

ANÁLISIS MEDIANTE ESTADÍSTICA ESPACIAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE DIVERSOS PARÁMETROS DE SALAS

PACS: 43.55.Cs

Segura, Jaime¹; Cerdá, Salvador³; Giménez, Alicia¹; Montell, Radha¹; Barba, Arturo¹; Cibrián, Rosa⁴;

¹ IRTIC - Universitat de València, C/ Catedratic Dr José Beltrán, 2 – Paterna

E-mail: jsegura@uv.es

² E.T.S.I.Industriales., Univ. Politécnica de Valencia, Camí de Vera s/n.

E-mail: radmonse@fiv.upv.es, agimenez@fis.upv.es, arbarse@doctor.upv.es

³ E.T.S.I.Arquitectura, Univ. Politécnica de Valencia

E-mail: salcerjo@mat.upv.es

⁴ Facultad de Medicina. Universidad de Valencia

E-mail: rosa.m.cibrian@uv.es

ABSTRACT

The requirements of ISO-3382 do not allow a deep analysis of the variability of different parameters in a room from the measures. In this paper, we have proposed to study the distribution of sound in rooms using the technique of Kriging applied to experimental measurements of acoustic power (G) and musical clarity (C_{80}). This has allowed us to get more values of these parameters throughout the room and we have compared them with different theoretical models: free field and Barron model.

RESUMEN

Las exigencias de la norma ISO 3382 no permiten un análisis profundo de la variabilidad de los diferentes parámetros en una sala a partir de las medidas. En este trabajo hemos planteado el estudio de la distribución del sonido en salas mediante la técnica de Kriging aplicada a medidas experimentales de la fuerza acústica (G) y de la claridad musical (C_{80}). Con ello hemos podido obtener más valores de estos parámetros en toda la sala y se han comparado con diferentes modelos teóricos: campo libre y modelo de Barron.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la variación estadística de parámetros en extensiones de terrenos o en superficies limitadas es una aplicación que se trata mediante técnicas de estadística espacial. Esta técnica fue esbozada por R.A. Fisher en 1935 y desarrollada por otros matemáticos e ingenieros como D.G Krige (1951) [1] o G. Matheron (1962) [2], que desarrollaron una técnica de predicción geoestadística a la que se llamó Kriging. Diferentes áreas han sido objeto de aplicación de las técnicas de Kriging, como en epidemiología, en ecología, en agricultura, en meteorología, en geología, en oceanografía. En el campo de la acústica, las técnicas de Kriging han sido aplicadas en acústica ambiental para generar modelos semiempíricos y monitorizar la variación espacial del ruido ambiental [3].

El método de Krige o Kriging es un método usado como técnica de interpolación espacial de datos. Los datos son un conjunto de observaciones de ciertas variables de interés que presentan correlación espacial. Normalmente, el resultado del Kriging es el valor esperado (promedio "Kriging") y su varianza (varianza de "Kriging") calculada para cada punto en un área. El promedio del Kriging en cada localización puede ser considerado como la media del conjunto completo de posibles realizaciones, condicionadas a los datos. Por otra parte, la varianza del Kriging será la varianza del conjunto.

Con el fin de comparar con un modelo teórico hemos utilizado el modelo de Barron [4][5]. En este modelo se considera que la energía se puede calcular como sonido directo, temprano y tardío y con ello, el valor de la fuerza acústica (G) vendrá dado por:

$$G(r) = 10 \cdot \log \left[\frac{100}{r^2} + \frac{31200T}{V} e^{-\frac{0.04r}{T}} (1 - e^{-1.11/T}) + \frac{31200T}{V} e^{-\frac{0.04r}{T}} e^{-1.11/T} \right] \quad (1)$$

Para el caso de la claridad (C_{80}), el modelo de Barron tiene la forma:

$$C_{80}(r) = 10 \cdot \log \left[\frac{\frac{100}{r^2} + \frac{31200T}{V} e^{-\frac{0.04r}{T}} (1 - e^{-1.11/T})}{\frac{31200T}{V} e^{-\frac{0.04r}{T}} e^{-1.11/T}} \right] \quad (2)$$

