
Metodo predictivo de la contaminación sonora espacio-temporal. Aplicación a un municipio mediano: Algemesí (Valencia)



J. Segura¹, F. Montes², E.A. Navarro¹

¹IRTIC– Universitat de València

²Dept. Estadística – Facultat de Matemàtiques (Universitat de València)

E-mail: Jaume.Segura@uv.es ; Francisco.Montes@uv.es,

Enrique.Navarro@uv.es

PAC: 43.50.Rq

Resumen

En este trabajo se presenta la aplicación de una técnica geo estadística para la predicción estadística espacio-temporal de niveles sonoros en una ciudad mediana de la Comunidad Valenciana. El resultado es adecuado y permite una buena aproximación de los resultados experimentales.

Abstract

This work presents the application of a geo-statistics methodology for the statistical spatial-temporal prediction of noise levels in a medium size city of the Valencia region. The results have been proven as adequate and they allow a good approximation to the experimental results.

Keywords

Acústica ambiental, Predicción de niveles sonoros

1. Introducción

La medición del nivel de ruido no es una tarea trivial. Existen muchas restricciones a tener en cuenta, y es una operación que consume grandes recursos de alta cualificación, dada la necesidad de medidas en bandas horarias, y dada la necesidad de dar valores representativos de una zona, mediante el muestreo en cuadrícula.

Es posible la modelización de la contaminación acústica en entornos urbanos mediante modelos espaciales que permiten la predicción de los niveles de presión sonora a lo lar-

go y ancho de una determinada zona. Habitualmente se han utilizado métodos basados en trazado de rayos o en criterios energéticos estadísticos para la predicción estadística de niveles. En Europa existen diversos modelos predictivos a nivel nacional los cuales han convergido en el proyecto IMAGE, financiado en el 6º programa marco europeo, que trató de armonizar todos estos modelos [1]. Sin embargo, la incertidumbre y la variabilidad propia de los parámetros y las simplificaciones que se realizan en los modelos se propagan a lo largo de miles de iteraciones de una forma desconocida y descontrolada dando lugar a resultados con gran desviación respecto de la realidad. Sin embargo, la geo-estadística proporciona un conjunto de herramientas estadísticas específicamente diseñadas para problemas espaciales, en los cuales se requiere predecir los valores de un cierto fenómeno en una región en la cual se han tomado algunas observaciones o mediciones del mismo. Las predicciones se basan en un modelo estadístico subyacente que puede incorporar información adicional en la forma de variables explicativas. Además, el error de predicción puede ser estimado basándose en la propagación de la incertidumbre.

En este trabajo se aplican las técnicas geoestadísticas al problema de elaboración del mapa acústico de una ciudad mediana en la Comunidad Valenciana. Hacemos uso de las ventajas de los modernos Sistemas de Información Geográfica, y tenemos en cuenta a través de distintas variables la configuración heterogénea del entorno. De este modo a partir de las medidas de niveles de ruido realizados en un conjunto reducido de puntos de una determinada población, se puede realizar un modelo predictivo que permita estimaciones puntuales.

2. Datos

2.1 El lugar

La población donde se efectuaron las mediciones fue Algemés, una pequeña ciudad con 26000 habitantes, situada a 32 km al sureste de Valencia en los 39.12° de latitud Norte y los 0.12° de longitud Oeste (Figura 1). Esta ciudad se sitúa en una zona eminentemente agrícola, aunque con un desarrollo industrial creciente. El río Magro, afluente del Júcar, la recorre por un costado en dirección NO-SE estableciendo un límite natural.

El estudio se ha realizado sobre la trama urbana de la ciudad, que se extiende sobre una superficie de 1,80 km². Las mediciones se han llevado a cabo en las 78 localizaciones señaladas el plano que mostramos en la Figura 2. Las medidas se han agrupado por bandas horarias de 3 horas de amplitud que cubren el período comprendido entre las 07.00 y las 22.00 horas. Hay por tanto 5 bandas horarias, disponiéndose de 1 medición por cada banda horaria en cada localización, lo que

supone en total $5 \times 78 = 390$. La razón de no poder disponer de datos horarios simultáneos para todas las localizaciones se debe a que las medidas se efectuaron con sonómetros manuales sin número ni personal suficiente para conseguir dicha simultaneidad, ni siquiera para poder cubrir una misma banda horaria en un mismo día. Estos aspectos deberían ser tenidos en cuenta a la hora de efectuar el análisis de los datos.

