. The 1995 document can be addressed on the Internet address www.who.int/peh/.
- BERTRAND N. (1997): *Meta-Analysis of Studies of Willingness to Pay to Reduce Traffic Noise* University College, Misc. dissertation. London.
- BJØRNER, T. & J. KRONBAK & T. LUNDHEDE (2003): *Valuation of Noise Reduction: Comparing results from hedonic pricing and contingent valuation*, Research report, AKF Forlaget, Copenhagen.
- BOURASSA, S. & F. HAMELINK & M. HOESLI & B. MACGREGOR (1999): "Defining housing submarkets". *Journal of Housing Economics*, 8: 160-183.
- BOURASSA S. & M. H. OESLI & V. PENG (2003): "Do housing submarkets really matter?" *Journal of Housing Economics*, 12: 12-28.
- BOVER Olympia & Pilar VELILLA (2001): *Precios hedónicos de la vivienda sin características: el caso de las promociones de viviendas nuevas*, Documento de Trabajo, Servicio de Estudios del Banco de España.
- BOX, G. & COX D. (1964): "An Analysis of Transformations", *Journal of Royal Statistical Society*, 2: 211-252.
- BRISTOW, A. & WARDMAN M. (2006): "Valuation of Aircraft Noise by Time of Day: A Comparison of two Approaches". *Transport Reviews*. 26(4): 417-433.
- BROOKSHIRE, D. & M. THAYER & W. SCHULTZE & R. D'ARGE (1982): "Valuing Public Goods: A Comparison of Survey & Hedonic Approaches", *The American Economic Review* 72(1): 165-177.
- BRUNSDON, C. & FOTHERINGHAM A. & M. CHARLTON (1996): "Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity", *Geographical Analysis*, 28(4): 281-298.
- CAN, A. (1992): "Specification & estimation of hedonic housing price models", *Regional Science & Urban Economics*, 22: 453-74.
- CHARLTON, M. & S. FOTHERINGHAM, S. & C. BRUNSDON (2005): "Geographically Weighted Regression", *NCRM Review Papers, National Centre for Research Methods*.
- CLARK D. (2006): "Externality Effects on Residential Property Values: The Example of Noise Disamenities". *Growth & Change*, 37 (3): 460-488.
- CLEVELAND, W. (1979): "Robust locally weighted regression & smoothing scatterplots" *Journal of American Statistical Association*, 74: 829-836.
- COHEN, S. (1980): "Aftereffects of stress on human performance & social behavior: A review of research & theory". *Psychological Bulletin*, 88: 82-108.
- COLLINS A. & A. EVANS (1994): "Aircraft noise and residential property values: An artificial neural network approach", *Journal of Transport Economics and Policy*; May: 175-97.
- DALE-JOHNSON D. (1982): "An alternative approach to housing market segmentation using hedonic pricing data". *Journal of Urban Economics*, 11: 311-332.
- DAUMAL F. (2002): *Arquitectura Acústica: poética y diseño*, Edicions UPC, Barcelona.
- & J. DE GORTARI (2006), "La influencia del ruido en el precio de la vivienda", *Congreso Nacional de Acústica (Tecnacústica 2006-37), Encuentro Ibérico de Acústica, EAA European Symposium on Hydroacustics, Gandia, octubre*.
- DAY B. (2003): "Submarket identification in property markets: a hedonic housing price model for Glasgow". University of East Anglia, Norwich, UK: (working paper).
- EVANS G. (1998): "Motivational consequences of exposure to noise". In N.L. CARTER & R.F.S. JOB (eds.) *Noise as a Public Health Problem (Noise Effects '98)*, 1: 311-320. Noise Effects '98 PTY Ltd., Sydney, Australia.
- & S. LEPORE (1993): "Non-auditory effects of noise on children: A critical review", *Children's Environments*, 10: 31-51.
- EVANS G. & I. BATEMAN & L. LAKE (2003): *Estimating the demand for peace and quiet using property market data*, Working Paper EDM, CSERGE, University of East Anglia.
- FEILTELSON E. & R. HURD & R. MUDGE (1996): "The Impact of Airport Noise on Willingness to Pay for Residences", *Transportation Research Part D: Transport & Environment*, 1 (1): 1-14.