El método de Barron predice bastante bien estos parámetros en sala con un techo no excesivamente difusor. En determinados casos, también predice alguna difusión de las paredes laterales, pero no es capaz de predecir focalizaciones de superficies cóncavas de salas, ni subdivisiones en espacios independientes, espacios razonablemente proporcionados y tampoco recintos en forma de abanico. Una sala de estas características puede considerarse una sala razonablemente difusa [5]. De acuerdo con este modelo es posible expresar la fuerza sonora (G) y la claridad (C_{80}) como función del tiempo de reverberación, el volumen y la distancia fuente-receptor como muestran las expresiones (1) y (2).

La norma ISO 3382 [6] sugiere que el número de medidas a realizar en una sala depende del número de asientos y el volumen. Para salas pequeñas, este número es bastante reducido. En caso que queramos comparar medidas y modelos teóricos o computacionales, se hace necesario usar un número mayor de medidas. Esto es posible hacerlo usando técnicas de estadística espacial, mediante las cuales es posible obtener un mayor número de puntos 'interpolados/extrapolados' y por tanto, la comparación con los modelos teóricos se realiza de manera más sencilla permitiendo descubrir las tendencias ocultas.

En este artículo planteamos la aplicación de esta técnica al estudio de la distribución del nivel sonoro en una sala. A partir de las medidas experimentales, obtenemos el correspondiente Kriging que nos permite tener un mayor número de valores. En nuestro caso hemos optado por un mallado de 11x11. Tanto los valores medidos, como los obtenidos por el método de Kriging se comparan con las fórmulas del modelo de Barron sobre la distribución de energía [4][5].

2. METODOLOGÍA

La metodología experimental usada está basada en la norma ISO-3382 [6] y en la IEC 60268[7]. El equipo utilizado estuvo compuesto por: un portátil con una tarjeta de sonido profesional (VxPocket v2), dos micrófonos G.R.A.S. Tipo 40 AK y sus correspondientes preamplificadores y alimentación (GRAS Tipo 26AK y GRAS 12AA), una etapa amplificadora M-1000 y una fuente dodecaédrica DO12. Para la captura y análisis de las señales impulsivas utilizamos el programa WinMLS [8]. La respuesta impulsiva en cada sala se obtuvo mediante

ensayos con señal *sweep* sinusoidal logarítmico. Todas las medidas se realizaron con las salas vacías y la fuente situada en el centro del escenario.

Las salas estudiadas y sus principales características se muestran en la siguiente Tabla:

Sala	Tipo	Uso	Año	Asientos	# Medidas	V(m ³)	RT(s)
Salón de Actos ETSII, UPV	rectangular	Conferencias, congresos y recitales de solistas	1978	142	16	434	0.68
Parainfo UPV	rectangular	Conferencias, congresos y conciertos solistas; orquesta de cámara y coro	1978	385	24	2700	1.3
Auditorio de Ribarroja	rectangular	Teatro, ópera, danza y conciertos	1994	783	39	7830	1.79

Krigin

Los datos de parámetros de fuerza acústica (G) y claridad (C80) que hemos analizado, constituyen un conjunto de datos espaciales, localizados mediante las coordenadas puntuales en el lugar de la sala donde fueron registrados. Denotando por $Z(x)$ cada uno de los parámetros estudiados (G y C80), disponemos los datos como $\{Z(x), x \in D\}$, siendo D el conjunto completo de las 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 parámetros disponibles contienen 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 $2\gamma(h) = \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] = \text{Var}[\delta(x+h) - \delta(x)]$. Estos cálculos han sido posibles gracias al uso del paquete estadístico R [9], para el ajuste de los variogramas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 presentamos los valores de G y C80 obtenidos para las salas estudiadas. A la vista de dicha figura hacemos los siguientes comentarios:

- Salón de actos: esta es una sala pequeña muy seca. Los puntos experimentales se aproximan a la curva de campo libre, aunque para las mayores distancias medidas en la sala los valores de G son superiores a los esperados en dicho modelo. Los valores de C80 se aproximan a la curva de Barron.
- Parainfo UPV: En esta sala los puntos experimentales están entre las dos curvas teóricas de Barron y de campo libre. Los valores experimentales de C80 están dispersos y son mayores que los que resultan de modelo de Barron.
- Ribarroja: los puntos experimentales aparecen alrededor de la curva correspondiente al modelo de Barron, pero muestran gran dispersión. Los valores experimentales de C80 están dispersos muy por encima de la curva de Barron, lo cual muestra, a primera vista, que esta sala no sigue los postulados de este modelo.