La influencia del tráfico en el ruido ambiental está ampliamente documentada en la literatura especializada. Por esta razón cada una de las mediciones viene acompañada por una serie de variables que describen las condiciones del tráfico durante el período en que efectuó. Se ha recogido información del número y tipo de vehículos (ligeros, pesados y motocicletas) que circulaban, de su velocidad media y del tipo de pavimento de la calzada (asfalto, cemento, adoquín y tierra). Las características físicas del entorno y la presencia de humanos y animales también pueden influir en el nivel de ruido. Esta información se refleja en un conjunto de variables que puede ser cuantitativa o cualitativa que se resume en la Tabla 1.

2.2 Análisis descriptivo de los datos

La forma en la que los datos fueron recogidos, especialmente en lo que respecta a su temporalidad, conduce a considerar cada banda horaria como una unidad temporal, resultando así 5 de estos conjuntos donde tenemos 78 registros, uno por cada localización, con las 24 variables descritas en la Tabla 1.

La Tabla 2 y la Figura 3 muestran el resultado del análisis descriptivo del nivel de ruido para las cinco bandas horarias. Los valores de la tabla y los diagramas de caja sugieren igualdad entre los valores medios observados en los distintos períodos, como se confirma al llevar a cabo un ANOVA cuyo resultado recoge la Tabla 3.

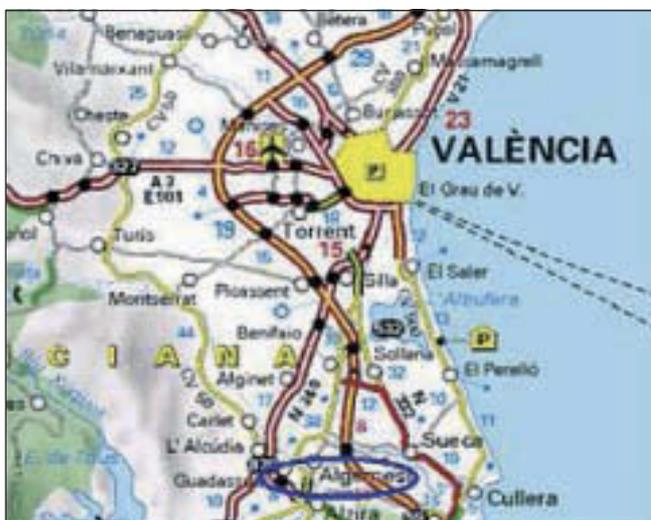


Figura 1: Localización geográfica de Algemés.



Figura 2: Localización de los puntos de medida sobre el plano de Algemés.

<i>Variable</i>	<i>Descripción</i>	<i>Valores</i>
zona	Tipo de zona	Industria, terciaria, urbana
día	Día de la semana	Lunes, martes, ..., viernes
hora	Hora exacta de la medida	
bandaHora	Banda horaria de la medida	1={07:00 a 10:00} ... 5={19:00 a 22:00}
longitud	Longitud geográfica	
latitud	Latitud geográfica	
Leq	Nivel de ruido equivalente	
vligero	Número de vehículos ligeros	
vpesados	Número de vehículos pesados	
motos	Número de motos	
total Veh	Número total de vehículos	
logQ	Logaritmo total de vehículos	
vel Media	Velocidad media	
ancho calle	Anchura de la calle	
altura1	Altura de los edificios (izqda.)	
altura2	Altura de los edificios (dcha.)	
pendiente	Pendiente de la calle	
pavimento	Tipo de pavimento	Asfalto, cemento, adoquín, tierra
v Estacionados	Vehículos estacionados	
dist Cruce	Distancia al cruce más próximo	
circulación	Sentidos de circulación	Uno, dos
carrilesUtiles	Número de carriles de circulación	
voces	Voces humanas	Sí, no
animales	Sonido de animales	Sí, no

	7 a 10	10 a 13	13 a 16	16 a 19	19 a 22
Media	62,117	63,714	63,503	62,596	62,435
Error típ.	0,7185	0,7227	0,5800	0,6492	0,6830
Mediana	61,900	64,350	63,550	62,000	62,450
Varianza	40,265	40,738	26,241	32,878	36,391
Mínimo	46,1	48,5	51,6	43,4	49,9
Máximo	77,1	80,6	73,5	73,7	78,8

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-value	p-value
B. Horaria	4	151,7	37,9	1,0742	0,3689
Residual	385	13591,5	35,3		