- FITCH J. & P. GARCÍA-ALMIRALL (2008): "La incidencia de las externalidades ambientales en la formación espacial de valores inmobiliarios: el caso de la Región Metropolitana de Barcelona", *ACE: Architecture, City and Environment*, 2 (6): 673-692.
- FOTHERINGHAM, A. & C. BRUNSDON & M. CHARLTON (2002): *Geographically Weighted Regression, The Analysis of Spatially Varying Relationships*. Wiley, London.
- FREEMAN A. (1993): *The Measurement & Resource Values: Theory and Methods*, Resources for the Future, Washington D.C.
- GARCÍA B. & GARRIDO F. (2003): "La contaminación acústica de nuestras ciudades", *Colección Estudios Sociales; Núm. 12. Fundación La Caixa, Barcelona*.
- HAINES M. & S. STANSFELD & R. JOB & B. BERGLUND (1998): "Chronic aircraft noise exposure & child cognitive performance & stress". In N.L. CARTER & R.F.S. JOB (eds.) *Noise as a Public Health Problem (Noise Effects '98)*, 1: 329-336. Noise Effects '98 PTY Ltd., Sydney, Australia.
- HUBER P. (1981): *Robust Statistics* Wiley.

- HYGGE, S. & D. JONES & A. SMITH (1998): "Recent developments in noise & performance". In N.L. CARTER & R.F.S. JOB (eds.) *Noise as a Public Health Problem (Noise Effects '98)*, 1: 321-338. Noise Effects '98 PTY Ltd., Sydney, Australia
- KENNEDY P.(1994): *A Guide to Econometrics*, third ed. MIT Press, Cambridge, MA.
- KESTENS Y. & M. THERIAULT & F.DES ROSIERS (2006): "Heterogeneity in hedonic modeling of house prices: looking at buyers' households profiles", *Journal of Geographical Systems*, 8: 61-96.
- KRYTER, K. & T. SCHULTZ (1972): "Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise". *Journal Account. Soc. Am*, 72: 1253-1257.
- KUNO, K. & Y. OISHI & Y. MISHINA & A. HAYASHI (1993): "Comparison of noise environment of residences in Nagoya, Japan and Beijing, China". *Applied Acoustics*, 40: 153-167.
- LANCASTER K. (1966): "A new approach to consumer theory.", *J.P.E* 74: 132-56.
- LI F. & S. NORBIN & D. RASMUSSEN & J. UELAND (2005): *Hedonic Regression Models When Unmeasured Quality Differences are Present*, Working Paper, Florida State University, Tallahassee.
- MACLENNAN D. & Y.TU (1996) "Economic perspectives on the structure of local housing systems", *Housing Studies*, 11: 387-406.
- MARMOLEJO C. & J. ROMANO (2009): "La valoración económica social del ruido aeroportuario. Un análisis para el entorno residencial del Aeropuerto de Barcelona", *CyTET*, 159: 65-86
- MARMOLEJO C. & A. FRIZZERA (2008): "¿Cuánto estamos dispuestos a pagar por el silencio?: Un análisis contingente para la ciudad de Barcelona" *ACE: Architecture, City & Environment*, 3(7): 21-40.
- MASON C. & J. QUIGLEY (1996): "Nonparametric hedonic housing prices", *Housing Studies*, 11(3): 373-385.
- MCMILLEN D. (1996): "One hundred fifty years of land values in Chicago: a nonparametric approach", *Journal of Urban Economics*, 40(1): 100-124.
- MEDRAÑO, R. & M. X. VÁZQUEZ (2008): "Efectos sociales de la contaminación acústica. Una aplicación de valoración contingente al transporte ferroviario", *Comunicación para el III Congreso de la Asociación Hispano-Portuguesa de Economía de los Recursos Naturales y Ambientales (AERNA)*, Palma de Mallorca, 4-6 de Junio de 2008.
- MITCHELL R. & R. CARSON (1989): "Using surveys to value public goods: The contingent valuation method", *Resources for the Future*. Washington, DC.
- NAVRUD S. (2002): "The State-Of-The-Art on Economic Valuation of Noise", *Final Report to European Commission DG Environment*, April 14.
- NELSON J. (1980): "Airports & property values: A survey of recent evidence", *Journal of Transport Economics & Policy*, 14(1): 37-52.