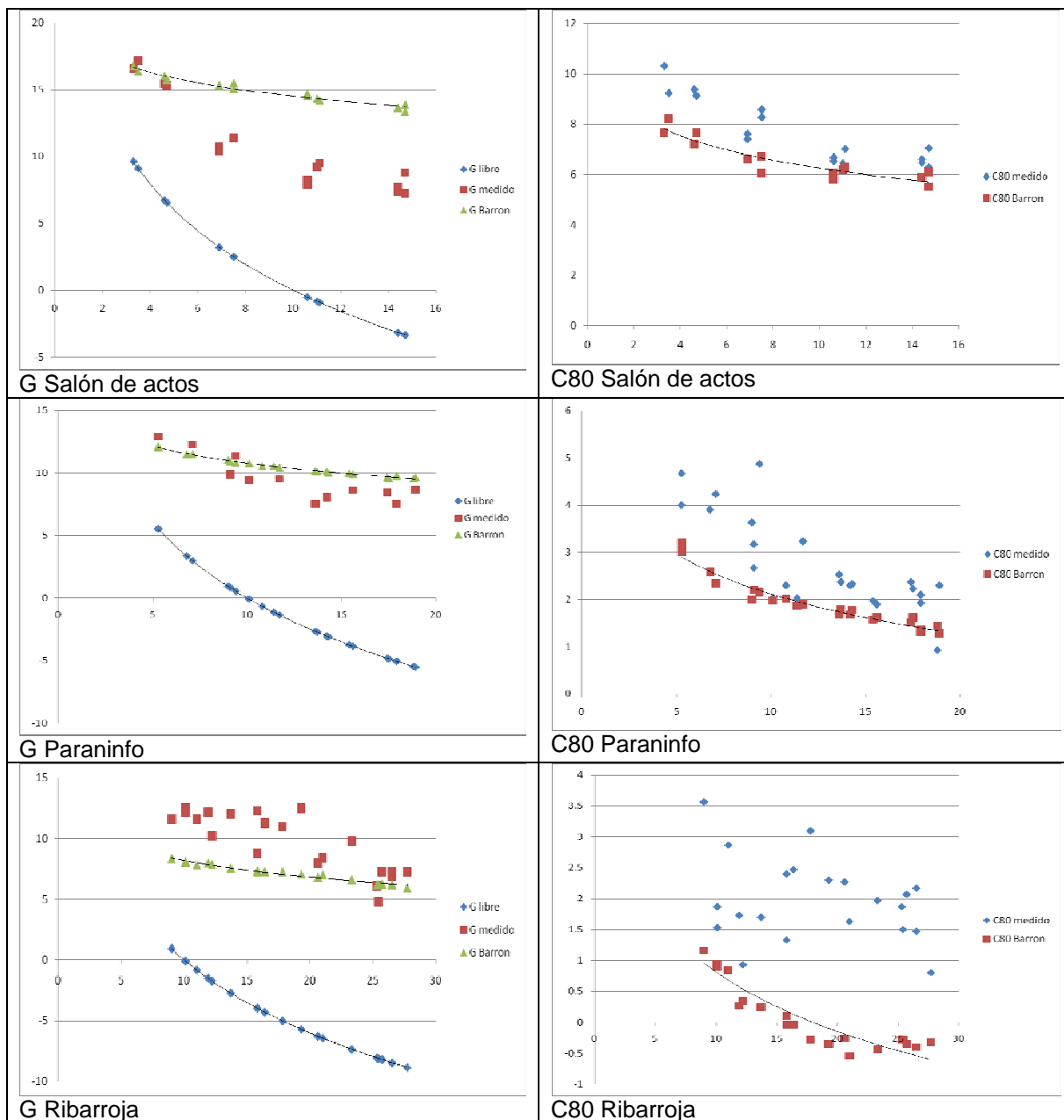


Figura 1: Parámetros G y C80 medidos para las tres salas

La aplicación del Kriging Ordinario nos va a permitir obtener mayor precisión en la obtención de las distribuciones de parámetros en cualquier sala. Teniendo en cuenta las particularidades que permite esta técnica de estadística espacial, hemos realizado una aplicación a las medidas de G y C80 en las tres salas especificadas con el fin de obtener los valores en una malla rectangular de 12*12 puntos. En la Figura 2 presentamos los valores de G y C80 tratados mediante la técnica de Kriging Ordinario calculados para las salas estudiadas.