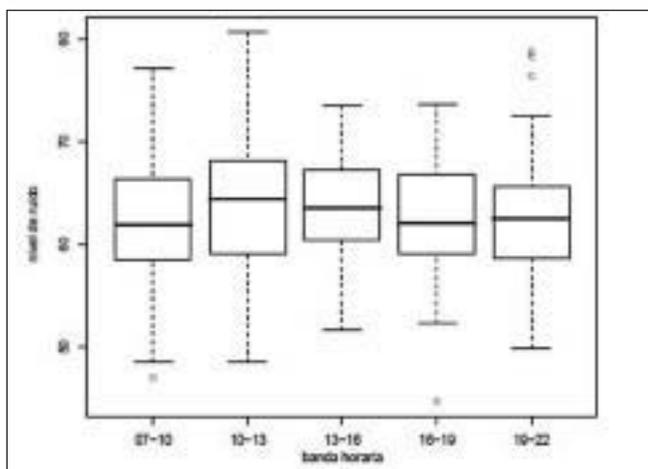


Figura 3: Diagramas de caja para el nivel de ruido.

A partir de los resultados obtenidos y con el fin de contrastar la bondad de los modelos propuestos, hemos dividido las 78 localizaciones en dos conjuntos: el de modelización, constituido por una muestra aleatoria de 68 localizaciones, y el de validación, formado por las 10 restantes. Ambos conjuntos son los mismos para todas las bandas horarias y se muestran en la Figura 4.

3. Análisis espacial

Los datos de contaminación acústica que hemos analizado, constituyen un conjunto de datos espaciales, localizados mediante las coordenadas geográficas, longitud y latitud, del punto donde se registró el valor de la variable L_{eq} . Denotando por $Z(x)$ el nivel de ruido, disponemos los datos como

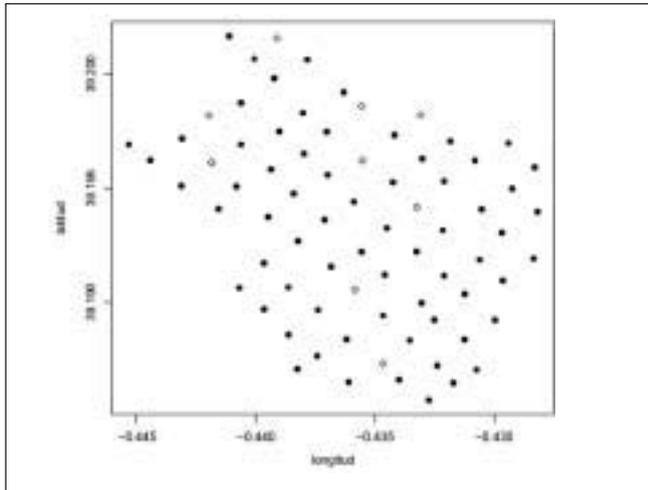


Figura 4: Conjuntos de modelización (•) y validación (o)

$\{Z(x), x \in D\}$, siendo D el conjunto de las 68 localizaciones del conjunto de modelización.

En este contexto lo que se pretende predecir es el valor del proceso $Z(x_0)$ en una localización cualquiera x_0 , particularmente las del conjunto de validación. Los registros de ruido disponibles contienen, como se muestra en la Tabla 1, información de un conjunto de covariables que pueden influir sobre él. En consecuencia, se ha modelizado $Z(x)$ como la suma de una tendencia, como una función de las covariables que influyen en el proceso que expresa su variación a gran escala más un error aleatorio que recoge la variación a pequeña escala,

$$Z(x) = \mu(x) + \delta(x)$$

donde $E(Z(x)) = \mu(x)$, y $\delta(\bullet)$ es un proceso Gaussiano intrínsecamente estacionario de media cero, cuya caracterización de la dependencia espacial viene dada por el variograma $2\gamma(h) = \text{Var}(Z(x+h) - Z(x)) = \text{Var}(\delta(x+h) - \delta(x))$. [2]

Estos cálculos han sido posibles gracias al uso del lenguaje estadístico R [3] para el ajuste de los variogramas.

4. Resultados y discusión

Los estudios previos realizados [4] concluyen que la covariable que mejor explica el nivel de ruido es $\log Q$, donde Q es el número total de vehículos. Esta conclusión coincide con la obtenida en numerosos estudios anteriores sobre contaminación acústica en zonas urbanas [5].