- (2004): "Meta-analysis of airport noise & hedonic property values: problems & prospects". *Journal of Transport Economics & Policy*, 38: 1-27.
- (2008) "Hedonic Property Value Studies of Transportation Noise: Aircraft & Road Traffic", in *Hedonic Methods in Housing Markets Economics (Baranzini & al. Eds.)*, Springer.
- OCDE (1991): *Fighting Noise in the 1990's*, OCDE, Paris.
- PAEZ A. & F. LONG & S. FARBER (2008): "Moving Window Approaches for Hedonic Price Estimation: An Empirical Comparison of Modelling Techniques", *Urban Studies*, 45(8): 1565-1581.
- PALMQUIST R. (1992): "Valuing localized externalities", *Journal of Urban Economics*, 31: 59-68.
- PENNINGTON G. & N. TOPHAM & R. WARD (1990): "Aircraft noise & residential property values adjacent to Manchester International Airport", *Journal of Transport Economics & Policy*, Vol. 24; Núm. 1; pp. 49-59.
- POMMEREHNE W. (1988): "Measuring environmental benefits: a comparison of hedonic technique & contingent valuation". In: D. BÖS & M. ROSE & C. SEIDL (eds) *Welfare & Efficiency in Public Economics: 363-400*, Springer-Verlag, Berlin.
- PRYCE G. (2008): "The Nature of Housing Submarkets", *15th European Real Estate Conference, Krakow, Poland, June 18-21, 2008*.
- RICH J. & O. NIELSEN (2004) Assessment of traffic noise impacts. *International Journal of Environmental Studies* 61: 19-29.
- RIERA P. (1994): *Manual de Valoración Contingente*, Instituto de Estudios Fiscales, Madrid. Disponible en línea: <http://selene.uab.es/prieram/papers.htm> [Consulta: 18/3/08]
- ROCA J. (1988): *La estructura de los valores urbanos: un análisis teórico empírico*, Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid.
- (1995): "Los valores de suelo de Barcelona". *Catastro*, 24: 49-63.
- ROSEN R. (1974): "Hedonic Prices & Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition", *Journal of Political Economy*, 82: 34-55.
- SAADU A. & R. ONYEONWU & E.AYORINDE & F. OGISI (1996): "Community Attitudinal Noise Survey & Analysis of Eight Nigerian Cities". *Applied Acoustics*, 49(1): 49-69.
- SCHIPPER Y. & P.NIJKAMP & P. RIETVELD (2001): "Aircraft noise valuation studies & meta-analysis". *International Journal of Environmental Technology & Management*. 1 (3): 317-320.
- SCHULTZ T. (1978): "Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance". *Journal of Acoustical Soc. Am.*, 64: 377-405.
- STONE C. (1977) "Consistent nonparametric regression", *Ann. Statist.* 5:595-620.
- SOGUEL N. (1994): *Evaluation monétaire des atteintes à l'environnement: une étude hédoniste & contingente sur l'impact des transports*, EDEC, Neuchâtel.
- (1996): "Contingent Valuation of Traffic Noise Reduction Benefits", *Swiss Journal of Economics & Statistics*, Vol. 132; Núm. 1; pp. 109-123.
- TINCH R. (1995): *The Valuation of Environmental Externalities*, Department of Transport. London.
- VAINIO, M. (1995): "Traffic Noise and Air Pollution. Valuation of Externalities with Hedonic Price & Contingent Valuation Methods. PhD dissertation". *Helsinki School of Economics & Business Administration, Acta Universitatis Oeconomicae Helsinkiensis*, A-102, ISBN 951-702-799-0.
- (2001): "Comparison of Hedonic Prices and Contingent Valuation Methods in Urban Traffic Noise Context". *Paper presented at the 2001 Interna-*

- tional Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, the Hague, the Netherlands, August 27-30, 2001.*
- & al. (2001): "A Billion Euro Question: How Much Should We Pay for Noise Control, and How Much is it Worth?", *Final Report, Workshop on costs and benefits analysis in noise policy International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, the Hague, the Netherlands, August 27-30, 2001.*
- noise 2001 - *The Hague, Netherlands, 29 August.*
- VERHOEF E. (1994): "External effects & social cost of road transport", *Transport. Research -A. 28A(4): 273-287.*
- WALTERS A. (1975): *Noise and Prices.* Oxford University Press, London.