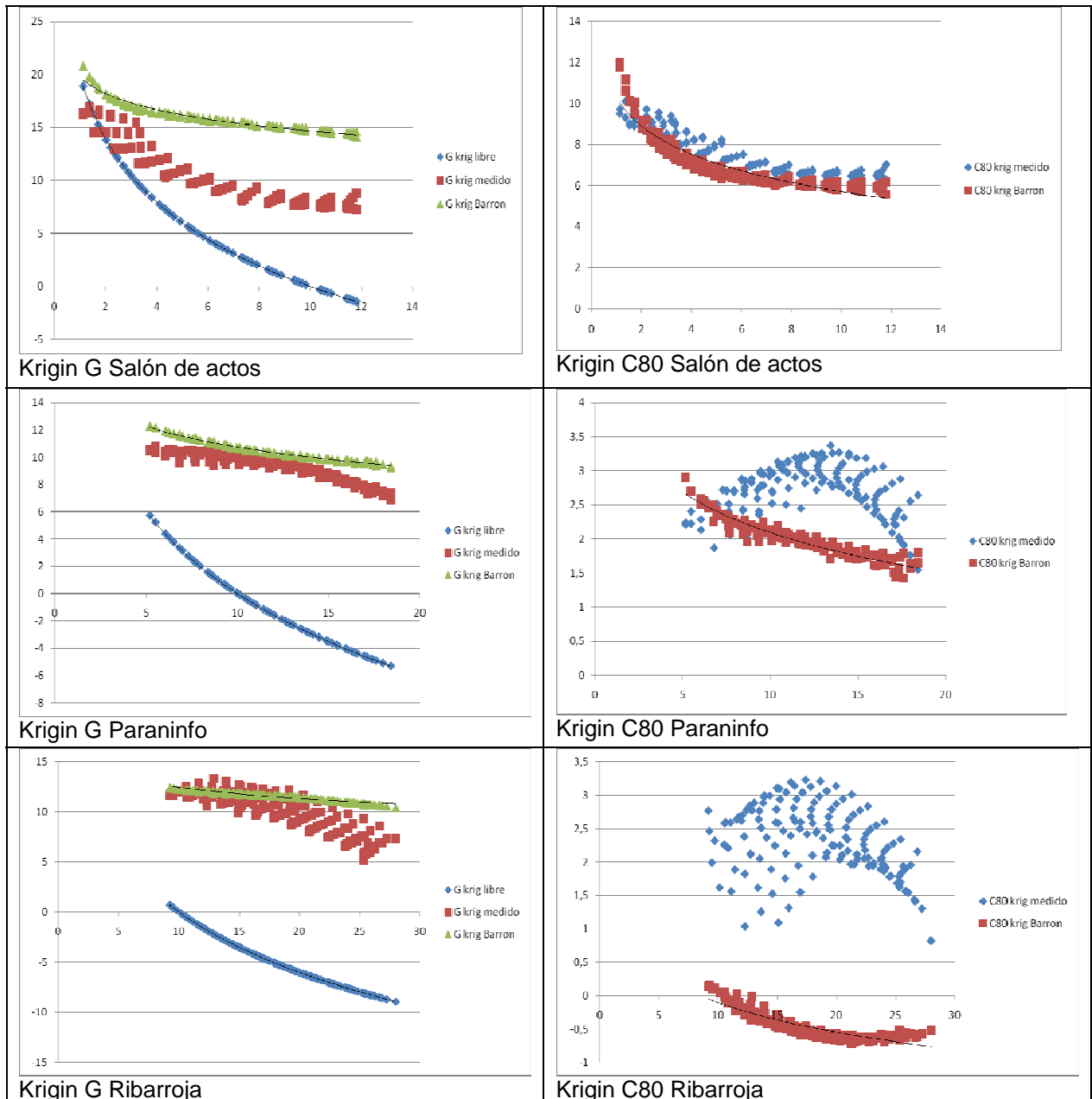


Figura 2: Parámetros G y C80 interpolados mediante Kriging Ordinario (12*12) para las salas

De la observación de los resultados obtenidos mediante la técnica de Kriging podemos postular que:

- Salón de actos: los resultados del Kriging confirman que se trata de una sala seca y que la distribución de G se aproxima al campo libre, al menos a distancias cortas y medias. En el caso de la distribución de C80 se ajusta bien al modelo de Barron.
- Paraninfo UPV: En esta sala los valores calculados son claramente inferiores a los del modelo de Barron, aunque se aproximan a él tomando una curva negativa. Lo mismo ocurre con la distribución de Kriging de C80, toma esta curva negativa, pero dispersa sus valores y los aleja de los del modelo de Barron.
- Ribarroja: En este caso la distribución de valores calculados muestra que G sigue una distribución diferente a la de Barron, aunque se aproxima. En su caso (como en el anterior), la tendencia de los valores obtenidos tiene una curvatura negativa (segunda derivada). La

distribución de valores de C80 están dispersos muy por encima de la curva de Barron e igual que en el caso anterior, también presentan esta curvatura negativa.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha planteado la aplicación de la técnica de Kriging, de estadística espacial, a conjuntos de medidas de parámetros de salas. Esta interpolación ha permitido obtener un mayor número de puntos que el que recomienda la norma ISO 3382.

A partir de su análisis y comparación con otros modelos teóricos, hemos podido observar diferencias entre la distribución de valores medidos y los predichos por los modelos utilizados en salas de tipo rectangular (en particular el modelo de Barron). Estas diferencias indican que existen características adicionales que afectan al diseño acústico de las salas, que las diferencian en los postulados de estos modelos, y que tienen un impacto significativo sobre los parámetros aquí estudiados (G y C80).