En este caso la variable $\log Q$ parece ser el elemento determinante del nivel de ruido que soportamos y está presente como covariable significativa en todas las bandas horarias. Estas covariables han sido analizadas separadamente en cada una de las cinco bandas horarias. No obstante, en alguna de estas bandas otras variables podrían tener una presencia significativa, aunque menor que la del tránsito rodado, razón por la cual se ha preferido optar para todas las bandas horarias por un modelo sencillo del tipo

$$\mu(x) = \beta_0 + \beta_1 \log Q(x)$$

En la Tabla 4 se recogen las estimaciones de las tendencias de los dos parámetros y sus errores para los datos de las cinco bandas horarias. Una vez ajustada la tendencia se ha llevado a cabo un primer análisis de la estructura espacial de los residuos. Para ellos se ha representado gráficamente los residuos frente a las coordenadas geográficas y se ha efectuado un test para contrastar la independencia espacial de las observaciones [6].

A partir de los p-valores de los tests de independencia recogidos en la Tabla 4 y de los gráficos de la Figura 5 se puede deducir que los residuos están correlacionados espacialmente en todas las bandas horarias, excepto en la 5. Las bandas horarias 1 y 4 presentan una dependencia únicamente

Tabla 4. Resumen del análisis espacial-temporal del nivel sonoro

		Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Tendencia	Constante	53,0290	60,1319	54,7914	53,6873	52,3290
	Std.Err	12,86	11,15	6,50	5,60	10,86
	Log Q	5,0709	2,0206	4,7362	5,0285	4,9855
	Std.Err	0,42	0,60	0,66	0,54	0,55
Test de independencia	Var X	0,779	0,144	0,003	0,258	0,430
	Var Y	0,019	0,223	0,000	0,025	0,074
	Var XY	0,256	0,025	0,000	0,410	0,375
Variograma	Nugget	9,3591	11,3572	12,6700	4,0689	15,6762
	Sill	37,4364	45,4289	18,0839	35,0089	33,3583
	Range	0,0065	0,0043	0,0045	0,0024	0,0054
Predicción	MSE.lm	3,9022	4,6018	3,1318	3,2356	7,1270
	MSE.glm	3,9901	3,9072	3,6955	3,5455	6,4011
Variación cruzada	CRV1.glm	-0,0039	0,0028	0,0044	-0,0008	0,0046
	CRV2.glm	1,0684	1,0100	0,8163	0,9405	0,8001
	CRV3.glm	4,6639	5,3477	3,7553	4,5891	4,2175

en la latitud, mientras que las bandas 2 y 3 la presentan en ambas coordenadas.

El ajuste de variogramas isoentrópicos exponenciales a los cinco conjuntos de datos se ha llevado a cabo mediante el método de la verosimilitud restringida (REML) que permite estimar recursivamente los coeficientes β_i , $i=0,1$, de la tendencia y las componentes θ_j , $j=1,2,3$, del variograma, los valores se muestran en la Tabla 4.

La bondad del modelo ajustado a cada banda horaria la hemos valorado a partir de las predicciones del nivel de ruido en las 10 localizaciones que constituyen el conjunto de validación. Se ha obtenido el error cuadrático medio, *MSE*, de estas predicciones. En la Tabla 4 aparecen dos valores del

MSE, el primero, *MSE.lm*, se calcula con las predicciones obtenidas utilizando el modelo ajustado a la tendencia, sin hacer uso de la modelización espacial de los residuos. El segundo, *MSE:glm*, se obtiene a partir de las predicciones que proporciona el *kriging* ordinario.

Una forma alternativa de medir la bondad del ajuste se basa en la validación cruzada sobre el propio conjunto de modelización tal como sugiere en [7]. Estos autores introducen tres cantidades para medir la bondad del ajuste del modelo: *CRV1* contrasta la insesgadez de la predicción y su valor debe de ser igual 0, *CRV2* mide la precisión de la desviación típica del error de predicción y debe de valer aproximadamente 1; finalmente *CRV3* que mide el error de la predicción. Las últimas filas de la Tabla 4 recogen los valores de estos tres parámetros.

De la observación de la tabla se deduce que, desde el punto de vista de la predicción, la modelización espacial no parece suponer ninguna ventaja respecto al simple uso de la tendencia. La bondad del ajuste, sin embargo, sí que es mejorada mediante las técnicas espaciales, los valores de los CV *Rj.glm* mejoran claramente a los CV *Rj.lm* que no se muestran en la tabla por esta razón.