Con esta herramienta, pensamos que es posible identificar qué factores están involucrados en la distribución espacial de los diferentes parámetros. Este es un campo para nuestra investigación futura.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación mediante el proyecto de investigación BIA2008-05485. Los autores también quieren agradecer a los profesores Athanasios Mouchtaris y Panaiotis Tsakalides de la Universidad de Creta, su apoyo en la realización de este trabajo durante la estancia realizada en su laboratorio y a la UVEG la beca UV-INV_EPDI11-39302 para la estancia en Creta con el equipo investigador .

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Krige, Danie G. (1951). "A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand". J. of the Chem., Metal. and Mining Soc. of South Africa 52 (6): pp.119-139.
- [2] Matheron, Georges (1962). Traite de geostatistique applique. Editions Technip.
- [3] Olivier Baume, Benoit Gauvreau, Michel Brengier, Fabrice Junker, Hans Wackernagel, and Jean-Paul Chils. Geostatistical modeling of sound propagation: Principles and a field application experiment. J. Acoust. Soc. Am. Volume 126, Issue 6, pp. 2894-2904 (2009).
- [4] Barron M. "Bass sound in concert auditoria". J. Acoust.Soc. Am. 97 (2), February 1995.
- [5] Barron M, Lee L.J. "Energy relations in concert auditoriums I". J Acoust Soc Am 84(2) pp. 618-628, 1988.
- [6] ISO 3382:1997(E), Second edition 1997-06-15, Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.
- [7] IEC 60268 - Sound system equipment. International Electrotechnical Commission.
- [8] L. Morset. WinMLS 2004 user manual. (2004).
- [9] K. Hornik. The R statistical software. <http://cran.r-project.org> (2011)