A partir de los modelos obtenidos mediante este análisis se ha podido realizar las prediccio-

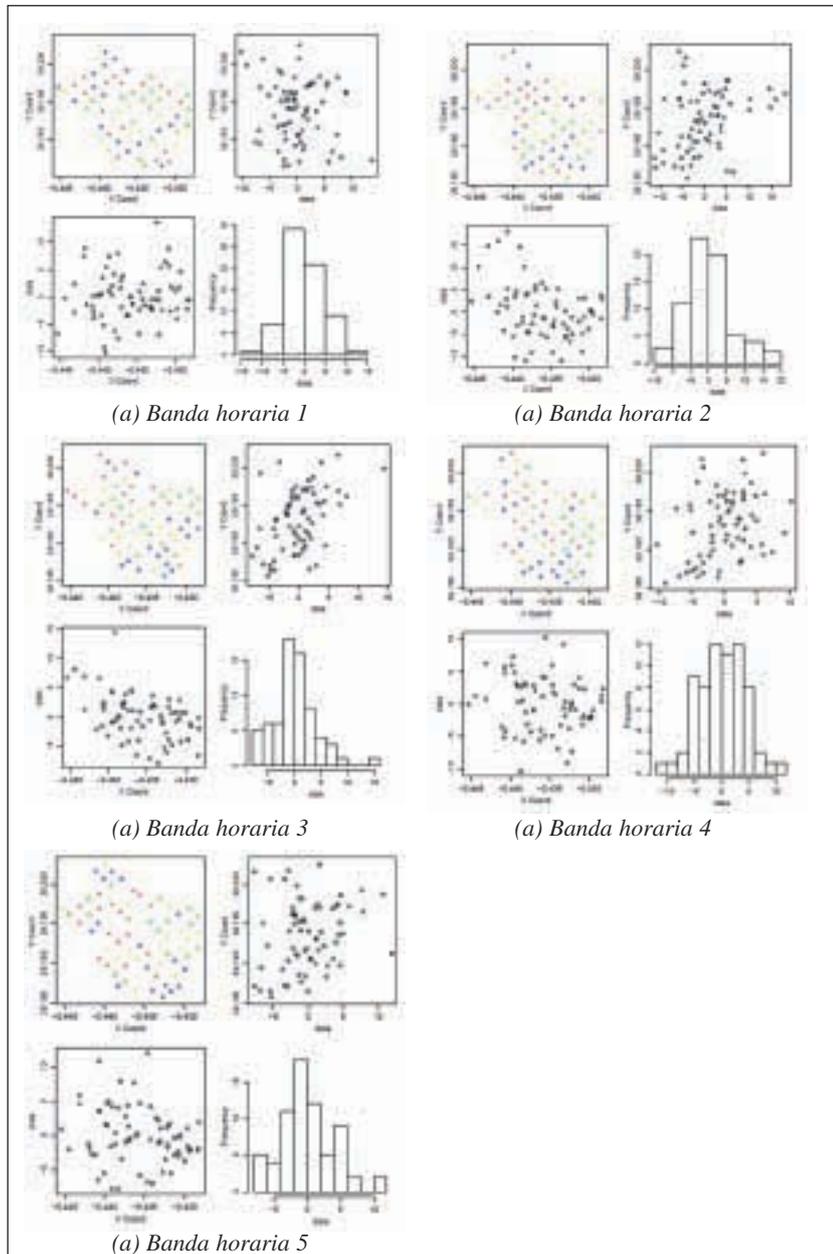


Figura 5. Gráficas de los residuos para las diferentes bandas horarias.

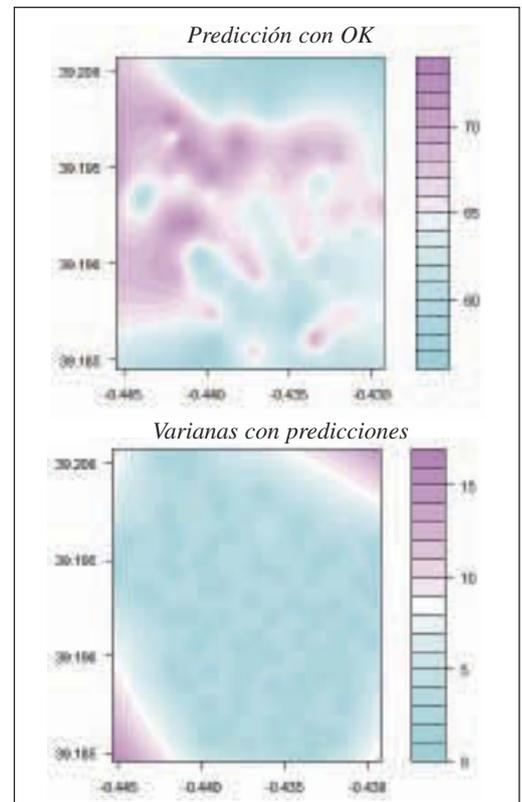


Figura 6: Predicciones en una retícula de 50x50 del plano de Algemesí.

nes y sus varianzas con kriging ordinario (OK). Mediante el uso de la librería geoR [8] se representado en la Figura 6 sobre una retícula 50x50 del plano de Algemesí para la banda horaria 2.

En la figura 7 se puede ver la representación sobre el plano de los niveles.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado la aplicación de un procedimiento geoestadístico para la predicción espacio-temporal del nivel de contaminación acústica en un municipio de medianas dimensiones de la Comunidad Valenciana. La metodología ha permitido la determinación de la variación espacial de niveles sonoros en diferentes bandas horarias simultáneas. A partir de los resultados obtenidos se ha podido

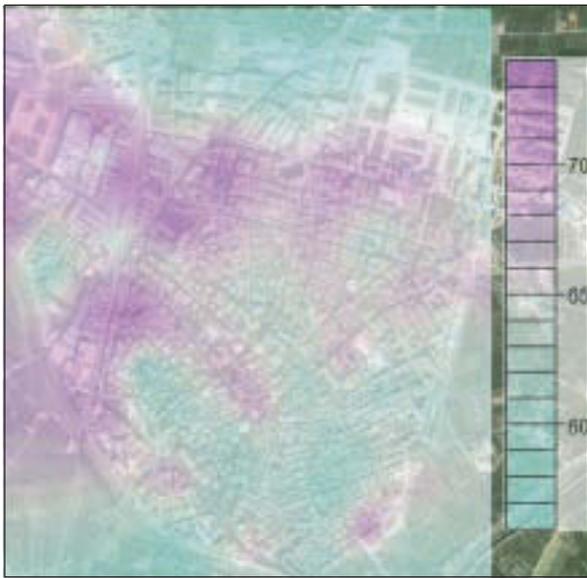


Figura 7: Predicciones de la fig 6 superpuesta al plano de Algemesí.

realizar la representación gráfica de estos modelos, lo cual permite la localización de zonas críticas en las diferentes bandas horarias y predecir niveles en distintos puntos de la ciudad.

6. Referencias

- [1] IMAGINE (2007). "The noise emission model for European road traffic" *Deliverable n. 11 of the IMAGINE (Improved Methods for the Assessment of Generic Impact of Noise in the Environment) Project* (disponible en <http://www.imagine-project.org>).
- [2] Cressie, N. (1993). *Statistics for Spatial Data, Revised Edition*. John Wiley, New York.
- [3] <http://www.r-project.org/>
- [4] Segura J & Navarro R (2005). "Estudi de la contaminació acústica de la zona urbana al municipi d'Algemesí". *Technical Report. Institut de Robòtica. Universitat de València. Spain*.
- [5] García-Rodríguez, A. (1994). "Estudio del ruido ambiental en la Comunidad Valenciana". C.M.A.G.V.
- [6] Diblasi, A. & Bowman, A.W. (2001) On the Use of the Variogram in Cheking for Independence in Spatial Data. *Biometrics*. 57, 211-218.
- [7] Huang, H.C. & Cressie, N. (1996). Spatio-temporal prediction of snow water equivalent using the Kalman Fillter. *Computational Statistics and Data Analysis*, 22, 159-175.
- [8] Riberio Jr., P.J. & Diggle, P.J. (2001). geoR: A package for geostatistical analysis. *R-NEWS*, 1 (2), 15-18. ISSN 1609-3631.



Y tú, ¿qué valor le das al silencio?

ChovACUSTIC[®]

Aislamiento acústico para la edificación

Disponible el libro "Aislamiento Acústico para la Edificación".
Solicítelo gratuitamente en el 902 10 90 20 o en www.chova.com



Obtenga la Propuesta Técnica Idónea para
su proyecto y ejecución de obra.



LÍNEA ATENCIÓN AL CLIENTE: 902 10 90 20

www.chova.com

e mail: chova@chova.com

